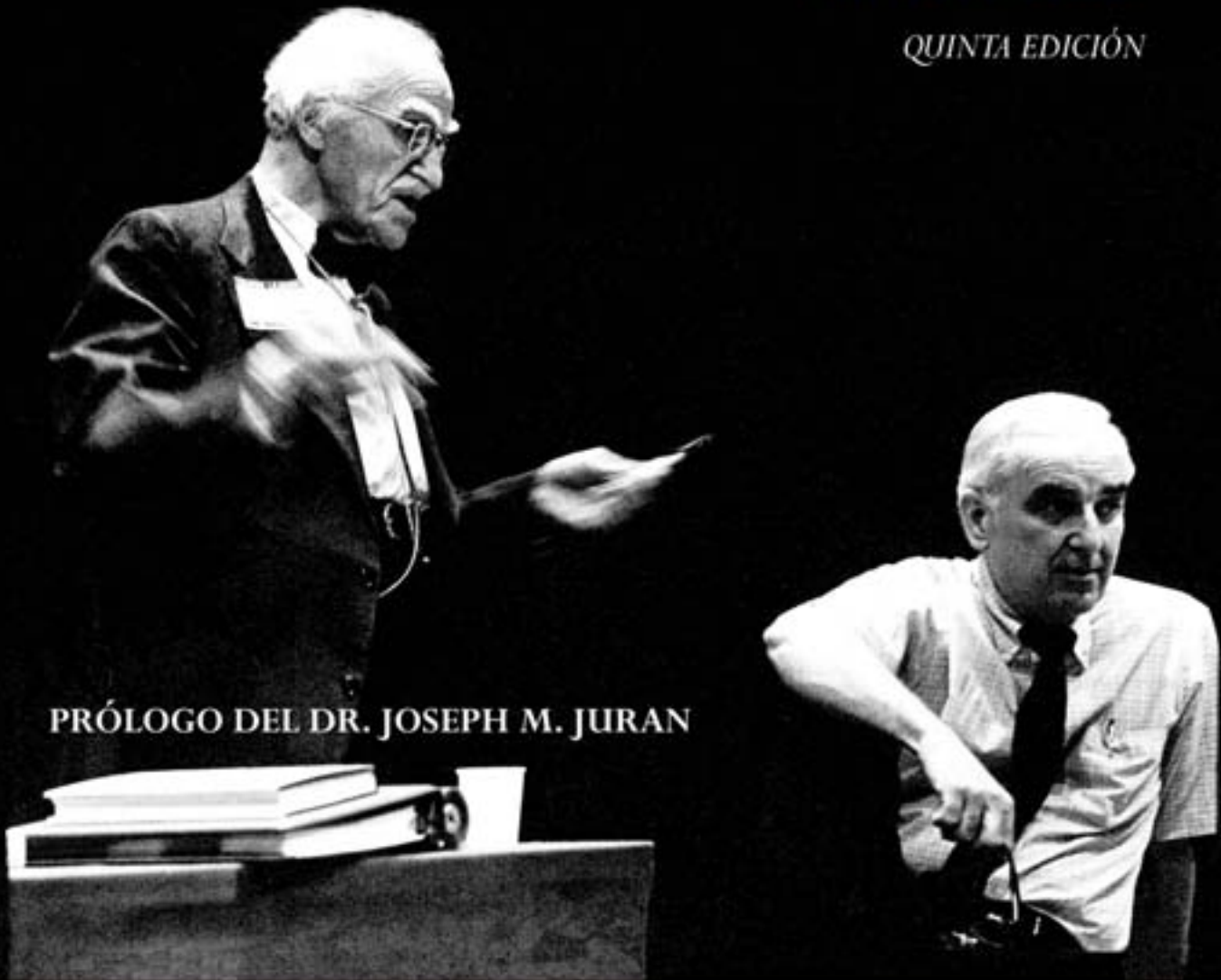


Método Juran

*Análisis y planeación
de la calidad*

QUINTA EDICIÓN



PRÓLOGO DEL DR. JOSEPH M. JURAN



FRANK M. GRYNA RICHARD C. H. CHUA
JOSEPH A. DEFEO

Método Juran

*Análisis y planeación
de la calidad*

Método Juran

Análisis y planeación de la calidad

QUINTA EDICIÓN

Frank M. Gryna

*Profesor Distinguido
Industrial Engineering Emeritus University*

Richard C. H. Chua

*Vicepresidente Ejecutivo
Juran Institute, Inc.*

Joseph A. DeFeo

*CEO
Juran Institute, Inc.*

José Pantoja Magaña

*Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey,
Campus Estado de México*

Las ediciones anteriores de este libro fueron escritas por
J. M. Juran, Director Emérito, Juran Institute, Inc., y por Frank M. Gryna



MÉXICO • AUCKLAND • BOGOTÁ • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA
LISBOA • LONDRES • MADRID • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI • NUEVA YORK
SAN FRANCISCO • SAN JUAN • SAN LUIS • SANTIAGO
SÃO PAULO • SIDNEY • SINGAPUR • TORONTO

Director Higher Education: Miguel Ángel Toledo Castellanos
Director editorial: Ricardo Alejandro del Bosque Alayón
Editor sponsor: Pablo Eduardo Roig Vázquez
Editora de desarrollo: Ana Laura Delgado Rodríguez
Supervisor de producción: Zeferino García García

Traducción: María Jesús Herrero
Magalí Amieva Lavigne

ANÁLISIS Y PLANEACIÓN DE LA CALIDAD. MÉTODO JURAN
Quinta edición

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra,
por cualquier medio, sin la autorización escrita del editor.



DERECHOS RESERVADOS © 2007, respecto a la quinta edición en español por
McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

A Subsidiary of The McGraw-Hill Companies, Inc.

Prolongación Paseo de la Reforma 1015, Torre A,
Pisos 16 y 17, Colonia Desarrollo Santa Fe,
Delegación Álvaro Obregón,
C.P. 01376, México, D. F.

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. Núm. 736

ISBN-13: 978-970-10-6142-8

ISBN-10: 970-10-6142-X

Traducido de la quinta edición de Juran's Quality Planning and Analysis: For Enterprise Quality

Copyright © 2007 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved

ISBN-13: 978-0-07-296662-6

ISBN-10: 0-07-296662-9

1234567890

09865432107

Impreso en México

Printed in Mexico

LOS GRANDES INNOVADORES

DEMING Y JURAN: LOS REYES DE LA CALIDAD*

Los japoneses consideran las apreciaciones de Juran aún más importantes que las de Deming

Como parte de su celebración de aniversario, BusinessWeek presenta una serie de perfiles semanales de los mayores innovadores de los últimos 75 años. Algunos dejaron su marca en la ciencia o en la tecnología; otros en la administración, las finanzas, la mercadotecnia o el gobierno. A finales de septiembre de 2004, BusinessWeek publicó un número especial conmemorativo acerca de la Innovación.

En mayo, una veintena de luminarias de la administración de calidad provenientes de lugares tan lejanos como Japón y Suecia se reunieron en Stamford, Conn., para rendir tributo a una leyenda viviente: Joseph M. Juran, el patriarca de la calidad. El evento fue anunciado como “los 100 años de Juran”. No cumpliría los 100 hasta la víspera de Navidad, “pero decidieron que sería más seguro no esperar”, dice Juran irónicamente.

Ese año también marca el 50 aniversario del histórico primer viaje de Juran a Japón, cuando atendió la invitación del Sindicato Japonés de Científicos e Ingenieros (JUSE, por sus siglas en inglés). Sus diferentes visitas ayudaron a la industria japonesa a implementar la “calidad total” y a sacudirse su reputación de la posguerra como fabricante de productos baratos y de muy mala calidad. En conjunto, Juran llevaría su mensaje de calidad total a 34 países durante 178 visitas al extranjero, apuntando en su bitácora de viaje más de 5 millones de millas aéreas, hasta su retiro oficial en 1994.

Además de consultor y conferenciante, Juran es un prolífico escritor. De sus doce libros, el más vendido se llamó originalmente *Quality Control Handbook (Manual del Control de Calidad)*, cuya publicación en 1951 provocó la invitación del JUSE. El tomo de casi 2 000 páginas, ahora llamado *Juran's Quality Handbook (Manual de Calidad de Juran)* y que va en su quinta edición, sigue siendo la biblia del movimiento de calidad en todo el mundo.

Juran y W. Edwards Deming (1900-1993), los dos pensadores de mayor influencia detrás del movimiento de calidad total, comenzaron sus carreras profesionales con unos pocos años de diferencia en la Western Electric, que usaba pioneras técnicas estadísticas de control de calidad, promovidas en Bell Labs para fabricar teléfonos confiables. Ambos fueron dignos de alabanza mientras

*Reimpreso de *BusinessWeek*, números del 23 al 30 de agosto de 2004, con permiso especial, copyright © 2004 por The McGraw-Hill Companies, Inc.

brindaron sus servicios, en calidad de préstamo, al gobierno norteamericano durante la Segunda Guerra Mundial. La ironía radica en que los ejecutivos japoneses hicieron caso a las lecciones de calidad total antes que los gerentes estadounidenses.

En 1950, el JUSE auspició el primero de los diversos viajes de Deming. Sus conferencias acerca de la aplicación del control estadístico de calidad para los procesos de manufactura —en lugar de sólo inspeccionar los productos después del hecho— fueron una revelación para los japoneses, quienes adoptaron el concepto con fervor religioso. Un año más tarde, el JUSE estableció el prestigioso Premio Deming. No fue sino hasta 1987 que Estados Unidos se convenció de crear su contraparte, el Premio Nacional de Calidad Malcom Baldrige, una década después de que Japón empezara a arrebatar enormes ganancias del mercado con sus bien fabricados autos, televisiones y chips para computadoras.

En 1969, el JUSE pidió a Juran que diera su nombre al premio de calidad más importante de Japón, un tipo de superpremio Deming, para las empresas que mantuvieran la más alta calidad durante cinco años consecutivos. El JUSE estimó aún más importante la visión de Juran de una administración de calidad de arriba a abajo que las apreciaciones de fabricación de Deming. Juran se rehusó —una decisión que ahora lamenta—. Así que lo que pudo haber sido la Medalla Juran es ahora la Medalla de Japón para el Control de Calidad. Sin embargo, existe una Medalla Joseph M. Juran, otorgada por la Sociedad Estadounidense para la Calidad. En el año 2001, Juran personalmente entregó la primera a Robert W. Galvin, que se hallaba en ese entonces a la cabeza del comité ejecutivo de Motorola Inc. (*MOT*).

Por Otis Port

PRÓLOGO

Los sucesos de los últimos años han provocado cambios dramáticos en el campo de la administración para la calidad. Se ha registrado una oleada de crecimiento en las actividades relacionadas con la calidad: asociaciones profesionales; publicación de libros y revistas; premios; consultorías; etc. Muchas de estas actividades relacionadas con la calidad reflejan la necesidad de las empresas de sobresalir en un mundo competitivo que presenta cadenas globales de suministro, personalización en masa y comunicación instantánea. Las demandas de los clientes por la perfección en la calidad, la confiabilidad, el bajo costo y el desempeño oportuno están convirtiéndose en la norma. El fracaso en el cumplimiento con esos objetivos produce cambios masivos en la participación del mercado que conforman los titulares de la prensa de negocios.

Este libro de texto ofrece a los estudiantes de administración para la calidad un fundamento para encarar esos desafíos. Sus primeras dos ediciones fueron dispuestas conjuntamente por el Dr. Frank M. Gryna y por mí. Las ediciones tercera y cuarta las preparó el Dr. Gryna. Durante estas cuatro ediciones, la obra se convirtió en un libro de texto universitario líder en la administración para la calidad, y ha ayudado a una generación de candidatos a titularse (como Ingenieros de Calidad) a aprobar sus exámenes.

Cuando comenzó el trabajo de la quinta edición, la debilidad de salud del Dr. Gryna llevó al reclutamiento de dos autores adicionales.

El Dr. Richard Chua, vicepresidente ejecutivo del Juran Institute. Ha sido consultor durante más de 18 años, once de los cuales ha pasado en el Juran Institute. Su Doctorado en la Universidad de Minnesota (también mi alma máter) versa sobre la administración de negocios (operaciones).

Y Joseph DeFeo, instructor ejecutivo durante más de 20 años, 17 de ellos en el Juran Institute, del que ha sido director general y presidente durante cinco años.

Estas contrataciones dejan este libro en manos capaces de dar continuidad al legado de *Andlisis y planeación de calidad* en el siglo XXI, el Siglo de la Calidad.

Todos nos sentimos apesadumbrados por el fallecimiento del Dr. Gryna, que fuera un distinguido profesional de la administración para la calidad, en febrero de 2005. En la academia ejerció como catedrático distinguido de la Universidad Bradley (en Peoria, Illinois) y en la Universidad de Tampa. En la industria, fungió como gerente de confiabilidad y seguridad de calidad en la División de Sistemas Espaciales de Martin-Marietta, y también como vicepresidente senior del Juran Institute. Sus contribuciones bibliográficas incluyeron ser editor asociado de varias ediciones del *Juran's Quality Handbook (Manual de Calidad de Juran)*.

Entre sus distinciones estuvieron su ingreso como miembro honorario de la ASQ (Sociedad Estadounidense para la Calidad), las medallas Edwards y Grant de dicha sociedad, además de haber sido becario en el Instituto de Ingenieros Industriales.

Si tuviera que describir al hombre en los términos más breves, diría algo así:

Frank M. Gryna: ingeniero, gerente, profesor, caballero.

J.M. Juran

AGRADECIMIENTOS

En ediciones anteriores de este libro, el Dr. Gryna tuvo el cuidado de incluir generosos agradecimientos por la ayuda recibida de los profesionales en el campo, así como de su familia. Para esta quinta edición, ya no pudo preparar dicha lista de reconocimientos. Podemos estar seguros de que lo hubiera hecho si el destino no hubiese intervenido. Aquellos de ustedes que habrían de haber figurado en esa lista saben quiénes son, y en nombre de Frank, les agradezco su aportación.

J.M. Juran

ACERCA DE LOS AUTORES

Dr. FRANK M. GRyna, titulado con diversos grados en ingeniería industrial y con más de 50 años de experiencia en los aspectos gerenciales, tecnológicos y estadísticos de las actividades de calidad.

De 1991 a 1999 ejerció primero como director del Centro para la Calidad y luego como catedrático distinguido de Administración en la Universidad de Tampa. Desde 1982 hasta 1991 fue vicepresidente senior del Juran Institute. Con anterioridad a 1982 el Dr. Gryna tuvo su base en la Universidad Bradley, donde enseñaba ingeniería industrial y fungía como decano interino de la Facultad de Ingeniería y Tecnología. Antes de su fallecimiento, fue catedrático distinguido emérito de Ingeniería Industrial. Además, fue consultor de muchas empresas en todos los aspectos relacionados con programas de calidad y confiabilidad, desde el diseño inicial hasta su implementación en campo.

El Dr. Gryna también sirvió en los Laboratorios de Ingeniería del Cuerpo de Señales del Ejército de Estados Unidos y estuvo en la Esso Research and Engineering Company. En la División de Sistemas Espaciales de la Martin Company se desempeñó como director de aseguramiento de calidad y confiabilidad.

Fue coautor de *Análisis y planeación de calidad* con J.M. Juran y editor asociado de las ediciones segunda, tercera y cuarta del *Juran's Quality Handbook (Manual de calidad de Juran)*. Su proyecto de investigación, *Quality Circles (Círculos de calidad)*, recibió el Premio Libro del Año, patrocinado por varias editoriales y por el Instituto de Ingenieros Industriales. Recibió como reconocimientos el ser miembro de la Sociedad Estadounidense para la Calidad, del Instituto de Ingenieros Industriales, ingeniero certificado de calidad, ingeniero certificado de confiabilidad e ingeniero profesional (Ingeniería de Calidad). También recibió diversos galardones, incluyendo el E.L. Grant Award de la Sociedad Estadounidense para la Calidad; el Premio de Ingeniero del Año del Consejo de Ingeniería de Peoria; preseas de excelencia a la enseñanza y al ejercicio profesional, y el Premio a la Excelencia de la División de Control de Calidad e Ingeniería de Confiabilidad del Instituto de Ingenieros Industriales. El Dr. Gryna también fue acreedor al Premio de la Fundación Ott, presentado por la Sección Metropolitana de la Sociedad Estadounidense para la Calidad.

Dr. RICHARD C.H. CHUA, vicepresidente ejecutivo del Juran Institute, Inc. En este puesto, el Dr. Chua ha sido responsable de guiar a los aprendices y consultores del Juran Institute para ayudar a sus clientes a lograr niveles importantes de avances en el desempeño. Chua también es maestro Black Belt certificado de six sigma.

Ha ayudado a muchas organizaciones a implementar cambios beneficiosos —incluyendo six sigma, optimización de la cadena de suministro, reingeniería de proceso de negocios, calidad total, ISO 9000 y manufactura esbelta (Lean)—. Estas organizaciones abarcan industrias tan diferentes como electrónica, aparatos médicos, productos farmacéuticos, biotecnología, textiles, alimentación, construcción, gobierno, tecnología de la información, cuidado de la salud, y servicios financieros y profesionales. Para ayudar a los clientes, el Dr. Chua ha viajado ampliamente por Estados Unidos y el extranjero —incluyendo México, Venezuela, Finlandia, Suecia, Inglaterra, España, República Checa, Sudáfrica, India, Hong Kong, Taiwán, Corea del Sur, Tailandia, Malasia y Singapur—. Chua también es técnico registrado experto de la Organización Asiática de Productividad (Tokio).

Entre 1994 y 1995 participó en el consejo de examinadores del Premio de Calidad de Texas. Ha sido dos veces examinador senior para el Premio de Minnesota a la Calidad (en 1991 y 1992). Ambos galardones estatales fueron diseñados según el prestigioso Premio Nacional a la Calidad Malcom Baldrige. Ha publicado muchos artículos sobre diferentes aspectos de la calidad, incluyendo six sigma, manufactura esbelta (Lean), sistemas de calidad y excelencia de desempeño, en diferentes revistas como *Six Sigma Forum* de la Sociedad Estadounidense para la Calidad, *Quality Progress*, *European Quality*, *Productivity Digest*, *Production and Inventory Management Journal* de la APICS (Asociación Estadounidense para la Producción y el control de inventarios, por sus siglas en inglés), *International Journal of Production Research*, *Chemical Business* e *International Business*. El Dr. Chua se ha presentado en foros norteamericanos e internacionales, incluyendo el Congreso Anual de la Sociedad Estadounidense para la Calidad, los simposios de la Oficina de Conferencias, las conferencias sobre Administración del Proceso de Negocios del DCI (Digital Consulting Institute), así como en las conferencias internacionales del Instituto de Ingenieros Industriales, Simposios Internacionales de Círculos de Control de Calidad y la Expo Calidad. Chua ha desarrollado y dirigido talleres de six sigma (incluyendo Ejecutivo, Campeón, Green Belt, Black Belt y Maestro Black Belt); Planeación y despliegue estratégicos; Sistemas de calidad, y Auditoría de proveedores.

El Dr. Chua recibió el título de licenciatura con distinción en Ingeniería Industrial por la Universidad de Purdue, y un doctorado en Administración de Empresas con especialización en Administración de Operaciones por la Universidad de Minnesota. Sus afiliaciones profesionales comprenden el Instituto de Ingenieros Industriales; la Sociedad Estadounidense de Control de Inventarios y Producción (Certificado en Administración de Inventarios y Producción); la Sociedad Estadounidense para la Calidad, y el Instituto para la Evaluación de Calidad (Reino Unido), en el cual estuvo registrado como asesor principal. Chua impartió clases a estudiantes universitarios y graduados (master en Administración de Empresas) en la Carlson School of Management de la Universidad de Minnesota.

JOSEPH A. DEFEO es presidente y director general del Juran Institute, Inc, en el que dirige las unidades estratégicas de negocios y es responsable de la de desarrollo global de negocios. DeFeo es también un líder profesional de vanguardia para el Instituto y es reconocido por su experiencia en capacitación y consultoría a la hora de mantener resultados de avanzada en muchas organizaciones diferentes a nivel mundial. Entre sus áreas de experiencia están Metodologías para administración de calidad, Despliegue de six sigma, Planeación estratégica de calidad y Mejora del proceso de negocios. La experiencia del señor DeFeo como profesional de los negocios permite a las empresas cliente recortar costos de manera significativa mientras mejoran sus procesos de negocio, así como su cultura corporativa. Su trayectoria de éxito está probada en un amplio rango de industrias

dedicadas a los productos de consumo, electrónicos, procesamientos químicos, a lo aeroespacial, automotriz, semiconductores e incluso la educación secundaria y superior.

Como DeFeo trabaja con empresas cliente, su capacidad de analizar y luego de recomendar e implementar soluciones es complementada con la experiencia colectiva de los equipos que él lidera en el Instituto. Emplea estrategias comprobadas para guiar las organizaciones a través de cambios complejos con el fin de mejorar los resultados de negocios, a la vez que satisface o supera las expectativas de sus clientes. Su trabajo con empleados de todos los niveles, desde la administración senior a la fuerza laboral en línea, es una de sus mayores virtudes.

El consejo de DeFeo se difunde ampliamente en publicaciones nacionales e internacionales, tales como *Assembly Engineering*, *CIO Magazine*, *Industrial Management*, *Quality Digest*, *Quality Progress* y *Quality in Manufacturing*. Ejerce en los consejos de asesores de las revistas *Six Sigma Forum* y *Total Quality Review*. También es coautor, con William W. Barnard, vicepresidente senior del Instituto, de *Juran Institute's Six Sigma: Breakthrough and Beyond*. Publicado en octubre de 2003, el libro es la principal fuente de administración para presentar toda la filosofía y metodología del Juran Institute. Con el objetivo de ayudar a que los gerentes de todos los niveles aprendan a ir más allá de sus esfuerzos iniciales de six sigma y así ejecutar resultados netos sostenibles, esta obra presenta aplicaciones de mejora de desempeño basadas en la Trilogía Juran de Procesos de planeación, Procesos de control y la forma de lograr de manera sistemática la Mejora de vanguardia en los procesos.

DeFeo ha sido con frecuencia ponente invitado en conferencias norteamericanas, como las patrocinadas por la Sociedad Estadounidense para la Calidad, la Asociación para la Excelencia en la Manufactura, el Consejo de Conferencias, y el Centro Internacional de Calidad y Productividad. Sus presentaciones están clasificadas de manera consistente entre las “diez mejores” por los asistentes. También ejerció como catedrático adjunto de Administración Global de Calidad Competitiva de la Universidad Central del Estado de Connecticut. También ha sido profesor invitado en la Universidad de Columbia y en la de Nueva York.

Obtuvo su *master* en Administración de Empresas por la Universidad Estatal de Western Connecticut y tiene un grado BS de licenciatura en educación industrial por la Facultad Central del Estado de Connecticut.

PREFACIO

Éste es un libro de texto sobre la administración de calidad en toda la empresa para lograr la satisfacción y la lealtad del cliente, así como los objetivos de negocios. No sólo para cumplir las especificaciones del producto ni el control estadístico de los procesos, sino un libro acerca de cómo lograr el liderazgo en calidad para cualquier empresa. Conseguir el liderazgo en calidad es nuestra expresión para describir una empresa que ha cosechado resultados financieros, culturales y para los accionistas, al implementar las herramientas y técnicas de administración de calidad.

Este libro no se limita a la calidad de productos y servicios o “pequeña C”, como la llamaba el Dr. Juran. En este texto, calidad significa “gran C”. Gran C incluye la calidad de productos y servicios, y la de procesos, sistemas, organización y liderazgo. En otras palabras, esta obra trata de la calidad empresarial.

La quinta edición de este libro, considerado un clásico, combina los conceptos pioneros del Dr. Joseph M. Juran y las enseñanzas del finado Dr. Frank M. Gryna con las perspectivas y experiencias de los instructores y consultores líderes del Juran Institute: el Dr. Richard Chua, vicepresidente ejecutivo, y Joseph A. DeFeo, director general y orientador ejecutivo.

Las nuevas características de esta edición incluyen:

- Un Mapa de Carreteras para la Calidad Empresarial que guía a las organizaciones para alcanzar y sustentar resultados de vanguardia con el fin de conseguir el liderazgo en calidad empresarial.
- Referencias actualizadas y lecturas complementarias con descripciones de citas, basadas en búsquedas en línea de la bibliografía más reciente: libros, conferencias y publicaciones especializadas.
- Temas nuevos y ampliados, que incluyen: Mejora de six sigma, Diseño para six sigma, Manufactura esbelta, Administración de flujo de valor, Personalización masiva, Despliegue de función de calidad y Despliegue estratégico.
- Ejemplos y presentaciones de proyectos reales de six sigma y de Manufactura esbelta.
- Un estudio de caso que muestra la aplicación de six sigma y Manufactura esbelta en la documentación de proceso de comprobación de error en un ambiente biotécnico, regulado por la FDA (Dirección de Alimentos y Drogas de Estados Unidos).
- Un tratamiento más extenso de la Prueba de Hipótesis, que incluye un mapa de carreteras de ésta para guiar a los profesionales en la elección de pruebas estadísticas. Esto puede añadir valor para los expertos de six sigma, Green Belt y Black Belt.

- Apoyo en el software MINITAB para analizar datos y resolver problemas. Se presentan ejemplos de la vida real que usan MINITAB.
- Una organización modular de temas en cuatro partes, que posibilita a los instructores (y al lector) personalizar fácilmente la cobertura temática para diferentes sesiones de la siguiente manera: Fundamentos, Conceptos gerenciales, Aplicaciones funcionales y Técnicas estadísticas.

PARTE I: PRINCIPIOS BÁSICOS. Cubre los conceptos básicos de calidad, la evaluación de ésta en toda la empresa y los tres procesos universales para lograr el liderazgo en calidad: mejora, planeación y control.

PARTE II: CONCEPTOS GERENCIALES. Cubre éstos con capítulos sobre la administración de procesos y la organización para la calidad, incluyendo el papel de la función de calidad; la administración y el despliegue estratégicos, y el desarrollo de una cultura de calidad.

PARTE III: APLICACIONES FUNCIONALES. Cubre las aplicaciones funcionales necesarias para lograr el liderazgo empresarial de calidad con capítulos para entender las necesidades de los clientes; el diseño para la calidad; la administración de la cadena de suministro; las operaciones en el sector manufacturero y en el de servicios; la inspección, prueba y medida, y las auditorías de seguridad de calidad.

PARTE IV: TÉCNICAS ESTADÍSTICAS. Cubre las herramientas de análisis estadístico con capítulos acerca de conceptos básicos de estadística y probabilidad; herramientas estadísticas para analizar datos y comprobación de hipótesis, y aquéllas para diseñar la calidad y el control estadístico del proceso.

Este libro es muy útil para:

- Clases de nivel senior para estudiantes y graduados en escuelas de ingeniería y negocios; a ambos les servirá como un texto de introducción al tema de administrar para la calidad y como un libro avanzado en administración de calidad para aquellos especializados en administración de operaciones o ingeniería industrial.
- Profesionales de calidad, incluyendo a aquéllos que se preparan para los exámenes de certificación de la Sociedad Estadounidense para la Calidad (ASQ, por sus siglas en inglés): ingeniero certificado de calidad, gerente de calidad, ingeniero de calidad en software e ingeniero de confiabilidad.
- Ejecutivos y profesionales de iniciativas de mejora continua como Excelencia en el desempeño, Excelencia operativa, six sigma y Manufactura esbelta.
- Talleres de Black Belt y Green Belt. Este libro sirve bien como texto principal para Black Belt y Green Belt mientras avanzan en su capacitación y se dedican al certificado. Los Maestros Black Belt también encontrarán este libro útil a la hora de ofrecer un fundamento sólido en los conceptos, las herramientas y las técnicas para lograr el liderazgo empresarial en calidad.

AGRADECIMIENTOS PARA LA QUINTA EDICIÓN

Nos gustaría agradecer a los siguientes revisores de los manuscritos de la cuarta y quinta edición por sus útiles comentarios: Gabriela M. Acosta, Universidad del Estado de California, Long Beach; Donald Baker, Instituto Rochester de Tecnología; Gerald Brong, Universidad Walden; Martin Cala,

Universidad Estatal de Youngstown, Ohio; Joseph Chen, Universidad del Estado de Iowa; William G. Ferrell, Jr., Universidad Clemson; Edward Gibson, Universidad de Texas en Austin; Roberta D. Goode, Universidad de Miami; David Gore, Universidad del Estado Middle Tennessee; S.K. Goyal, Universidad Concordia; Trevor S. Hale, Universidad de Ohio; Bart Hamilton, Universidad de Akron; T. Warren Liao, Universidad del Estado de Louisiana; Kevin Linderman, Universidad de Minnesota; Jye-Chyi Lu, Instituto Georgia de Tecnología; Edwin A. May, Jr., Instituto de Tecnología de Nueva Jersey; Rong Pan, Universidad de Texas en El Paso; Madabhushi Raghavachari, Instituto Politécnico Rensselaer; Kenneth M. Ragsdell, Universidad de Missouri-Rolla; Peter Rourke, Instituto de Tecnología de Wentworth; Mark Schuver, Universidad de Purdue; Rama Shankar, Delta Management Associates; J.Y. Shen, Universidad del Estado de Carolina del Norte y AT&T; William N. Smyer, Universidad del Estado de Misisipi; James M. Thom, Universidad Purdue, y Lisa Zidek, Escuela de Ingeniería de Milwaukee.

En la actualización de la quinta edición, agradecemos a nuestro colega del Juran Institute, el Dr. Brian Stockhoff, por las lecturas complementarias adicionales del final de los capítulos, la actualización de la lista de los sitios web y los problemas complementarios que usan MINITAB. Nos gustaría agradecer también a otro colega del Juran Institute, Randall Johns, por su ayuda con los ejemplos trabajados y con los problemas complementarios que emplean MINITAB.

La actualización de este libro no estaría completa sin ejemplos recientes y aplicados. En particular, agradecemos a dos clientes: Steve Witting de Merillat Industries (una empresa Masco), por proporcionar numerosos ejemplos de proyectos, y a Robert Bottome de Genentech, por el estudio del caso sobre comprobación de errores en un ambiente regulado por la FDA.

Asimismo, nos gustaría agradecer al Dr. David Juran de la Universidad de Columbia por ofrecer su valiosa ayuda para mejorar el manual de soluciones, y a Alex Eksir de Raytheon Corporation por ser uno de los más provocadores líderes de pensamiento sobre “administración de calidad” en los negocios de hoy en día.

Finalmente, agradecemos a nuestro mentor y amigo, el finado Dr. Frank M. Gryna, su guía mientras planeábamos la quinta edición. Lo extrañamos con cariño.

Dr. Richard C.H. Chua
Joseph A. DeFeo
Juran Institute, Inc.
www.juran.com

Enero de 2006

The McGraw-Hill Companies no asumen la responsabilidad por la exactitud de las listas de URL al final de cada capítulo de esta obra, las cuales están sujetas a cambios con el tiempo. Se puede encontrar una lista precisa y actualizada de los sitios web en la página electrónica de este libro: <http://www.mhhe.com/gryna>.

CONTENIDO

Introducción	1
El mapa de carreteras para la calidad empresarial	1
1 Conceptos básicos	9
1.1 Calidad. Un vistazo a la historia	9
1.2 Calidad. Las condiciones cambiantes de los negocios	11
1.3 Definición de <i>calidad</i>	12
1.4 La función de calidad	15
1.5 Relaciones: calidad, productividad, costos, tiempos de ciclo y valor	18
1.6 Administrar para la calidad	19
1.7 Disciplinas de calidad y otras disciplinas	21
1.8 Perspectivas en la calidad. Interna frente a externa	22
Resumen	23
Problemas	23
Referencias	24
Lecturas complementarias	25
Lecturas complementarias adicionales	25
Sitios web	26
2 Evaluación de la calidad en toda la empresa	27
2.1 ¿Por qué la evaluación?	27
2.2 Costo de una mala calidad	28
2.3 Categorías de los costos de calidad	29
2.4 Relacionar el costo de la mala calidad con las medidas de negocios	36
2.5 Costo óptimo de calidad	37
2.6 Posición en el mercado	39
2.7 Cultura de la organización en la calidad	44
2.8 Evaluación de las actividades actuales de calidad	47
2.9 Premios nacionales de calidad	48
2.10 Estándares de sistemas de calidad ISO 9000	51
Resumen	52

Problemas	52
Referencias	53
Lecturas complementarias	54
Lecturas complementarias adicionales	55
Sitios web	58
3 Mejoramiento de la calidad y reducción de costos	59
3.1 Problemas esporádicos y crónicos	59
3.2 Enfoque proyecto por proyecto	60
3.3 Ejemplo de un proyecto	61
3.4 Probar la necesidad de una iniciativa de mejoramiento de la calidad a lo largo de toda la empresa	64
3.5 Experiencias con el método proyecto por proyecto	66
3.6 Introducción al mejoramiento six sigma	67
3.7 Fase de definición	68
3.8 Fase de medición	73
3.9 Fase de análisis	80
3.10 Fase de progreso	98
3.11 Fase de control	106
3.12 Resumen de six sigma y ejemplo de proyecto	107
3.13 Mantenimiento del enfoque en el mejoramiento continuo	119
Resumen	120
Problemas	120
Referencias	122
Lecturas complementarias	124
Lecturas complementarias adicionales	124
Sitios web	125
4 Planeación operacional de calidad e ingresos por ventas	126
4.1 Contribución de la calidad a los ingresos por ventas	126
4.2 Desempeño en la calidad y en las finanzas	127
4.3 Lograr la superioridad en calidad	128
4.4 La satisfacción del cliente vs. la lealtad del mismo	130
4.5 Lealtad y retención del cliente	130
4.6 Valor económico de un cliente leal	133
4.7 El impacto de la calidad en las ventas perdidas	134
4.8 Nivel de satisfacción para retener a los clientes actuales	135
4.9 Costos del ciclo de vida	137
4.10 Espectro de clientes	138
4.11 Planeación para que la calidad del producto genere ingresos por ventas	138
4.12 Una hoja de ruta de planeación de calidad para asegurar la venta del producto	140
4.13 Introducción al diseño por six sigma (DFSS)	145

4.14	Ejemplo de diseño para un proyecto de six sigma (DMADV)	155
	Resumen	166
	Problemas	166
	Referencias	167
	Lecturas complementarias	168
	Lecturas complementarias adicionales	168
	Sitios web	170
5	Control de calidad	171
5.1	Definición de control	171
5.2	Medición	172
5.3	Autocontrol	174
5.4	Los temas de control para la calidad	176
5.5	Establecer la medición	177
5.6	Establecer estándares de desempeño	183
5.7	Medición del desempeño real	184
5.8	Comparación de estándares	185
5.9	Actuar en relación con la diferencia	189
5.10	Un sistema de control de procesos que usa el concepto de six sigma	191
	Resumen	192
	Problemas	192
	Referencias	193
	Lecturas complementarias	194
	Lecturas complementarias adicionales	194
	Sitio web	194
6	Administración de procesos	195
6.1	Administración funcional vs. administración de procesos	195
6.2	Administración de procesos	196
6.3	Selección de procesos	198
6.4	Organización del equipo del proceso	199
6.5	Ejemplo de administración de procesos	200
6.6	La fase de planeación de la administración de procesos	202
6.7	Transferencia y administración del nuevo proceso	210
6.8	Impacto de la administración de procesos en una organización	212
	Resumen	212
	Problemas	213
	Referencias	213
	Lecturas complementarias	214
	Lecturas complementarias adicionales	214
	Sitios web	215
7	Organización para la calidad	216
7.1	Evolución de la organización para la calidad	216

7.2	Coordinación de las actividades de la calidad	217
7.3	El papel de la alta dirección	218
7.4	El papel del director de calidad	221
7.5	El papel de la gerencia media	224
7.6	El papel de la fuerza de trabajo	225
7.7	El papel de los equipos. General	225
7.8	Equipos de calidad de proyectos	227
7.9	Equipos de fuerza de trabajo	229
7.10	Equipos autodirigidos	231
7.11	Selección, capacitación y retención de personal	234
7.12	Administración de proyecto de calidad y administración de proyecto tradicional	237
	Resumen	238
	Problemas	240
	Referencias	241
	Lecturas complementarias	242
	Lecturas complementarias adicionales	242
8	Administración estratégica de la calidad	243
8.1	Elementos de la administración estratégica de la calidad	243
8.2	Integración de la calidad en la administración estratégica	245
8.3	Misión, análisis ambiental, visión	246
8.4	Desarrollo de estrategias	249
8.5	Desarrollo de objetivos; evaluación comparativa competitiva	250
8.6	Despliegue de objetivos	254
8.7	Facilitar el liderazgo ejecutivo para implementar las estrategias	255
8.8	Revisión del progreso con mediciones, evaluaciones y auditorías; anotador equilibrado	258
8.9	La organización de aprendizaje (que aprende)	258
8.10	Obstáculos para lograr los objetivos de calidad	260
	Resumen	261
	Problemas	261
	Referencias	262
	Lecturas complementarias	263
	Lecturas complementarias adicionales	263
	Sitios web	264
9	Desarrollo de una cultura de calidad	265
9.1	Tecnología y cultura	265
9.2	Teorías de la motivación	265
9.3	Cultura corporativa	267
9.4	Cultura de calidad	269
9.5	Proporcionar objetivos y medidas de calidad en todos los niveles	271
9.6	Proporcionar evidencia del liderazgo de la dirección	274
9.7	Facilitar el autodesarrollo y el <i>empowerment</i>	277
9.8	Facilitar la participación para motivar la acción	281

9.9	Proporcionar reconocimiento y recompensas	282
	Resumen	286
	Problemas	287
	Referencias	287
	Lecturas complementarias	289
	Lecturas complementarias adicionales	289
10	Entender las necesidades del cliente	291
10.1	Calidad y ventaja competitiva	291
10.2	Identificar a los clientes	292
10.3	Conducta del cliente	293
10.4	Alcance de las necesidades y expectativas humanas	293
10.5	Fuentes de información de la calidad del mercado	294
10.6	Investigación de mercados en la calidad (“la voz del cliente”)	295
10.7	Necesidades relacionadas con las características del producto	297
10.8	Necesidades relacionadas con las deficiencias del producto	304
10.9	Medición de la satisfacción del cliente	305
10.10	Investigación de mercados para los clientes internos	307
	Resumen	307
	Problemas	308
	Referencias	309
	Lecturas complementarias	309
	Lecturas complementarias adicionales	310
	Sitios web	311
11	Diseñar para la calidad	312
11.1	Oportunidades para mejorar el diseño de los productos	312
11.2	Diseño y desarrollo como un proceso	313
11.3	Fases del desarrollo de productos y concepto de advertencia temprana	315
11.4	Diseñar para los requerimientos funcionales básicos; despliegue de la función de calidad	315
11.5	Diseño para el desempeño orientado en el tiempo (confiabilidad)	323
11.6	Disponibilidad	336
11.7	Diseñar para la seguridad	337
11.8	Diseñar para la manufacturabilidad	338
11.9	Costo y desempeño del producto	340
11.10	Revisión del diseño	342
11.11	Ingeniería concurrente	343
11.12	Desarrollo del software	344
11.13	Medición de la calidad en el diseño	345
11.14	Mejora de la efectividad del desarrollo de productos	346
	Resumen	348
	Problemas	348
	Referencias	350
	Lecturas complementarias	352

Lecturas complementarias adicionales	352
Sitios web	354
12 Administración de la cadena de suministro	355
12.1 Relaciones con los proveedores: una revolución	355
12.2 Alcance de las actividades para la calidad del proveedor	357
12.3 Especificaciones de los requerimientos de calidad para los proveedores	358
12.4 Selección de proveedores. <i>Outsourcing</i>	361
12.5 Evaluación de la capacidad del proveedor	363
12.6 Planeación de calidad en la cadena de suministro	367
12.7 Control de calidad de la cadena de suministro	370
12.8 Mejora de la calidad en la cadena de suministro	377
Resumen	380
Problemas	381
Referencias	383
Lecturas complementarias	385
Lecturas complementarias adicionales	385
Sitios web	387
13 Operaciones: sector manufacturero	388
13.1 Calidad en la manufactura en el siglo XXI	388
13.2 Manufactura lean y administración de la cadena de valor	389
13.3 Planeación inicial para la calidad	396
13.4 Concepto de controlabilidad: autocontrol	403
13.5 Manufactura automatizada	415
13.6 Revisión general de la planeación de manufactura	417
13.7 Organización para la calidad en las operaciones de manufactura	418
13.8 Planeación para la evaluación del producto	419
13.9 Auditorías de calidad de proceso	421
13.10 Medidas de calidad en operaciones de manufactura	423
13.11 Mantenimiento de un enfoque en la mejora continua	424
13.12 Estudio de un caso de documentación de <i>error-proofing</i>	425
Resumen	434
Problemas	434
Referencias	435
Lecturas complementarias	436
Lecturas complementarias adicionales	436
Sitios web	437
14 Operaciones: sector de servicios	438
14.1 El sector de servicios	438
14.2 Planeación inicial para la calidad	439
14.3 Planeación para el autocontrol	446
14.4 Control de calidad en las operaciones de servicios	451

14.5	Auditorías para la calidad en el proceso	455
14.6	Contacto de primera línea con el cliente	455
14.7	Organización para la calidad en las operaciones de servicio	457
14.8	Proyectos six sigma en las industrias de servicios	459
14.9	Medición de la calidad en las operaciones de servicios	459
14.10	Mantenimiento de un enfoque en la mejora continua	461
	Resumen	461
	Problemas	462
	Referencias	463
	Lecturas complementarias	464
	Lecturas complementarias adicionales	464
	Sitios web	466
15	Inspección, pruebas y medición	467
15.1	La terminología de la inspección	467
15.2	Conformidad con la especificación y aptitud para el uso	468
15.3	Disposición de un producto no conforme	470
15.4	Planeación de la inspección	472
15.5	Clasificación de la seriedad	477
15.6	Inspección automatizada	479
15.7	Exactitud de la inspección	480
15.8	Errores de medición	481
15.9	¿Qué tanta inspección es necesaria?	493
15.10	El concepto de la muestra de aceptación	496
15.11	Riesgos de muestra: la curva de características de operación	497
15.12	Índices de calidad para los planes de muestra de aceptación	500
15.13	Tipos de planes de muestra	502
15.14	Características de un buen plan de aceptación	503
15.15	ANSI/ASQC Z1.4	504
15.16	Selección de un valor numérico del índice de calidad	508
15.17	Cómo seleccionar los procedimientos de muestra adecuados	510
	Resumen	512
	Problemas	513
	Referencias	517
	Lecturas complementarias	518
	Lecturas complementarias adicionales	518
	Sitios web	518
16	Auditorías de garantía de calidad	519
16.1	Definición y concepto de garantía de calidad	519
16.2	Concepto de auditorías y evaluaciones de calidad	520
16.3	Principios de un programa de auditoría de calidad	522
16.4	Tema de las auditorías	522
16.5	Estructuración de un programa de auditoría	525
16.6	Planeación de auditorías de actividades	526

16.7	Desempeño de la auditoría	530
16.8	Reporte de la auditoría	530
16.9	Seguimiento de las acciones correctivas	532
16.10	Relaciones humanas al auditar	534
16.11	Evaluaciones de calidad	535
16.12	Auditoría de producto	537
16.13	Muestreo para una auditoría de producto	539
16.14	Reporte de resultados de una auditoría de producto	540
	Resumen	541
	Problemas	542
	Referencias	542
	Lecturas complementarias	543
	Lecturas complementarias adicionales	543
	Sitios web	544
17	Conceptos básicos de estadística y probabilidad	545
17.1	Herramientas de estadística en calidad	545
17.2	El concepto de variación estadística	545
17.3	Síntesis tabular de datos: distribución de frecuencia	546
17.4	Síntesis gráfica de datos: el histograma	548
17.5	Diagramas de caja y bigotes	550
17.6	Síntesis gráfica de datos orientados por el tiempo: gráfica de comportamiento	551
17.7	Métodos para resumir datos: numéricos	552
17.8	Distribuciones de probabilidad: general	553
17.9	La distribución de probabilidad normal	555
17.10	El análisis de la curva normal y el histograma	557
17.11	La distribución de la probabilidad exponencial	561
17.12	La distribución de probabilidad Weibull	562
17.13	La distribución de probabilidad Poisson	565
17.14	La distribución de probabilidad binomial	566
17.15	Teoremas básicos de probabilidad	567
17.16	Estudios enumerativos y analíticos	568
17.17	Pensamiento estadístico a tres niveles en una organización	569
17.18	Software de cómputo para análisis estadístico	570
	Resumen	573
	Problemas	573
	Referencias	576
	Lecturas complementarias	577
	Lecturas complementarias adicionales	577
	Sitio web	577
18	Herramientas estadísticas para el análisis de datos	578
18.1	Alcance de la planeación y el análisis de datos	578
18.2	Inferencia estadística	579
18.3	Variación de muestra y distribuciones de muestra	579

18.4	Estimación estadística: límites de confianza	582
18.5	Importancia de los límites de confianza en la planeación de programas de pruebas	585
18.6	Determinación del tamaño de muestra requerido para una precisión específica en una estimación	586
18.7	Prueba de hipótesis	586
18.8	Probando una hipótesis cuando el tamaño de la muestra se fija por anticipado	591
18.9	Sacar conclusiones de las pruebas de hipótesis	603
18.10	Determinar el tamaño de la muestra requerido para probar una hipótesis	604
18.11	El diseño de experimentos	605
18.12	Algunas herramientas para experimentación sólida	609
18.13	Contraste entre métodos clásicos y modernos de experimentación	614
18.14	Análisis de varianza	615
18.15	Enfoque Taguchi para el diseño experimental	617
18.16	Shainin y el enfoque rojo X para el diseño experimental	618
18.17	Planeación del diseño experimental	619
18.18	Análisis de regresión	619
18.19	Herramientas avanzadas para el análisis de datos	623
	Ejemplos trabajados con MINITAB	624
	Resumen	628
	Problemas	629
	Referencias	632
	Lecturas complementarias	633
	Lecturas complementarias adicionales	633
	Sitio web	635
19	Herramientas estadísticas de diseño para la calidad	636
19.1	El juego de herramientas estadísticas para diseño	636
19.2	Patrones de falla para productos complejos	636
19.3	La fórmula exponencial de confiabilidad	639
19.4	Relación entre parte y confiabilidad del sistema	641
19.5	Predicción de la confiabilidad durante el diseño	644
19.6	Predicción de la confiabilidad con base en la distribución exponencial	646
19.7	Predicción de la confiabilidad con base en la distribución Weibull	646
19.8	Confiabilidad como una función de presión aplicada y fuerza	647
19.9	Disponibilidad	648
19.10	Establecimiento de los límites de la especificación	650
19.11	Límites de la especificación y necesidades funcionales	650
19.12	Límites de la especificación y variabilidad en la manufactura	650
19.13	Límites de especificación y consecuencias económicas	654
19.14	Límites de especificación para dimensiones que interactúan	656
	Resumen	659
	Ejemplos trabajados con MINITAB	660
	Problemas	662
	Referencias	665
	Lecturas complementarias	666

Lecturas complementarias adicionales	666
Sitios web	666
20 Control estadístico del proceso	667
20.1 Definición e importancia del control estadístico del proceso	667
20.2 Ventajas de reducir la variabilidad del proceso	668
20.3 Gráficas de control estadístico: general	670
20.4 Ventajas del control estadístico	672
20.5 Pasos para crear un diagrama de control	673
20.6 Gráfica de control para datos de variables	675
20.7 Precontrol	682
20.8 Gráficas de control para atributos	684
20.9 Gráficas de control especiales	687
20.10 Capacidad del proceso	689
20.11 Estimación de la capacidad potencial o inherente a partir de un análisis de gráfica de control	695
20.12 Medición del desempeño de un proceso	697
20.13 Análisis de la capacidad del proceso con el uso de documentos de probabilidad	699
20.14 Planeación para un estudio de capacidad del proceso	701
20.15 Concepto six sigma de capacidad de proceso	702
20.16 Control estadístico del proceso y mejora de calidad	703
20.17 Software para control estadístico de procesos	706
20.18 Ejemplo trabajado empleando MINITAB®	707
Resumen	708
Problemas	709
Referencias	714
Lecturas complementarias	715
Lecturas complementarias adicionales	715
Sitios web	716
Apéndice I: Problemas complementarios al usar MINITAB	717
Apéndice II: Ejemplos del examen de certificación. Preguntas y respuestas	727
Apéndice III: Tablas	739
Índice onomástico	757
Índice temático	760

INTRODUCCIÓN

EL MAPA DE CARRETERAS PARA LA CALIDAD EMPRESARIAL*

El mapa de carreteras Juran para la calidad empresarial tiene que ser un enfoque sistemático pero no preceptivo para ir “de aquí a allí”. Este mapa de carreteras no debe contestar todas las preguntas. No ofrece todos los detalles que una organización puede necesitar para cambiar. En cambio, define las actividades principales que los gerentes de rango superior y los agentes de cambio deben incluir si quieren resultados sostenibles. Si su empresa ha comenzado o está considerando un proceso de cambio impulsado por la calidad y los clientes, este mapa de carreteras puede serle útil. Para aquellos que están comenzando sus viajes, ofrece un conjunto de actividades consecutivas que deben implementarse para lograr un cambio sostenible. Para quienes pudieran haber comenzado ya su viaje, puede ser una herramienta útil para identificar los huecos del plan actual o de su mapa de carreteras.

Durante 60 años de importantes avances en la investigación de las organizaciones, el Dr. Juran ha descubierto que todo cambio organizacional debe integrarse lentamente en una organización para permitir que ésta tenga tiempo de adaptarse al cambio. Su experiencia y la nuestra han demostrado repetidamente que el cambio organizacional es muy parecido a un antibiótico que ataca un virus. Considere este escenario: Un paciente toma diariamente un medicamento que lentamente le desarrolla anticuerpos para atacar a un virus (la vieja cultura). Cuando al virus (la vieja cultura) se le introduce este medicamento o anticuerpo en su sistema, la droga comienza a matarlo y aparece un nuevo estado de salud (cultura). A menudo deja al paciente más sano y libre de este virus. Nuestra experiencia es que los mejores procesos de cambio deben invadir una cultura lentamente para comenzar a atacarla, mediante un esfuerzo piloto. A cambio, esto permite que la misma cultura acepte el cambio. En otras palabras, el cambio fue probado en la cultura y funcionó. En ese punto, una organización podría ampliar los cambios a otras de sus áreas con mayor éxito y menos resistencia. Este mapa de carreteras incluye una fase piloto o experimental para probar el cambio pretendido en la organización. Tal fase puede usarse para probar cualquier cambio contemplado.

*Éste es un extracto de *Six Sigma Breakthroughs and Beyond*, de DeFeo y Barnard (2003), McGraw-Hill.

Antes de describir el mapa de carreteras para la calidad empresarial, revisemos desde lo que vamos a cambiar y para qué lo haremos.

Una típica empresa puede parecerse a ésta (y quiere cambiar):

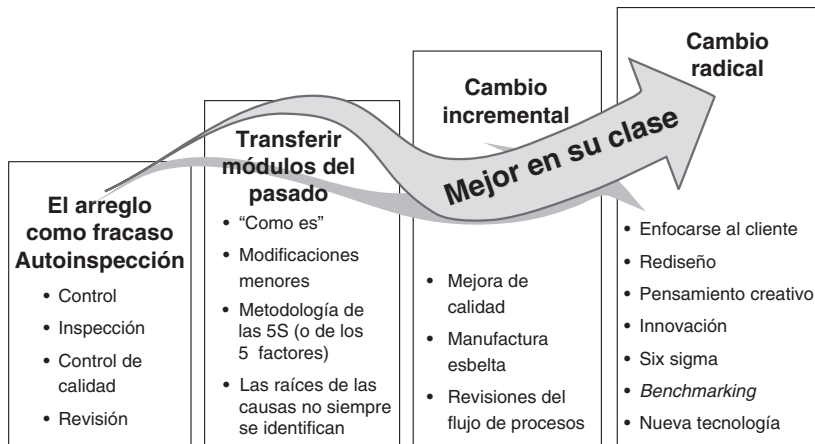
- Tiene altos costos de operación y beneficios menores a los esperados.
- La productividad está antes que los clientes, y a menudo se sacrifica la calidad a favor de los tiempos de entrega.
- Es lenta en responder a las quejas o a las acciones correctivas necesarias.
- Carece de creatividad e iniciativa en los diseños de nuevos procesos o de productos y servicios.
- Carece de confianza entre los empleados y la gerencia, lo que puede llevar a rotación o posible sindicalización.
- Existe poca colaboración o participación entre los empleados.
- La calidad es el trabajo de alguien más.

Esta empresa preferiría parecerse a ésta (la mejor de su clase):

- Mayor confiabilidad mediante procesos esbeltos (Lean) y mayor productividad.
- Un personal enfocado al cliente que responda rápidamente a las quejas.
- Mejora continua en todos los procesos.
- Los empleados reciben autonomía (empowerment) y se encuentran en un estado de autocontrol para mantener el desempeño.
- Estructuras organizacionales llanas y flexibles.
- La calidad es el trabajo de todos.
- Visión y liderazgo impulsado por el valor.

Una empresa que no está ofreciendo satisfacción a los ejecutivos, accionistas y clientes tiene que cambiar. Los recursos, la energía y el deseo de modificación determinan el nivel de cambio necesario. Es difícil cuantificar el cambio, pero a partir de la siguiente gráfica se puede obtener una idea de que el cambio transformacional o radical es diferente a un cambio incremental. Un cambio radical puede significar diferentes cosas para distintas personas. Este gráfico enlista las herramientas para cada uno

PENSAMIENTO DE CAMBIO RADICAL NECESIDADES VARIAS...



de los diferentes niveles del cambio. El Mapa de Carreteras para la Calidad Empresarial se enfoca en los cambios radicales requeridos. Si nuestra organización no está buscando un cambio radical, el alcance de su proceso de cambio debería modificarse como corresponda.

Cinco fases en el mapa de carreteras para la calidad empresarial

El mapa de carreteras para la calidad empresarial tiene cinco fases. Cada fase es independiente, pero el comienzo y el final de cada una no están claramente delineados. Cada organización reacciona de manera diferente a los cambios. Esto significa que una unidad de negocios en una organización puede permanecer en una fase por más tiempo que otra unidad. Una vez más estas fases son una guía directiva para cambiar, no un precepto.

Las cinco fases del mapa de carreteras se muestran en la siguiente gráfica.

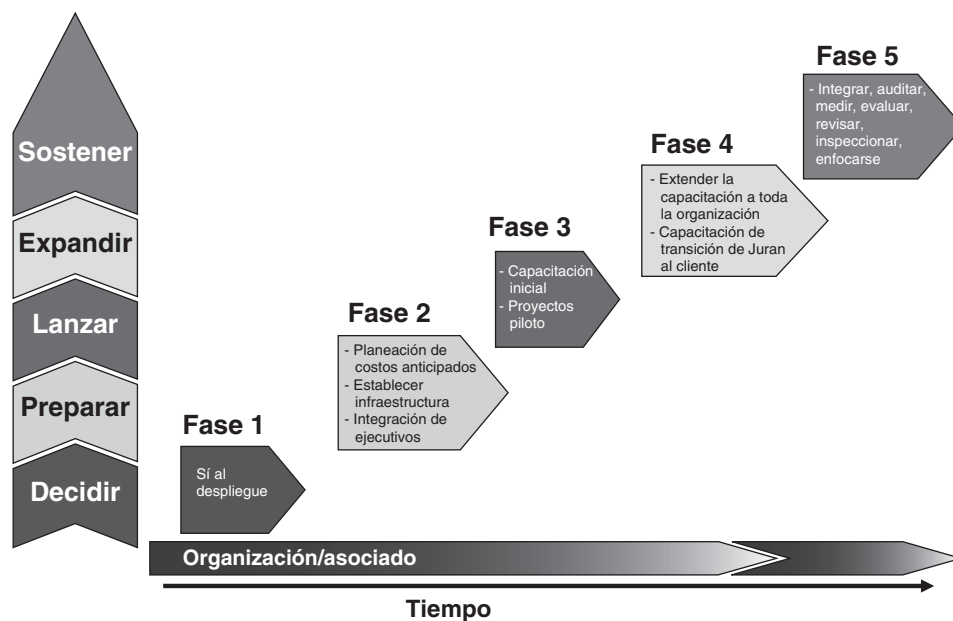
El mapa empieza en la fase de Decidir. Ésta comienza cuando alguien en el equipo ejecutivo decide que hay que hacer algo o de lo contrario la organización no cumplirá con las expectativas de los accionistas o no realizará sus planes, etc. Termina con un plan claro para el cambio.

En la fase de Decidir, la organización necesitará crear nueva o mejor información de la que puede haber tenido acerca de ella misma. Tal información puede provenir de una serie de revisiones o evaluaciones. Nuestra experiencia muestra que cuanto más información *nueva* tenga una organización, mejor será su planeación para el cambio. Hay una serie de áreas que deben revisarse. Éstas son algunas importantes:

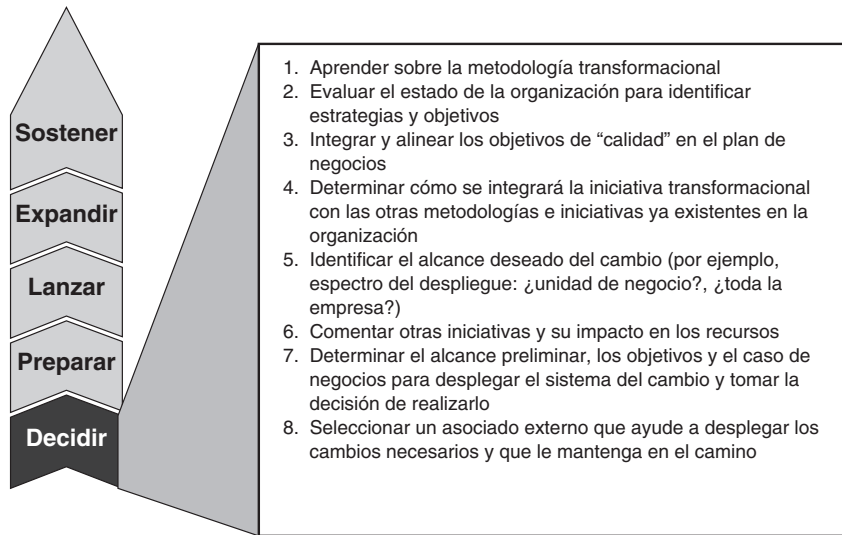
1. Para sus clientes

Realice una evaluación de lealtad de clientes para determinar lo que les gusta o les disgusta de sus productos y servicios.

El uso del mapa de carreteras maximiza la probabilidad de éxito y evita el síndrome de “sabor del mes”



**La fase uno (Decidir) empieza con las preguntas:
¿Buscamos la transformación? ¿Cómo la hacemos?**



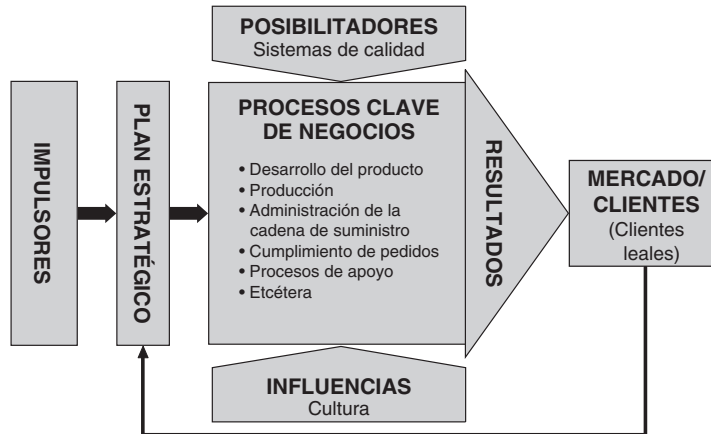
2. Para su cultura
 - a) Identificar las áreas de fortaleza y descubrir posibles problemas en el desempeño de la organización.
 - b) Entender las actitudes de los empleados hacia los cambios propuestos.
3. Procesos clave de negocios
 - a) Entender los procesos clave de negocios y cómo los cambios los afectarán.
4. Determinar el caso de negocio que se va a cambiar
 - a) Llevar a cabo un análisis de costos de los procesos de mal desempeño para determinar el impacto financiero de éstos en los resultados.
5. Llevar a cabo una revisión de calidad de clase mundial de todas las unidades de negocio para entender el nivel de mejora necesaria para cada unidad.

Una revisión exhaustiva de la organización antes de lanzarse es esencial para el éxito. A continuación se muestra una revisión típica que nosotros recomendamos para todas las organizaciones que se embarcan en una iniciativa transformacional six sigma. A partir de estas evaluaciones y revisiones, el equipo ejecutivo tendrá ahora información cualitativa y cuantitativa para definir el plan de implementación para su organización. Este plan debe incluir:

- a) La infraestructura necesaria para dirigir los cambios.
- b) La metodología y las herramientas que se usarán durante toda la implementación.
- c) Las metas y los objetivos del esfuerzo.
- d) El plan detallado para alcanzar los resultados.

La segunda fase es la de Preparar. En ésta, el equipo ejecutivo comienza a prepararse para los cambios que van a tener lugar. Se centra en desarrollar un esfuerzo piloto para intentar el cambio en unas cuantas unidades de negocio antes de llevarla a cabo en la totalidad de la organización.

Conducir una revisión organizacional exhaustiva



Esta fase inicia al desplegar el plan creado en la fase uno y termina después de un lanzamiento exitoso de proyectos piloto.

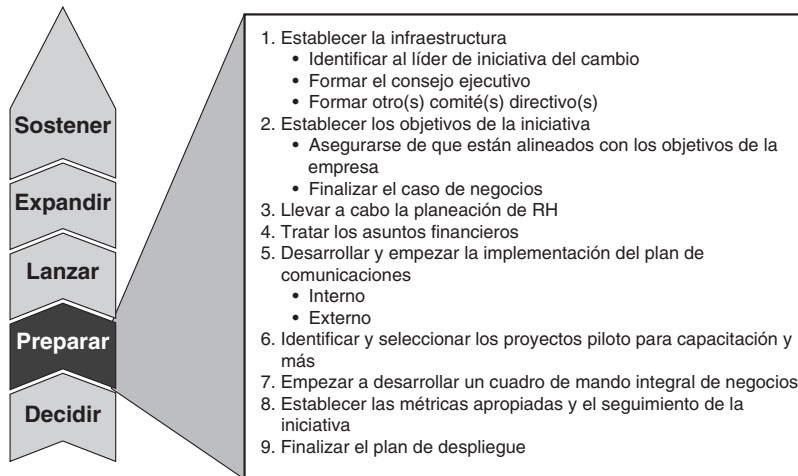
Desde aquí, la organización comienza a identificar los proyectos de mejora que deben llevarse a cabo para cumplir con los objetivos deseados establecidos en la fase de Decidir. En esta fase, la organización lanza los proyectos piloto, revisa sus progresos y posibilita el éxito. Una vez terminados los proyectos piloto, los ejecutivos evalúan lo que ha funcionado y lo que no. Entonces, o abandonan sus esfuerzos, o bien cambian el plan y lo amplían a toda la organización.

La ampliación puede tardar meses o años, dependiendo del tamaño de la organización. Una empresa de 500 empleados requerirá menos tiempo para desplegar un plan por toda ella que una organización de 50 000. La fase de Expandir puede tardar de 3 a 5 años. Observe que los resultados financieros positivos ocurrirán mucho antes de que tengan lugar los cambios culturales. Permanecer en la fase de Expandir no es algo malo. Una organización debe seguir implementando su plan, unidad de negocio tras unidad de negocio, empresa por empresa, hasta que toda ésta haya tenido suficiente tiempo para implementar los cambios deseados.

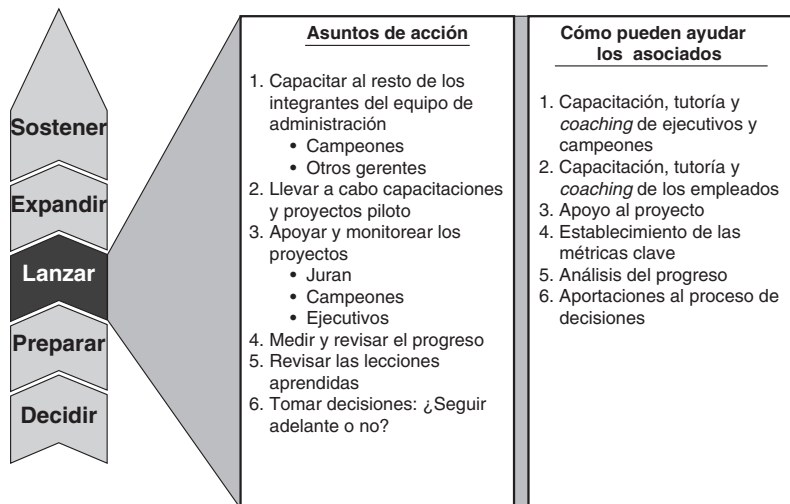
La fase final es la fase de Sostener, cuando la organización tiene una operación totalmente integrada. Todos los objetivos de six sigma y de mejora están alineados con la estrategia de la organización. Los procesos clave de negocios están definidos y bien administrados, y los propietarios del proceso son designados para administrarlos. Las revisiones del desempeño de los empleados y las compensaciones están de acuerdo con los cambios requeridos. Aquellos que cumplen con el cambio son premiados. Los ejecutivos y los directores de las unidades de negocio llevan a cabo revisiones y auditorías regulares del proceso de cambio. Esto puede dar como resultado una discusión e, incluso, un cambio en la estrategia de la organización.

La organización puede haber aprendido más acerca de sus capacidades y sus clientes, lo que le puede llevar a un cambio en la estrategia. La fase de Sostener también dura tanto tiempo como el que la organización necesite para alcanzar sus objetivos estratégicos y financieros. Las desviaciones de los resultados, posiblemente debidas a sucesos macroeconómicos fuera de la organización,

La fase dos (Preparar) se construye sobre las revisiones y se prepara la organización para el éxito



Fase tres: Lanzar

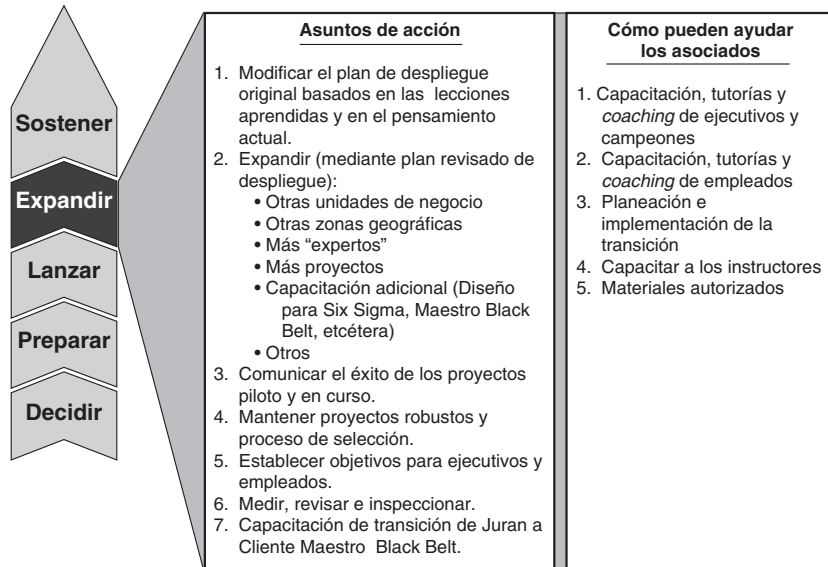


requieren una revisión del cuadro de mando integral para determinar lo que ha cambiado. Cuando esto se haya precisado, la organización hará los cambios, continuará y se sostendrá a sí misma en el nivel admitido.

Factores de éxito al desplegar el mapa de carreteras para la calidad empresarial

Cuando se comienza un viaje por esta carretera, se observan muchas lecciones aprendidas de organizaciones que han dirigido un proceso de cambio y que, al principio, fracasaron. Estas fallas pueden evitarse con una planeación apropiada. Éstas son algunas medidas para ésta:

Fase cuatro: Expandir



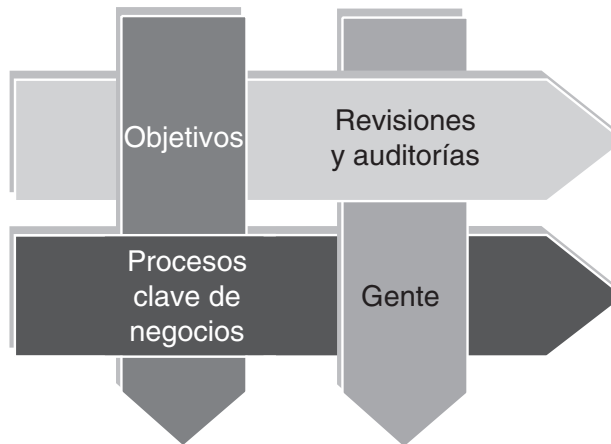
- Los expertos internos (como los Black Belt de six sigma) se convierten en impulsores que empujan a su empresa a ser la mejor de su clase.
- La extensa capacitación en herramientas y técnicas para todos los empleados asegura que el aprendizaje ha tenido lugar y que pueden utilizar las herramientas aprendidas.
- La aplicación y el despliegue sistemáticos mediante metodologías demostradas, como la Mejora de six sigma (DMAIC, por sus siglas en inglés) y de Diseño de six sigma (DFSS, por sus siglas en inglés) son necesarias para crear un idioma común.
- Enfocar primero las mejoras en el cliente permitirá reducciones de costos, y así los clientes complacidos posibilitarán un gran avance en los resultados netos.
- Un aumento importante en la satisfacción de los clientes sólo ocurre cuando se mejoran los procesos y servicios que influyen en ellos.
- Ninguna empresa ha tenido éxito alguna vez al implementar un plan sin el liderazgo y compromiso del equipo ejecutivo, que controla los recursos y la cultura.

Con este mapa de carreteras y las lecciones aprendidas, todas las organizaciones deberían lograr resultados sostenibles en el futuro. Si más organizaciones abordaran iniciativas de cambio positivas y enfocadas en los clientes, se podría contender con cualquiera de las naciones y competidores que producen a bajo costo. En lugar de que China o Corea se conviertan en líderes globales e impacten negativamente en nuestras sociedades, Estados Unidos y Europa pueden mantener su competitividad y sobrevivir en el futuro.

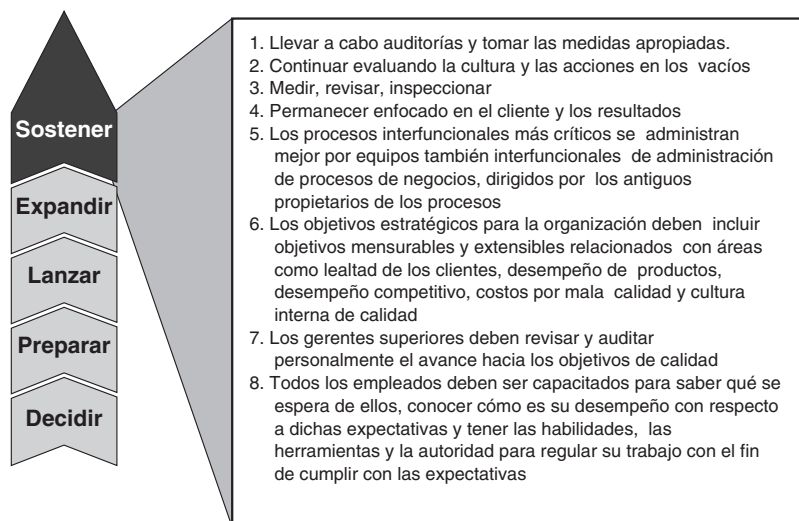
Se necesita una nueva revolución en calidad. Ésta puede empezar en su organización o en la de su competidor. Usted elige. Hace muchos años, el Dr. Juran realizó una serie de aprendizaje en videocintas acerca de la mejora de la calidad con la leyenda "larga vida a la revolución". Se refería, por supuesto, a la innovación que estaba teniendo lugar en el mundo occidental para volver a recuperar nuestras industrias, que fueron tan golpeadas por la calidad japonesa. Lo hicimos entonces y

lo haremos otra vez en contra de China, Corea y de cualquier otro fiero competidor. Así que una vez más, hagamos nuestras y parafraseemos las palabras del Dr. Juran (y de los autores) “larga vida a la próxima revolución”.

Hay cuatro dimensiones para la integración exitosa del cambio previsto en la vida de una organización



Fase cinco: Sostener



CONCEPTOS BÁSICOS

1.1

CALIDAD. UN VISTAZO A LA HISTORIA

Dos ejemplos impresionantes ilustran cómo la calidad tiene un impacto tanto en los ingresos por ventas como en los costos.

Primero, una organización internacional que proclamaba tener un fuerte servicio al cliente rehusó aceptar pedidos de ventas con entregas de menos de 48 horas (aun cuando los competidores cumplían con la entrega de pedidos en 24 horas). Imagine los millones de dólares de ingresos por ventas perdidos cada año porque esta empresa no reconocía la necesidad de sus clientes.

Segundo, escuché al presidente de una compañía manufacturera de fundición especializada: “Este año nuestra chatarra y los costos de reprocesamiento fueron cinco veces lo que nuestras utilidades. Debido a esos costos, hemos tenido que aumentar nuestro precio de venta y, en consecuencia, hemos perdido participación en el mercado. La calidad ya no es un asunto técnico; es un asunto de negocios”.

¿Tiene esta empresa una reputación marginal por calidad en el mercado? No. Los clientes la clasifican como la que tiene la mejor calidad disponible. Pero la vieja propuesta de inspección ha fracasado, y la compañía se ha embarcado en un nuevo enfoque.

Nuestros antepasados sabían —como nosotros sabemos— que la calidad es importante. La metrología, las especificaciones, la inspección... todo se remonta a muchos siglos atrás.

Luego llegó el siglo xx. El ritmo se aceleró con una larga procesión de “nuevas” actividades e ideas lanzadas bajo una desconcertante colección de nombres: control de calidad, planificación de calidad, mejora continua de calidad, prevención de defectos, control estadístico de procesos, ingeniería de confiabilidad, análisis de costos de calidad, cero defectos, control de calidad total, certificación de proveedores, círculos de calidad, auditoría de calidad, aseguramiento de la calidad, despliegue de función de calidad, métodos de Taguchi, *benchmarking* competitivo, Six Sigma. Este libro comenta todos estos conceptos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, surgieron dos fuerzas principales que tuvieron un profundo impacto en la calidad.

La primera de ellas fue la revolución japonesa en calidad. Antes de la Segunda Guerra Mundial, muchos productos japoneses se percibían en todo el mundo como de mala calidad. Para ayudar a vender sus productos en los mercados internacionales, los japoneses llevaron a cabo algunas medidas revolucionarias para mejorar la calidad:

1. Los gerentes de alto nivel se hicieron cargo personalmente de liderar la revolución.
2. Todos los niveles y funciones recibieron capacitación en las disciplinas de calidad.
3. Los proyectos de mejora de calidad se llevaron a cabo en una base continua, a un ritmo revolucionario.

El éxito japonés ha sido casi legendario.

La segunda fuerza importante que afectó la calidad fue la relevancia de la calidad de los productos en la mente del público. Diversas tendencias convergieron para destacar esta importancia: casos de desventaja de productos; la preocupación por el medio ambiente; algunos desastres mayores y casi catástrofes; presión por parte de las organizaciones de consumidores y la conciencia del papel de la calidad en el comercio, las armas y otras áreas de competencia internacional. Este énfasis en la calidad se ha acentuado más por la creación de premios nacionales como el Premio Europeo de Calidad Baldrige y el Premio de Calidad Baldrige (véase Sección 2.8, “Evaluación de las actividades actuales de calidad”).

La calidad no está limitada al sector manufacturero. Sus conceptos se aplican a otros sectores tales como el cuidado de la salud, la educación, las organizaciones sin ánimo de lucro y los gobiernos. La calidad del producto no es el único enfoque. La calidad del servicio, la calidad del proceso y la calidad de la información ahora se miden, se controlan y se mejoran.

Durante el siglo xx surgió un conjunto importante de conocimientos para lograr la calidad superior. Muchos individuos contribuyeron a este conocimiento, y cinco apellidos merecen mención particular: Juran, Deming, Feigenbaum, Crosby e Ishikawa. La lectura complementaria de este capítulo facilita referencias básicas sobre cada uno de estos expertos.

J.M. Juran enfatiza la importancia de un enfoque equilibrado con el empleo de conceptos gerenciales, estadísticos y tecnológicos de calidad. Recomienda un esquema operativo de tres procesos de calidad: planeación, control y mejora de calidad. Los fundamentos de este libro radican en el enfoque Juran. Este texto hace frecuentes referencias al *Manual de calidad* de Juran, quinta edición, al cual se citará como *JQH5*.

W. Edwards Deming también poseyó una amplia visión de la calidad, la cual inicialmente resumió en 14 puntos dirigidos a la administración de una organización. Estos 14 puntos se basan en un sistema de “profundo conocimiento” que tiene cuatro partes: el enfoque de sistemas; la comprensión de la variación estadística; la naturaleza y el alcance del conocimiento, y la psicología para entender el comportamiento humano.

A.V. Feigenbaum enfatiza el concepto de control de calidad total en todas las funciones de una organización. Tal concepto en realidad significa planeación y control. Insta a crear un sistema de calidad para proporcionar procedimientos técnicos y gerenciales que aseguren la satisfacción del cliente y un costo económico de calidad.

Philip Crosby define la calidad estrictamente como “el cumplimiento de los requerimientos” y pone énfasis en que el único estándar de desempeño es el de cero defectos. Sus actividades demostraron que todos los niveles de empleados pueden ser motivados para buscar la mejora, pero que la motivación no tendrá éxito a menos que se proporcionen herramientas a las personas que les muestren cómo mejorar.

Kaoru Ishikawa mostró a los japoneses cómo integrar las muchas herramientas de mejora de calidad, particularmente las más sencillas de análisis y resolución de problemas.

Los enfoques de estas autoridades tienen semejanzas, así como diferencias; particularmente en el énfasis relativo a los elementos gerenciales, estadísticos, tecnológicos y de comportamiento. Este libro extrae las contribuciones de éstos y otros expertos.

Juran (1995) proporciona una historia integral de la administración para la calidad en diferentes épocas de la historia (antigua, medieval, moderna), zonas geográficas, productos y sistemas políticos.

Las fuerzas mayores que afectan la administración para la calidad llevaron a un conjunto cambiante de condiciones de negocios.

1.2

CALIDAD. LAS CONDICIONES CAMBIANTES DE LOS NEGOCIOS

La importancia de la calidad de los productos en la mente del público ha dado como resultado que ésta llegue a ser una prioridad fundamental para la mayoría de las organizaciones. La identificación de la calidad como una preocupación crucial ha evolucionado a través de una serie de condiciones cambiantes de negocios. Éstas incluyen:

1. *Competencia.* En el pasado, una mayor calidad por lo general significaba un precio más alto. Actualmente, los clientes pueden obtener simultáneamente alta calidad y bajo precio. La calidad es ahora un “hecho dado”, es decir, los clientes suponen que recibirán una calidad adecuada. En el sector de servicios, la desregulación en zonas tales como las líneas aéreas y las empresas de servicio público crearon una competencia que antes no existía, y la calidad es una dimensión clave de esa competencia.
2. *La organización basada en los clientes.* El impacto de la calidad como una herramienta de competencia ha llevado a visualizar la calidad como satisfacción y lealtad del cliente, en lugar de cumplimiento con las especificaciones. En Estados Unidos, el crecimiento del sector de servicios (el cual actualmente emplea más del 70% de todos los trabajadores) con tanto contacto directo con el cliente, ha sido un impulsor del enfoque en aquél. También el concepto de “cliente” incluye ahora clientes externos e internos (véase sección 1.3).
3. *Mayores niveles de expectativas de los clientes.* Las mayores expectativas, engendradas por la competencia, toman muchas formas. Un ejemplo es la menor variabilidad alrededor del valor objetivo de la característica de un producto, aun cuando todo él cumpla con los límites de las especificaciones. Otra forma de mayores expectativas es la mejora de la calidad del servicio antes y después de la venta.
4. *Mejora del desempeño.* Calidad, tiempos de ciclo, costo y rentabilidad han llegado a ser interdependientes. Muchas organizaciones hablan ahora de “mejora del desempeño” o de “excelencia en los negocios” más que de calidad.
5. *Cambios en las formas de la organización.* La mayoría de las organizaciones ya no intentan ser completamente autosuficientes con capas de administración para las diferentes actividades funcionales. Lo que ha surgido son conceptos como asociación con otras organizaciones, *outsourcing* de funciones completas, administración de procesos y diversos tipos de equipos permanentes y temporales, y todo esto con menos capas de administración.
6. *Fuerza laboral cambiante.* Estos cambios incluyen un mayor nivel de educación para algunas partes de la fuerza laboral, una fuerza laboral multilingüe y *downsizing* (reducción de personal).

7. *Revolución de la información.* Los parámetros clave de operación ahora son la mano de obra, las materias primas, el equipo, el capital... y la información. La relativa facilidad con la cual puede recopilarse y difundirse la información por toda una organización hace posible ahora actividades de planificación y control que eran impensables hace unas cuantas décadas. El acceso automatizado en tiempo real a la información de los negocios es ahora común. Internet y las intranets se han convertido en una forma de vida.
8. *Comercio electrónico.* Las organizaciones ahora usan Internet para muchas actividades: proporcionar a los clientes una riqueza de información; posibilitarles que hagan los pedidos de sus productos; recopilar información acerca de sus necesidades y comportamiento de compra; personalizar los productos basados en las necesidades de los clientes; conectar proveedores y distribuidores. El comercio electrónico aplica en las empresas y sus consumidores y también en el comercio entre compañías. El impacto en las actividades funcionales (mercadotecnia, compras, desarrollo de productos, operaciones y servicio al cliente) será dominante. La evolución de los temas que se refieren a la calidad incluye asegurar la calidad de las transacciones del comercio electrónico, medir la calidad de la información proporcionada a los clientes y recopilar y analizar la información acerca de las necesidades y problemas de los clientes.
9. *Papel del “departamento de calidad”.* En las décadas pasadas, muchas organizaciones (particularmente en el sector manufacturero) tenían un departamento de calidad que desempeñaba diferentes papeles que implicaban la evaluación formal de los productos y la ayuda a los departamentos de línea en la planeación para la calidad. El énfasis reciente en la calidad y la enorme capacitación proporcionada dentro de una organización ha dado como resultado la transferencia de algunas actividades desde el personal del departamento de calidad a los departamentos de línea. La integración de la calidad en los departamentos de línea ha disminuido el tamaño del departamento de calidad (o incluso lo ha eliminado). Una realidad es que en algunas organizaciones la integración sólo significó hacerse ilusiones, y la reducción del departamento se hizo prematuramente; pero el proceso ha obligado a los departamentos de calidad a revisar los servicios que proporcionan a los clientes internos y externos.

Cada una de estas condiciones cambiantes de negocios debe ser perfectamente entendida si las organizaciones han de sobrevivir en los mercados competitivos mundiales. El papel de los estándares de calidad (como ISO 9000, TS-16949, FDA cGMPs) como un requisito previo para hacer negocios también está cambiando la forma en que las empresas perciben la calidad. Este libro trata de estas condiciones cambiantes y describe los enfoques necesarios para el futuro liderazgo de calidad.

Antes de examinar estos enfoques, tenemos que definir algunos términos.

1.3 DEFINICIÓN DE CALIDAD

El diccionario ofrece numerosas acepciones para la palabra *calidad*. Una breve definición de *calidad* es “satisfacción y lealtad del cliente”. “Adaptabilidad de uso” es un breve significado alternativo. Aunque una definición breve como ésta tiene un enfoque, debe desarrollarse más para que ofrezca una base para la acción.

La revelación del significado comienza con la definición de la palabra *cliente*. Un *cliente* es “cualquiera que se ve afectado por el servicio, el producto o el proceso”.

1. Los *clientes externos* incluyen a los usuarios finales (reales y potenciales) y también a los procesadores intermedios, así como a los minoristas. Otros clientes que no son compradores tienen alguna conexión con el producto, por ejemplo, los grupos regulativos gubernamentales, accionistas, proveedores, asociados, inversores, medios de comunicación y el público en general. Los clientes externos son claramente de importancia principal.
2. Los *clientes internos* incluyen otras divisiones de una empresa que reciben información o componentes para un ensamble, y también los departamentos o personas que se ofrecen productos entre sí. Así, cuando un departamento de compras recibe una especificación de otro de ingeniería para una adquisición, compras es un cliente interno de ingeniería. Cuando se proporciona la adquisición, entonces ingeniería es el cliente interno de compras. De forma parecida, en un banco, el departamento de nóminas y el de operaciones son clientes internos uno del otro.

A estos clientes internos y externos a veces se les llama “participantes interesados”.

Un producto es el resultado de cualquier proceso. Se pueden identificar tres categorías:

1. *Bienes*: por ejemplo, automóviles, tarjetas de circuitos, reactivos químicos.
2. *Software*: verbigracia, un programa de cómputo, un informe, una instrucción.
3. *Servicios*: por ejemplo, banca, seguros, transporte. Servicios también incluye las actividades de apoyo dentro de las empresas, por ejemplo, beneficios a los empleados, mantenimiento de las plantas, apoyo secretarial.

En todo este libro *producto* significa “bienes, software o servicios”.

TABLA 1.1
Dos dimensiones de la calidad

Industrias manufactureras	Industrias de servicios
Características	
Desempeño	Exactitud
Confiabilidad	Puntualidad
Durabilidad	Totalidad
Facilidad de uso	Amabilidad y cortesía
Capacidad de servicio	Anticipación a las necesidades de los clientes
Estética	Conocimiento del servidor
Disponibilidad de opciones y expansibilidad	Apariencia de las instalaciones y del personal
Reputación	Reputación
Ausencia de deficiencias	
Producto libre de defectos y errores en la entrega, durante el uso y el servicio	Servicio libre de errores durante las transacciones de servicio originales y futuras
Todos los procesos libres de líneas de retoques, redundancia y otros gastos	Todos los procesos libres de líneas de retoques, redundancia y otros gastos

La satisfacción y lealtad de los clientes se logran a través de dos dimensiones: las características y la ausencia de deficiencias. En la tabla 1.1 se muestran ejemplos de las categorías principales de estas dimensiones para las industrias manufacturera y de servicios. Se ven diferencias dramáticas dentro de las industrias manufactureras (ensambladoras frente a químicas) y dentro de las de servicios (restauranteras frente a bancarias). Cada organización debe identificar las dimensiones de calidad que son importantes para sus clientes.

Un examen más detallado de las dos dimensiones revela otras perspectivas:

1. Las *características* tienen un efecto importante en el *ingreso por ventas* (mediante participación de mercado, precios excelentes, etcétera). En muchas industrias, la población total de clientes externos puede dividirse por el nivel o “grado” de calidad deseado. Por eso, el espectro de los clientes lleva de una demanda de hoteles de lujo a una de hoteles económicos, y de una de refrigeradores con muchas características especiales a una de otros de capacidad básica de refrigeración. Las características se refieren a la *calidad del diseño*. Aumentar la calidad del diseño generalmente lleva a mayores costos.
2. La *ausencia de deficiencias* tiene un efecto importante en los *costos* mediante reducciones de las sobras, reprocesamiento, quejas y otros resultados de deficiencias. Las “deficiencias” están establecidas en diferentes unidades, por ejemplo, errores, defectos, fracasos, especificaciones anuladas. La ausencia de deficiencias se refiere a la *calidad de cumplimiento*. Aumentar esta última por lo general da como resultado menores costos. Además, un mayor cumplimiento significa menores quejas y, por lo tanto, una disminución del descontento de los clientes.

En la figura 1.1 se muestra cómo las características y la ausencia de deficiencias se interrelacionan y llevan a mayores beneficios.

Resumiendo, la calidad es definida por el cliente. Las características y la ausencia de deficiencias son los principales determinantes de la satisfacción. Por ejemplo, un cliente externo de un automóvil desea ciertas características de desempeño junto con un registro de pocos defectos y fallas. El departamento de manufactura, como cliente interno del de desarrollo de productos, quiere una especificación de ingeniería que se pueda producir en la tienda y que esté libre de errores u omisiones. Estos dos clientes buscan el “derecho a producir bien”. Los proyectos de diseño acrecientan las características,

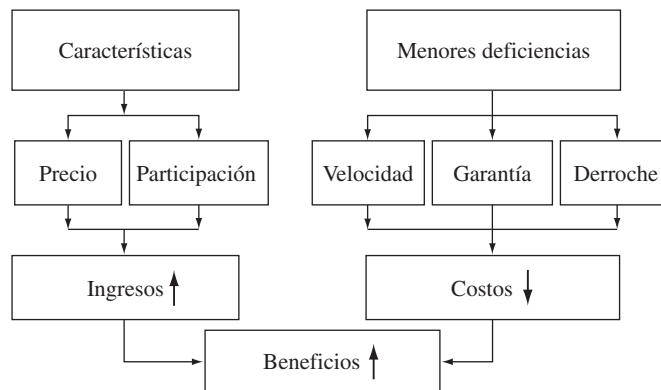


FIGURA 1.1

Calidad, participación de mercado y rendimiento sobre la inversión.

(De Juran Institute, Inc., 1990.)

y los proyectos de mejora reducen las deficiencias. Se utilizan diferentes técnicas para cada uno. Por ejemplo, el Diseño para Six Sigma (DMADV, por sus siglas en inglés) y el enfoque de ingeniería sirven para mejorar las características, mientras que el Procesamiento de Mejoramiento Six Sigma (DMAIC, por sus siglas en inglés) y la manufactura esbelta (*lean*) se emplean para disminuir las deficiencias. La calidad como se usa aquí no está limitada sólo a la métrica del desempeño de la calidad. Además de la métrica basada en esta última, las dimensiones de tiempo y de costos de desempeño también son importantes para las características y las deficiencias. Por ejemplo, los clientes pueden demandar servicio preciso y sensible, disponible las 24 horas del día, los siete días de la semana, los 365 días del año.

Finalmente, apuntemos que los expertos en calidad ofrecen diferentes definiciones taquigráficas sobre ésta: “adaptabilidad de uso” (Juran), “cumplimiento de las especificaciones” (Crosby), “pérdida para la sociedad” (Taguchi), “grado predecible de uniformidad” (Deming). Estas acepciones son complementarias y ofrecen un significado operativo en las diferentes fases de las actividades de calidad. Para el registro, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés) define calidad como “la totalidad de características de una entidad que se relacionan con su capacidad para satisfacer las necesidades establecidas y las implícitas”.

1.4 LA FUNCIÓN DE CALIDAD

Lograr la calidad requiere de una amplia variedad de actividades identificables o de tareas de calidad. Ejemplos obvios son el estudio de las necesidades de calidad de los clientes, la revisión de diseños, las pruebas de producto y el análisis de quejas en campo. En una empresa diminuta, todas estas tareas (a veces llamadas elementos de trabajo) pueden ser desempeñadas por unas pocas personas. Sin embargo, cuando la compañía crece, las tareas específicas pueden llegar a consumir tanto tiempo que se deben crear departamentos especializados para desempeñarlas. Las corporaciones han creado departamentos como los de diseño de producto, operaciones y servicio al cliente, que son esenciales

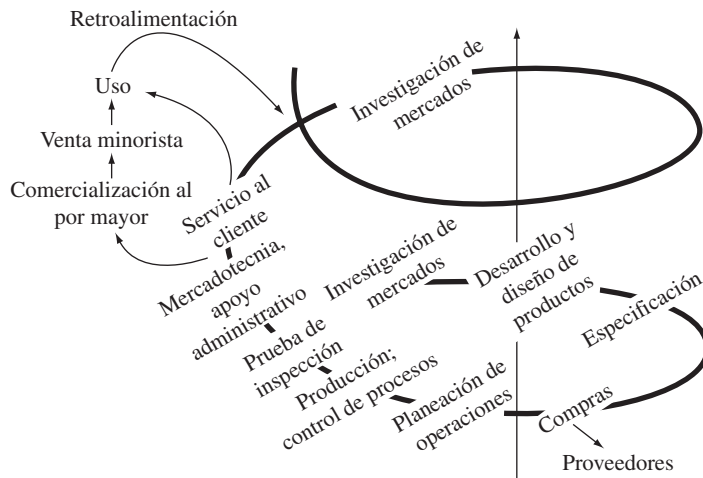


FIGURA 1.2
Espiral de progreso en la calidad

para lanzar cualquier producto nuevo o modificado. Estas funciones siguen una secuencia de eventos relativamente invariables (véase la espiral de la figura 1.2). Además de las principales actividades de “línea” en la espiral, se necesitan muchas actividades administrativas y de apoyo como finanzas, recursos humanos y tecnología de información.

La espiral muestra que se deben desempeñar muchas actividades y tareas para lograr la satisfacción y lealtad de los clientes. Algunas de éstas se desempeñan dentro de las empresas de servicio o manufactureras. Otras son realizadas en cualquier otro sitio por proveedores, comercializadores, reguladores, etcétera. Un nombre taquigráfico conveniente para esta colección de actividades es “función de calidad”. La función de calidad es todo el conjunto de actividades mediante las cuales se logran la satisfacción y la lealtad de los clientes, sin importar dónde se realicen esas acciones.

Algunos profesionales consideran la espiral o la función de calidad como un sistema, es decir, una red de actividades o subsistemas. Algunos de estos subsistemas corresponden a segmentos de la espiral. Otros, aunque no se muestran en la espiral, están, sin embargo, presentes y activas; por ejemplo, procesamiento de datos, estandarización. Estos subsistemas, cuando se hallan bien diseñados y coordinados, llegan a convertirse en un sistema unificado que lleva a cabo los objetivos de calidad previstos.

El alcance tradicional de las actividades de calidad experimenta un cambio radical y excitante desde el énfasis histórico en la calidad de los productos físicos de las industrias manufactureras (“pequeña C”) hasta lo que ahora surge como la aplicación de los conceptos de calidad para todos los productos, actividades funcionales e industrias (“gran C”). La tabla 1.2 resume este cambio de alcance.

Por eso los conceptos de calidad ahora se están aplicando a la entrada de pedidos, la administración de inventarios, los recursos humanos y el desarrollo de nuevos productos. Incluso se han escrito dos libros que aplican los conceptos de calidad a las actividades personales, tanto en el trabajo como fuera de él (véase Roberts y Sergesketter, 1993; y Forsha, 1992).

Bajo este concepto ampliado, todos los puestos engloban tres papeles para el trabajador: el cliente que recibe los factores de información y bienes físicos, el procesador que convierte esos factores en productos (resultados) y el proveedor que entrega los productos resultantes a los clientes. A este concepto se le llama el concepto del triple papel. Así, un departamento de desarrollo de productos tiene tres papeles: como cliente interno del departamento de mercadotecnia, el de desarrollo de producto recibe información de las necesidades del cliente; como procesador, desarrollo de productos crea diseños para nuevos productos; y como proveedor, abastece las especificaciones al departamento de operaciones para crear los nuevos productos. La figura 1.3 muestra cómo la organización Paradyne identifica las acciones que se van a llevar a cabo en cada papel para proseguir con la mejora continua.

TABLA 1.2
Pequeña C y gran C

Tema	Contenido de la pequeña C	Contenido de la gran C
Productos	Bienes manufacturados	Todos los productos, bienes y servicios, sean o no para la venta
Procesos	Procesos directamente relacionados con la manufactura de bienes	Todos los procesos, apoyo a manufactura, negocios, etcétera
Industrias	Manufactura	Todas las industrias, manufactura, servicios, gobierno, etcétera, para conseguir o no beneficios

Vivir nuestros valores de Mejora Continua

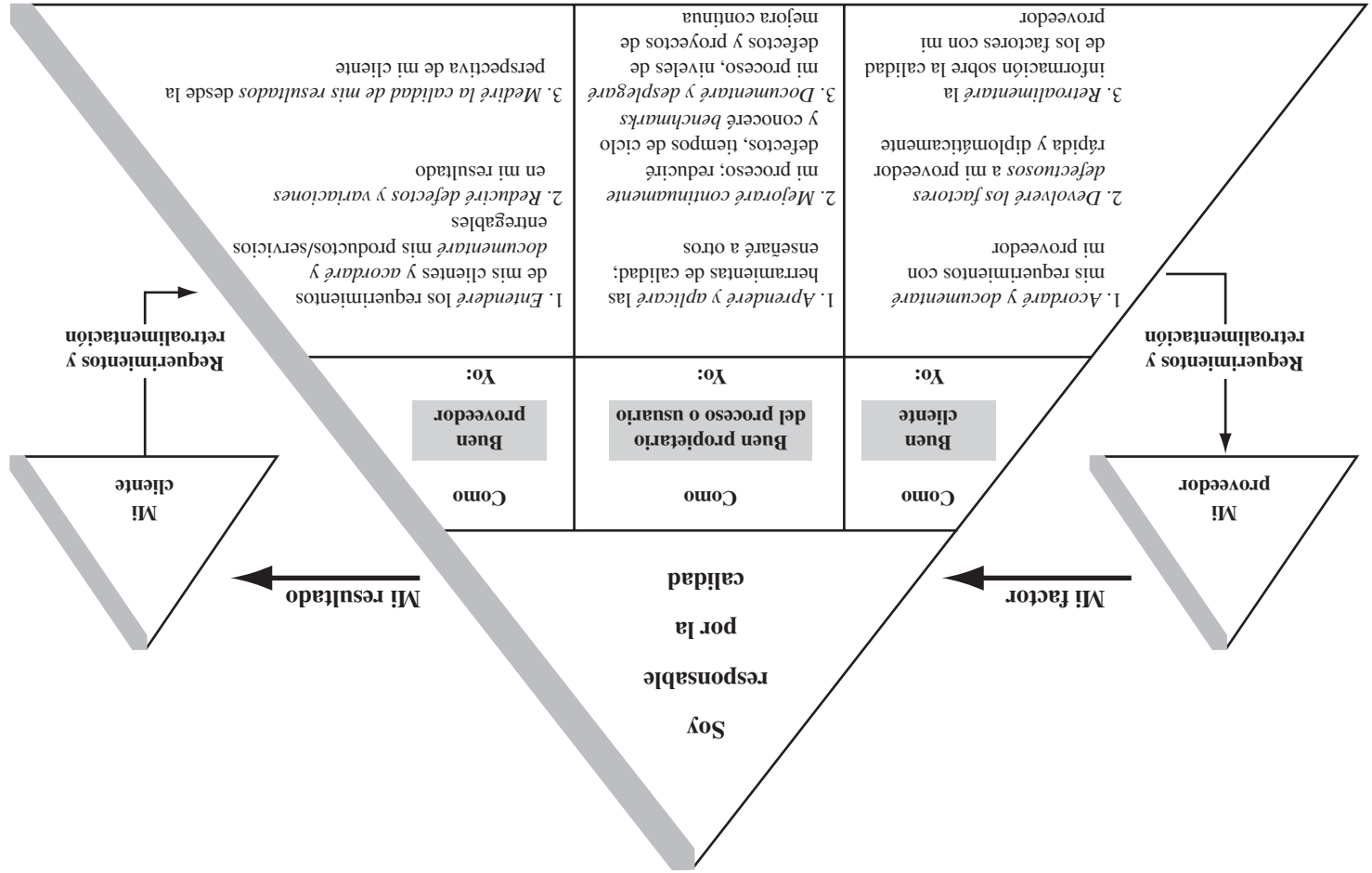


FIGURA 1.3
Concepto del triple papel. Prácticas de mejora continua. (Del Equipo de Liderazgo de Mejora Continua de la Paradyme Corporation.)

1.5

RELACIONES: CALIDAD, PRODUCTIVIDAD, COSTOS, TIEMPOS DE CICLO Y VALOR

Un énfasis en la calidad, ¿tiene un impacto positivo o negativo en la productividad, los costos, los tiempos de ciclo y el valor? La respuesta fácil es “positivo”, pero la realidad es que, aunque estos parámetros deberían ser mutuamente compatibles, pueden ser fuerzas de gran ayuda o contrarias.

Calidad y productividad

La productividad es el cociente de producto vendible dividido entre los recursos utilizados. Los recursos incluyen mano de obra, materia prima y capital. Cualquiera de éstos (o el total) puede ser el denominador en la razón de productividad. McCracken y Kaynak (1996) comentan definiciones alternativas de productividad y sus relaciones con la calidad (una conclusión clave: cuando la calidad aumenta, la productividad aumenta).

Una medida común de productividad es la productividad de mano de obra, por ejemplo, número de unidades vendibles por hora de mano de obra directa. Cuando la calidad mejora al identificar y eliminar las causas de los errores y del reprocesamiento, queda disponible un resultado más utilizable por la misma cantidad de factor de mano de obra. Por eso, la mejora en la calidad resulta directamente en un aumento de la productividad. Esta última es ahora un asunto clave en las decisiones de política económica nacional y, de esta manera, la definición y la medida de productividad son importantes para cualquier país. Para una discusión de cinco vínculos entre economía nacional y calidad de productos, véase Brust y Gryna (1997).

Calidad y costos

Cuando la calidad del diseño (características) aumenta, por lo general los costos también. Cuando la calidad del cumplimiento aumenta, la reducción en reprocesamiento, quejas, desechos y otras deficiencias da como resultado una importante disminución de los costos. Una estrategia ideal exige usar los ahorros de dicha reducción de deficiencias para pagar cualquier aumento de las características sin aumentar el precio de venta, lo que redundará en una mayor satisfacción del cliente y en un aumento de los ingresos por ventas. Muchas empresas ejemplares están siguiendo discretamente esta estrategia.

Calidad y tiempos de ciclo

Tanto en el sector manufacturero como en el de servicios, el tiempo de ciclo para completar las actividades requeridas por los clientes es ahora un parámetro clave. En las industrias de servicio, los clientes consideran el tiempo de ciclo para ofrecer una transacción como un parámetro de calidad. Ellos simplemente demandan una respuesta rápida. Así, cuando un esfuerzo de mejora de calidad reduce el reprocesamiento, las operaciones redundantes y otras deficiencias, ocurre simultáneamente una reducción en el tiempo de ciclo.

Calidad y valor

El valor es la calidad dividida entre el precio. La realidad es que los clientes no separan la calidad del precio; consideran ambos parámetros simultáneamente. Las mejoras en la calidad que se pueden ofrecer a los clientes sin un aumento en el precio resultan en un mejor “valor”. Como los clientes comparan fuentes de suministro, las organizaciones deben evaluar el valor que proporcionan en relación con la competencia. La publicidad ha trivializado la palabra *valor*, pero el concepto en sí mismo es acertado porque valor es lo que los clientes demandan.

La calidad, la productividad, los costos, el tiempo de ciclo y el valor están interrelacionados. Las actividades de calidad deben intentar detectar los problemas de calidad lo suficientemente pronto como para permitir la acción sin requerir un compromiso en el costo, el horario o la calidad. El énfasis debe estar en la prevención más que sólo en la corrección de los problemas de calidad. Mejorar la calidad puede ser la fuerza impulsora para acrecentar los resultados de otros parámetros. En un problema del final del capítulo, se pide a los lectores que calculen los beneficios con los que un programa de mejora de calidad contribuye al ahorro de costos, al cumplimiento de calendario y a la productividad.

Las empresas que tienen alta calidad de productos por lo general logran un desempeño financiero mayor. Por ejemplo, los galardonados con el Premio de Calidad Baldrige (véase sección 2.9) superaron el índice bursátil Standard and Poor's 500 por 2.5 a 1.0 (Hertz, 1998). Hardie (1998) resume los hallazgos de 43 estudios de calidad y desempeño de negocios.

1.6 ADMINISTRAR PARA LA CALIDAD

Administrar para la calidad es el proceso de identificar y manejar las actividades necesarias para lograr los objetivos impulsados por los clientes de una organización. Una forma útil de introducir el concepto de administración de calidad es relacionarlo con otro concepto de administración bien conocido, es decir, la administración financiera.

La administración financiera se logra por el uso de tres procesos gerenciales: planeación, control y mejora. Algunos elementos clave de estos tres procesos se muestran en la tabla 1.3. Los mismos tres procesos se aplican a la calidad. Los tres procesos financieros proporcionan un enfoque metódico para tratar las finanzas, mientras los tres procesos de calidad se ocupan de esta última. De particular importancia es que los tres procesos de calidad puedan definirse aún más en una secuencia universal de actividades. La tabla 1.4 resume estas secuencias. Los últimos capítulos desarrollan más detalles de estos “mapas de carreteras”.

TABLA 1.3
Procesos financieros

Proceso	Algunos elementos
Planeación financiera	Preparación del presupuesto
Control financiero	Medida de gastos
Mejora financiera	Reducción de costos

Los tres procesos de la Trilogía de Juran están interrelacionados. La figura 1.4 muestra la interrelación aplicada a uno de los dos componentes de la definición de calidad: la ausencia de deficiencias. Esta figura es de importancia extraordinaria. Por ejemplo, es de destacar la distinción gráfica entre el problema *esporádico* ruidoso y el gasto *crónico* silencioso. El problema esporádico se detecta y trata mediante el proceso de *control*. El problema crónico requiere un proceso diferente, llamado *mejora*. El Dr. Joseph M. Juran llama a esta última, mejora de cambio radical. Las palabras

TABLA 1.4
Procesos universales para administrar la calidad

Planeación	Control	Mejora
Establecimiento del proyecto	Elección de asuntos de control	Prueba de la necesidad
Identificación de los clientes	Establecimiento de medidas	Identificación de proyectos
Descubrimiento de las necesidades de los clientes	Establecimiento de estándares de desempeño	Organización de equipos de proyectos
Desarrollo de producto	Medida del desempeño real	Diagnóstico de las causas
Desarrollo de proceso	Comparación con los estándares	Ofrecimiento de remedios y comprobación de que éstos sean efectivos
Desarrollo de controles de procesos, transferencia a operaciones	Desarrollo de acciones sobre la diferencia	Negociaciones con la resistencia a cambiar Control para mantener los logros

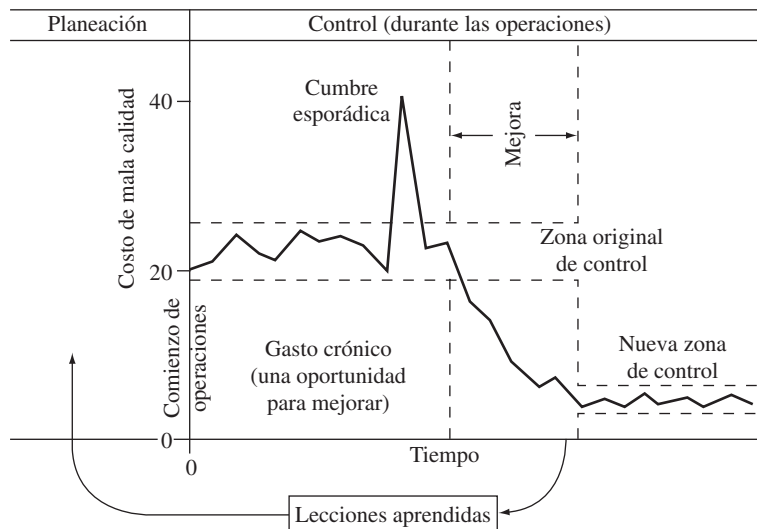


FIGURA 1.4
El diagrama de la Trilogía de Juran. (De Juran, 1986.)

claves son “cambio radical”, por lo que el Dr. Juran las definió en su libro de 1964, *Managerial Breakthrough* (Juran, 1964), describiéndolas como un medio para lograr un cambio en el desempeño de negocios a partir del desempeño histórico. Esta transformación no ocurre sola, requiere un “proceso de cambio sistemático” centrado en un enfoque de proyecto por proyecto para lograr cambios radicales. DeFeo y Barnard (2003) identifican seis tipos de cambios radicales (liderazgo, organización, desempeño actual, administración, adaptabilidad y cultura) como requisitos previos para lograr y sostener las mejoras en el desempeño de negocios. Dichos problemas crónicos son fáciles de encontrar en un proceso de *planeación* inadecuado. Estos conceptos se desarrollarán con más detalle en posteriores capítulos.

La experiencia ganada a partir de las actividades de mejora proporciona retroalimentación (“lecciones aprendidas”) para las actividades de replaneación.

El proceso de planeación es realmente planeación operativa dirigida a la planeación de productos y procesos. Esta actividad contrasta con la planeación estratégica, que establece objetivos de largo plazo y el enfoque para cumplir con tales metas. En el contexto de la Trilogía de Juran, el Diseño para Seis Sigma (DMADV) y otras metodologías de diseño son para planeación, mientras que Six Sigma DMAIC, manufactura esbelta y metodologías de este tipo son para mejora. Los conceptos de manufactura esbelta pueden aplicarse también en los esfuerzos de diseño o planeación. En cualquier caso, es necesario el control, independientemente de elegir entre la conclusión de planear o mejorar. Esto es evidente en el diagrama de la Trilogía de Juran de la figura 1.4. Chua (2001) proporciona una introducción a Six Sigma en términos de la mejora del cambio radical en relación con la Trilogía de Juran y el costo de la mala calidad. Chua y Janssen (2001) ofrecen una buena visión general de Six Sigma y de su impacto en los resultados de balance. DeFeo (2002) discute el costo de la mala calidad y proporciona un enfoque paso a paso para estimar y analizar el costo de la mala calidad en una empresa. Yun y Chua (2002) destacan el éxito de Samsung Electronics Company al desplegar Six Sigma en todas sus unidades de negocio alrededor del mundo.

Para que la trilogía de los procesos sea una estructura exitosa en el logro de objetivos de calidad, los procesos deben ocurrir en un ambiente de liderazgo inspirador donde las prácticas apoyen fuertemente la calidad. Sin dicha “cultura” de calidad, la trilogía de los procesos no puede ser completamente efectiva. Estos elementos tienen un impacto en las personas de todos los niveles. Una vez más, los siguientes capítulos ofrecen explicaciones adicionales.

1.7

DISCIPLINAS DE CALIDAD Y OTRAS DISCIPLINAS

Este libro discute los conceptos, técnicas y herramientas esenciales para la competencia moderna en calidad. *Disciplinas de calidad* es el término usado para denotar el conjunto de conocimientos relacionados con la calidad. Originalmente, este conocimiento fue aplicado a la calidad de los procesos de manufactura para bienes físicos (pequeña C). Como el alcance de las actividades de calidad se ha ampliado a todos los procesos (y a los clientes internos y externos) el conocimiento de otras disciplinas ha sido útil. Las contribuciones de aquéllas a veces son únicas y otras coinciden parcialmente con las disciplinas de calidad. En la tabla 1.5 se muestra un resumen de las contribuciones de otras disciplinas. Las personas preocupadas por la administración de calidad deben procurar las contribuciones de todas las disciplinas. Las aplicaciones potenciales están identificadas por todo el libro.

1.8

PERSPECTIVAS EN LA CALIDAD. INTERNA FRENTE A EXTERNA

Como anticipo del resto de este libro, la tabla 1.6 muestra dos perspectivas sobre la calidad: el punto de vista convencional interno (seguido todavía por muchas organizaciones) y el punto de vista moderno externo, que muchas otras organizaciones han encontrado obligatorias para sobrevivir. Siga atento para descubrir algunos aspectos obvios y otros más sutiles de los registros de esta tabla.

En la década de los ochenta, el énfasis en la satisfacción y lealtad de los clientes, la aplicación de conceptos de calidad más allá de la manufactura para el sector servicios y el sector público, así como la participación de todos los empleados, dieron surgimiento a un nuevo título: administración de calidad total (TQM, por sus siglas en inglés). La TQM es el sistema de conceptos gerencial, estadístico y tecnológico para lograr los objetivos de calidad por toda una organización. Ese sistema se explicará a lo largo de esta obra. Aunque puede aparecer con diversos nombres, los autores creen que Calidad Empresarial es un nombre más apropiado y descriptivo.

TABLA 1.5
Contribuciones de diferentes disciplinas

Disciplina	Ejemplo de contribución
Finanzas	Medición del costo de mala calidad
Ingeniería industrial	Diseño de sistemas integrados, medida, resolución de problemas, análisis de trabajo
Tecnología de la información	Medida, análisis y reporte de calidad
Investigación de mercados	Nivel competitivo de calidad; entendimiento de los deseos de los clientes
Administración de operaciones	Administración de sistemas integrados
Investigación de operaciones	Análisis de alternativas de diseños de productos para optimización
Comportamiento organizacional	Entendimiento de la cultura de calidad; desarrollo de equipos efectivos
Efectividad organizacional	Cumplimiento de las necesidades de los clientes internos y externos
Planeación estratégica	Calidad como un medio para lograr una ventaja competitiva única
Ingeniería de sistemas	Traducción de las necesidades de los clientes en características de productos y de procesos
Ingeniería de valor	Análisis de las funciones esenciales necesarias para los clientes

TABLA 1.6
Dos puntos de vista de la calidad

Punto de vista interno	Punto de vista centrado en el cliente
Comparación del producto con la especificación	Comparación del producto con la competencia y con el mejor
Inspección del producto aceptado	Ofrecimiento de cumplimiento por vida del producto
Prevención de defectos de planta y campo	Cumplimiento de las necesidades de los clientes en bienes y servicios
Enfoque en la manufactura	Cobertura de todas las funciones
Uso de medidas internas de calidad	Uso de medidas de calidad basadas en los clientes
Visualización de la calidad como un asunto técnico	Visualización de la calidad como un asunto de negocios
Esfuerzos coordinados por el gerente de calidad	Esfuerzos dirigidos por una gerencia superior

Fuente: Juran Institute, Inc. (1990).

Un nuevo enfoque sobre la calidad con un nombre especial (por ejemplo, 5S, ACT) inicialmente llama la atención. Inevitablemente, los entusiastas del nuevo enfoque prometen más beneficios que los actuales, lo que da por resultado una “calidad” que no cumple con las expectativas. Aún más, surgen otros enfoques como competidores, por ejemplo, reingeniería, mejora de desempeño, six sigma.

Los problemas relacionados con la calidad siempre estarán presentes, pues los productos y servicios no tienen las características que cumplen con las necesidades de los clientes y poseen errores y defectos. Estos asuntos de calidad deben ser tratados.

Se insta entonces a los lectores a aprender acerca de todos los enfoques para la calidad, elegir las mejores ideas y luego personalizar el esquema de sus propias organizaciones.

Este libro se organiza en cuatro partes:

Parte I: Principios básicos.

Parte II: Conceptos gerenciales.

Parte III: Aplicaciones funcionales.

Parte IV: Técnicas estadísticas.

RESUMEN

- La calidad es la satisfacción y lealtad del cliente.
- La calidad tiene dos componentes: las características del producto y la ausencia de deficiencias.
- Las características del producto afectan el ingreso por las ventas.
- La ausencia de deficiencias afecta los costos.
- El logro de la calidad requiere actividades en todas las funciones de la organización.
- Las actividades tradicionales para calidad se han concentrado en la manufactura (“pequeña C”); las actividades modernas de calidad incluyen todas las actividades (“gran C”).
- Todos los trabajos tienen tres papeles: cliente, procesador, proveedor.
- Se pueden identificar tres procesos de calidad: planeación, control, mejora. Cada proceso tiene una lista de pasos definida.
- Los problemas esporádicos y crónicos de calidad requieren diferentes enfoques.
- Calidad, costos y horarios pueden ser mutuamente compatibles.
- La administración de calidad se traza sobre el conocimiento de muchas otras disciplinas.
- Los puntos de vista internos y externos de la calidad son esenciales.

PROBLEMAS

Nota: Para los instructores que usan este libro como un texto asignado se encuentra disponible un manual.

- 1.1. Para la satisfacción del cliente, el software de cómputo no sólo tiene que estar libre de errores o “virus”, sino también debe poseer las características necesarias del producto. Enumere algunas características importantes de un paquete de software de procesamiento de palabras.
- 1.2. La *calidad* ha sido definida como la “satisfacción y lealtad del cliente” (o “adaptabilidad de uso”). La *calidad* también puede definirse como “cumplimiento de las especificaciones”. En teoría, crear las

especificaciones propias y luego fabricar el producto que cumple con esas especificaciones debería llevar a la satisfacción del cliente. Desgraciadamente, la vida no es así de simple. Considere estas cuatro situaciones para un producto:

- Cumple con las especificaciones; es competitivo en adaptabilidad.
- Cumple con las especificaciones; no es competitivo en adaptabilidad.
- No cumple con las especificaciones; es competitivo en adaptabilidad.
- No cumple con las especificaciones; no es competitivo en adaptabilidad.

De estas cuatro situaciones, ¿cuáles dos no son teóricamente plausibles, pero en la práctica ocurren (y producen gran confusión y preocupación)? ¿Puede citar algunos ejemplos?

- 1.3. Seleccione un departamento funcional de una organización de manufactura o servicios, como el departamento de desarrollo de productos.
 - a) Para el departamento seleccionado liste dos clientes internos. Por ejemplo, el departamento de producción es un probable cliente interno del departamento de desarrollo de productos.
 - b) Para cada cliente interno, describa en una oración, un requerimiento probable de ese cliente que el departamento proveedor deba cumplir.
 - c) Proponga una forma de medición que pueda ser usada para cuantificar qué tan bien se está cumpliendo el requerimiento.

- 1.4. Por cada 100 unidades de producto fabricado, un determinado proceso arroja 85 unidades que cumplen las especificaciones, cinco que deberán ser desechadas y 10 que tendrán que reprocesarse. Cada unidad desechada provoca una pérdida de \$50; cada unidad reprocesada requiere media hora más de tiempo de procesamiento. El tiempo para producir las 100 unidades originales es de 20 horas.
 - a) Calcule los costos de desechar, el tiempo de reprocesamiento y la productividad por hora. La productividad deberá calcularse en términos de unidades que cumplan las especificaciones por hora de ingreso de suministros.
 - b) Recientemente se introdujo con éxito un programa de mejora de calidad. Por cada 100 unidades producidas, el proceso arroja ahora 95 unidades que cumplen con las especificaciones, una que debe ser desechada y cuatro reprocesadas. Repita los cálculos del párrafo a). ¿Cuáles son los beneficios cuantitativos del esfuerzo de calidad en los costos del programa de entrega y en la productividad?

- 1.5. Basado en su experiencia, identifique tres ejemplos de deficiencias crónicas o esporádicas que hayan resultado de un mal esfuerzo de trabajo o de la mala planeación de calidad.

REFERENCIAS

- Brust, P.J. y F.M. Gryna (1997). *Product Quality and Macroeconomics – Five Links*. Reporte Núm. 904, College of Business Research Paper Series (Serie de publicaciones de la Facultad de Investigación en Negocios), Universidad de Tampa, Tampa, FL.
- Chua, R.C. (2001). “What You Need To Know About Six Sigma”, *Productivity Digest*, diciembre, pp. 37-44.
- Chua, R.C. y A. Janssen (2000). “Six Sigma – A Pursuit of Bottom-Line Results”, *European Quality* 8(3), pp. 12-15.
- DeFeo, J.A. y W. Barnard (2004). *Juran’s Six Sigma Breakthrough and Beyond*, McGraw-Hill, Nueva York.
- DeFeo, J.A. (2001). “Tip of the Iceberg”, *Quality Progress*, mayo, pp. 29-37.
- Forsha, H.I. (1992). *The Pursuit of Quality through Change*, Quality Press, Sociedad Estadounidense para la Calidad, Milwaukee.

- Hardie, N. (1998). "The Effects of Quality on Business Performance", *Quality Management Journal*, vol. 5, núm. 3, pp. 65-83.
- Hertz, H. (1998). "Lessons Learned from the First Decade of the Baldrige Award Program", Florida Sterling Quality Conference, Orlando, FL.
- Juran, J.M., ed. (1995). *A History of Managing for Quality*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- McCracken, M.J. y H. Kaynak (1996). "An Empirical Investigation of the Relationship between Quality and Productivity", *Quality Management Journal*, vol. 3, núm. 2, pp. 36-51.
- Roberts, H.V. y B.F. Sergesketter (1993). *Quality is Personal*, Free Press, Nueva York.
- Yun, J.Y. y R.C. Chua (2002). "Samsung Uses Six Sigma to Change Its Image", *Six Sigma Forum*, Sociedad Estadounidense para la Calidad, nov., Milwaukee, pp. 13-16.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Enfoques de varios expertos: Lowe, T.A. y J.M. Mazzeo (1988). "Lessons Learned from the Masters-Experiences in Applying the Principles of Deming, Juran, and Crosby", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 397-402.
- Juran, J.M. y A.B. Godfrey, eds. (1999). *Juran's Handbook of Quality*, 5a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Deming, W.E. (1986). *Out of the Crisis*, MIT Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA.
- Freigenbaum, A.V. (1991). *Total Quality Control*, 3a. ed. revisada, McGraw-Hill, Nueva York.
- Crosby, P. (1979). *Quality Is Free*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Ishikawa, K. (1985). *What Is Total Quality Control?*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- El futuro de la calidad: "21 Voices for the 21st Century", *Quality Progress*, enero de 2000, pp. 31-39. "Charting A Course for the New Century", *Quality Progress*, diciembre de 1999, pp. 27-47, tres publicaciones que discuten el futuro.
- Calidad y otras disciplinas: Brickley, J.A., C.W. Smith Jr. y J.L. Zimmerman (1997). "Managerial Economics and Organizational Architecture", en *Total Quality Management and Reengineering*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Phillips-Donaldson, D. (2004). "100 Years of Juran", *Quality Progress*, 37(5), pp. 25-39.
- Hoyer, R.W. y B.B.Y. Hoyer (2001). "What is Quality?", *Quality Progress*, 34(7), pp. 52-62.
- Juran, J.M. (1995). *A History of Managing for Quality – The Evolution, Trends, and Future Directions of Managing for Quality*, ASQC Press, Milwaukee.
- Golomski, W.A. (1992). "Social Science Aspects of Quality". *Proceedings of Conference on Quality in the Year 2000*, Instituto Rochester de Tecnología, 10 de junio, Rochester, NY.
- Calidad y desempeño financiero: Dusseau, S.P. (1996). *An Analysis of the Relationship between Financial Performance and Total Quality Management Implementation*, tesis doctoral, UMI Dissertation Services, Ann Arbor, MI.
- Sandholm, L. (2000). *Total Quality Management*, 2a. ed., Studentlitteratur, Suiza.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas

- Colby, B.W. (2003). "Community 'Economic' Development: Creating Value in Building Community Capacity as Viable and Sustainable Futures", *Annual Quality Congress Proceedings*, 57: 377-382.

Resumen

- Información sobre desarrollo de calidad de la comunidad.

Citas	Resumen
Conti, T. (2004). "From Infancy to Maturity: Rethinking the Role of ISO 9000 Standards, TQM and Business Excellence Models", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> 58: 1-7.	Modelos de "estandarización" (ISO) de calidad contra modelos de "diferenciación" (mejora, etcétera).
Duffy, G. (2004) "ASQ's Community Good Works Initiative: A Program Overview", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> 58: 29-36.	Descripción del programa Community Good Works de la Sociedad Estadounidense de Calidad.
Duffy, G.L. (2003). "Quality in the Greater Community Leveraging Our Quality Tools", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 57:383-386.	Aplicación del conjunto de conocimientos acerca de la calidad a la comunidad.
Gantick, M.J. y M.M.R. Lipe (2002). "Successful Strategic Planning in Town Government", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> : 705-710.	Gobierno de la ciudad.
Hoyer, R.W. y B.B.Y. Hoyer (2001). "What is Quality?", <i>Quality Progress</i> 34(7):52-62.	Definiciones de calidad de ocho expertos en calidad.
Salegna, G. y F. Fazel (2000). "Obstacles to Implementing Quality", <i>Quality Progress</i> 33(7):53-57.	Argumenta que los problemas con la ACT yacen más en el proceso de implementación que en los modelos mismos.
Smith, G. F. (2000). "Too Many Types of Quality Problems", <i>Quality Progress</i> , 33(4):43-49.	Clasificación de los problemas de calidad en cinco tipos (cumplimiento, cumplimiento no estructurado, eficiencia, diseño de productos, diseño de procesos) para ayudar a reconocer las tareas de resolución de problemas y seleccionar las herramientas y técnicas apropiadas.
Voehl, F. (2004). "Community Good Works: Current and Future Success Stories", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> 58: 265-271.	Tres esfuerzos de mejora de la comunidad (salud cardiovascular, Alimentos sobre Ruedas).
Voehl, F. (2004). "Six Sigma Community Improvement Projects", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> 58:351-363.	Tres proyectos de Six Sigma relacionados con poblaciones "en riesgo" de Florida.
Voehl, F. y B.W. Colby (2002). "CQCC's Connected Community Project: The National Science Foundation Partners for Innovation Program", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 695-699.	Consejos de Calidad de la Comunidad, financiamientos de la NSF (Fundación Nacional de Ciencias, por sus siglas en inglés).
Warrack, B.J. (2004). "Participatory Legislative and Regulatory Reform: An example of Empowering Quality in Communities", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> 58:147-151.	Aplicación de los siete principios de Voehl sobre calidad comunitaria a la legislación de salud y seguridad de Manitoba.

SITIOS WEB

Sociedad Estadounidense para la Calidad: www.asq.org

Deming Electronic Network: <http://deming.eng.clemson.edu/pub/den/>

Juran Institute: www.juran.com

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD EN TODA LA EMPRESA

2.1 ¿POR QUÉ LA EVALUACIÓN?

En décadas recientes, el movimiento por la calidad ha sido bombardeado por una sucesión interminable de nuevas técnicas con promesas casi milagrosas. Algunas técnicas han tenido éxito; otras han fracasado. Con el fin de ayudar al desarrollo de una estrategia de calidad, una evaluación formal de la calidad proporciona una guía para la mejora, ya que nos señala (1) la envergadura de la cuestión de la calidad y (2) las áreas que demandan atención.

El enfoque de evaluación descrito en este capítulo ofrece los hechos que son esenciales para estimular a la gerencia superior para que actúe sobre la calidad (ésta es la razón por la cual la evaluación se presenta al principio de este libro). Esta información objetiva no sólo inspira acción inmediata acerca de la calidad, sino que también ofrece una base sólida para desarrollar estrategias de largo plazo para aquélla (véase capítulo 8, “Administración estratégica de calidad”).

Este libro emplea el término *evaluación de la calidad* para describir una revisión del estado de la calidad en toda la empresa.

La evaluación de la calidad comprende cuatro elementos:

1. Costo de la mala calidad.
2. Posición en el mercado.
3. Cultura de la calidad en la organización.
4. Operación del sistema de calidad empresarial.

Estos elementos constituyen un análisis del estatus de la calidad de una empresa en términos de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas (SWOT, por sus siglas en inglés) y llegan a ser una parte formal del análisis SWOT para las operaciones generales de una organización (véase capítulo 8 en el apartado “Elementos de la administración estratégica de la calidad”).

Se pueden añadir otros elementos según lo requieran las circunstancias. Por lo general, se garantiza una evaluación anual o bianual. Se puede realizar una evaluación para toda una organización o

para una división, una planta o, incluso, para un departamento. Para encontrar una discusión de los cuatro elementos de la evaluación de la calidad en la banca, véase D. Gryna y F. Gryna (1999).

Comenzaremos esta discusión evaluando el costo de la mala calidad.

2.2 COSTO DE UNA MALA CALIDAD

Durante la década de los años cincuenta, surgió el concepto de “costos de la calidad”. Las personas asignaban diferentes significados al término. Algunas consideraban que los costos de calidad eran idénticos a los costos de *lograr* la calidad; otras igualaban el término con los costos extras en los que se incurren debido a la mala calidad. Este libro se enfoca en el costo de la mala calidad porque este componente de la evaluación es importante al momento de reducir los costos y el descontento de los clientes.

El *costo de la mala calidad* es la pérdida anual monetaria de los productos y procesos que no logran sus objetivos de calidad. En DeFeo y Barnard (2003), el costo de la mala calidad (COPQ, por sus siglas en inglés) recibe, apropiadamente, el nuevo nombre de costo por los procesos de mal desempeño (o COP³, por sus siglas en inglés y que se lee como COP al cubo). Esto es para enfatizar el hecho de que el costo de la mala calidad no se limita sólo a ésta, sino que es esencialmente el costo del incumplimiento aunado al mal desempeño de los procesos.

Las empresas estiman el costo de la mala calidad por diferentes razones:

1. Cuantificar la envergadura del problema de la calidad en lenguaje monetario mejora la comunicación entre los mandos medios y los superiores. En algunas empresas, la necesidad de mejorar la comunicación en temas relacionados con la calidad se ha convertido en un objetivo principal al embarcarse en un estudio de los costos de la mala calidad. Algunos directores dicen: “No necesitamos perder el tiempo en traducir los defectos en dólares. Nos damos cuenta de que la calidad es importante, y ya sabemos cuáles son los problemas principales”. Pero, por lo general, cuando se realiza el estudio, estos directores se sorprenden por dos resultados. Primero, los costos por la calidad resultan ser mucho mayores de lo que habían pensado (en muchas industrias más del 20 por ciento de las ventas). Segundo, aunque la distribución de los costos de calidad confirma algunas de las áreas de problemas conocidas, también revela otras áreas problemáticas que no fueron reconocidas previamente.
2. Pueden identificarse las oportunidades principales para la reducción de costos. Los costos de la mala calidad no existen como una masa homogénea. En cambio, son el total de segmentos específicos, cada uno identificable con alguna causa concreta. Estos segmentos tienen diferente tamaño, y relativamente pocos de ellos cuentan para la mayoría de los costos. Una especialidad importante por producto de esta evaluación es la identificación de estos pocos segmentos vitales. Se cubrirá este tema en el capítulo 3 en el apartado “El principio de Pareto”.
3. Se pueden identificar las oportunidades para reducir el descontento de los clientes y las amenazas asociadas a la posibilidad de venta del producto. Algunos costos de mala calidad son el resultado de las fallas de los productos después de la venta. En parte, estos costos son pagados por el fabricante en la forma de gastos por garantía, reclamaciones, etcétera. Pero, tanto si los costos son pagados por el fabricante como si no, las fallas se añaden a los costos de los clientes, debido al periodo de inactividad de máquinas y mano de obra y a otras formas de alteraciones.

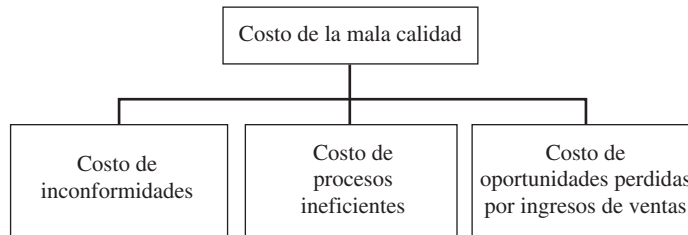


FIGURA 2.1
Costo de la mala calidad.

El análisis de los costos del fabricante, complementados por la investigación de mercado de los costos de la mala calidad entre los clientes, pueden identificar las pocas áreas vitales de altos costos. Luego, estas áreas llevan a la identificación de los problemas.

4. Medir este costo proporciona un medio de evaluación del progreso de las actividades de mejora de la calidad y descubre los obstáculos a las mejoras.
5. Conocer el costo de la mala calidad (y de los otros tres elementos de evaluación) lleva al desarrollo de un plan estratégico de calidad que sea consistente con la organización general de los objetivos.

En la figura 2.1 se muestran los componentes principales del costo de la mala calidad (los cuales aplican tanto a organizaciones manufactureras como de servicios). Observe que este esquema refleja no sólo el costo de las inconformidades (a veces llamadas “costos de calidad”) sino también las ineficiencias de los procesos y el impacto de la calidad en los ingresos por ventas. Estos tres rubros se incorporan debajo de las categorías de costos de la calidad. Cada organización debe decidir qué elementos del costo incluir en su costo de mala calidad.

2.3 CATEGORÍAS DE LOS COSTOS DE CALIDAD

Muchas organizaciones resumen los costos asociados con la calidad en cuatro categorías: fallas internas, fallas externas, evaluación y prevención. Estas categorías se tratan a continuación. Una referencia útil de definiciones, categorías y muchos otros aspectos se encuentra en Campanella (1999). Para un listado minucioso de los elementos dentro de estas cuatro categorías, véase Atkinson, Hamburg e Ittner (1994).

Colectivamente, las cuatro categorías a menudo reciben el nombre de “costo de calidad”. El costo de la mala calidad incluye las categorías de fallas internas y externas, mientras que las categorías de evaluación y prevención se consideran como inversiones para lograr los objetivos de calidad.

Costos de fallas internas

Los costos de fallas internas son los costos de las imperfecciones descubiertas antes de la entrega, que están asociadas con el fracaso de cumplir con los requisitos explícitos o con las necesidades implícitas de los clientes.

También se incluyen las pérdidas evitables de los procesos y las ineficiencias que ocurren incluso cuando se cumplen con los requisitos y las necesidades. Estos costos desaparecerían si no existieran las imperfecciones. Los costos de fallas internas consisten en (1) el precio de no cumplir con los requisitos y las necesidades de los clientes, y (2) el costo de los procesos ineficientes.

Fracaso al cumplir los requisitos y las necesidades de los clientes

Ejemplos de subcategorías son los costos asociados con lo siguiente:

Desperdicios. La mano de obra, el material y, usualmente, los gastos generales de un producto defectuoso que no pueden repararse económicamente. Los títulos son numerosos: desechos, despojos, defectuosos, etcétera.

Trabajos de reelaboración. Corregir los defectos en los productos físicos o los errores en los productos de servicios.

Información perdida o faltante. Recuperar una información que debería haberse suministrado.

Análisis de fallas. Analizar los bienes o servicios irregulares para determinar las causas.

Desperdicios y trabajos de reelaboración-proveedor. Desperdicios y trabajos de reelaboración debido a producto irregular entregado por los proveedores. Esta área también incluye los costos para el comprador de resolver los problemas de calidad del proveedor.

Inspección de clasificación al cien por ciento. Encontrar unidades defectuosas en lotes de productos que contienen niveles inaceptablemente altos de artículos defectuosos.

Repetición de la inspección y de las pruebas. Inspeccionar y probar una vez más los productos que han sufrido un reprocesamiento u otro tipo de revisión.

Procesos cambiantes. Modificar los procesos de manufactura o servicios para corregir las deficiencias.

Rediseño del hardware. Cambiar los diseños del hardware para corregir las deficiencias.

Rediseño del software. Cambiar los diseños del software para corregir las deficiencias.

Desechar los productos obsoletos. Eliminación de productos que han sido reemplazados.

Desecho en operaciones de apoyo. Artículos defectuosos en operaciones indirectas.

Trabajos de reelaboración en operaciones internas de apoyo. Corregir los artículos defectuosos en las operaciones indirectas.

Degradar. La diferencia entre el precio normal de ventas y el precio reducido debido a la mala calidad.

Costo de procesos ineficientes

Ejemplos de subcategorías son:

Variabilidad de las características del producto. Pérdidas que ocurren incluso con productos sin defectos (por ejemplo, sobrellenado de paquetes debido a la variabilidad del equipo de llenado y medida).

Tiempo de reposo no planeado del equipo. Pérdida de capacidad del equipo debido a fallas.

Disminución del inventario. Pérdida debida a la diferencia entre las cantidades reales y registradas en el inventario.

Variación de las características de los procesos a raíz de la “mejor práctica”. Las pérdidas debidas a los tiempos de ciclo y a los costos de los procesos comparadas con mejores prácticas que proporcionan el mismo resultado. El proceso de mejores prácticas puede ser interno o externo a la organización.

Actividades sin valor agregado. Las operaciones redundantes, las inspecciones de clasificación y otras actividades sin valor agregado. Una actividad de valor agregado aumenta la utilidad de un producto al cliente; una actividad sin valor agregado no lo hace. El concepto es similar a la idea de la década de los años cincuenta de ingeniería y análisis de valor.

Costos de fallas externas

Los costos de fallas externas están asociados con las imperfecciones que se encuentran después de que el cliente recibe el producto. También están incluidas las oportunidades perdidas de ingresos de ventas. Estos costos también desaparecerían si no hubiera deficiencias.

Falla al cumplir los requisitos y necesidades de los clientes

Ejemplos de subcategorías son:

Gastos de garantía. Los costos implicados al reemplazar o efectuar reparaciones a los productos que están todavía en periodo de garantía.

Ajustes por quejas. Los costos de investigación y ajuste de las reclamaciones justificadas atribuibles a productos o instalaciones defectuosas.

Material devuelto. Los costos asociados con la recepción y el reemplazo de los productos defectuosos enviados del campo.

Descuentos. Los costos de las concesiones hechas a los clientes debido a los productos de calidad inferior aceptados por él, o a los productos que no están mal fabricados pero que no cumplen con las necesidades de los clientes.

Sanciones debidas a la mala calidad. Esta categoría aplica a los bienes y servicios entregados y a los procesos internos, como el pago retrasado de una factura que da como resultado la pérdida del descuento ofrecido por pagar a tiempo.

Trabajos de reelaboración en operaciones de apoyo. Corregir los errores en la facturación y en otros procesos externos.

Pérdidas de ingresos en las operaciones de apoyo. Un ejemplo es el fracaso para recuperar las cuentas por pagar de algunos clientes.

Oportunidades perdidas por ingresos de ventas

Algunos ejemplos son:

Deserciones de clientes. Ganancias perdidas de los clientes potenciales a causa de la mala calidad.

Nuevos clientes perdidos a causa de la escasez de capacidad para cumplir las necesidades de los clientes. Ganancias perdidas por los ingresos potenciales a causa de los procesos inadecuados para cumplir las necesidades de los clientes.

Costos de evaluación

Se incurre en los costos de evaluación para determinar el grado de cumplimiento con los requisitos de la calidad. Algunos ejemplos son:

Inspección y prueba de entrantes. Determinar la calidad del producto comprado, bien sea por inspección en el momento de recibirlo, inspección en la fuente o por vigilancia.

Inspección y prueba en proceso. Evaluación durante el proceso del cumplimiento de los requisitos.

Inspección y prueba final. Evaluación de cumplimiento de los requisitos para la aceptación de productos.

Revisión de documentos. Examen del papeleo que se envía al cliente.

Saldo. Examen de diversas cuentas para asegurar la coherencia interna.

Auditorías de calidad de producto. Desempeñar auditorías de calidad en productos en proceso o terminados.

Mantenimiento de la precisión de los equipos de prueba. Mantener calibrados los instrumentos y el equipo de medición.

Materiales y servicios de inspección y prueba. Materiales y suministros en trabajos (por ejemplo, película de rayos X) y servicios (por ejemplo, energía eléctrica) de inspección y prueba, donde sea importante.

Evaluación de existencias. Probar los productos en almacén de campo o en existencias para evaluar la degradación.

Al recopilar los costos de evaluación, el factor decisivo es el tipo de trabajo hecho y no el nombre del departamento (el trabajo puede ser hecho por los químicos del laboratorio, los clasificadores del departamento de operaciones, verificadores en el departamento de inspección o por una empresa externa contratada para el propósito de la prueba). También observe que las industrias usan diversos términos para “evaluación”, por ejemplo, *comprobación, equilibrio, reconciliación, revisión.*

Costos de prevención

Se incurre en los costos de prevención para mantener al mínimo los costos de fallas y evaluación. Algunos ejemplos son:

Planeación de calidad. Esta categoría incluye una amplia selección de actividades que, de forma colectiva, crean el plan general de calidad y los numerosos planes especializados. Incluye también la preparación de los procedimientos necesarios para comunicar esos planes a todos los implicados.

Revisión de nuevos productos. Ingeniería de confiabilidad y otros servicios relacionados con la calidad asociados con el lanzamiento de un nuevo diseño.

Planeación de procesos. Estudios de capacidad de procesos, planeación de inspección y otras actividades asociadas con los procesos de manufactura y servicio.

Control de procesos. Inspección y prueba en proceso para determinar el estatus del proceso (más que para la aceptación del producto).

Auditorías de calidad. Evaluar la ejecución de las actividades en el plan general de calidad.

Evaluación de calidad de los proveedores. Evaluar las actividades de calidad de los proveedores antes de seleccionar a uno de ellos, auditar las actividades durante el contrato y llevar a cabo un esfuerzo asociado con los proveedores.

Capacitación. Preparar y dirigir programas de capacitación relacionados con la calidad. Como en el caso de los costos de evaluación, parte de este trabajo puede ser hecho por personal

que no está en la nómina del departamento de calidad. Una vez más, el criterio decisivo es el tipo de trabajo, no el nombre del departamento que desempeña tal labor.

Observe que los costos de prevención son costos de actividades especiales de planeación, revisión y análisis para la calidad. Los costos de prevención no incluyen actividades básicas como diseño de producto y de procesos, mantenimiento de procesos y servicio al cliente.

La recopilación de los costos de prevención es inicialmente importante porque destaca la pequeña inversión hecha actualmente (por lo general) en actividades de prevención, y sugiere el potencial para un incremento en los costos de prevención con el fin de reducir los costos por fallas. La dirección superior comprende inmediatamente este punto. Sin embargo, la continuación de las medidas de los costos de prevención puede, usualmente, excluirse para enfocarse en la oportunidad principal, es decir, los costos por fallas.

Uno de los asuntos a la hora de calcular el costo de la mala calidad es cómo manejar los gastos generales. Son comunes tres enfoques: incluir los gastos generales totales usando la mano de obra directa o alguna otra base, implicar solamente los gastos generales variables (el enfoque usual) o no incluir ningún gasto general. La asignación de los gastos generales tiene un impacto en el costo total de la mala calidad y en la distribución sobre varios departamentos. El cálculo de costos basado en las actividades (ABC, por sus siglas en inglés) puede ayudar a proporcionar una asignación realista de los gastos generales. El ABC es un método de contabilidad que asigna los gastos generales basado en las actividades que causan que se incurra en elementos de gastos generales. Para una explicación del concepto, véase *JQH5*, página 8.14. Cokins (1999) discute el impacto de la contabilidad tradicional y del método ABC en la calidad.

En la tabla 2.1 se muestra un ejemplo para una planta de un fabricante de neumáticos. Esta muestra dio como resultado algunas conclusiones que son típicas de estos estudios.

- El total de casi \$900 000 anual es grande.
- La mayoría (79.1%) del total está concentrado en costos por fallas, específicamente en restos de desecho y ajustes para los clientes.
- Los costos por fallas son casi cinco veces los costos por evaluación.
- Una pequeña cantidad (4.3%) se gasta en prevención.
- Algunas consecuencias de la mala calidad no pueden ser cuantificadas adecuadamente, por ejemplo, el rencor de los clientes y el ajuste de la política hacia éstos. Sin embargo, estos factores se incluyen en la lista como recordatorio de su existencia.

Como resultado de este estudio, la dirección decidió aumentar el presupuesto para las actividades de prevención. Se asignaron tres ingenieros para identificar y buscar proyectos específicos de mejora de calidad.

Definido estrictamente, el costo por mala calidad es la suma de las categorías de costos por fallas internas y externas. Esta definición asume que los elementos de los costos de evaluación (por ejemplo, inspección de clasificación 100%) necesitados por los procesos inadecuados son clasificados como fallas internas. Algunos profesionales usan el término *costo de calidad* para las cuatro amplias categorías.

Aunque muchas organizaciones usan las categorías de fallas internas, fallas externas, evaluación y prevención, la estructura puede no aplicar en todos los casos. En la tabla 2.2 se muestra un enfoque diferente empleado por un banco.

Aquí el costo de mal servicio es calculado basándose en los datos de satisfacción de los clientes y en los datos de lealtad/retención de éstos. En tal caso, el costo de la mala calidad es el costo de las oportunidades perdidas en el ingreso por ventas (véase figura 2.1).

En otro enfoque, algunas organizaciones definen el costo de la mala calidad centrándose en el costo de las actividades o procesos claves, es decir, la diferencia entre costos reales y el costo en una organización que tiene la mejor práctica para esa actividad. Este enfoque dirige el costo de los procesos ineficientes (véase figura 2.1). Para encontrar una discusión del enfoque tradicional de costos por calidad (cuatro categorías), el enfoque de costo de procesos y el “enfoque de pérdida de calidad”, véase Schottmiller (1996).

TABLA 2.1
Costo anual por calidad. Fabricante de neumáticos

Costo de fallas de calidad. Pérdidas		
Existencias defectuosas	\$ 3 276	0.37%
Reparaciones del producto	73 229	8.31
Desechos recopilados	2 288	0.26
Derroche. Desecho	187 428	21.26
Ajustes para el consumidor	408 200	46.31
Degradación de productos	22 838	2.59
Rencor de los clientes	No contabilizado	
Adaptación de la política de los clientes	No contabilizado	
Total	\$697 259	79.10%
Costo de evaluación		
Inspección de ingresos	\$ 32 655	2.68
Inspección 1	32 582	3.70
Inspección 2	25 200	2.86
Inspección de control	65 910	7.37
Total	\$147 347	16.61%
Costo de prevención		
Calidad de la planta local		
Ingeniería de control	7 848	0.89
Calidad corporativa		
Ingeniería de control	30 000	3.40
Total	\$ 37 848	4.29%
Gran total	\$882 454	100.00%

TABLA 2.2
Ingresos perdidos por la mala calidad

\$10 000 000	Ingreso anual de servicio al cliente
1 000	Número de clientes
<u>× 25%</u>	Porcentaje de descontentos
250	Número de descontentos
<u>× 75%</u>	Porcentaje de los que se cambian (69-90% de los descontentos)
188	Número de los que se cambian
<u>× \$10 000</u>	Ingreso promedio por cliente
\$1 880 000	Ingreso perdido por mala calidad

Fuente: Universidad de Tampa (1990).

Campanella (1999) y Atkinson *et al.* (1994) proporcionan otros ejemplos de estudios de costos por mala calidad, tanto en industrias manufactureras como de servicios.

Costos ocultos de calidad

El costo de la mala calidad puede subestimarse a causa de los costos que son difíciles de calcular. Los costos “ocultos” ocurren tanto en industrias manufactureras como de servicios e incluyen lo siguiente:

1. Ventas potenciales perdidas.
2. Costos de rediseño de productos debido a la mala calidad.
3. Costos de cambiar los procesos debido a la incapacidad de cumplir los requisitos de calidad para los productos.
4. Costos de cambios en el software debido a razones de calidad.
5. Costos de mantener detenido el equipo y los sistemas, incluyendo los sistemas de cómputo de información.
6. Costos incluidos en los estándares, porque la historia muestra que un cierto nivel de defectos es inevitable y deben incluirse concesiones en los estándares.
 - a) *Material extra comprado.* El comprador hace un pedido por un 6 por ciento más de la cantidad de producción necesitada.
 - b) *Concesiones por desechos y trabajos de reelaboración durante la producción.* La historia muestra que el 3 por ciento es “normal” y los contadores han desarrollado esta concesión en los estándares de costos. Un contador dijo: “Nuestro costo de desecho es cero. Los departamentos de producción pueden permanecer dentro del 3 por ciento que se ha añadido en el costo estándar y, por lo tanto, el costo de desecho es cero”. ¡Ah, el fantástico juego de los números!
 - c) *Concesiones en estándares de tiempo para desecho y trabajos de reelaboración.* Un fabricante permite 9.6 por ciento en el estándar de tiempo de ciertas operaciones para cubrir desechos y trabajos de reelaboración.
 - d) *Capacidad extra para el equipo de procesos.* Un fabricante piensa en un 5 por ciento de tiempo no programado de periodo de inactividad del equipo y proporciona equipo extra para cubrir dicho periodo de inactividad. En esos casos, las señales de alarma suenan sólo cuando se sobrepasa el valor estándar. Sin embargo, aun cuando esté operando dentro de esos estándares, los costos deberían ser una parte del costo por mala calidad. Representan oportunidades para mejorar.
7. Costos indirectos extra debidos a defectos y errores. Ejemplos son los gastos por espacio y por inventario.
8. Desechos y errores no reportados. Los desechos pueden no ser reportados nunca porque los empleados temen represalias, o los desechos pueden cargarse a una cuenta general del libro de contabilidad sin ser identificados como desechos.
9. Los costos de procesos extras debidos a la excesiva variabilidad de los productos (aun cuando estén dentro de los límites de especificación). Por ejemplo, un proceso para llenar paquetes con una mezcla seca de jabón cumple los requisitos del peso que está especificado en la etiqueta del contenido. Sin embargo, el propósito del proceso se fija por encima del peso etiquetado para contar con la variabilidad en el proceso de llenado. Véase “Costo de procesos ineficientes” en el apartado “Costos de fallas internas”.
10. Costo de errores en las operaciones de apoyo, por ejemplo, cumplimiento de pedidos, envío, servicio al cliente, facturación.
11. Costo de la mala calidad dentro de la empresa de un proveedor. Dichos costos están incluidos en el precio de compra.



FIGURA 2.2
Costos ocultos de la mala calidad

Los costos ocultos pueden acumularse hasta llegar a una gran cantidad, tres o cuatro veces el costo reportado por fallas. Cuando puede lograrse un acuerdo para incluir algunos de estos costos y cuando haya disponibles datos o estimados fidedignos, entonces tienen que incluirse en el estudio. De lo contrario, deben dejarse para exploraciones futuras.

Se ha avanzado a la hora de cuantificar ciertos costos ocultos y, por lo tanto, algunos de ellos han sido incluidos en las cuatro categorías discutidas. Los costos obvios de la mala calidad son la punta del iceberg (figura 2.2).

2.4 RELACIONAR EL COSTO DE LA MALA CALIDAD CON LAS MEDIDAS DE NEGOCIOS

La interpretación del costo de la mala calidad está sustentada por la relación de este costo con otras estadísticas que resultan familiares a los directores. La tabla 2.3 muestra ejemplos reales del costo anual de la mala calidad relacionado con varias medidas de negocios.

Reducir el costo de la mala calidad tiene un impacto dramático en el desempeño financiero de una empresa, como lo ilustra el Modelo Financiero de Dupont (Werner y Stoner, 1995). Este modelo establece que el

$$\text{Rendimiento de los activos} = \text{Margen de utilidad} \times \text{Volumen de activos}$$

TABLA 2.3
Lenguajes de la administración

Monetario (costo anual de la mala calidad)
24% de ingresos de ventas
15% de costo de fabricación
13 centavos por acción de acciones ordinarias
\$7.5 millones al año por desecho y trabajos de reelaboración comparados con un beneficio de 1.5 millones al año
\$176 millones anuales
40% del costo de operación de un departamento
En otras palabras...
El equivalente a una planta de la empresa que haga el trabajo 100% defectuoso todo el año
32% de recursos de ingeniería gastados en encontrar y corregir debilidades de diseño
25% de capacidad de fabricación dedicada a corregir problemas de calidad
13% de pedidos de ventas cancelados
70% de inventario excedido atribuido a niveles de mala calidad
25% del personal de manufactura asignado a corregir problemas de calidad

Suponga que el costo de la mala calidad (COPQ) fue el 10 por ciento del ingreso por ventas, el margen de utilidad fue 7 por ciento y el volumen de activos fue 3.0. El rendimiento de los activos es, entonces, 7.0×3.0 o 21%. Suponga ahora que un esfuerzo de mejora de calidad redujo el COPQ de 10 a 6 por ciento y que el volumen de activos permaneció en 3.0. El margen de utilidad sería entonces $7.0 + 4.0$ u 11 por ciento, y el rendimiento de los activos sería 11.0×3.0 o 33 por ciento. Observe el impacto del volumen de activos.

¿Cómo se convence a los mandos superiores de instituir un programa de mejora de calidad para reducir el costo de la mala calidad? En la sección 3.4 se presentan los pasos para ello.

2.5 COSTO ÓPTIMO DE CALIDAD

Cuando se presentan por primera vez los resúmenes de costos de la calidad a los directores, una pregunta típica es, ¿cuáles son los costos adecuados? Los directores buscan un estándar (“valor nominal”) contra el cual comparar sus costos reales de tal forma que puedan juzgar si hay necesidad de tomar medidas.

Lamentablemente, hay disponible poca información fidedigna porque (1) las empresas casi nunca publican esos datos y (2) la definición de costo de la mala calidad varía según la empresa. Pero podemos citar algunas cifras. Para las organizaciones de manufactura el costo anual de la mala calidad es aproximadamente el 15 por ciento de los ingresos de ventas, variando desde cerca del 5 al 35 por ciento, dependiendo de la complejidad del producto. Para las organizaciones de servicios el promedio es alrededor del 30 por ciento de los gastos de operación, variando del 25 al 40 por ciento, dependiendo de la complejidad del servicio. En un estudio de costos de asistencia sanitaria, Mortimer, DeFeo y Stepnick (2003) estiman que hasta un 30 por ciento de todos los desembolsos directos de la asistencia sanitaria son actualmente el resultado de la asistencia de mala calidad, consistiendo primordialmente en el exceso y mal usos, así como el desperdicio. Con los gastos nacionales de salud en Estados Unidos de casi 1.4 billones de dólares en el año 2001, la cifra de 30 por ciento se traduce en 420 mil millones de dólares gastados cada año como resultado directo

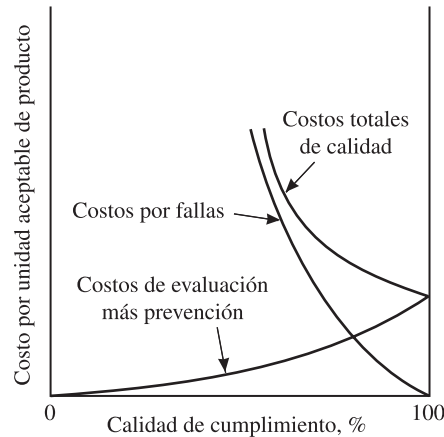


FIGURA 2.3
Modelo de costos óptimos. (De *JQH4*, pág. 4.19.)

de la mala calidad. Además, los costos indirectos por esta última (por ejemplo, disminución de la productividad debido al ausentismo) añaden un estimado del 25 al 50 por ciento (de 105 mil millones a 210 mil millones de dólares) a la factura nacional. Los compradores privados absorben aproximadamente un tercio de estos costos. En ese estudio, se estimó que la asistencia sanitaria de mala calidad cuesta a un empleado típico entre 1 900 y 2 250 dólares por empleado cubierto cada año. Pero sobresalen tres conclusiones acerca de los datos de costos: Para las industrias complejas, los costos totales son los más altos, los costos por fallas son el porcentaje más grande del total y los costos de prevención son un pequeño porcentaje del total.

El estudio de la distribución de los costos de calidad sobre las categorías principales puede explorarse más usando el modelo que se muestra en la figura 2.3. Éste muestra tres curvas:

1. *Los costos por fallas.* Esos costos son iguales a cero cuando el producto está bien hecho al 100 por ciento, y aumentan hasta el infinito cuando el producto está 100 por ciento defectuoso. (Observe que la escala vertical es costo por unidad aceptable de producto. En 100 por ciento defectuoso, el número de unidades aceptables es cero, y por lo tanto el costo por unidad aceptable es infinita.)
2. *Los costos de evaluación más prevención.* Estos costos son cero en 100 por ciento defectuoso y aumentan cuando se está próximo a la perfección.
3. *La suma de las curvas 1 y 2.* La tercera curva, denominada “costos totales de calidad” representa el costo total de la calidad por unidad aceptable de producto.

La figura 2.3 sugiere que el nivel mínimo de los costos totales de calidad ocurre cuando la calidad de cumplimiento es del 100 por ciento, es decir, la perfección. Este resultado no siempre ha sido el caso. Durante la mayor parte del siglo xx, el papel predominante de la fiabilidad de los seres humanos limitó los esfuerzos de lograr la perfección a costos finitos. También, la incapacidad de cuantificar el impacto de las fallas de calidad en los ingresos de ventas dio como resultado la subestimación de los costos por fallas. El resultado fue considerar el valor óptimo de la calidad de cumplimiento como menor del 100 por ciento.

Aunque la perfección es obviamente el objetivo para el largo plazo, ésta no es necesariamente el objetivo más económico para el corto plazo o para todas las situaciones. Sin embargo, las indus-

trias están enfrentando una presión creciente para alcanzar la perfección. La perspectiva es que la tendencia al 100 por ciento de cumplimiento se extenderá a más y más bienes y servicios cada vez más complejos.

Para evaluar si la mejora de la calidad ha alcanzado el límite económico, se tienen que comparar los beneficios posibles de los proyectos específicos con los costos implicados en lograr dichos beneficios. Cuando no pueda encontrarse ningún proyecto justificable, se ha alcanzado el punto óptimo.

Identifiquemos unos cuantos puntos clave del costo de la mala calidad. Por lo general, este costo es alto (a veces mayor que las ganancias anuales); cuantificarlo puede ser la clave para obtener la aprobación de la dirección para asignar recursos a las mejoras de la calidad, y los usos principales del estudio de los costos de mala calidad permiten identificar oportunidades para proyectos de mejora y proporcionar información de apoyo con el fin de ayudar en dicha mejora.

Para finalizar las definiciones de las categorías de costos, los pasos al momento de hacer el estudio inicial y los métodos de recopilación de datos, véase *JQH5*, sección 8.

A continuación, pasaremos a otro elemento de evaluación: la posición en el mercado.

2.6 POSICIÓN EN EL MERCADO

Estimar el costo de la mala calidad es una parte esencial de la evaluación. Pero no es suficiente. También se necesita conocer dónde se encuentra la empresa en cuestión de calidad en el mercado, en relación con la competencia. Este componente de la evaluación probará ser importante cuando se aumenten los ingresos por ventas.

Parecido a la evaluación del costo de la mala calidad, el estudio de mercado (1) da una instantánea de la posición en relación con la competencia y (2) identifica oportunidades y amenazas.

El enfoque debe basarse en un estudio de investigación de mercados. Dichos estudios deberían ser planeados no por cualquier departamento sino por un equipo que involucre a miembros de mercadotecnia, desarrollo de producto, calidad, operaciones y otras áreas según la necesidad. Tal equipo debe acordar de antemano qué cuestiones tiene que responder el estudio de campo. Deben considerarse tres tipos de preguntas: (1) ¿Cuál es la importancia relativa de las diversas calidades de los productos desde el punto de vista del usuario? (2) Para cada una de las calidades clave, ¿cómo se compara nuestro producto con los de los competidores, desde el punto de vista de los usuarios? (3) ¿Qué tan probable es que el cliente nos compre otra vez a nosotros o que nos recomiende con alguien más?

El capítulo 10, “Entender las necesidades de los clientes”, incluye otras preguntas para ayudar a desarrollar productos nuevos o modificados.

Las respuestas a dichas cuestiones deben basarse en las aportaciones de los clientes actuales, de los clientes perdidos y de los no clientes. Las opiniones del personal de la empresa, sin importar qué tan amplia sea la base de la experiencia, no pueden y no deben sustituir la voz del cliente.

Ejemplos de estudios de campo

El primer ejemplo proviene de un fabricante de productos de salud. En un estudio de multiatributos, se les preguntó a los clientes que consideraran algunos atributos de los productos y que indicaran su importancia relativa y una valoración competitiva. En la tabla 2.4 se muestran los resultados de un producto. Observe que se obtiene una puntuación general para cada fabricante al multiplicar la importancia relativa por la puntuación de ese atributo y luego sumando estos resultados.

En otro ejemplo, un fabricante de equipo estaba experimentando un declive de la participación del mercado. Las reclamaciones por la calidad llevaron a una propuesta para “aumentar la inspección”. Las discusiones dentro de la empresa revelaron incertidumbre acerca de la naturaleza de las reclamaciones, así que la dirección decidió llevar a cabo un estudio de campo para conocer más acerca de los puntos de vista de los clientes. Se formó un equipo para planear y realizar el estudio, visitándose a unos 50 clientes.

En una parte del estudio, se identificaron seis atributos y se les pidió a los clientes que calificaran a la empresa como superior, competitiva o inferior a la competencia en cada atributo (véase tabla 2.5). Los resultados fueron sorprendentes. Se confirmaron los problemas del equipo, pero el estudio reveló la presencia de causas de diseño y de fabricación. También la documentación y el servicio de reparación en campo fueron identificados como áreas débiles; éstas fueron sorpresas para la empresa involucrada que tomó acciones dramáticas. El fabricante creó entonces un enfoque amplio de calidad, comenzando con el diseño inicial y continuando por la espiral de todas las actividades que afectan la adaptabilidad de uso. Este resultado se hallaba en contraste abierto con la propuesta original de añadir inspectores. El estudio requirió casi siete meses de trabajo y esfuerzo, que incluyeron planeación, visitas a clientes, análisis de resultados y preparación de un informe: un pequeño precio a pagar por desarrollar una estrategia apropiada.

Muchas organizaciones en industrias de servicios tienen amplia experiencia en investigación de mercados. Por ejemplo, un banco lleva a cabo periódicamente una investigación de mercados como

TABLA 2.4
Estudio de multiatributos

Atributos	Importancia relativa, %	Empresa X		Competidor A		Competidor B	
		Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación
Seguridad	28	6	168	5	140	4.5	126
Desempeño	20	6	120	7	140	6.5	130
Calidad	20	6	120	7	140	4	80
Servicio de campo	12	4	48	8	96	5	60
Facilidad de uso	8	4	32	6	48	5	40
Imagen de la empresa	8	8	64	4	32	4	32
Servicio en planta	4	7.5	30	7.5	30	5	20
Total			582		626		488

TABLA 2.5
Caso de equipo pesado

Atributo	Comparación con la competencia, %		
	Superior	Competitiva	Inferior
Análisis de las necesidades del cliente			
Preparación de los requisitos de calidad y de los pedidos de compra			
Preparación de las especificaciones y de la documentación técnica			
Calidad del equipo			
Calidad y disponibilidad de las piezas de repuesto			
Calidad del servicio de reparación de campo			

Fuente: Comunicación privada.

parte de un sistema de calidad. Esta investigación prueba 20 atributos del servicio bancario al cuestionar a los clientes sobre la importancia relativa de los atributos y el grado de satisfacción de los consumidores. La tabla 2.6 muestra el formato de los resultados resumidos.

En un ejemplo de la GTE Corporation, se les pidió a los clientes que calificaran a GTE en calidad general y en cinco atributos del servicio telefónico. Una de las estadísticas del resumen es el porcentaje de calificaciones excelentes. Otros proveedores nacionales actúan como *benchmarks* (puntos de referencia). La tabla 2.7 muestra los resultados para un área de franquicia.

Observe que el desempeño está mezclado: las puntuaciones están generalmente en la mitad de la clasificación, nunca en lo alto, pero una (para instalación) está en lo más bajo. Se puede fijar un objetivo para cada atributo, así como un programa para lograr el objetivo basado en el conocimiento de las mejoras propuestas para el proceso y en los resultados de satisfacción del cliente. Después de revisar la información individual sobre la importancia relativa de los atributos, GTE estableció como su primera prioridad la necesidad de estrechar la brecha de calificación para el servicio de llamadas locales.

En un ejemplo del sector público, el Servicio Postal de Estados Unidos ha usado una encuesta de índice de satisfacción del cliente que pregunta a éstos por la importancia relativa y la calificación de satisfacción para 10 atributos (por ejemplo, grado de respuesta, servicios de proveedores, manejo de reclamaciones). Una cuestión separada interrogaba acerca de “la disposición de los clientes a cambiar a otro servicio de correo”.

Graficar los resultados de la investigación de mercados puede ser útil. Rust *et al.* (1994) muestran un ejemplo de cómo el mapeo de las calificaciones de satisfacción e importancia pueden relacionar los puntos de vista de los clientes y las acciones potenciales (figura 2.4). En este enfoque, los atributos en los cuales la importancia es alta y la satisfacción es mala representa el mayor potencial de ganancia.

TABLA 2.6
Investigación de mercados en un banco

Satisfacción con...	Muy satisfecho, %	Tamaño de la muestra	Importante y bajo en satisfacción, %	Importante y alto en satisfacción, %
1. Recibirle con un saludo y una sonrisa				
8. Procesar las transacciones sin error				
14. Estados de cuenta fáciles de leer y entender				
20. Rápido seguimiento a preguntas y problemas				

TABLA 2.7
Información de puntos de referencia de GTE para servicio telefónico local

Atributo	Puntuación de la empresa	Puntuaciones de los competidores
Calidad general	38.6	36.6-46.3
Calidad de mercado local	40.6	36.7-47.9
Calidad de facturación	34.5	28.7-37.2
Calidad de instalación	41.2	43.2-53.3
Calidad de larga distancia	47.5	40.9-55.3
Calidad del operador	41.5	35.0-47.1

Fuente: Drew y Castrogiovanni (1995). Cortesía de Marcel Dekker, Inc.

En la figura 2.4, los cuatro cuadrantes están definidos aproximadamente por los promedios en los dos ejes. Por lo general, la interpretación de los cuadrantes es como sigue:

Superior izquierdo (satisfacción fuerte, importancia baja). Mantiene el *statu quo*.

Superior derecho (satisfacción fuerte, importancia alta). Apalanca esta fortaleza competitiva mediante publicidad y venta personal.

Inferior izquierdo (satisfacción débil, importancia baja). Asigna poca o ninguna prioridad a la acción.

Inferior derecho (satisfacción débil, importancia alta). Añade recursos para lograr una mejora.

Para encontrar ejemplos adicionales de mapas para modelación de retención de clientes, véase Lowenstein (1995, capítulo 9).

Recopilar datos sobre la lealtad y retención de clientes va más allá de la investigación de satisfacción de clientes. Lauter (1997) informa sobre los resultados de retención de clientes en un banco. El porcentaje real de retención de éstos fue calculado para cada trimestre en 1996; típicamente el porcentaje retenido fue más del 95%. Otros análisis de los clientes perdidos revelaron un resultado sorprendente (figura 2.5). Por ejemplo, en el primer trimestre, se perdieron 120 000 hogares (HH), y esta merma se tradujo en una ganancia de 26 millones de dólares. Aunque la información se ha modificado debido a su naturaleza registrada, un pequeño porcentaje de clientes perdidos de un gran volumen de éstos puede dar como resultado una cantidad importante de dólares absolutos de ingresos.

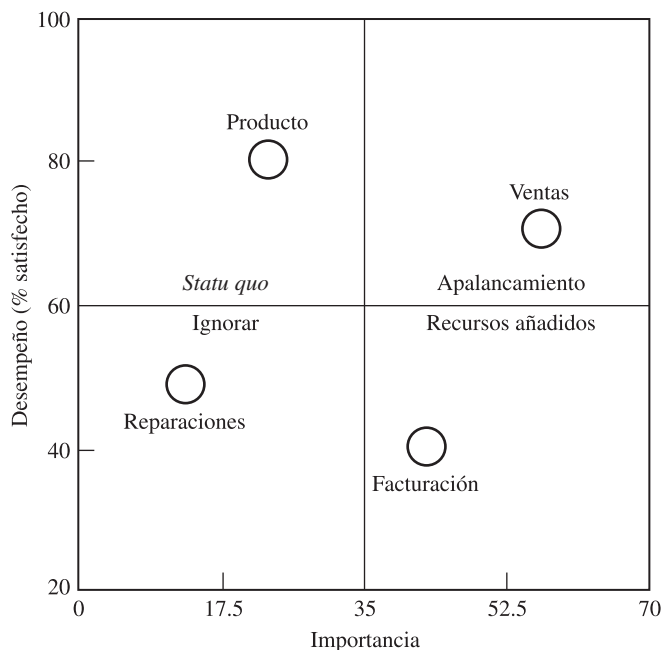


FIGURA 2.4
Desempeño frente a importancia al momento de impulsar la satisfacción:
mapa de cuadrantes. (Rust et al., 1994.)

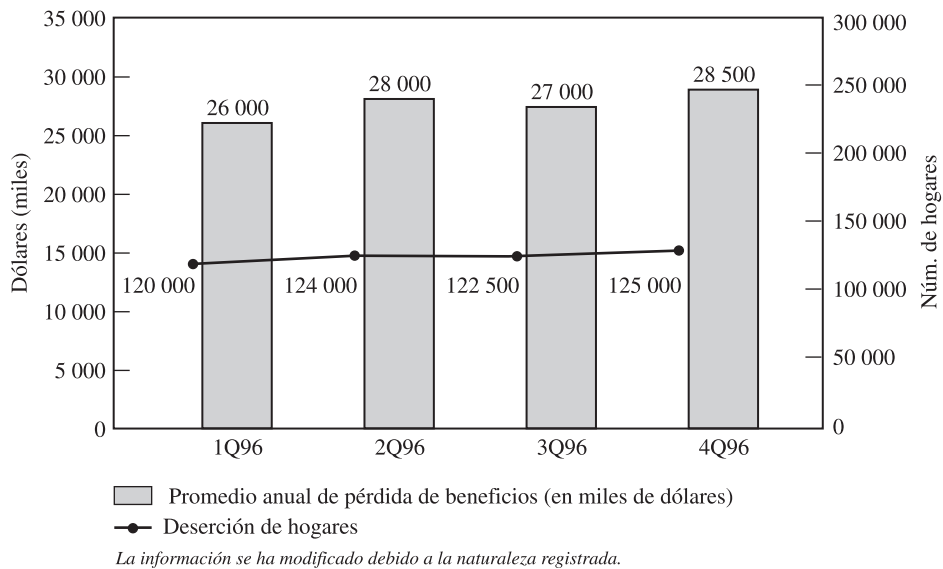


FIGURA 2.5
 “Costo de oportunidad de reducción” promedio. (Lauter, 1997.)

Generalizar a partir de los ejemplos

Primero, los clientes de estos estudios tenían experiencia al usar el producto. Asimismo, los estudios identificaron atributos específicos que llevaban a la satisfacción del cliente, cuantificaban su importancia relativa, determinaban las calificaciones para cada atributo y comparaban las calificaciones con la competencia. En algunos casos, las organizaciones también recopilaban datos sobre la lealtad y la retención de clientes.

Términos como *satisfacción de los clientes* y *calidad* son demasiado nebulosos como para ser significativos. En lugar de eso, debemos identificar los atributos o características del producto que definan colectivamente la satisfacción. Ejemplos de éstos son la exactitud de una transacción en un banco o la destreza en una línea residencial. Una sesión de grupo (también conocidas como grupos de enfoque) (véase sección 2.7) o una muestra de directores tendrá ideas sobre qué atributos incluir. Además, se debería preguntar a una muestra de clientes (en la investigación preliminar) qué atributos constituyen una alta calidad. También, una revisión de revistas comerciales de una industria puede revelar medidas estándar para ella. Con estas aportaciones, debería finalizarse la lista de atributos para investigar con la muestra más grande de clientes. Observe que tal lista no debería limitarse a los atributos del producto proporcionado a los clientes sino que puede abarcar todo el ciclo de contacto con el cliente, desde el contacto inicial con un vendedor hasta el uso y el servicio que se le da y suministra el producto.

Es posible usar un patrón genérico de atributos. Por ejemplo, en el área de servicio al cliente, el modelo SERVQUAL (Zeithaml *et al.*, 1990) identifica cinco dimensiones: realidad, confiabilidad, grado de respuesta, garantía y empatía. Estos amplios términos tienen que ser definidos. La investigación en estas cinco áreas se explora al presentar a los clientes 22 enunciados que examinan la diferencia entre sus expectativas y percepciones. Estos enunciados pueden hacerse a la medida de cada producto o empresa.

La importancia relativa de los atributos de los productos puede determinarse por diferentes métodos. En un enfoque, se pide a los clientes que asignen 100 puntos entre los diferentes atributos. Otro método presenta a los clientes combinaciones de atributos de productos y se les pide que indiquen sus preferencias. Luego pueden calcularse las calificaciones de la importancia. Churchill (1991), apéndice 9B, describe este método (como “medida conjunta”).

Obtener información sobre la calidad de los competidores implica diferentes métodos. Para los productos físicos, la prueba de laboratorio es uno de ellos. Otros métodos incluyen pedir directamente a los clientes que califiquen a los competidores o usar compradores misteriosos, sesiones de grupo o algún otro método de investigación de mercados comentados en el capítulo 10. Cuando un no cliente le compra a un competidor, es útil hacer una pregunta abierta, por ejemplo: “¿Cuáles son las principales razones por las que usted le compra a la empresa X?” Otra fuente de comparación con la competencia es el Índice Estadounidense de Satisfacción del Cliente (ACSI, por sus siglas en inglés). El índice, calculado a partir de 50 000 respuestas a una encuesta telefónica, cubre 200 empresas en siete sectores de la economía (manufactura y servicios). El índice usa una escala de 0 a 100. Su uso estriba en comparar a las empresas individuales con el promedio de la industria. Para beneficiarse de esta información, las empresas deben entender las suposiciones y otros elementos de la metodología. Puede adquirirse información adicional del ACSI (incluyendo un informe de metodologías) de la Sociedad Estadounidense para la Calidad. Una fuente más de información es el programa de *benchmarking* del Centro Estadounidense para la Productividad y la Calidad.

Muchos de los conceptos presentados anteriormente para los clientes externos pueden adaptarse y aplicarse a los clientes internos. De esta manera, un departamento de garantía de calidad puede llevar a cabo una investigación interna de mercados para sus clientes internos, por ejemplo, operaciones, desarrollo de productos, compras. El director de un gran departamento de mantenimiento en Carolina Power and Light comenzó una investigación interna al visitar un departamento de operaciones después de que se hubieron llevado a cabo algunos servicios rutinarios de mantenimiento. Los resultados de estas discusiones fueron tan útiles que instituyó un enfoque más formal usando atributos del servicio, calificaciones de importancia y puntuaciones de desempeño. United Parcel Service emplea la Internet para llevar a cabo investigaciones con los clientes internos.

Para obtener ejemplos adicionales y acercarse a la elaboración de métodos de medición de satisfacción de clientes, véase *JQH5*, sección 18. Recopilar información sobre satisfacción y retención de los clientes es una parte esencial de una evaluación de toda la empresa. Pero, al igual que con los datos de costos de la mala calidad, la acción de seguimiento es aún más importante que la recopilación de información. Los pasos para llevar a cabo tales acciones están considerados en el capítulo 3, “Mejora de calidad y reducción de costos”, y en el capítulo 4, “Planeación de la calidad operativa e ingresos por ventas”.

2.7

CULTURA DE LA ORGANIZACIÓN EN LA CALIDAD

Los empleados de una organización tienen opiniones, creencias, tradiciones y prácticas que tienen que ver con la calidad. Llamaremos a este conjunto de características la “cultura de calidad de la empresa”. Lograr un entendimiento de esta cultura debería ser parte de una evaluación empresarial de la calidad por dos razones: (1) la cultura claramente tiene un impacto principal sobre los resultados de la calidad y (2) conocer la cultura presente puede identificar barreras para desarrollar una estrategia e implementar un plan de acción basado en la evaluación de la calidad de toda la empresa.

Por lo general, la cultura de la calidad se evalúa mediante el uso de cuestionarios para encuestar a los empleados, y con discusiones en sesiones de grupo con ellos, o con ambos métodos.

Una empresa de seguros estudió su cultura de la calidad al pedir a los empleados que contestaran a siete preguntas. Las respuestas posibles eran “mucho”, “moderadamente”, “mínimamente” o “en absoluto”. En la lista siguiente se encuentran las siete preguntas y las respuestas con el mayor porcentaje de empleados:

1. ¿Cree que sabe lo que es buena calidad? Respuesta con el mayor porcentaje: moderadamente (52%).
2. ¿Qué tanto le es conocido el énfasis que pone la empresa en la calidad? Respuesta con el mayor porcentaje: moderadamente (36%).
3. ¿Qué tanto está de acuerdo con este enunciado: “Las acciones y actitud de mi director me convencen de que la calidad es importante”? Respuesta con el mayor porcentaje: mínimamente (43%).
4. ¿Qué tanto entiende las mediciones de calidad en su departamento? Respuesta con el mayor porcentaje: mínimamente (48%).
5. Según todo lo expuesto, ¿cómo calificaría a su departamento a la hora de ofrecer servicios y resultados de alta calidad? Respuesta con el mayor porcentaje: mucho (57%).
6. ¿Qué tanto cree que su logro de los niveles de calidad afecta a su evaluación de desempeño? Respuesta con el mayor porcentaje: mucho (35%).
7. ¿Ha trabajado en un círculo de calidad, proyecto o equipo de mejora de calidad en los últimos 12 meses? Respuesta con el mayor porcentaje: en absoluto (64%).

En general, las conclusiones eran enredadas, pero se identificaron algunas áreas que necesitaban mejora.

Algunas organizaciones emplean un amplio conjunto de interrogaciones. Una organización usa 56 preguntas para explorar ocho áreas: calidad general del producto, cumplimiento con los requisitos, equipo, calidad del proveedor, compromiso de la administración, desempeño de los grupos de trabajo, participación de los empleados y capacitación. Otra echa mano de 82 preguntas para evaluar 18 factores que guían colectivamente la cultura de la calidad.

Una agencia federal utiliza un cuestionario de 70 reactivos para guiar los factores laborales como prácticas de comunicación, participación en la toma de decisiones, reconocimiento por un trabajo bien hecho y confianza organizacional. Para cada factor de trabajo se le pide al empleado (1) que indique el grado de importancia y (2) que califique el trabajo. Si un factor laboral es considerado absolutamente esencial o muy importante y la calificación es menor que excelente o muy buena, entonces la organización es vulnerable a un desempeño reducido debido a ese factor laboral. Los resultados de la encuesta se resumen en porcentajes de vulnerabilidad (PV). Son deseables los bajos porcentajes; un PV alto localiza con precisión los factores laborales de máxima preocupación entre los empleados. Dos ejemplos de preocupaciones principales fueron

“Tener una dirección que le escuche y que esté dispuesta a actuar siguiendo sus sugerencias”
(PV = 75%).

“Tener el equipo, las herramientas y los suministros necesarios para hacer su trabajo”
(PV = 72%).

Si el PV es del 60 por ciento o más, el factor laboral se clasifica como de preocupación principal; un porcentaje del 40 al 59 se considera una preocupación en vías de desarrollo; un porcentaje menor del 40 por ciento significa que el factor laboral es una fortaleza principal.

Una respuesta frecuente tanto en las industrias manufactureras como de servicios se refiere al tiempo para llevar a cabo las iniciativas de calidad: “La dirección quiere que añadamos estas actividades de calidad a nuestras obligaciones regulares sin darnos tiempo adicional; no puede hacerse”.

Al determinar la cultura de calidad, se deben elegir las áreas de actualidad, crear preguntas que cumplan con los propósitos del estudio y decidir cómo recopilar la información sobre las percepciones de los empleados.

Una lista de áreas de actualidad se construye con la estructura de los cinco elementos de la cultura de la calidad discutidas en el capítulo 9, “Desarrollo de una cultura de la calidad”. Estos elementos son metas y medidas, evidencias del liderazgo de la dirección en la calidad, autodesarrollo y *empowerment* de los empleados, participación y reconocimiento así como las recompensas. Pueden crearse preguntas específicas alrededor de estos cinco elementos. Otras áreas de actualidad pueden ser la calidad dispensada por los departamentos internos, el desempeño de los grupos de trabajo y la adecuación de las especificaciones y los procedimientos. Cada organización debería desarrollar su propia estructura de áreas de actualidad y de preguntas específicas. Se deberían pedir ideas en las áreas de actualidad a la dirección y al personal de operaciones. Esta aportación no sólo asegura que el contenido de un cuestionario cumpla con las necesidades de los empleados, sino que también aumenta la probabilidad de que la evaluación acabará en acción.

Las preguntas pueden ser de escala de opinión, abiertas o de opción única. Las preguntas de escala tienen un rango limitado de respuestas, como se ilustraba en los ejemplos anteriores. Las preguntas abiertas ofrecen respuestas de mayor alcance, por ejemplo, “¿Cómo describiría usted la actitud de la dirección con respecto a la calidad?” También pueden plantearse interrogantes abiertas en una entrevista a una pequeña muestra de empleados que complemente el cuestionario. Las preguntas de opción única a menudo piden una calificación; por ejemplo, “Por favor, califique en nuestra organización el costo, los programas de entrega y la calidad por su orden de importancia, con 1 siendo lo más importante, 2 lo siguiente en importancia y 3 el menos importante”.

Una fuente útil de preguntas específicas es Getty y Getty (1993) quienes suministran 30 preguntas para explorar el compromiso de la dirección con la mejora continua. Tabladillo y Canfield (1994) proporcionan a su vez 25 preguntas para determinar el punto de vista de un empleado en relación a la calidad de un hospital.

Finalmente, algunas organizaciones incorporan preguntas sobre la cultura de la calidad en una encuesta más amplia sobre cultura corporativa. Así, un banco pregunta por las percepciones de los empleados sobre diferentes características, valores y actitudes. De 116 cuestiones, más o menos un tercio está relacionado con la calidad.

Un segundo método de recopilar las percepciones de los empleados son las sesiones de grupo. Esto puede usarse como el complemento de un cuestionario, o en lugar de éste. Una sesión de grupo consta de 8 a 14 empleados típicos que se reúnen para discutir sobre la cultura de la calidad. Tal reunión de camarilla genera un crisol de ideas. El personal de supervisión y el directivo están excluidos de una sesión de grupo de la fuerza laboral. Si se desea, se puede llamar a varias sesiones de grupo y resumir los resultados. La sesión de grupo debe durar un máximo de dos horas.

Las sesiones de grupo recopilan información a profundidad al pedir a los empleados que expresen sus puntos de vista sobre diferentes temas. Para ser eficaz, en la reunión debe figurar un moderador con habilidades en dinámica de grupos que tenga también un claro entendimiento de la información necesaria, así como un plan para guiar la discusión. Un catedrático de la universidad local a menudo puede ser un moderador objetivo.

Una sesión de grupo proporciona un medio para recopilar una gran cantidad de información a un costo razonable. Además, las personas en tal sesión son francas pues sus puntos de vista a menudo se ven reforzados por sus colegas del grupo.

En resumen, la cultura de la calidad tiene un impacto importante en los resultados de ésta. Recopilar las percepciones de los empleados sobre la cultura de la calidad es esencial para el éxito de un plan de acción para su mejora.

La discusión cubre aquí la determinación de la cultura de la calidad presente. Los pasos necesarios para mejorar la cultura de la calidad se comentan en el capítulo 9, “Desarrollo de una cultura de la calidad”.

Sears Roebuck reúne información trimestralmente y dirige una evaluación anual que relaciona la satisfacción de los empleados y la de los clientes con las propias medidas de satisfacción de los inversores (Rucci *et al.*, 1998).

Los elementos de evaluación son válidos en organizaciones grandes y pequeñas. Para su aplicación en estas últimas, véanse los siguientes reportes disponibles de la Facultad de Negocios de la Universidad de Tampa, Tampa, Florida 33626: Informe No. 902 “Evaluación del costo de la mala calidad en una pequeña empresa” (por Nat R. Briscoe y Frank M. Gryna); Informe No. 905 “Evaluación de la cultura de la calidad en las pequeñas empresas” (por Mary Anne Watson y Frank M. Gryna); e Informe No. 906 “Investigación de mercado para la calidad en las pequeñas empresas” (por William L. Rhey y Frank M. Gryna).

2.8

EVALUACIÓN DE LAS ACTIVIDADES ACTUALES DE CALIDAD

El cuarto elemento de evaluación es la valoración de las actividades actuales relacionadas con la calidad dentro de la organización. Dicha evaluación podría cubrir un amplio rango de ámbitos (global para unas cuantas actividades) y exámenes (desde superficiales a detallados). Nuestra discusión se concentrará en un examen a lo largo de toda la empresa lo suficientemente profundo como para conocer las necesidades de la evaluación general de calidad.

La evaluación de las actividades actuales de calidad puede tomar dos formas: (1) evaluaciones que se enfocan en los resultados de la satisfacción del cliente, pero incluyen una evaluación del sistema actual de las actividades relacionadas con la calidad, y (2) evaluaciones que se enfocan en la valoración del actual sistema de calidad, con poco énfasis en los resultados de la satisfacción del cliente. En cualquiera de los dos casos, la evaluación puede ser conducida por la misma organización (autoevaluación) o por una organización externa. También puede ser llevada a cabo con o sin criterios definidos explícitamente. Conti (1997) proporciona una discusión exhaustiva sobre la evaluación con un énfasis en la autoevaluación.

Ambos tipos de evaluación pueden identificar oportunidades de mejora al comparar las actividades actuales de calidad con un modelo de sistemas aceptado, como aquellos descritos en esta sección (por ejemplo, el Premio Baldrige o el ISO 9000).

Hannukainen y Salminen (1998) describieron cómo Nokia Mobile Phones desarrolló una autoevaluación que aplican los equipos directivos locales pararon el fin de establecer las prioridades para la mejora y los planes de acción.

A menudo una organización comienza por tener un auditor externo que lleva a cabo una evaluación de tres a cinco días de duración del estatus actual de la calidad. Este estudio incluye preguntas

evaluadoras que tocan temas de administración de calidad en toda la empresa. Las cuestiones de esta categoría incluyen algunas como las siguientes:

- ¿Se han completado estudios sobre el costo de la mala calidad, la posición en el mercado y la cultura de la calidad?
- ¿Se han establecido objetivos de calidad?
- ¿Se han vinculado los objetivos de la calidad con los objetivos de los negocios?
- ¿Aseguran las políticas y los planes que la calidad será competitiva en el mercado?
- ¿El enfoque a la calidad está guiado por la dirección de línea más que por el personal?
- ¿Cubre el plan todos los procesos (gran C)?
- ¿Está la maquinaria organizacional en posición de identificar y buscar oportunidades para aumentar los ingresos de ventas y para reducir los costos de la mala calidad?
- ¿Hay un sistema eficaz para proporcionar un aviso temprano de los problemas potenciales de calidad?

Las preguntas complementarias se relacionan con las áreas funcionales. Las siguientes son comunes a *todas* ellas:

- ¿Qué medidas se usan para juzgar la calidad del resultado?
- ¿Cuál es el desempeño de la empresa reflejado en estas medidas?
- ¿Se han estimado los recursos gastados en detectar y corregir los problemas relacionados con la calidad?
- ¿Hasta qué punto entiende el personal las responsabilidades relacionadas con la calidad?
- ¿Hasta qué punto se ha capacitado al personal en las disciplinas de calidad?
- ¿Hasta qué punto se ha cuantificado la capacidad de los procesos clave?
- ¿Cumple el sistema de datos las necesidades del personal?

2.9

PREMIOS NACIONALES DE CALIDAD

Una evaluación más detallada a nivel de toda la empresa depende de criterios establecidos, por ejemplo, los criterios usados en conexión con el Premio Nacional de Calidad Malcom Baldrige. En Estados Unidos el Premio Baldrige se gestiona por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, por sus siglas en inglés), una agencia federal no normativa, y se basa en los estudios comparativos de las acciones de empresas realizados por el NIST. Como grupo, los galardonados con el Premio Baldrige han superado el índice bursátil de Standard and Poor's 500 por casi 2.5 a 1.0.

Este premio se otorga anualmente en Estados Unidos. Cada año pueden ser seleccionadas un máximo de tres organizaciones en cada una de las cinco categorías (fabricación, servicio, pequeños negocios, educación y asistencia sanitaria). Una evaluación exhaustiva se basa en la información presentada por escrito, seguida por visitas a los sitios para calificar a las organizaciones.

Desde la instauración del premio en 1988, el énfasis de los criterios ha cambiado desde calidad hasta desempeño general de la empresa. Este libro sigue ese tema de integrar a la calidad en el plan de negocios de una organización. Las categorías de examen para el año 2005 y los puntos asignados (arriba de 1000) se enlistan en la tabla 2.8.

Observe el fuerte énfasis en los resultados de calidad y satisfacción del cliente. El Premio Baldrige reconoce a las organizaciones que han logrado los mayores niveles de calidad.

Las siete categorías Baldrige pueden considerarse como un sistema (figura 2.6). Las categorías 1, 2 y 3 representan una tríada de liderazgo; y las 5, 6 y 7 otra de resultados; la categoría 4 proporciona el fundamento de información basada en hechos.

Muchas organizaciones usan los criterios Baldrige para llevar a cabo autoevaluaciones sin someter a consideración las solicitudes para competir por el premio. Ganar el Baldrige o un premio similar resulta extremadamente complicado, y siendo realistas, la mayoría de las organizaciones comienzan con una autoevaluación. Después de hacerla, se dan cuenta de que el conocimiento ganado por ese proceso es el beneficio real. Los números de la revista *Quality Progress*, de junio a diciembre de 1997, contienen artículos que explican el significado de cada categoría Baldrige en una autoevaluación.

Para entender los criterios Baldrige se requiere conocer los conceptos de alineación y vínculos. *Alineación* es la traducción de los objetivos de una organización en metas, submetas y estándares a todos los niveles: niveles de organización, de procesos clave y de unidades de trabajo.

Los *vínculos* son las interrelaciones (conexiones) entre las actividades específicas de la dirección relacionadas con la calidad, de tal forma que las actividades se refuerzan mutuamente para producir los resultados deseados. Estos vínculos pueden ser tan importantes como las mismas actividades. Los criterios Baldrige proporcionan una guía para la excelencia, pero la alineación y los

TABLA 2.8
Premio de Calidad Baldrige, Criterios 2005
Categorías y temas (valores en puntos)

1. Liderazgo (120)
1.1 Liderazgo senior (70)
1.2 Gobierno y responsabilidades sociales (50)
2. Planeación estratégica (85)
2.1 Desarrollo de estrategias (40)
2.2 Despliegue de estrategias (45)
3. Enfoque en clientes y mercado (85)
3.1 Conocimiento de clientes y del mercado (40)
3.2 Relaciones y satisfacción de los clientes (45)
4. Medición, análisis y administración del conocimiento (90)
4.1 Medición, análisis y revisión del desempeño organizacional (45)
4.2 Información y administración del conocimiento (45)
5. Enfoque en recursos humanos (85)
5.1 Sistemas de trabajo (35)
5.2 Aprendizaje y motivación de empleados (25)
5.3 Bienestar y satisfacción de los empleados (25)
6. Administración de procesos (85)
6.1 Procesos de creación de valores (45)
6.2 Procesos de apoyo y planeación operativa (40)
7. Resultados de negocios (450)
7.1 Resultados de productos y servicios (100)
7.2 Resultados enfocados en los clientes (70)
7.3 Resultados financieros y de mercado (70)
7.4 Resultados de recursos humanos (70)
7.5 Resultados de efectividad organizacional (70)
7.6 Resultados de liderazgo y responsabilidad social (70)
PUNTOS TOTALES = 1 000

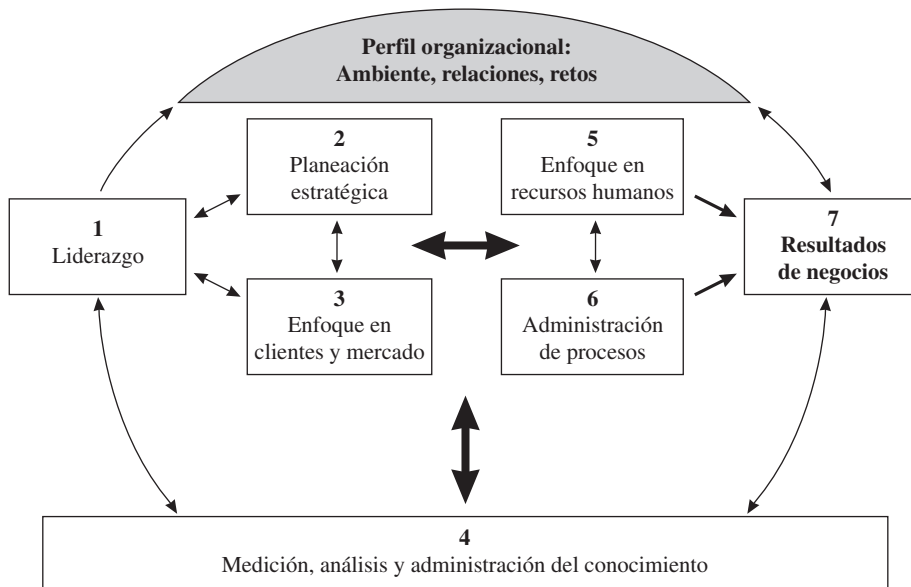


FIGURA 2.6

Criterios Baldrige para la estructura del desempeño de excelencia: una perspectiva de sistemas.

vínculos son fuerzas impulsoras para lograr resultados excepcionales. En los siguientes capítulos se muestra dónde son importantes la alineación y los vínculos. Blazey (2000) contiene una amplia discusión sobre los vínculos entre los criterios Baldrige.

Se plasmaron once valores y conceptos esenciales en los criterios del premio: liderazgo visionario, manejo de clientes, aprendizaje personal y organizacional, valoración de los empleados y asociados, agilidad, enfoque en el futuro, administración para la innovación, administración por hechos, responsabilidad y ciudadanía pública, enfoque en resultados y creación de valor y perspectiva de sistemas. Para una discusión de las relaciones entre los valores esenciales y los procesos clave de la administración en los criterios Baldrige, véase Evans y Ford (1997).

Otros países también han creado premios de calidad. (Para una detallada discusión sobre los premios nacionales e internacionales de calidad, véase Hromi, 1995.) Por ejemplo, el Premio Deming en Japón, y la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad que ha creado el Premio Europeo de Calidad (véase figura 2.7). Para una revisión de las similitudes y diferencias entre el Premio Europeo de Calidad y el Premio Baldrige, véase Conti (1997). Puay *et al.* (1998) proporcionan un estudio comparativo de nueve premios nacionales de calidad. En Estados Unidos, la mayoría de sus estados patrocinan un premio, y muchos de ellos se basan en los criterios del Baldrige. Algunos estados reconocen que la mayoría de las organizaciones no están listas para aplicar para el premio estatal o federal, pero que necesitan ayuda para comenzar la evaluación. Por ejemplo, en Florida, el proceso del Premio Sterling, basado en el Baldrige, ayuda a las organizaciones al proporcionar un proceso de autoevaluación, ya sea en el nivel de comienzo o bien en el intermedio de evaluación de calidad. Para obtener una lista de ganadores del premio Baldrige, visite el sitio Web del NIST: www.quality.nist.gov.

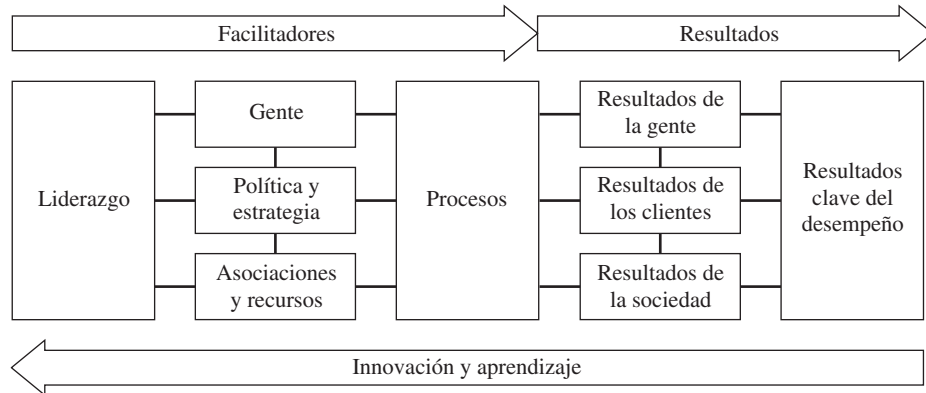


FIGURA 2.7

El modelo de excelencia de la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad (EFQM, por sus siglas en inglés)

2.10

ESTÁNDARES DE SISTEMAS DE CALIDAD ISO 9000

El esfuerzo internacional para identificar los elementos clave de un sistema de calidad para organizaciones de manufactura y de servicios ha dado como resultado una serie de estándares de calidad. El propósito es facilitar el comercio internacional al establecer un conjunto común de patrones.

Estos normas, desarrollados por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés), son conocidos como los estándares de calidad de las series ISO 9000.

Tales estándares se emplean en más de 100 países para registrar que una organización cumple los criterios mínimos para un sistema de calidad, como lo definen las normas. Los compradores de productos pueden requerir que los proveedores potenciales estén registrados ante los criterios ISO apropiados como un requisito previo para otorgar un contrato. Las organizaciones encuentran que deben lograr la certificación ISO 9000 para cumplir la competencia nacional e internacional. La evaluación para dicho “registro en los sistemas de calidad” la realiza una organización independiente. A menudo, el proceso incluye visitas de supervisión una o dos veces al año para asegurar que sigue vigente el sistema demostrado de calidad. La industria automotriz tiene su propia definición de los elementos de un sistema de calidad, es decir, QS 9000. Este último incluye los requisitos del ISO 9000, pero incorpora elementos adicionales de sistemas de calidad demandados por la industria automotriz, por ejemplo, condiciones de capacidad y desempeño de procesos.

Las series ISO 9000 deben considerarse como los elementos mínimos de un sistema de calidad. El énfasis en ISO no está en los resultados, sino en la existencia y cumplimiento de los elementos de un sistema de calidad. ISO 9000 cubre sólo una parte del alcance de los criterios Baldrige. Estos últimos se enfocan en los resultados de la satisfacción de clientes, mientras los criterios ISO prestan atención a los elementos de un sistema de calidad. Por eso, Baldrige e ISO 9000 deben considerarse como complementarios. Fletcher (1999) describe cómo una organización puede pasar más allá del ISO 9000 para convertirse en una empresa de clase mundial al usar los criterios Baldrige.

RESUMEN

- Todas las organizaciones necesitan una evaluación periódica de calidad en toda la empresa.
- Las evaluaciones de calidad comprenden cuatro elementos:

Costo de la mala calidad

Posición en el mercado

Cultura de la calidad

Operación del sistema de calidad

- El Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige ofrece criterios para identificar a las organizaciones que han alcanzado los mayores niveles de calidad. Este premio reconoce los mejores logros.
- Los estándares ISO 9000 ofrecen criterios mínimos para un sistema de calidad. Estos documentos proporcionan alguna garantía a los clientes potenciales de que una organización que está certificada con ellos, cubre los estándares por lo que tiene un sistema de calidad adecuado.

PROBLEMAS

- 2.1. La Federated Screw Company fabrica una gran variedad de tornillos hechos a la medida para empresas industriales. Por lo general, los diseños son suministrados por los clientes. La plantilla total de producción asciende a 260 personas y reporta ventas de unos \$28 millones. Las operaciones son relativamente sencillas pero adaptadas a una producción de gran volumen. Las máquinas cabeceadoras, en donde se forma el contorno de los tornillos, se alimentan a gran velocidad con rollos de alambre. Punteadoras y ranuradoras desarrollan operaciones secundarias. La operación de fabricar la cuerda completa la configuración del tornillo. Los pasos finales consisten en tratamiento con calor, platinado y, algunas veces, horneado, y son desarrollados por un contratista externo localizado en las cercanías.

Se le ha pedido que prepare un resumen de costos de calidad para la empresa y ha hecho las siguientes anotaciones:

- El departamento de control de calidad es principalmente un departamento de verificación final (ocho inspectores), que también examina el cable suministrado. La inspección de patrullaje (un inspector) se desempeña en la sala de cabeceo, verificando la primera y la última pieza de cada corrida. El departamento de control de calidad también controla y fija todas las calibraciones usadas por ese departamento y por el personal de producción. El salario de un inspector es de aproximadamente \$24 000 al año.
- La calidad durante la producción es responsabilidad de los equipos establecidos de operadores asignados a baterías de, aproximadamente, cuatro máquinas cada una. Es difícil estimar cuánto de su tiempo pasan en verificar la puesta a punto o el funcionamiento de las máquinas, por lo que usted no ha intentado hacerlo hasta el momento. El departamento de producción tiene dos inspectores de clasificación, cada uno gana \$18 000, que clasifican los lotes rechazados por una inspección final.
- El departamento de ingeniería prepara cotizaciones, diseña herramientas, planea las rutas de trabajo y establece los requisitos de calidad, trabajando a partir de los planos del cliente. Los ingenieros también arreglan desperfectos a un costo de unos \$20 000 al año. Otros \$16 000 se gastan en bosquejar las impresiones de los clientes para identificar las dimensiones críticas, tratando de obtener aquellas cosas cambiadas por el cliente e interpretando los requisitos de calidad de éstos, para convertirlos en especificaciones que usarán los inspectores y el personal de producción de la Federated.

- Los registros de los desechos, trabajos de reelaboración y las devoluciones de los clientes son exigüos, pero usted ha podido reunir alguna información de los registros y de los cálculos:

Los desechos producto de los rechazos de la inspección final y las devoluciones de los clientes contabilizaron hasta 438 000 y 667 000 piezas respectivamente, en los últimos dos meses.

Las devoluciones de los clientes que requirieron trabajos de reelaboración promediaron más o menos un millón de piezas al mes.

Se cree que los desechos generados durante la producción alcanzaron casi la mitad de las 30 000 libras mensuales de desechos totales de la planta (el resto no está relacionado con la calidad).

La inspección final rechaza por mes un promedio de 400 000 piezas reelaboradas. Este producto puede ser entonces laminado o enrollado de nuevo.

- Se obtuvieron del departamento de contabilidad cifras de los costos aproximados, que declaró que los desechos pueden cifrarse hasta en \$12.00 por cada mil piezas, rebabas a \$800 por cada mil libras, reelaboración de devoluciones de los clientes a \$4.00 por mil piezas, y el laminado o el enrollado de nuevo en \$1.20 por millar de piezas. Estas cifras se supone que incluyen los gastos generales de la fábrica.

Prepare entonces un resumen de los costos de la calidad en una base anual. (Este ejemplo se adaptó de uno originalmente preparado por L.A. Seder.)

- 2.2. Revise la explicación del estudio de investigación de mercado representado en la tabla 2.5. ¿Qué pregunta adicional hubiera sido útil hacer durante él?
- 2.3. La información sobre la actual cultura de la calidad de una organización es un dato importante para una valoración. Indagar en las opiniones de los empleados sobre la cultura de la calidad afronta algunos riesgos. Enuncie dos de ellos.
- 2.4. En una encuesta usada para conocer sobre la cultura de la calidad en una organización, se formulan preguntas a los empleados que se relacionan con tres niveles, la alta dirección, sus propios jefes y las personas de su equipo de trabajo. Para cada uno de estos niveles, plantee dos preguntas que identifiquen las percepciones de los empleados sobre la cultura de la calidad.
- 2.5. Cuando los consumidores comen en un restaurante elegante, esperan platillos y atención excelentes. Las investigaciones han identificado siete características del servicio de restaurantes. ¿Cuáles son?

REFERENCIAS

- Atkinson, H., J. Hamburg, y C. Ittner (1994). *Linking Quality to Profits*, ASQ Quality Press, Milwaukee, y el Institute of Management Accountants, Montvale, NJ.
- Bacivarof, I.C. (2000). "Current Events in Europe", *Quality Engineering*, vol. 12, núm. 3, p. 478.
- Blazey, M.L. (2000). *Insights to Performance Excellence*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- Campanella, J. ed. (1999). *Principles of Quality Costs*, 3a. ed., ASQ, Milwaukee.
- Churchill, G.A. Jr. (1991). *Marketing Research Methodological Foundations*, Dryden Press, Chicago, pp. 399-400.
- Cianfrani, C.A., J.J. Tsiakals, y J.E. West (2000). *ISO 9001: 2000 Explained*, ASQ Quality Press, Milwaukee.
- Cokins, G. (1999). "Why Is Traditional Accounting Failing Quality Managers? Activity Based Costing Is the Solution", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee.
- Conti, T. (1997). *Organizational Self-Assessment*, Chapman & Hall, Londres.

- DeFeo, J.A. y W. Barnard (2004). *Juran's Six Sigma Breakthrough and Beyond*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Drew, J.H. y C.A. Castrogiovanni (1995). "Quality Management for Services: Issues in Using Customer Input", *Quality Engineering*, vol. 7, núm. 3, pp. 551-566.
- Evans, J.R. y M.W. Ford (1997). "Value-Driven Quality", *Quality Management Journal*, vol. 4, núm. 4, pp. 19-31.
- Fletcher, A.C. (1999). "Moving beyond ISO 9000: Becoming a World-Class Organization Using the MBNQA Criteria", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 306-312.
- Getty, R.L. y J.M. Getty (1993). "Organizations Hold the Initiative for Improvement", *Annual Quality Congress Transactions*, ASQ, Milwaukee, pp. 710-716.
- Gryna, D.S. y F.M. Gryna (1999). "Quality in Banking Starts with Four Assessments", *Quality Progress*, agosto, pp. 27-34.
- Hannukainen, T. y S. Salminen (1998). "Setting the Course for Quality: A Case Study in Applied Self-Assessment", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 316-323.
- Hromi, J., ed. (1995). *The Best on Quality*, IAQ Book Series, vol. 5, ASQ Quality Press, Milwaukee.
- Lauter, B.E. (1997). "Determining the State of Your Customers", Sterling Quality Conference, Orlando, FL.
- Lowenstein, M.W.L. (1995). *Customer Retention*, ASQ Quality Press, Milwaukee.
- Mortimer, J., J.A. DeFeo y L. Stepnick (2003). "Reducing the Costs of Poor Quality Health Care" un informe publicado por el Midwest Business Group on Health en colaboración con el Juran Institute, Inc. y The Severyn Group, Inc.
- Puay, S.H., K.C. Tab, M. Xie, y T.N. Goh (1998). "A Comparative Study of Nine National Quality Awards", *TQM*, vol. 10, núm. 1, pp. 30-39.
- Rucci, A.J., S.P. Kirn, y R.T. Quinn (1998). "The Employee-Customer-Profit Chain at Sears", *Harvard Business Review*, enero-febrero, pp. 82-97.
- Rust, R.T., A.J. Zahorik, y T.L. Keiningham (1994). *Return on Quality*, Probus, Chicago.
- Schottmiller, J.C. (1996). "ISO 9000 and Quality Costs", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 194-199.
- Tabladillo, M.Z. y S. Canfield (1994). "Creation of Management Performance Measures from Employee Surveys", *Quality Management Journal*, julio, pp. 52-66.
- Werner, F.M. y J.A.F. Stoner (1995). *Modern Financial Managing*, Harper Collins College Publishers, Nueva York, pp. 143-144.
- Zeithaml, V.A., A. Parasuraman, y L.A. Berry (1990). *Delivering Service Quality: Balancing Customer Perceptions and Expectations*, The Free Press, Nueva York.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Costos de la calidad: *JQH5*, sección 8.

Campanella, J., ed. (1999). *Principles of Quality Costs*, 3a. ed., ASQ, Milwaukee.

Miller, J.R. y J.S. Morris (2000). "Is Quality Free or Profitable?", *Quality Progress*, enero, pp. 50-52.

DeFeo, J.A. (2001). "The Tip of the Iceberg", *Quality Progress*, mayo, pp. 29-37.

Posición en el mercado: *JQH5*, sección 18.

Cultura de la calidad: *JQH5*, pp 22.65-22.66.

Evaluaciones de las actividades actuales de calidad: *JQH5*, sección 11 y pp. 14.17-14.28.

Estándares de calidad ISO 9000-9004.

Criterios para la excelencia en el desempeño del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige, Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, Gaithersburg, MD 20899-1020.

Wilson, D.D. (1997). "An Empirical Study to Test the Causal Linkages Implied in the Malcolm Baldrige National Quality Award". Tesis doctoral, UMI Dissertation Services, Ann Arbor, MI.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Bames, W.R. (2003). "Designing Customers Satisfaction Programs for Actionability". <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , 57:391-393.	Mejores prácticas para la vinculación, el alineamiento y el despliegue de datos para la satisfacción del cliente.
Berglund, R.G. (2000), "Using a Baldrige Based Tool to Get Results from Your Quality Process", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 573-586.	Desarrollo y aplicación de una herramienta interna basada en Baldrige para las empresas no interesadas en el Baldrige completo.
Berglund, R. G. (2001). "Using a Baldrige Based Tool to Get Results from Your Quality Process", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 573-586.	Similar a Berglund (2000) anterior, enfocado en la asistencia sanitaria.
Brow, B. (2001). "Focusing ISO 9001:2000 on Customer Guarantees", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 568-577.	9001:2000 garantías al cliente en una empresa de servicio público de electricidad.
Burney, R. (2001). "The JCAHO Approach to Medical Errors", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 743-750.	Salud – Errores médicos. Comisión Unida para la Acreditación de Organizaciones de la Asistencia Sanitaria, informes de mediciones de procesos y comparación con otras instituciones; RCA de graves eventos adversos.
Conti, T. (2001). "Why Most Companies Do Not Get the Most Out of Their Self-Assessments", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 229-238.	Diferencias entre la autoevaluación hacia la medición de la excelencia (premios) y la mejora en el desempeño (diagnóstico).
Dahlgaard, J.J. y L. Nilsson (2002). "Focused Self-Assessment: Diagnosing, Prioritizing and Improvement", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 383-396.	Un nuevo tipo de cuestionario que tiende a enfocarse en las pocas oportunidades vitales para la mejora.
Dean, M.L. y C.L. Tomovic (2004). "Does Baldrige Make a Business Case for Quality?" <i>Quality Progress</i> , 37(4):40-45.	Los autores argumentan que hay un razonamiento circular al concluir que la gestión de la calidad por los ganadores del Baldrige lleva a la excelencia en los resultados de negocios (debido a que los criterios del Baldrige incluyen los resultados).
Doezema, D. (2000). "Enriching ISO 9001 with Baldrige Criteria", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 294-299.	Sugiere que se necesita un abordaje estadístico. La aplicación de los criterios del Baldrige para fortalecer el proceso y la comprensión de la auditoría ISO.

Citas

- Dolan, A.M. (2004). "Risk Management of Medical Devices: Ensuring Safety and Efficacy through ISO 14971", *Annual Quality Congress Proceedings*, 58:69-72.
- Ferguson, L.A. (2001). "A Study of the Relationships Between the Baldrige Categories", *International Journal of Quality & Reliability Management*, enero, vol. 18, núm. 1, pp. 14-15.
- Goh, T.N., P.C. Low, K.L. Tsui, y M. Xie (2003). "Impact of Six Sigma Implementation on Stock Price Performance", *TQM & Business Excellence* 14(7): 753-763.
- Johnson, G.L. (2002). "ISO 19011:2002: A New Auditing Standard for QMS and EMS", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 783-789.
- Leggitt, M.S. y R. Anderson (2001). "Baldrige Assessment Strengthens Competitive Position for Hartford Hospital", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 462-467.
- Leonard, D. y M.K. Reller (2004). "Simplify Baldrige for Healthcare", *Quality Progress*, 37(9): 35-44.
- Marguglio, B.W. (2001). "Performance Self-assessment in High Technology Enterprises", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 616-636.
- Przasnyski, Z.H. y L.S. Tai (2002). "Stock Performance of Malcolm Baldrige National Quality Award Winning Companies", *Total Quality Management*, 13(4):475-488.
- Reld, R.D. y M.M. Christensen (2001). "Quality Healthcare – A Path Forward", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 57-62.
- Sower, V.E. (2004). "Estimating External Failure Costs: A Key Difficulty in COQ Systems", *Quality Congress*, 58:547:551.

Resumen

- Gestión del riesgo de los equipos médicos; véase Figura 1 (Procesos de gestión del riesgo: análisis, evaluación, control de la información de postproducción).
- El estudio examina las relaciones entre las categorías en el marco del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige, usando información del Premio de Calidad del Gobernador de Arizona.
- El desempeño del precio de las acciones de las empresas estudiadas no funcionó significativamente mejor que el S&P 500 en el periodo estudiado (largo plazo). Además, los retornos anormales no fueron notados el día en que se anunció un evento Six Sigma.
- Auditar Sistemas de Gestión del Medio ambiente que reemplazan seis estándares anteriores.
- Aplicación del Baldrige para mejorar el desempeño de un hospital-escuela.
- Aplicación de una matriz de autoevaluación de Baldrige en la asistencia sanitaria.
- Recomendaciones para diseñar e implementar programas de autoevaluación del desempeño en la alta tecnología.
- Análisis de cuatro perspectivas que examinan el desempeño de las acciones de los receptores del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige (por ejemplo, anuncio inicial, largo plazo). Resultados mixtos, ampliamente consistentes con las conclusiones del Instituto Nacional de Estándares (NIST), pero no tan dramáticas.
- ASQ Healthcare Div y el uso en la industria del automóvil del ISO 9004:2000 para la industria de los servicios de la asistencia sanitaria.
- Basado en Sower y Quarles (2003), el autor afirma que pocas empresas rastrean sistemáticamente los costos de la calidad. Los costos de fallas externas son los más difíciles de averiguar, y se presentan ideas y sugerencias para ayudar a medirlos y emplearlos.

Citas

- Sower V.E. y R. Quarles (2003). "Cost of Quality: Why More Organizations Do Not Use It Effectively", *Quality Congress*, 57:625-637.
- Sower, V.E., R. Quarles y S. Cooper (2002). "Costs of Quality Distribution and Quality System Maturity: An Exploratory Study", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 343-354.
- Stading, G.L. y R.J. Vokurka (2003). "Building Quality Strategy Content Using the Process from National and International Quality Awards", *TQM & Business Excellence*, 14(8):931-946.
- Tummala, V.W.R., K.S. Chin y W.K.J. Leung (2002). "An Activity-Based Costing Model to Reduce COPQ", *The Quality Management Journal*, 9(3):32-47.
- VanAmburg, D. (2004). "Customer Satisfaction in a Changing Economy: Results from the American Customer Satisfaction Index (ACSI)", *Quality Congress*, 58:233-236.
- VanAmburg, D. (2004). "Customer Satisfaction in a Changing Economy: Results from the American Customer", *Annual Quality Congress Proceedings*, 58: 233-236.
- Vokurka, R.J. (2001). "The Baldrige at 14", *Journal for Quality & Participation*, verano, vol. 24, núm. 2.
- Worthington, J.C. (2001). "Managing Information Quality in National Programs", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 539-548.
- Zimak, G. (2000). "Cost of Quality (COQ): Which Collection System Should Be Used?" *Quality Congress*, pp. 18-24.

Resumen

- Estudio para identificar las principales razones de por qué las organizaciones no rastrean los costos de la mala calidad.
- Encuesta de la División de Administración de Calidad de la ASQ para investigar la relación entre el costo de la distribución de la calidad y la madurez de los sistemas de calidad.
- Los autores argumentan que hay una tendencia en vías de desarrollo hacia una definición global unificada y un modelo de calidad en el desempeño organizacional. En particular, los premios parecen evolucionar hacia el contenido (no solamente el proceso), por lo que están ligando ambos. Se examinan los premios de Estados Unidos, Japón, Australia, Europa y Canadá.
- Ofrece un proceso de tres fases y doce pasos para reemplazar los métodos tradicionales de contabilidad con otros basados en la actividad para estimar los costos generales directos e indirectos de mejor manera que cuando se calcula COPQ, para iniciar y monitorizar los proyectos de mejora.
- Revisa las metas y la mecánica del Índice Estadounidense de Satisfacción del Cliente.
- Actualización del Índice Estadounidense de Satisfacción del Cliente.
- Vista general del Premio Baldrige y de cómo ha evolucionado en sus primeros catorce años.
- Examen detallado de las técnicas para asegurar la calidad de la información recopilada, manejada, reportada e intercambiada en programas nacionales como la Agencia de Protección Medioambiental (EPA, por sus siglas en inglés) y otras agencias.
- Evaluación de las ventajas y desventajas de varios sistemas usados para medir el costo de la calidad (COQ): tradicional, documentación de defectos, tiempo y asistencia, métodos de evaluación.

SITIOS WEB

Actualizaciones del Baldrige: www.quality.nist.gov

Directorio de los Premios Estatales de Calidad: www.apqc.org/

Fundación Europea para la Gestión de la Calidad: www.efqm.org/

Organización Internacional para la Estandarización (ISO): www.iso.ch/welcome.html

Estándares de calidad: <http://e-standards.asq.org/perl/catalog.cgi>

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD Y REDUCCIÓN DE COSTOS

3.1 PROBLEMAS ESPORÁDICOS Y CRÓNICOS

El director general de un gran fabricante estadounidense de automóviles dijo lo siguiente: “Del costo final de un vehículo, desde que se comienza su fabricación hasta que se entrega y se vende, es probable que, actualmente, un tercio sea derroche” (*Business Week*, 12 de enero de 1998). De la trilogía de los procesos de calidad (véase sección 1.6, “Administrar para la calidad”), el proceso de mejoramiento de la calidad desempeña un papel dominante a la hora de reducir los costos del derroche.

Los costos asociados con el derroche (costo, calidad, tiempo relacionado) se deben a problemas de calidad tanto *crónicos* como *esporádicos* (véase figura 3.1). Un problema esporádico es un cambio repentino y adverso en el *statu quo* que debe remediarse mediante la *restauración* de tal *statu quo* (por ejemplo, cambiar una sustancia química reactiva agotada). Un problema crónico es una situación adversa de larga duración, que se soluciona mediante el *cambio* del *statu quo* (por ejemplo, revisar una especificación irreal).

El “mejoramiento continuo” (llamado *kaizen* por los japoneses) ha adquirido un amplio significado, por ejemplo, puede denotar los esfuerzos continuos realizados para actuar sobre los problemas crónicos y esporádicos y perfeccionar los procesos. En los problemas crónicos, el “mejoramiento continuo” hace referencia al logro de cada vez mejores niveles de desempeño por año; en los problemas esporádicos, significa tomar acciones correctivas sobre los problemas periódicos; mientras que en el perfeccionamiento de los procesos, hace alusión a tomar ciertas medidas como reducir la variación en torno a un valor objetivo.

La distinción entre problemas esporádicos y crónicos es importante por dos razones:

1. El enfoque para resolver problemas esporádicos difiere del aplicado a la resolución de problemas crónicos. Los problemas esporádicos se atacan por el proceso de control, definido y desarrollado en el capítulo 5. Para resolver los problemas crónicos se emplea el proceso de mejoramiento que se trata en este capítulo.
2. Los problemas esporádicos son dramáticos (por ejemplo, un airado cliente que reacciona ante un cargamento de partes defectuosas) y deben recibir atención inmediata. Los problemas crónicos no son dramáticos porque ocurren durante un largo tiempo (por ejemplo, ha sido típico un 2 por ciento de chatarra durante los pasados cinco años), a menudo son difíciles de resolver

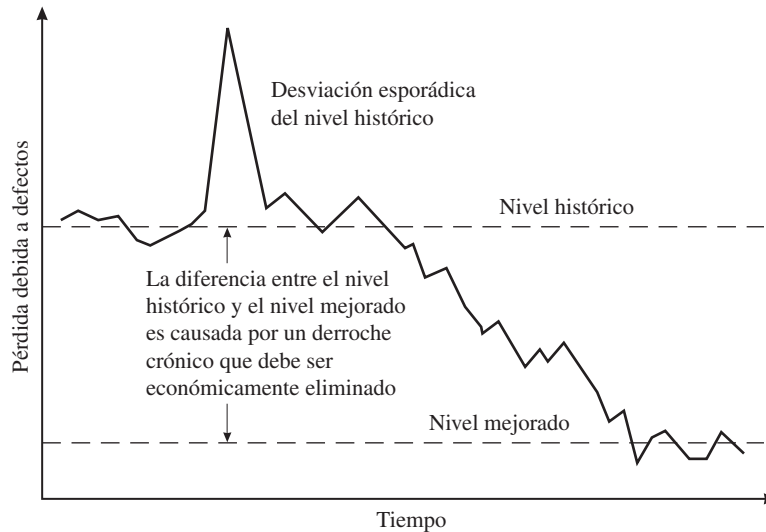


FIGURA 3.1
Problemas de calidad esporádicos y crónicos.

y se aceptan como inevitables. El peligro es que la lucha para combatir los problemas esporádicos puede tomar una prioridad continua por encima de los esfuerzos para lograr los mayores ahorros posibles, por ejemplo, en los problemas crónicos.

3. Una razón clave para el derroche crónico presente en las organizaciones es la falta de un enfoque estructurado que identifique y reduzca dicho derroche. Este capítulo proporciona esa estructura.

Se tiene que explicar la secuencia de los capítulos de calidad de este libro. La lógica nos diría que primero se planeara (capítulo 4), luego se midiera y se controlara (capítulo 5) y, después, se mejorara (capítulo 3). Empero, en el mundo real, la lógica no siempre prevalece. Entonces, primero se cubrirá el proceso de mejoramiento, porque la mayoría de las organizaciones tienen serios problemas de calidad que las personas prácticas quieren corregir. Las personas están más motivadas para corregir los problemas actuales que para hacer una mejor planeación. (Más tarde se verá que la causa de muchos problemas comunes es la mala planeación, pero esta relación tiene que ser descubierta personalmente antes de que haya un deseo ardiente por hacer buena planeación.)

Un enfoque estructurado para el mejoramiento aplica no sólo para la calidad, sino también para otros parámetros, por ejemplo, productividad, tiempos de ciclo y seguridad. Al tratar los problemas crónicos se logran grandes avances para llegar a un mejor nivel (figura 3.1), y esto se logra actuando mediante el enfoque “proyecto por proyecto”.

3.2 ENFOQUE PROYECTO POR PROYECTO

El enfoque más eficaz para el mejoramiento es el de proyecto por proyecto. En él, un proyecto es un problema crónico que ha sido elegido para solucionarlo. El enfoque de proyectos puede apli-

car a todos los procesos de la trilogía de calidad y, de esa manera, ser la base de una iniciativa de calidad total. Un proyecto de mejoramiento de calidad enfrenta la magnitud de las deficiencias de calidad; un proyecto de planeación de calidad se enfoca en la planeación (o replaneación) de las características del producto o del proceso; un proyecto de control de calidad analiza un conjunto de problemas esporádicos. En la práctica, las organizaciones se benefician principalmente al comenzar con proyectos de mejoramiento de calidad.

Establecer el método para llevar a cabo proyectos de mejoramiento, de planeación o de control de calidad comprende tres pasos principales:

- Probar la necesidad (el caso de negocios).
- Identificar proyectos.
- Organizar equipos de proyectos.

Llevar a cabo un proyecto de mejoramiento de calidad implica estas tareas:

- Verificar la necesidad del proyecto y su misión.
- Diagnosticar las causas.
- Proporcionar un remedio y comprobar su efectividad.
- Tratar con la resistencia al cambio.
- Instituir controles para mantener los beneficios.

Este enfoque fue propuesto originalmente por Juran en 1964 como la “secuencia de grandes avances” para el mejoramiento (Juran, 1964). Otros enfoques para el mejoramiento incluyen planear, hacer, estudiar, actuar; reingeniería, teoría de restricciones, six sigma y lean six sigma. Cada enfoque conlleva ideas frescas que las organizaciones han aprendido a integrar continuamente con métodos exitosos más antiguos.

Las fases del enfoque de six sigma son definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Este capítulo presenta un punto de vista integrado de una secuencia de grandes avances de Juran y del enfoque de six sigma. Yo (Frank Gryna) estoy en deuda con dos antiguos colegas del Juran Institute por su ayuda: Richard Chua suministró la materia prima para six sigma, y él y William Barnard proporcionaron muchos comentarios útiles sobre los dos enfoques.

Para poner en perspectiva los proyectos individuales, primero se ofrecerá un ejemplo resumido. Luego se discutirá cómo probar la necesidad para una iniciativa importante de mejoramiento que consista en muchos proyectos, seguida de las experiencias con el enfoque de proyectos. Entonces estaremos listos para describir los pasos para establecer y llevar a cabo cada proyecto.

3.3 EJEMPLO DE UN PROYECTO

El problema atañe al proceso de soldadura usado en la fabricación de placas de circuitos impresos (PCB, por sus siglas en inglés). Cualquier conexión soldada puede causarle al cliente problemas de verificación o de desempeño y fiabilidad. En la siguiente discusión se siguen los pasos de la secuencia de grandes avances para el mejoramiento (véase “Enfoque proyecto por proyecto”). Cada paso de la secuencia de grandes avances se relaciona con el paso correspondiente del enfoque de six sigma.

Verificar la necesidad del proyecto y su misión (el Paso de Definición de Six Sigma)

El proceso estaba estadísticamente fuera de control y numerosas conexiones soldadas requerían arreglos. Entonces, la misión del equipo del proyecto era: reducir el número de conexiones soldadas con defectos.

Diagnóstico de las causas (los Pasos de Medición y Análisis de Six Sigma)

Se designó un equipo de personas, no de un único departamento sino de algunos departamentos multifuncionales, para guiar el proyecto y hacer el diagnóstico. La figura 3.2 (un diagrama de Pareto; para su elaboración, véase la sección 3.7) representa la distribución de los síntomas por tipo de defecto de soldadura. Se analizaron los datos de los defectos y se ofrecieron teorías sobre sus causas. La figura 3.3 es un diagrama de causa y efecto que resume las teorías. Éstas fueron agrupadas en tres categorías, permitiendo de ese modo desarrollar una lista de control que los supervisores y el inspector de control usarían para evaluar las teorías. Después de una recopilación de datos adicional, así como de otro análisis, se encontró que la baja temperatura de soldadura era la causa principal de los defectos. La figura 3.4 muestra parte del análisis.

Proporcionar un remedio y comprobar su efectividad (el Paso de Mejoramiento de Six Sigma)

Los datos y un análisis más detallado revelaron que para alcanzar las condiciones ideales de soldadura, la temperatura de ésta debía elevarse o bien reducirse la velocidad del transportador de la

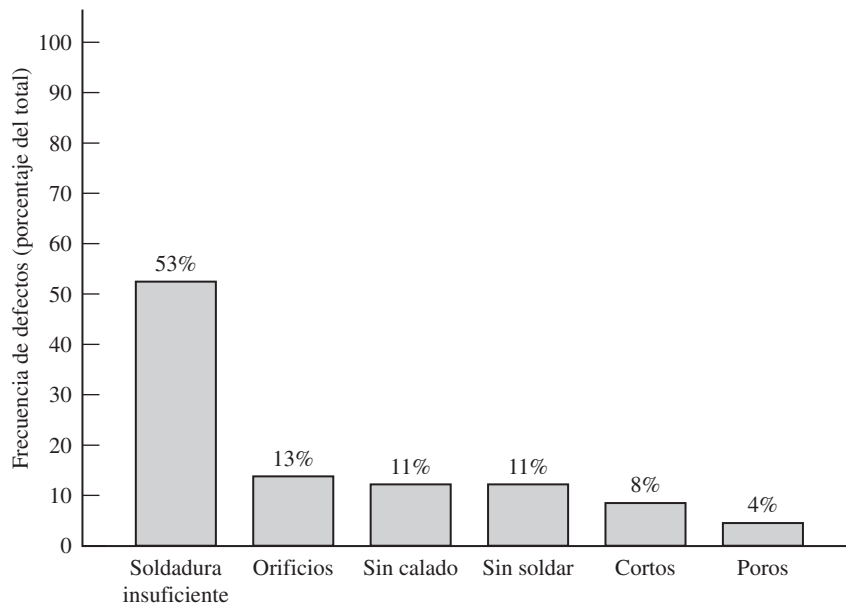


FIGURA 3.2
Tipos de defectos de soldadura, análisis de Pareto. (De Betker, 1983.)

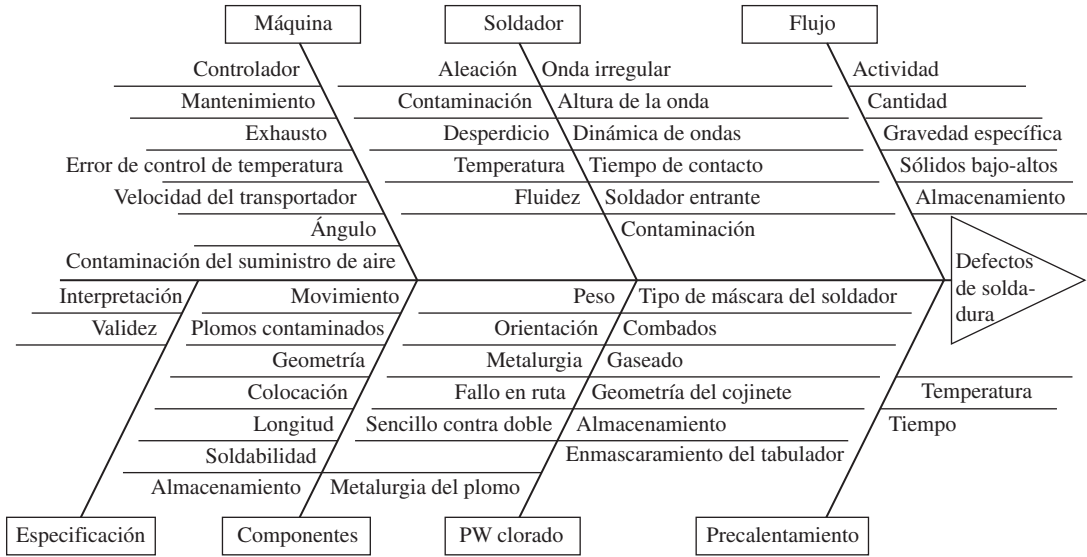


FIGURA 3.3
Diagrama de Ishikawa de causa y efecto. (De Betker, 1983.)

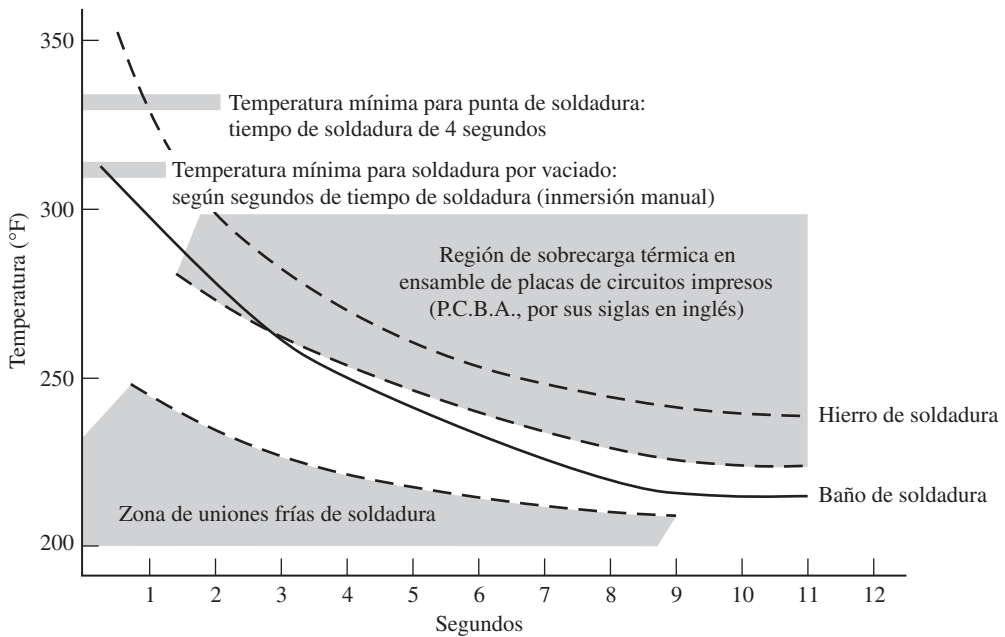


FIGURA 3.4
Relación temperatura/tiempo cuando se aplica soldadura por corriente o por vaciado. (De Betker, 1983.)

máquina de soldadura por onda. Éstos fueron remedios para quitar la causa. Se llevó a cabo una prueba usando una temperatura más alta. Esto resultó en un mejoramiento de los defectos de soldadura sin ningún efecto negativo.

Tratar con la resistencia al cambio (el Paso de Mejoramiento de Six Sigma)

Desde el comienzo del proyecto, un ingeniero de manufactura del equipo argumentaba que la causa era externa al control de la máquina. El diagnóstico explicado previamente le convenció de lo contrario. Pero él creía que elevar la temperatura daría como resultado “un reflujo de estaño bajo la máscara de soldadura, causando por consiguiente cortos de soldadura y peladuras en la máscara de soldadura”. Esta creencia, basada en una prueba llevada a cabo 10 años antes en otro equipo, se había expresado tan a menudo que ya no se cuestionaba. La prueba del remedio venció esta resistencia.

Instituir controles para mantener los beneficios (el Paso de Control en Six Sigma)

El nivel de defectos se redujo en un 62 por ciento y se eliminaron los puntos alejados de las tablas estadísticas de control. Se monitoreó el proceso para asegurar que se mantenía el nivel de mejoramiento, y no sólo se mantuvo, sino que la eliminación de la causa dominante (baja temperatura) desenmascaró otras causas. Se ha mejorado el desempeño hasta el punto que puede eliminarse la operación manual de retoque de soldadura.

Este ejemplo ofrece una vista general de la secuencia de grandes avances y del enfoque de six sigma cuando se aplican a proyectos individuales de calidad. Llevar a cabo proyectos de mejoramiento de calidad en problemas crónicos ocupa recursos, por lo que a continuación se disertará sobre cómo comprobar la necesidad de dichos recursos.

3.4

PROBAR LA NECESIDAD DE UNA INICIATIVA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD A LO LARGO DE TODA LA EMPRESA

Obtener la aprobación de la dirección para una iniciativa importante de calidad requiere de varios pasos:

1. *Estimar el tamaño del derroche crónico o de otras pérdidas relacionadas con la calidad.* La información clave para este paso proviene de los estudios sobre el costo por mala calidad y sobre la situación competitiva en el mercado, como se describió en el capítulo 2, “Evaluación de la calidad en toda la empresa”.

Por lo general, los directores se sorprenden por el tamaño del costo del derroche o por los ingresos perdidos en ventas debidos a la mala calidad. Para establecer pruebas de la necesidad, pueden requerirse diferentes “lenguajes” para los diferentes niveles de la gerencia. Para la alta gerencia, el lenguaje del dinero funciona mejor; para los niveles inferiores, son efectivos otros lenguajes. La tabla 2.2 muestra ejemplos de enunciados en lenguaje de dinero y en otros más.

2. *Estimar los ahorros y otros beneficios:*
 - a) Si la organización nunca ha realizado un programa para reducir los costos relacionados con la calidad, entonces un objetivo razonable es recortar esos costos a la mitad, dentro de los cinco primeros años.
 - b) No implica que los costos de calidad puedan reducirse a cero.
 - c) Para cualquier beneficio que no pueda ser cuantificado como parte del rendimiento de la calidad, hay que presentar estos beneficios como factores intangibles para ayudar a justificar el programa de mejoramiento. Algunos beneficios pueden relacionarse con problemas de gran prioridad para la alta dirección, como cumplir con los tiempos de entrega, controlar los gastos de capital o reducir el trabajo atrasado en la entrega. En una empresa química, un factor clave a la hora de justificar un programa de mejoramiento fue la capacidad de reducir significativamente un gasto importante de capital para ampliar la capacidad de la planta. Una gran parte del costo por mala calidad era debido a tener que reelaborar el 40 por ciento de los lotes cada año. Se esperaba que el esfuerzo de mejoramiento redujera el trabajo de reelaboración de un 40 a un 10 por ciento, dejando disponible de esta manera una capacidad de producción que ya no era necesaria para reelaboración. Lo que convenció a la dirección no fueron los ahorros en los costos de reelaboración, sino la reducción de los gastos de capital.
3. *Calcular el rendimiento sobre la inversión que resulta del mejoramiento.* Este rendimiento debería reflejar los ahorros en el costo tradicional por mala calidad y en el mejoramiento de la capacidad del proceso, así como los incrementos en los ingresos por ventas, debidos a una reducción en los defectos para el cliente y a un aumento de nuevos clientes. Para su elaboración, véase la sección 2.4 (incluyendo el modelo Dupont) y *JQH5*, sección 8 bajo el título “Rendimiento de la calidad”.
4. *Usar la historia de un caso exitoso (un proyecto líder) en la organización para justificar un programa más amplio.* Uno o más de esos proyectos piloto no sólo muestran los beneficios tangibles que pueden resultar, sino que también demuestran que se ha desarrollado un enfoque paso a paso exitoso en la organización. Estas victorias a corto plazo deben ser genuinas, visibles y relacionadas con el esfuerzo general de mejoramiento. El siguiente escenario ilustra cómo la empresa de productos electrónicos ABC usó este enfoque.

El costo estimado por mala calidad era de \$200 millones anuales, y un problema notorio de calidad era el desperdicio de cierto componente electrónico importante. Este desperdicio suponía unos \$9 millones al año. El tipo principal de defectos era el defecto X, el cual estaba costando unos \$3 millones anuales (“prueba de la necesidad” para eliminar el defecto X).

La empresa encargó un proyecto para reducir la incidencia del defecto X. El proyecto fue un éxito sorprendente. El costo del defecto X se recortó de \$3 millones a \$1 millón, un mejoramiento anual de beneficios de \$2 millones, siendo necesaria una inversión de unos \$250 000.

Luego siguió una extrapolación y un contraste sorprendentes. Los ingenieros calcularon que ampliar el mejoramiento al costo total de \$200 millones por mala calidad podría reducir el total a la mitad, creando así un mejoramiento anual de los beneficios de \$100 millones.

El proyecto “defecto X” demostró a los directivos de ABC que podrían obtener un gran rendimiento sobre la inversión al mejorar la calidad. Este proyecto interno fue más convincente para los directores orientados a los resultados que cualquier cantidad de lecturas, libros o historias de éxito de otras empresas.

A continuación se resumen las experiencias con el enfoque de proyecto por proyecto y luego se examinarán los pasos específicos con más detalle.

3.5 EXPERIENCIAS CON EL MÉTODO PROYECTO POR PROYECTO

Las experiencias tanto en industrias manufactureras como de servicios han llevado a conclusiones esperanzadoras:

- Se han logrado grandes reducciones de costos y mejoras en la calidad a los clientes. Por cada dólar invertido en actividades de mejoramiento, el rendimiento oscila entre \$5 y \$10.
- La inversión requerida para el mejoramiento ha sido modesta y no intensiva de capital. La mayor parte de la inversión se aplica en el momento de diagnosticar los proyectos.
- La mayoría de los proyectos pueden completarse en seis meses si se define cuidadosamente el alcance de su misión.
- Los problemas crónicos clave relacionados con la calidad trascienden los departamentos y, por consiguiente, requieren de equipos multifuncionales de proyectos.
- Algunas organizaciones están conformadas por múltiples unidades autónomas que tienen actividades parecidas, por ejemplo, plantas de manufactura, hospitales, hoteles. Un proyecto de mejoramiento que tenga éxito en una unidad se puede aplicar a otra sin necesidad de duplicar el trabajo de diagnóstico. Para elaborar esta “clonación” véase *JQH5*, páginas 5.29-5.30.
- El enfoque de mejoramiento debe incluir a los proveedores, tanto animándoles y requiriéndoles a que tengan su propio programa de mejoramiento, como ejecutando proyectos conjuntos de mejoramiento de la calidad con ellos (véase el capítulo 12 bajo el título “Mejora de la calidad en la cadena de suministro”).
- Como cualquier actividad principal (por ejemplo, el desarrollo de nuevos productos), el mejoramiento debe incluir objetivos en el plan anual de negocios que estén alineados con otros objetivos y estrategias de negocios, infraestructura organizacional para ejecutar el mejoramiento (proceso para seleccionar proyectos y la formación, capacitación y apoyo de los equipos de mejoramiento), capacitación, revisión del progreso por parte de la alta dirección, así como recompensas y reconocimientos. Todos estos asuntos deben integrarse en un mapa de trabajo para su implementación.

De especial preocupación es la necesidad de contar con tiempo y recursos suficientes para que las personas lleven a cabo sus responsabilidades de mejoramiento. En muchas empresas, los empleados creen que se les pide que trabajen en las mejoras como un “añadido” a sus responsabilidades habituales y que no se les da tiempo suficiente para hacer el trabajo de mejoramiento.

Un número creciente de empresas ha reportado la terminación de más de 1 000 proyectos en unos cuatro años. Usando el enfoque de six sigma, General Electric informa de un aumento del orden de 200 proyectos en el año 1995 a 47 000 en 1999 (Slater, 1999). Las condiciones competitivas de los negocios de hoy en día dictan una tasa revolucionaria de mejoramiento para reemplazar la tasa evolucionista del pasado. Tal mejoramiento implica la réplica de los proyectos usando un método de proyecto por proyecto.

Blakeslee (1999) proporciona una útil discusión de siete principios para asegurar el éxito al momento de aplicar el enfoque de six sigma al mejoramiento de proyecto por proyecto.

3.6 INTRODUCCIÓN AL MEJORAMIENTO SIX SIGMA

El método de six sigma es un conjunto de conceptos y técnicas de carácter administrativo y estadístico que se enfoca en reducir la variación de los procesos y en prevenir las imperfecciones en el producto.

La variación en un proceso que se denota por sigma —la desviación estándar de mediciones en torno al promedio del proceso (véase el capítulo 17 bajo el título “Conceptos básicos de estadística y probabilidad”). En un proceso que ha logrado la capacidad de six sigma, la variación es pequeña comparada con el rango de los límites de especificaciones, es decir, hay seis desviaciones estándar entre el promedio del proceso y cualquier límite de las especificaciones. (En los primeros días del movimiento de calidad, un proceso era considerado adecuado si había tres desviaciones estándar entre el promedio del proceso y cualquier límite de las especificaciones.) Incluso si el promedio del proceso cambia (por 1.5 sigma) no más de 3.4 unidades por millón cae fuera de los límites de las especificaciones. (“Unidades” pueden ser partes, líneas de código, transacciones u otras formas de resultado.) Por consiguiente, cuanto mayor número de sigmas, mejor. La mayor parte de los procesos están en 3 o 4 sigmas. Para la elaboración del concepto estadístico, véase el capítulo 20 bajo el título “Concepto de six sigma de capacidad de procesos”.

Un enfoque clave es la relación entre las variables de entrada y los resultados de un proceso, expresada como

$$Y = f(X_1 \dots X_n)$$

Conceptualmente, los resultados de producto (Y) son una función (f) de muchas variables de procesos $X_1 \dots X_n$. Así, Y es un resultado, un efecto, una variable dependiente; X son entradas, causas, variables dependientes. El enfoque six sigma identifica las variables del proceso que causan variación en los resultados del producto. Algunas de estas variables del proceso son críticas para la calidad, se fijan en un valor determinado y se mantienen dentro de un rango específico (es decir, “variables controlables”). Otras variables no pueden mantenerse fácilmente en torno a un valor determinado y son consideradas incontrolables o “ruido”. Para la elaboración, véase Sanders, Ross y Coleman (1999).

Six sigma usa cinco fases:

1. *Definir*. Este paso identifica proyectos potenciales, selecciona y define un proyecto y conforma su equipo.
2. *Medir*. Este paso documenta el proceso y mide su capacidad actual.
3. *Analizar*. Este paso recopila y analiza los datos para determinar las variables críticas del proceso.
4. *Mejorar*. Este paso dirige experimentos formales, si son necesarios, para enfocarse en las variables más importantes del proceso y para determinar su entorno, con el fin de optimizar los resultados del producto.
5. *Controlar*. Este paso mide la capacidad del nuevo proceso, documenta el proceso mejorado e instituye controles para mantener los beneficios.

El enfoque six sigma y la secuencia de grandes avances tienen idéntico objetivo y pasos parecidos para lograr su meta. Ambos tienen la finalidad de encontrar las causas de las deficiencias y de desarrollar remedios para prevenir deficiencias futuras. Los dos emplean los mismos instrumentos y técnicas, la mayoría de las cuales fueron desarrolladas en la década de los años cincuenta. Muchos de los instrumentos cuantitativos fueron subutilizados en el pasado debido a su relativa complejidad (para algunos usuarios), pero los recientes progresos en la tecnología de información han simplificado la recopilación y el análisis de los datos, facilitando así el uso de estos instrumentos.

Chua (2001), Harry y Schroeder (2000), Hahn *et al.* (2000), Chua y Janssen (2000) y Henson (1999) presentan una visión general de six sigma, incluyendo ejemplos de General Electric y de otras organizaciones. Bajaria (1999) identifica ciertos elementos (“puntos”) de six sigma, pero luego plantea algunos temas (“contrapuntos”) para dar perspectiva. Yun y Chua (2002) narran la historia de éxito de six sigma de Samsung Electronic. DeFeo y Barnard (2003) presentan six sigma en un contexto más amplio para lograr el mejoramiento en la ejecución de adelantos. Bottome y Chua (2005) exhiben los esfuerzos exitosos de Prueba y Error de Genetech usando six sigma y lean.

El resto de este capítulo examina las cinco fases de six sigma.

3.7 FASE DE DEFINICIÓN

Esta fase identifica proyectos potenciales, selecciona y define un proyecto y conforma su equipo. Sus pasos son:

- Identificar proyectos potenciales.
- Evaluar proyectos.
- Seleccionar proyectos.
- Preparar el enunciado del problema y el de la misión para el proyecto.
- Seleccionar y lanzar el equipo del proyecto.

Identificar proyectos potenciales

La identificación de proyectos consiste en nombrar, explorar y seleccionar los proyectos. *El enfoque debe estar en las pocas oportunidades vitales que aumentarán la satisfacción del cliente y reducirán los costos por mala calidad.* Todos los proyectos deben hallarse alineados con la misión de la organización y los objetivos de calidad. El enfoque de six sigma emplea particularmente mediciones financieras para seleccionar y medir el éxito de los proyectos.

Propuesta de los proyectos

Las nominaciones provienen de diferentes fuentes:

- Análisis de los datos sobre el costo por mala calidad, situación de la calidad en el mercado, estudios de satisfacción de los empleados u otras formas de evaluación (véase capítulo 2).
- Objetivos de mejoramiento necesarios para cumplir las metas anuales y lograr los objetivos estratégicos.

- Análisis de otra inteligencia de campo, por ejemplo, entrada de información por parte de ventas, de servicio al cliente y de otro personal, con el fin de retener a los clientes actuales y atraer a nuevos.
- Brechas entre los objetivos y el desempeño real.
- Entradas desde todos los niveles de la dirección y de la fuerza laboral.
- Estudios de benchmarking de otras organizaciones.
- Desarrollos que surgen del impacto de la calidad del producto en la sociedad, por ejemplo, las regulaciones gubernamentales y el aumento de litigios por la confiabilidad de los productos.

Las propuestas de los proyectos tratan de mejorar la efectividad (cumplir con las necesidades de los clientes) y la eficiencia (cumplir esas necesidades a un mínimo costo). Observe que el six sigma y los enfoques de grandes avances son estratégicos porque los proyectos deben basarse en las brechas entre el desempeño real y los objetivos.

El principio de Pareto es un instrumento de análisis de datos para generar las propuestas de los proyectos. (El principio de Pareto ha sido rebautizado como el principio de Juran.)

El principio de Pareto (principio de Juran)

Cuando se aplica al costo por mala calidad, el principio de Pareto (nombrado por J. M. Juran) establece que unos pocos contribuyentes al costo son responsables de la mayor parte de éste. Entonces, deben identificarse estos pocos contribuyentes vitales para que los recursos de mejoramiento de la calidad puedan concentrarse en esas áreas.

Un estudio sobre el costo por mala calidad (COPQ, por sus siglas en inglés) llevado a cabo para un fabricante de implantes ortopédicos encontró que, en el año anterior, los costos internos por fallas ascendían a \$115 millones (véase tabla 3.1a). Las cinco máximas categorías (reservas excedentes de inventario, existencias de seguridad, inventario inmediato de existencias, reservas de inventario obsoleto y derroche de inventario) ascendían al 83 por ciento de los costos totales internos por mala calidad.

Con referencia a la tabla 3.1a: Las **reservas excedentes de inventario** son reservas disponibles, un inventario de movimiento lento que supera el pronóstico de ventas de 24 meses. Las **existencias de seguridad** representan el exceso de inventario mantenido como un banco local, debido a la incapacidad para producir rendimientos fiables, pronosticar de manera consistente o recibir productos obtenidos en el momento oportuno. El **inventario intermedio de existencias (neto)** es material de trabajo en proceso usado como un amortiguador para rendimientos inadecuados de fundición, pronósticos de ventas y planes de lanzamiento inexactos, cambios de diseño que necesitan respuesta rápida y para apoyar las complicaciones de los ensambles de los instrumentos. (El inventario neto es utilizado para no duplicar los costos de la reserva excedente y obsoleta.) Las **reservas de inventario obsoleto** son reservas para inventario de productos inactivos (sacados de la lista de precios). El **desecho de producción** es material desechado y reportado por célula y familia de producto.

Sólo las reservas excedentes de inventario ascendieron a \$36 millones el año pasado, o 31 por ciento de los costos totales de fallas internas. Cuando se analizan las reservas excedentes de inventarios usando el principio de Juran, antiguamente el principio de Pareto, rodillas, fijación de lesiones y caderas estaban en las tres primeras categorías (véase tabla 3.1b). Estudiar y reducir el costo de estas pocas categorías vitales da como resultado atacar el 86 por ciento del problema de reservas excedentes de inventario. No se puede lograr ninguna reducción importante en los costos excedentes de inventario sin atacar sus reservas excedentes de prótesis para rodillas y caderas, y fijación de traumas. Dicho análisis sería útil para nominar y seleccionar los proyectos para reducción de costos.

TABLA 3.1a
Análisis de Pareto de costos de fallas internas
en un fabricante de prótesis ortopédicas

COSTOS INTERNOS	DÓLARES	INDIV. %	ACUM. %
Reservas excedentes de inventario	\$36 253 810	31.38%	31.4%
Existencias de seguridad	\$16 213 000	22.32%	53.7%
Inventario intermedio de existencias	\$25 785 999	14.03%	67.7%
Reservas de inventario obsoleto	\$11 552 776	10.00%	77.7%
Desechos de producción	\$6 469 000	5.60%	83.3%
Reservas de inventario excedente que conllevan costos	\$5 075 533	4.39%	87.7%
Existencias de seguridad que conlleva costos	\$3 610 040	3.12%	90.8%
Disposiciones (desechos no reservados de mediadores externos)	\$2 473 000	2.14%	95.1%
Reelaboración de la producción	\$2 470 000	2.14%	95.1%
Inventario intermedio que conlleva costos	\$2 269 540	1.96%	97.1%
Reservas de inventario obsoleto que conllevan costos	\$1 617 389	1.40%	98.5%
Costos indirectos de reinspección de control de calidad	\$642 114	0.56%	99.0%
Investigación de fallas-ingeniería de manufactura	\$445 536	0.39%	99.4%
Cambios de diseños	\$333 000	0.29%	99.7%
Tiempo de reposo	\$212 834	0.18%	99.9%
Cargos por reelaboración del trabajo de los vendedores	\$115 000	0.10%	100.0%
Interés perdido por pagos realizados fuera de plazo		0.00%	100.0%
Cuentas por cobrar		0.00%	100.0%
TOTAL	\$115 538 571	100.00%	

TABLA 3.1b
Análisis de Pareto de reservas excedentes de inventario

EFECTO EXCESIVO DE RESERVAS	DÓLARES	INDIV. %	ACUM. %
Rodillas	\$15 153 840	41.80%	41.8%
Fijación de trauma interno y externo	\$8 682 144	23.95%	65.7%
Caderas	\$7 368 144	20.32%	86.1%
A la medida	\$4 301 665	11.87%	97.9%
Endoscopia	\$552 631	1.52%	99.5%
Otras ortopedias	\$109 447	0.30%	99.8%
Otros accesorios	\$80 283	0.22%	100.0%
Varios	\$5 000	0.01%	100.0%
TOTAL	\$36 253 154	99.99%	

TABLA 3.2
Clasificación por uso del Índice de Prioridad de Pareto (IPP)

Proyecto	Ahorros, en miles de \$	Probabilidad	Costo, en miles de \$	Tiempo, en años	IPP
A	100	0.7	10.0	2.0	3.5
B	50	0.7	2.0	1.0	17.5
C	30	0.8	1.6	0.25	60.0
D	10	0.9	0.5	0.50	36.0
E	1.5	0.6	1.0	0.10	9.0

Evaluar proyectos potenciales

Por lo general, las propuestas de los proyectos son revisadas por la dirección media, y luego se hacen recomendaciones a la alta dirección para su aprobación final.

La revisión varía desde un análisis del alcance del proyecto y del beneficio potencial, hasta un examen formal de diversos factores para ayudar a establecer las prioridades. Por ejemplo, una compañía de seguros somete a revisión unos proyectos potenciales planteando seis preguntas: ¿Podemos impactar? ¿Podemos analizar? ¿Hay datos disponibles? ¿Se pueden medir? ¿Qué áreas están afectadas? ¿Cuál es el nivel de control?

Hartman (1983) describe un método en AT&T que usa un índice de prioridad de Pareto (IPP) para evaluar cada proyecto.

$$\text{IPP} = \frac{\text{Ahorros} \times \text{probabilidad de éxito}}{\text{Costo} \times \text{tiempo de terminación (años)}}$$

La tabla 3.2 muestra la aplicación de este índice a cinco proyectos potenciales. Altos valores de IPP sugieren una prioridad alta. Observe cómo el rango de proyectos A y C es afectado cuando se cambian los criterios, de sólo ahorros de costos al índice que cubre los cuatro factores.

El resultado de la revisión hecha por la dirección media es una lista recomendada de proyectos. Por lo general, una responsabilidad de un consejo de calidad de alta dirección es revisar las recomendaciones o crear la maquinaria organizacional para su revisión y aprobación final.

El análisis de Pareto es un ejemplo de *minería de datos*, es decir, un proceso para análisis de datos con el fin de extraer información que no ofrecen sólo los datos crudos. Koch (1998), en las Lecturas complementarias, presenta una discusión de amplio alcance del principio de Pareto que cubre aplicaciones para las organizaciones e individuos por su efectividad en los negocios y en la vida personal. El concepto de Pareto es llamado “análisis de factores clave” en disciplinas como sociología, comportamiento animal, ecología y toxicología.

El principio de Pareto identifica los “pocos proyectos vitales” para mejoramiento. Estos proyectos son los principales contribuyentes al liderazgo de calidad en términos de ingresos por ventas y costos más bajos. Dichos proyectos usualmente trascienden funciones y requieren equipos multifuncionales de mejoramiento de la calidad. Este capítulo trata de los pocos proyectos vitales. Más allá de éstos están los “muchos proyectos útiles”. Por lo general, los muchos proyectos útiles no son interfuncionales y ofrecen una oportunidad para la participación de los empleados mediante equipos de fuerza de trabajo dentro de un departamento; véase el capítulo 7 bajo el título “Organización para la calidad”. El esfuerzo total de mejoramiento debe incluir los pocos proyectos vitales y los muchos proyectos útiles.

Selección de proyectos iniciales

“El primer proyecto debe ser un ganador.” Un proyecto exitoso es una forma de evidencia para los miembros del equipo de proyecto de que el proceso de mejoramiento lleva a resultados útiles. De manera ideal:

- El proyecto debe tratar un problema crónico, uno que haya estado esperando una solución durante mucho tiempo.
- El proyecto debe ser factible, es decir, que posea una buena probabilidad de tener éxito dentro de un periodo de seis meses.
- El proyecto debe ser significativo. Los resultados deben ser lo suficientemente útiles como para merecer atención y reconocimiento.
- Los resultados deben poderse medir en dinero, así como también en términos tecnológicos.
- El proyecto debe servir como una experiencia de aprendizaje para el proceso de resolución de problemas.

Enunciado del problema y de la misión del proyecto

El enunciado de un problema identifica una deficiencia visible en un resultado planeado. Por ejemplo, “Durante el año pasado, el 7 por ciento de las facturas enviadas a los clientes tenían errores”. Observe que este enunciado es específico y manejable (nombra un proceso preciso y limitado) y se puede observar y medir (describe el tamaño del problema). El enunciado de un problema nunca debe implicar una causa o solución.

El enunciado de una misión se basa en la expresión del problema, pero suministra orientación al equipo de proyecto. Deben definirse un objetivo u otra medida de terminación del proyecto, así como una fecha final. Por ejemplo, se pide al equipo que, en un periodo de tres meses, reduzca la tasa de error en las facturas a un 2 por ciento o menos. Un enunciado de misión no debe implicar una causa o solución, pues ése es el papel de los siguientes pasos basados en la información.

Selección y lanzamiento del equipo de proyecto

Por lo general, el equipo de un proyecto está conformado por unas seis u ocho personas sacadas de múltiples departamentos y asignadas para tratar el problema crónico seleccionado. Los proveedores y clientes también pueden ser parte del equipo.

El equipo se reúne periódicamente, y sus miembros por lo general trabajan medio tiempo además de desempeñar sus responsabilidades regulares en otras funciones. Cuando el proyecto se termina, el equipo se disuelve.

Un equipo de proyecto por lo general tiene un patrocinador (“campeón”), un líder, un secretario, miembros del equipo y un facilitador. Sus papeles dentro del proyecto son críticos. Otros equipos de mejoramiento incluyen “equipos de ataque intenso” (para mejoramiento acelerado) y “equipos virtuales” (que involucran diferentes ubicaciones geográficas). Estos temas se tratan en el capítulo 7 bajo el rubro de “Equipos de proyecto de calidad”.

Para ayudar a lanzar un equipo, algunas organizaciones desarrollan unos estatutos o reglas que definen *lo que* hará el equipo (por ejemplo, la misión) y *cómo* funcionará (por ejemplo, los principios usados para tomar decisiones). Van Aken y Sink (1996) describen 14 elementos de unos

estatutos o reglas. Además, su investigación concluyó que los equipos que tienen unas reglas (“revisadas por el equipo” o “desarrolladas por el equipo”) tuvieron mayor desempeño y satisfacción que los que no tenían estatutos.

Early y Godfrey (1995) resumen un estudio entre numerosas industrias de 20 proyectos de mejoramiento que fueron identificados como de muy larga duración. Del tiempo gastado, el 39 por ciento se relacionó con que la dirección no proporcionó preparación y apoyo (por ejemplo, misión vaga, tiempo limitado dedicado al proyecto, retrasos en la dirección a la hora de confrontar la resistencia) y 24 por ciento relacionado con que los equipos no usaban las mejores prácticas (por ejemplo, no se enfocaban en unas cuantas causas vitales, demasiado flujo esquematizado muy pronto, salto prematuro a un remedio).

En la práctica, dirigir reuniones eficaces de equipos requiere ciertas habilidades que, francamente, muchas personas no poseen. Estas habilidades incluyen planeación para las reuniones y dirección de las mismas. La planeación implica temas como logística (tiempo, ubicación, uso de software electrónico para reuniones), establecer los objetivos de las juntas, y preparar y distribuir una agenda y otros documentos. Dirigir las reuniones requiere habilidades que propicien la participación, atención y confianza; para manejar problemas (miembros demasiado parlanchines, callados o ausentes, conversaciones laterales), resolver desacuerdos y guiar al equipo para tomar decisiones. Algunas organizaciones han encontrado que es necesario proporcionar capacitación especial a los líderes de los equipos.

3.8 FASE DE MEDICIÓN

Esta fase identifica parámetros clave de productos y características de procesos y mide la capacidad actual de estos últimos. Sus pasos son:

- Verificar la necesidad del proyecto, Y [en $Y = f(X)$].
- Documentar el proceso.
- Planear la recopilación de datos.
- Validar el sistema de medición.
- Medir el desempeño de los indicadores de Y .
- Medir la capacidad del proceso.

Verificar la necesidad del proyecto

Presumiblemente, un proyecto ha sido seleccionado porque es importante. Sin embargo, es útil verificar el tamaño del problema *en números*. Este proceso sirve para dos propósitos: (1) asegura que el tiempo que va a tomar el equipo del proyecto es justificado y (2) ayuda a superar la resistencia a aceptar e implementar un remedio. Al verificar la necesidad de un proyecto individual se emplea el mismo tipo de información discutida anteriormente bajo el rubro “Probar la necesidad”. Además, el *alcance* del proyecto debe revisarse después de que el equipo se haya reunido una o dos veces, para asegurarse de que la misión asignada al equipo pueda lograrse, digamos, en unos seis meses. De otra manera, el proyecto debería dividirse en varios más. El fracaso es probable si un proyecto se extiende como un tren de carga.

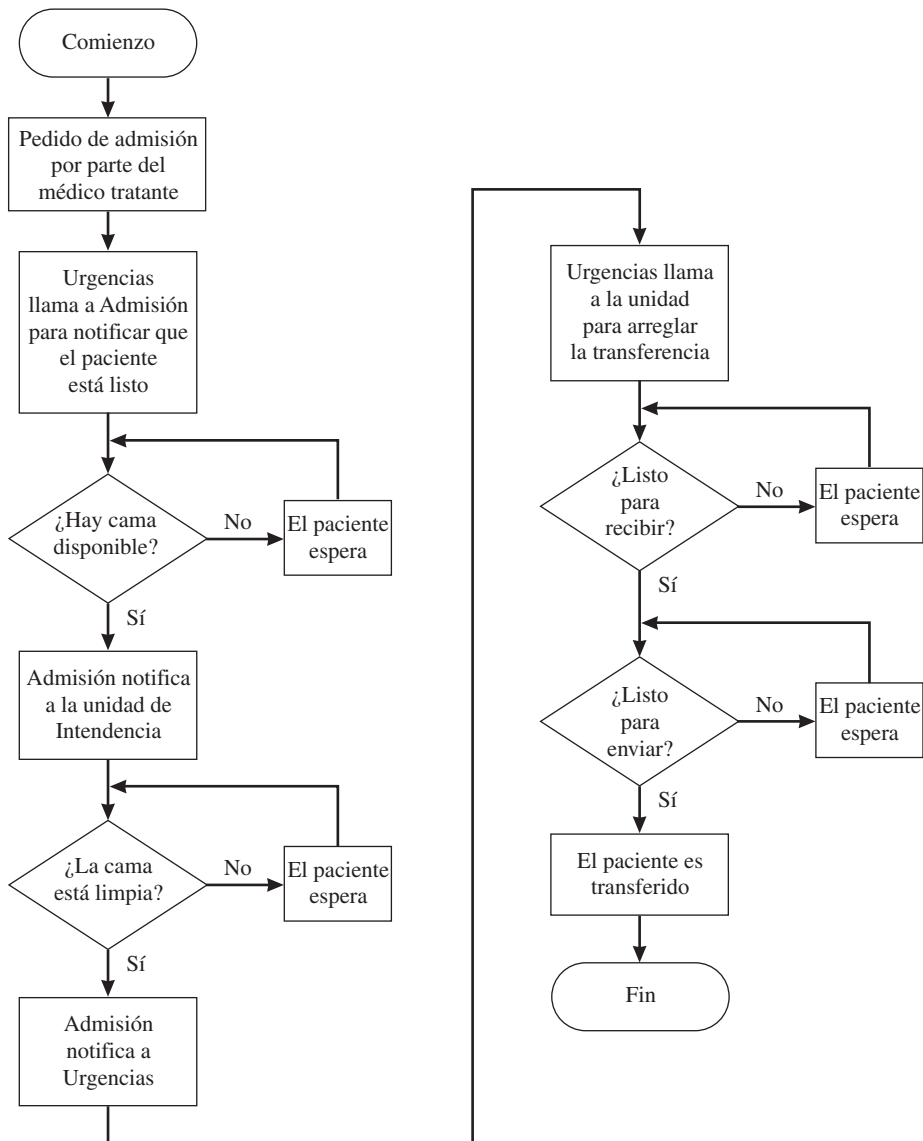


FIGURA 3.5

Diagrama de flujo de alto nivel para admitir un paciente en Urgencias.

Documentar el proceso

Este paso registra las actividades que están bajo estudio y la información relacionada con los problemas potenciales o reales. Un instrumento útil es el diagrama de flujo de proceso (o “mapa de procesos”). En la figura 3.5 se da un ejemplo del proceso de admisión de pacientes a una sala de emergencias de un hospital (Lenhardt, 1993). El diagrama muestra la secuencia de pasos

y sus relaciones en el proceso. El estudio del diagrama de flujo, conjuntado con otra información (véase abajo), posibilita desarrollar una lista de características de productos [o variables clave del resultado de los productos (KPOV, por sus siglas en inglés)] y de parámetros clave de los procesos [o variables clave de la entrada de productos (KPIV, por sus siglas en inglés)]. Las KPOV y las KPIV proporcionan el detalle para el esquema conceptual de $Y = f(X)$, es decir, relacionan variables de procesos con resultados de procesos.

Hay otra información que es útil a la hora de documentar el proceso, pero primero hay que definir algunos términos:

Un *defecto* (o desconexión) es cualquier incumplimiento de los requerimientos proyectados de uso; por ejemplo, exceso de tamaño, poco tiempo medio entre reparaciones, factura ilegible. Un defecto también puede llevar otros nombres, por ejemplo, error, discrepancias, inconformidad.

Un *síntoma* es un fenómeno observable que surge de un defecto y que lo acompaña. Algunas veces, pero no siempre, la misma palabra se usa como descripción de un defecto o de un síntoma; por ejemplo, circuito abierto. Más usualmente, un defecto tendrá múltiples síntomas; por ejemplo, “par de torsión insuficiente” puede incluir los síntomas de vibración, sobrecalentamiento, función errática, etcétera.

Una *teoría* es una afirmación no probada de las razones para la existencia de defectos y síntomas. Con frecuencia, se adelantan algunas teorías para explicar la presencia de los fenómenos observados.

Una *causa* es una razón probada de la existencia del defecto. Si muchas causas son comunes, se sigue el principio de Pareto, es decir, las pocas causas vitales dominarán el resto.

Un *remedio* es un cambio que puede eliminar o neutralizar exitosamente una causa de defectos.

Se requieren dos jornadas para el mejoramiento de la calidad: el viaje de diagnóstico, desde el síntoma hasta la causa, y el viaje del remedio, desde la causa a aquél. Esta distinción es crítica. Para ilustrarla, tres supervisores se enfrentaron con un problema de zumbidos en los tornillos del ensamble final de hornos de cocina. En su prisa por actuar, se saltaron el viaje de diagnóstico y concluyeron que se necesitaban mejores tornillos (un remedio). Afortunadamente, intercedió un experto que diagnosticó y señaló que tres líneas de ensamble separadas estaban introduciendo producto en una estación de inspección y sugirió que los datos fueran segregados por línea de ensamble. Éstos revelaron que los zumbidos ocurrían sólo en la línea 3. Un diagnóstico más detallado llevó al acuerdo de que la verdadera causa era un ensamblador mal capacitado. Entonces el remedio llegó fácilmente.

El viaje de diagnóstico tiene tres pasos:

- Estudiar los síntomas que rodean los defectos como una base para teorizar acerca de las causas.
- Promulgar teorías sobre las causas de estos síntomas.
- Recopilar y analizar datos para probar las teorías y de ese modo determinar las causas.

Hay disponibles muchas técnicas analíticas para ayudar en estos tres pasos. Algunas se ilustran en la sección 3.9.

Plan para la recopilación de datos

Los problemas crónicos generalmente no son fáciles de resolver y requieren una cuidadosa planeación y recopilación de datos para confirmar y analizar las variables de entrada y de salida. Este concepto de “administración por hechos” es básico en todos los métodos de resolución de problemas.

El tiempo y el esfuerzo implicados pueden ser considerables, pero son una inversión necesaria para el análisis y el mejoramiento. Klenz (1999) discute el papel de un “almacén de datos de calidad” en el mejoramiento de la calidad.

Planear para la recopilación de datos implica cuestiones como en qué parte del proceso será recopilada la información, quién proporcionará los datos y con qué frecuencia, los formularios para la recopilación de los datos y la precisión de éstos, la separación de los datos en categorías (“estratificación”), y si éstos son suficientes en contenido y cantidad para los instrumentos de análisis de datos. A veces, el asunto aparentemente sencillo de describir los síntomas de un problema requiere de una cuidadosa planeación.

Descripción de los síntomas

A menudo se dificulta entender los síntomas, porque alguna palabra o frase clave tiene múltiples significados.

En un ejemplo, un análisis de Pareto de datos de inspección en una fábrica de alambres indicó un alto porcentaje de defectos debido a “contaminación”. Se intentaron diferentes remedios para prevenirla, todos ellos sin éxito. Los desesperados investigadores finalmente hablaron con los inspectores para saber más acerca de la contaminación. Los inspectores explicaron que el formulario de inspección contenía 12 categorías de defectos. Si el defecto observado no correspondía a ninguna de las categorías, los inspectores reportaban el defecto como “contaminación”.

Llamar a las cosas de manera imprecisa también ocurre debido a la terminología genérica. Por ejemplo, un problema de software se describe en un informe de discrepancias como un “error de codificación”. Dicha descripción es inútil para el análisis porque hay muchos tipos de errores de codificación, por ejemplo, variables indefinidas, violación de las reglas del lenguaje o de los estándares de programación.

Una forma de salir de tal enredo semántico es considerar los significados de las palabras usadas, llegar a un acuerdo y registrarlos en la forma de un glosario. El glosario publicado simplifica el análisis subsiguiente.

Cuantificar los síntomas

La frecuencia e intensidad de los síntomas son de gran importancia al momento de indicar la orientación del análisis. El principio de Pareto, cuando se aplica a los registros del desempeño pasado, puede ayudar a cuantificar el patrón de los síntomas. La figura 3.6 despliega un diagrama de Pareto para errores en los formatos de los pedidos enviados desde una oficina de ventas de campo a la oficina central para su procesamiento. Las cuatro pocas categorías vitales cuentan para el 86 por ciento de los errores totales. Observe que el diagrama incluye tres elementos: (1) los contribuyentes al efecto total, clasificados por la magnitud de la contribución, (2) la magnitud de la contribución expresada numéricamente, y (3) el porcentaje acumulado del efecto total de los contribuyentes clasificados.

El principio de Pareto aplica varios niveles de diagnóstico: encontrar los pocos defectos vitales, hallar los pocos síntomas vitales de un defecto y descubrir las pocas causas vitales de un síntoma.

Formulación de teorías

Este proceso tiene tres pasos: generación de teorías, el ordenamiento de éstas y elección de aquellas que se probarán.

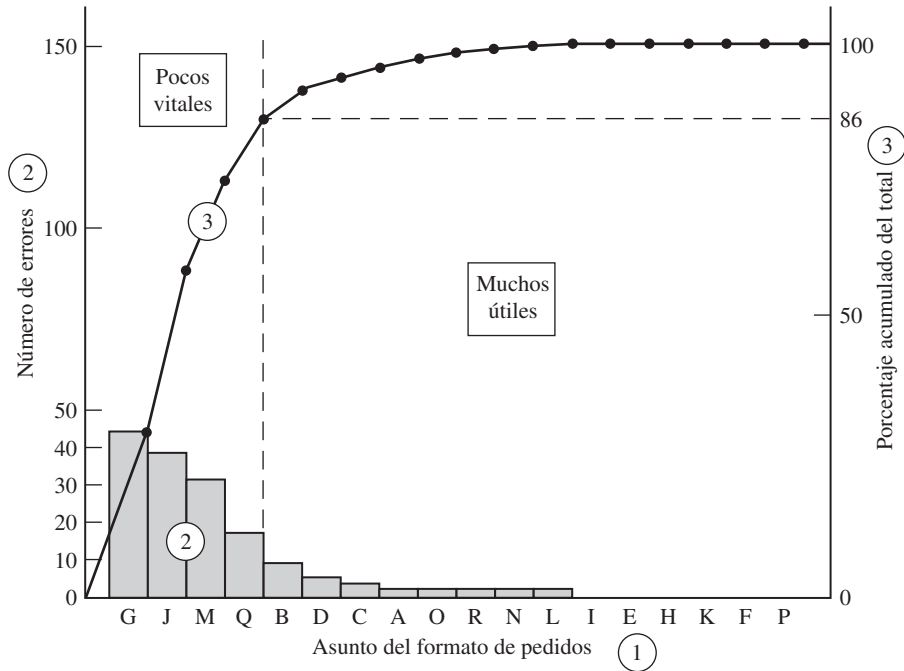


FIGURA 3.6

Diagrama de Pareto para errores en los formatos de pedidos.

Generación de teorías. Las mejores fuentes de teorías son los gerentes de línea, tecnólogos, supervisores de línea y la fuerza laboral. Una forma sistemática de generar teorías es la técnica de lluvia de ideas. Se reúne a los contribuyentes potenciales con el propósito de generar teorías. Se fomenta el pensamiento creativo al pedir a cada persona, por turno, que proponga una teoría. No se permite la crítica o la discusión de las ideas y todas éstas se registran. Después de la sesión de lluvia de ideas, la lista resultante de teorías se revisa de manera crítica.

Un complemento útil a la técnica de lluvia de ideas es el “guión gráfico”. Cada teoría propuesta se registra en una ficha o nota adhesiva. Las tarjetas se colocan en un tablero para formar un despliegue visual de las teorías. El guión gráfico proporciona un sistema visual para organizar las teorías y planear la evaluación subsiguiente de las mismas.

Ordenamiento de las teorías. Normalmente, la lista de las teorías debería ser amplia, de 20 o más. Cuando una lista crece, es esencial crear una colocación ordenada. Dicho orden nos ayuda a entender las interrelaciones entre las mismas y la planeación para probarlas. La tabla 3.3 muestra una colocación tabular de las teorías que contribuyen a bajar el rendimiento de un proceso en el que se fabrican químicos finos en polvo. Las teorías consisten en variables importantes y subvariables contribuyentes. Un segundo método, el cual es altamente efectivo, es una colocación gráfica

llamada el diagrama de Ishikawa de causa y efecto (o diagrama “espina”). En la figura 3.7 está elaborado uno de éstos, presentando la misma información enlistada en la tabla 3.3.

Escribir y colocar teorías en notas adhesivas (guión gráfico) puede ser un instrumento útil. Forsha (1995) describe cómo hacer un guión gráfico.

Sanders, Ross y Coleman (1999) describen cómo la combinación de un diagrama de flujo con uno de causa y efecto puede ayudar a clasificar los parámetros de los procesos como controlables o ruidosos.

Así, el diagrama de causa y efecto proporciona información para identificar las variables de entrada y salida. Los instrumentos adicionales incluyen la matriz de despliegue de función de calidad (véase el capítulo 11 bajo el título “Diseño para los requerimientos básicos funcionales”) y el análisis del modo de fallas, de los efectos y de crisis (véase el capítulo 11 bajo el título “Diseño para el desempeño orientado al tiempo”). Documentar minuciosamente el proceso actual (“como es”) es un paso esencial al momento de desarrollar un proceso de mejoramiento (“debería”).

Elección de las teorías que se probarán. Después de que las teorías son colocadas de modo ordenado, deben establecerse las prioridades para probarlas. En la práctica, el equipo de mejoramiento llega a un consenso sobre la teoría más probable para examinarla. Acerca de la cuestión de probar una sola teoría, un grupo de ellas interrelacionadas, o todas las teorías simultáneamente, es necesario un juicio basado en la experiencia y la creatividad del equipo.

Validar el sistema de medición

La variación en las mediciones observadas de un proceso proviene de otras en el proceso en sí mismo y en el sistema de medición. A menudo la variación del sistema de medición se supone que es cero o, al menos, pequeña comparada con la variación del proceso. Aunque esta suposición simplifica el asunto, por lo general se hace sin ninguna información. Por consiguiente, a menudo no sabemos qué tan cerca están las mediciones observadas de sus verdaderos valores (o “maestros”).

Con el énfasis actual en definir la calidad en unidades de partes por millón más que en porcentajes, la capacidad del sistema de medición debe reconocerse como importante y evaluarse antes de medir la capacidad del proceso. La capacidad de medición implica capacidades talento de las personas que hacen las mediciones y la idoneidad de los instrumentos de medición. Cuando sea necesario, un estudio completo de capacidad de medición puede implicar asuntos como la reproducción, capacidad de repetición, precisión, estabilidad y la medida de la relación directa entre acción y reacción. Estos temas se tratan en la sección 15.8. Afortunadamente, instrumentos de software como Minitab® son de gran ayuda cuando se analizan datos de un estudio de medición. Un estudio de tal tipo asegura que los datos del sistema de medición son confiables. Con esa garantía, puede empezar entonces la recopilación de datos para el análisis y el mejoramiento de productos y procesos.

Medición de la capacidad del proceso

La capacidad del proceso se refiere a la aptitud inherente de un proceso para cumplir los límites de las especificaciones de un producto. En la fase de medición, la capacidad inicial del proceso se establece al obtener las mediciones y al observar cómo la variabilidad del proceso se compara con los límites de las especificaciones. Para que un proceso estático sea calificado en el nivel six

TABLA 3.3
Colocación ordenada de las teorías

Materia prima	Contenido de humedad
Falta de peso	Velocidad de carga del polvo mojado
Método de descarga	Secador, rpm
Catalizador	Temperatura
Tipos	Presión del vapor
Cantidad	Flujo del vapor
Calidad	Sobrepeso del paquete
Reacción	Tipo de estabilidad
Solución y concentración	Precisión de la estabilidad
Temperatura de la solución B	Mantenimiento de la estabilidad
Solución y velocidad de fluencia	Método de pesado
pH	Operador
Agitador, rpm	Transporte
Tiempo	Carretera
Cristalización	Revestimiento
Temperatura	Derrames
Tiempo	Contenedor
Concentración	
Cristal madre (aguas madre)	
Peso	
Tamaño	

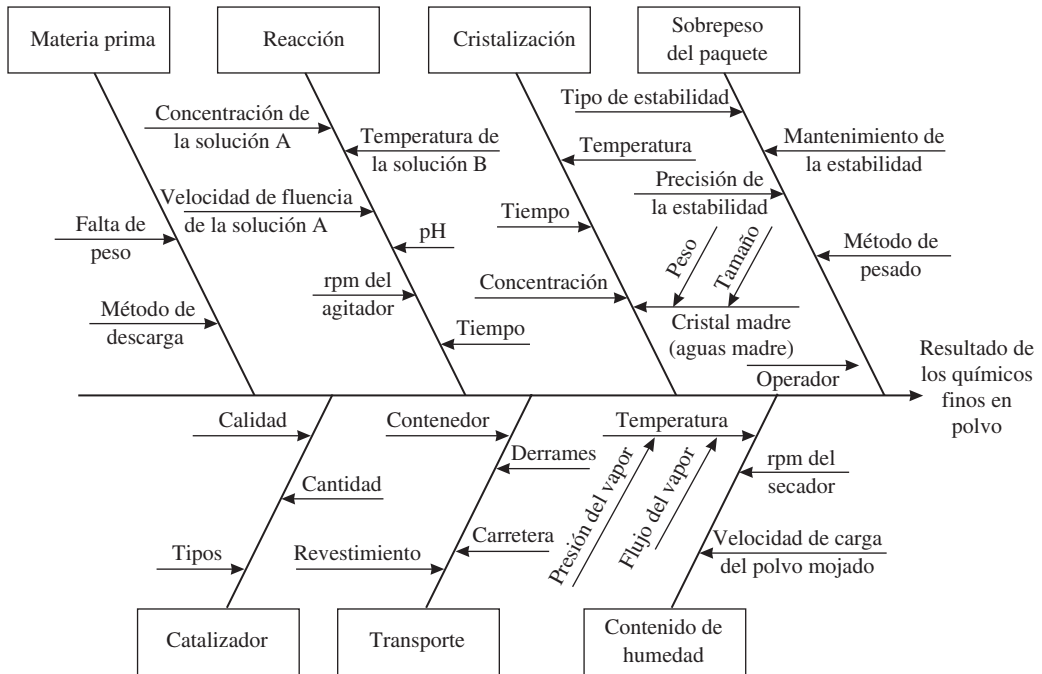


FIGURA 3.7
Diagrama de Ishikawa de causa y efecto.

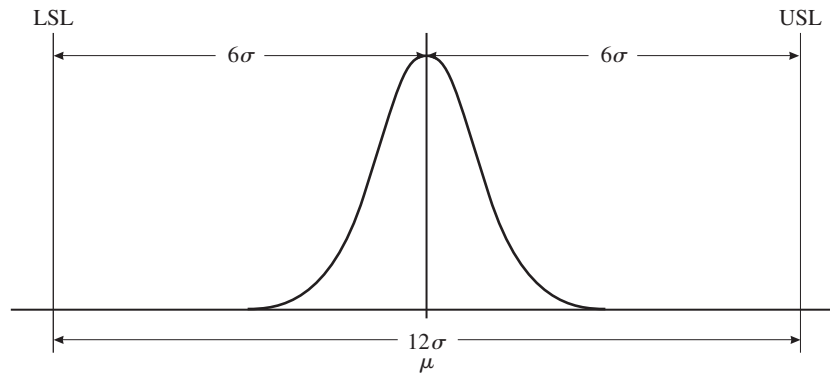


FIGURA 3.8
Capacidad de proceso y six sigma.

sigma, los límites de las especificaciones deben estar al menos seis sigma por encima y por debajo del proceso promedio (véase figura 3.8). En la práctica, el estudio de capacidad debe reconocer tanto la variación en el corto plazo (en la que el promedio y la extensión del proceso son estables) como la variación a largo plazo (en la cual el promedio del proceso puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo). Conocer la capacidad inicial del proceso ayuda a definir el trabajo que se tiene que hacer en las fases de análisis y mejoramiento para lograr la capacidad en el nivel de six sigma. La metodología para medir la capacidad de los procesos se trata en la sección 20.10.

3.9 FASE DE ANÁLISIS

Esta fase analiza los datos del desempeño pasado y del actual, para identificar las causas de la variación y del desempeño del proceso. Sus pasos son

- Plan para la recopilación de datos.
- Recopilar y analizar los datos.
- Probar las teorías (hipótesis) en las fuentes de la variación y las relaciones de causa y efecto (es decir, identificar los determinantes del desempeño del proceso).

En esta fase, se diagnostica (se estudian los síntomas de un problema y se determinan sus causas). El comienzo del diagnóstico radica en recopilar los datos de los síntomas; su final consiste en el acuerdo sobre cuáles son las causas del problema.

Planear para la recopilación de datos

Los equipos buscan las respuestas a las preguntas: “¿Qué tan a menudo ocurre el problema?” o “¿qué está causando el problema?” En otras palabras, buscan información. Sin embargo, aunque la buena información siempre se basa en los datos (los hechos), la simple recopilación de algunos

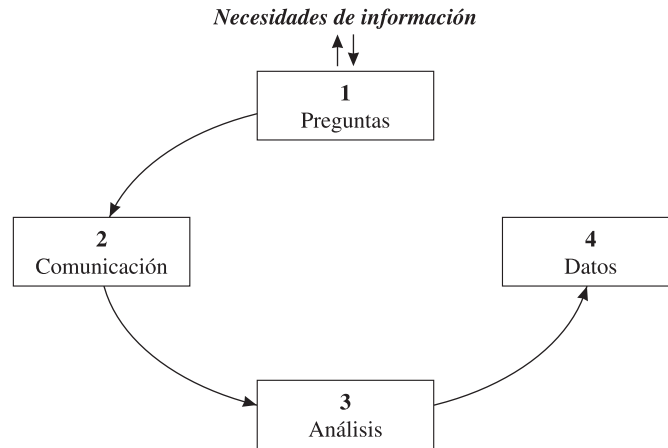


FIGURA 3.9
Planeación para la recopilación de datos.

datos no asegura necesariamente que un equipo posea información útil. Los datos pueden no ser lo suficientemente relevantes o específicos como para contestar la pregunta planteada.

El asunto clave, entonces, no es “¿cómo recopilamos los datos?”, sino “¿cómo generamos información útil?” Aunque la mayoría de las organizaciones cuentan con amplios depósitos de datos sobre sus operaciones, cuando los equipos comienzan a trabajar en un proyecto, a menudo encuentran que la información que necesitan no existe.

La generación de información comienza y termina con preguntas. Para generar información, se necesita:

- Formular con precisión la pregunta que se está intentando contestar.
- Recopilar los datos que se relacionan con esa pregunta.
- Analizar los datos para determinar la respuesta objetiva a la cuestión.
- Presentar los datos de una forma que comunique claramente la respuesta a la pregunta.

Aprender a “plantear las preguntas adecuadas” es la habilidad clave en la recopilación efectiva de datos. Los datos exactos y precisos, recopilados mediante un plan de muestreo estadístico diseñado cuidadosamente, son inútiles si no abordan claramente la pregunta de la que alguien se ocupa.

Observe en la figura 3.9 cómo este proceso de planeación “trabaja en reversa” en el modelo. Se comienza definiendo la interrogante. Luego, en lugar de sumergirse en los detalles de la recopilación de datos, se considera cómo se podría comunicar la respuesta a la pregunta y qué tipos de análisis se necesitarán llevar a cabo. Esto ayuda a definir las necesidades de los datos y clarifica qué características son las más importantes en los mismos. Con esta comprensión como fundamento, se puede tratar más coherentemente con las cuestiones de dónde, quién, cómo y qué más de la recopilación de datos.

Con el fin de generar información útil, la planeación de una buena recopilación de datos le sugiere los siguientes puntos.

1. Establezca los objetivos de la recopilación de datos. Formule la pregunta o teoría:
 - ¿Cuál es su objetivo para la recopilación de datos?
 - ¿Qué proceso o producto se monitoreará para recopilar los datos?
 - ¿Qué teoría se está intentando probar?
 - ¿Qué pregunta se está intentando responder?
2. Decida qué medir. ¿Cómo se comunicarán y analizarán los datos?
 - ¿Qué datos se necesitan?
 - ¿Qué tipo de medición es?
 - ¿Qué tipo de datos son?
 - ¿Cuál es la definición operacional de cada medición?
 - ¿Cómo se comunicarán y analizarán los datos?
3. Decida cómo medir una población o muestra:
 - ¿Qué instrumento de medición se utilizará?
 - ¿Cuál es la estrategia de muestreo?
 - ¿Cuánta información se recopilará?
 - ¿Cuál es el método de medición?
4. Recopile los datos con un mínimo de sesgo:
 - 4a) Defina puntos extensos de recopilación de datos.
 - ¿En qué parte del proceso se pueden obtener esos datos?
 - 4b) Seleccione recopiladores imparciales. Entienda a los recopiladores de datos y su ambiente. Capacítelos.
 - ¿Quién en el proceso nos puede dar esos datos?
 - ¿Cómo se pueden recopilar estos datos de esas personas, con un mínimo esfuerzo y con la menor posibilidad de error?
 - 4c) Diseñe, prepare y luego pruebe los formularios y las instrucciones.
 - ¿Qué información adicional se necesita capturar para futuros análisis, referencias y rastreos?
 - 4d) Audite el proceso de recopilación y valide los resultados.

El ejemplo de la figura 3.10 se basa en la hoja de cálculo de un plan de recopilación de datos desarrollado por Chua (1999) para pruebas de planeación en la Fase de Análisis en proyectos de six sigma. Para cada teoría (o grupo de teorías), haga una lista de todos los datos requeridos, de cada instrumento que se vaya a usar, de los resultados que apoyarán la teoría y de los que la descartarán.

Recopilar y analizar datos

Muchos directores esconden creencias profundamente arraigadas de que la mayoría de los defectos son causados durante las operaciones y que, específicamente, se deben a errores de los trabajadores, es decir, que los defectos son principalmente controlables por los trabajadores. Los datos rara vez lo corroboran, pero la creencia persiste. Para tratar con creencias tan fuertemente arraigadas como estas, puede ser útil llevar a cabo estudios que separen los defectos en amplias categorías de responsabilidad. Por ejemplo:

Un estudio realizado para determinar si los defectos son principalmente controlables por los trabajadores o por la dirección (“dirección” incluye aquí no sólo a las personas en puestos de supervisión, sino también a otros que influyen en la calidad, por ejemplo, ingenieros de diseño, ingenieros de procesos, compradores, etc.). En general, los defectos en más del 80 por ciento de los casos

Ref.	Teorías que se van a probar [Seleccionadas del diagrama de causa y efecto, Análisis de la Criticidad de los Efectos de los Modos de Falla (FMECA, por sus siglas en inglés) o Multiplicaje de División de Frecuencia (FDM, por sus siglas en inglés)]	Lista de preguntas que deben contestarse para probar cada teoría seleccionada	Donde aplique, enuncie las hipótesis nulas y las alternativas		Instrumentos que se usarán	Descripción/ Tipo de datos	Tamaño de muestra, Número de muestras	Dónde recopilar los datos	Quién recopilará los datos	Cómo se registrarán los datos	Observaciones
			H ₀	H _A							
1	El problema de faltantes es sistemático en todo el proceso de carga y envío	¿Hay alguna diferencia en la tasa de faltantes por tipo de producto?	La tasa de faltantes es independiente del tipo de producto	La tasa de faltantes no es independiente del tipo de producto	Prueba de Chi cuadrada	Y = Discreto X = Discreto	Cientes seleccionados por planta para aproximadamente 1 500 unidades enviadas por planta	Hojas de carga completadas	Miembros del equipo de six sigma	Hoja de cálculo de faltantes de envío	
2		¿Hay alguna diferencia en la tasa de faltantes por supervisor de la célula que envió el producto?	La tasa de faltantes es independiente del supervisor	La tasa de faltantes no es independiente del supervisor	Prueba de Chi cuadrada	Y = Discreto X = Discreto	Cientes seleccionados por planta para aproximadamente 2 000 a 3 000 unidades enviadas por planta	Hojas de carga completadas	Miembros del equipo de six sigma	Hoja de cálculo de faltantes de envío	

FIGURA 3.10

Ejemplo: Plan de recopilación de datos para faltantes en los envíos.
(Cortesía de Merillat Industries.)

son controlables por la dirección, y menos del 20 por ciento por los trabajadores. Algunos autores usan el término “controlable por el sistema” en lugar de “controlable por la dirección”.

Estos extensos estudios ofrecen una guía importante para el mejoramiento, pero los proyectos individuales requieren su propia recopilación y análisis de datos que les sea única, como se trata a continuación.

Ahora se procede a la prueba de las teorías: primero controlable por la dirección, luego controlable por el trabajador.

Prueba de teorías de problemas controlables por la dirección

Para el concepto de diagnóstico es básico el enfoque objetivo: el uso de hechos, más que de opiniones, para llegar a conclusiones sobre las causas de un problema de calidad. ¿Obvio? En la práctica, la urgencia para tomar medidas acerca de un problema dramático a menudo da como resultado decisiones prematuras (e incorrectas). Algunos problemas llegan a ser crónicos porque no se han determinado sus causas verdaderas, aun cuando tiene lugar un frenesí de acción. El enfoque objetivo no sólo determina la causa verdadera sino también ayuda a *llegar al acuerdo* sobre aquélla a todas las partes implicadas. Prevalece la elocuencia de los hechos.

Se han creado numerosos métodos de diagnóstico para probar las teorías. Estas “incisiones” en los datos de los productos y de los procesos pueden ser fascinantes, por lo que a continuación se discuten algunos de los métodos básicos.

Diagrama de flujo

Preparar un diagrama de flujo (véase sección 3.8) ayuda a entender la progresión de los pasos de un proceso. En el capítulo 6 (bajo el título “La fase de planeación de la administración de procesos”) se señalan los pasos detallados para usar un diagrama de flujo en el análisis de procesos. El diagrama de flujo proporciona un importante instrumento para iniciar la capacidad y la disección de aquéllos.

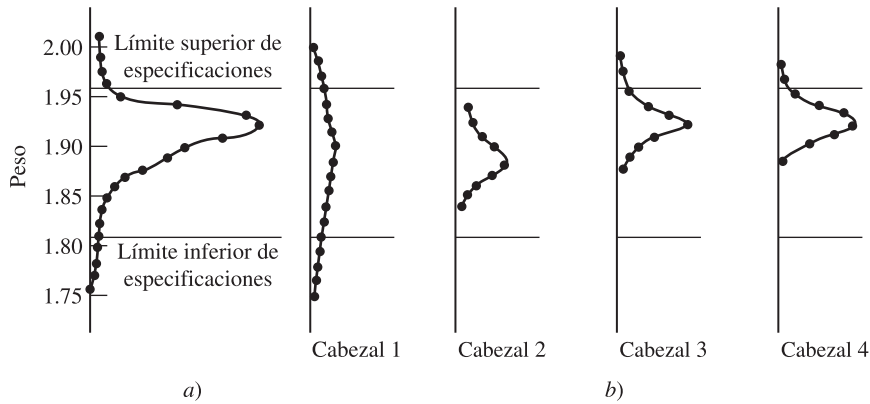


FIGURA 3.11

Distribución de pesos de cuentas de cristal: a) suma de los cuatro cabezales, b) distribución del peso en cada uno de los cuatro cabezales. (De *QCH4*, p. 22.42.)

Análisis de la capacidad del proceso

Una de las teorías con la que es más frecuente encontrarse es: “el proceso no puede cumplir las especificaciones”. Para probar esta teoría, deben hacerse mediciones del proceso y analizarse, para determinar la cantidad de variabilidad del proceso. Luego, se compara esta variabilidad con los límites de las especificaciones. La figura 3.11a muestra un ejemplo del peso de unos aros de cristal de un proceso de cortado de este material en tubos. Observe que actualmente el proceso no cumple las especificaciones.

El peso de los aros era el elemento crítico a la hora de determinar las propiedades del producto de cristal terminado. Una muestra de los datos (figura 3.11a) aparentemente confirmaba una teoría de que la máquina no estaba funcionando correctamente. Sin embargo, la máquina contenía cuatro cabezales. La recopilación de los datos por separado de cada cabezal (flujo) reveló que no había nada malo con los cabezales 2, 3 y 4, excepto por la necesidad de volver a centrar el 3 y el 4 (figura 3.11b). Empero, algo iba mal con el cabezal 1. Finalmente, el remedio fue un mantenimiento apropiado de la máquina en lugar de un rediseño de ésta, como se había contemplado originalmente basado en la figura 3.11a.

Al principio, las personas de operaciones creían que el proceso no era idóneo, pero el estudio de capacidad reveló que, con el mantenimiento apropiado, el proceso era capaz de cumplir con las especificaciones.

El concepto de capacidad del proceso aplica no sólo a los atributos de los productos físicos, sino también a los de las actividades de servicios, por ejemplo, el tiempo que transcurre para que un centro de atención telefónica responda a la requisición de un cliente, o el que toma efectuar una transacción en el cajero automático de un banco. Cuando los datos muestran que un proceso no está cumpliendo con un estándar, entonces se deben usar los instrumentos de disección de productos y procesos para determinar la causa.

Disección de productos y procesos

Algunos productos se fabrican por un tipo de “procesión” de procesos, es decir, una serie de operaciones en secuencia. Al final de la serie, se encuentra que el producto está defectuoso, pero no se conoce qué operación provocó el daño. En algunos de estos casos, es factible diseccionar el

proceso, es decir, hacer mediciones en sus pasos intermedios para descubrir en qué etapa aparece el defecto. Un descubrimiento así puede reducir drásticamente el esfuerzo subsiguiente a la hora de probar las teorías. La disección de un proceso se ayuda de la construcción de un diagrama de flujo que muestre los diversos pasos del proceso (véase sección 3.8). A continuación se discuten algunas otras formas de disección.

Prueba en etapas intermedias. Cuando los defectos o los errores se encuentran al final de una serie de pasos, se debe determinar qué etapa operativa provocó el daño. Medir o probar el producto en los pasos intermedios para descubrir dónde aparece el defecto por primera vez puede reducir mucho el esfuerzo de las teorías de prueba.

Análisis de flujo a flujo

Para cumplir los requerimientos de volumen de producción, a menudo son necesarias algunas fuentes de producción (“flujos”). Los flujos pueden tomar la forma de diferentes máquinas, operadores de maquinaria, turnos de operadores de centros de atención telefónica, proveedores, etc. Aunque los flujos pueden parecer idénticos, los productos resultantes pueden no serlo. El análisis de flujo a flujo consiste en registrar y examinar los datos de cada flujo de manera separada.

En el ejemplo del aro de cristal, los cuatro cabezales de la máquina realmente eran cuatro flujos. Otro ejemplo involucra errores de facturación (Juran Institute, Inc., 1989). Un equipo de mejoramiento de la calidad estudió 60 facturas incorrectas. Los datos mostraban el día de la semana en que la factura fue emitida, la semana del mes y cuál de los cuatro empleados la elaboró. Primero, los datos se separaron en cinco “flujos” que representaban los días de lunes a viernes, para probar la teoría de que el día de la semana era la causa. No se encontró ninguna diferencia real. A continuación, para probar la teoría de que los empleados eran la causa, los datos se separaron en flujos por empleado. Una vez más, no hubo diferencias. Finalmente, los datos se separaron por flujos de semanas del mes (véase figura 3.12). Estaba claro que a fin de mes, el número y porcentaje de errores eran casi el doble de lo que solían ser durante las tres primeras semanas. Un estudio más detallado reveló que durante la última semana del mes la carga de trabajo aumentaba dramá-

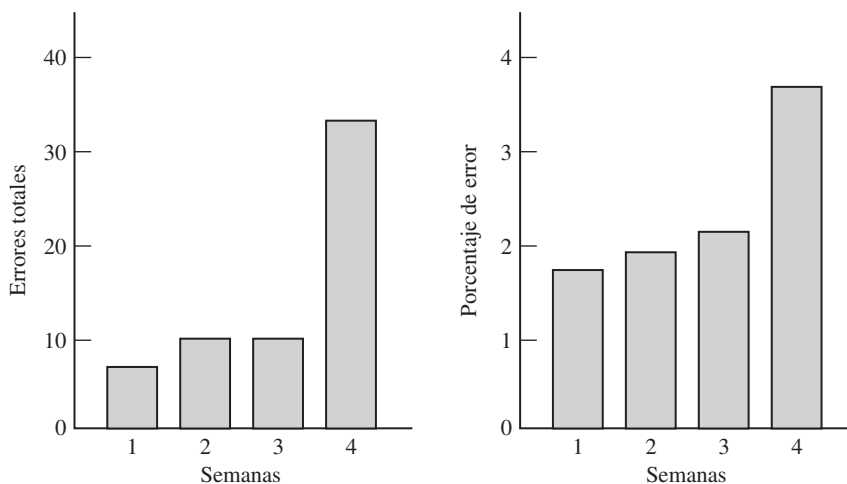


FIGURA 3.12
Estratificación de errores en las facturas por semana.

ticamente, lo que daba como resultado una tasa de error más elevada. Al comienzo del estudio, los investigadores creían que era más probable que algunos de los empleados fueran la causa de los errores. Pero el estudio concluyó que la excesiva carga de trabajo de la cuarta semana era el factor principal en los errores.

El análisis flujo a flujo emplea el concepto de “estratificación”. La estratificación separa los datos por categorías (estratos) y ayuda a identificar cuáles de éstas contribuyen de manera principal al problema.

Análisis tiempo a tiempo

Los análisis tiempo a tiempo incluyen: (1) un simple esquema de datos en una escala de tiempo; (2) análisis del tiempo entre las anomalías o los problemas; (3) análisis de la tasa de cambio, o “deriva”, de una característica, y (4) técnicas acumulativas de datos con respecto al tiempo. A continuación se exponen algunos ejemplos.

En un caso, se suponía que las fallas de campo de los enfriadores de aceite se debían a la fabricación. Un desfile de remedios (que se saltaron el viaje de síntoma a causa) dio como resultado un mejoramiento de cero. Un ingeniero decidió trazar la frecuencia de los fallos por mes del año, lo que le llevó a realizar un importante descubrimiento. De 70 fallas durante un periodo de nueve meses, 44 ocurrieron durante enero, febrero y marzo. Estos hechos cambiaron la búsqueda a otras causas como las condiciones climáticas del invierno. Diagnósticos subsiguientes revelaron que la causa estaba en el diseño más que en la fabricación.

Al analizar las variaciones tiempo a tiempo, el transcurso del tiempo entre las anomalías puede ser una pista importante para encontrar la causa. Una operación de cardado textil experimentaba subidas y bajadas cíclicas en el peso de los hilos; el ciclo duraba unos 12 minutos. La reacción del superintendente de producción fue inmediata: “Lo único que hacemos cada 12 minutos, más o menos, es rellenar esa caja alimentadora”.

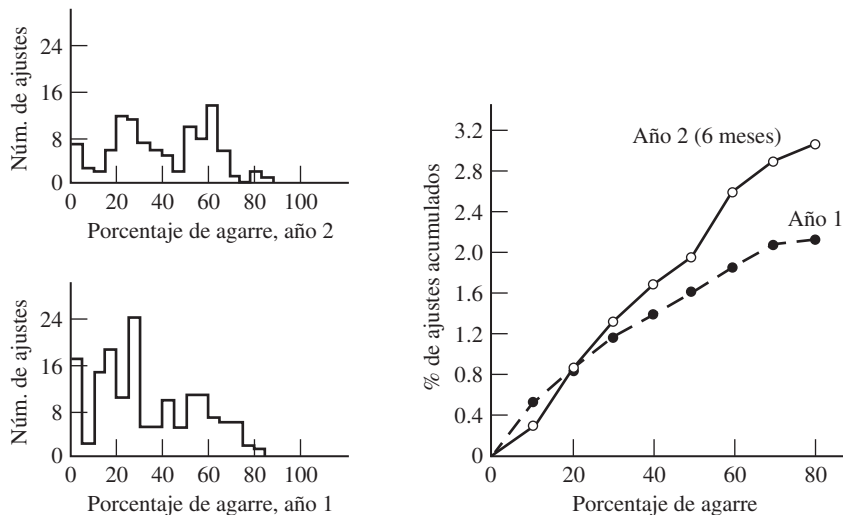


FIGURA 3.13

Comparación de histogramas y puntos acumulados. (De QCH4, p. 22.44.)

Dentro de muchos flujos, hay una “deriva” por tiempo, por ejemplo, poco a poco la solución de procesamiento se va diluyendo, las herramientas se desgastan gradualmente, el trabajador se fatiga. Dichas derivas a menudo pueden cuantificarse para determinar la magnitud del efecto.

Los puntos acumulados de datos pueden ayudar a descubrir las diferencias que se esconden cuando los datos están en forma no acumulada. La figura 3.13 compara los histogramas (no acumulativos) y los puntos acumulados para los datos de dos años. Una diferencia en los ajustes para el año 1 frente al año 2 es aparente a partir de los puntos acumulados, pero está oculta en el histograma.

Las gráficas de control son un instrumento poderoso de diagnóstico. Los datos se trazan de manera cronológica, y entonces la gráfica indica si la variabilidad de muestra a muestra se debe al azar o a causas asignables de variación. Detectar las causas asignables de variación puede ser el vínculo para descubrir la causa de un problema. El capítulo 20, “Control estadístico del proceso”, explica el concepto.

Otros instrumentos estadísticos útiles incluyen diagramas de caja y ensayos de probabilidad (véase el capítulo 17, “Conceptos básicos de estadística y probabilidad”).

Diseción simultánea

Algunos productos exhiben diversos tipos de variación, por ejemplo, por pieza, dentro de una pieza y por tiempo. La gráfica *multivari* es un instrumento ingenioso para analizar dicha variación. En esta gráfica, una línea vertical representa el rango de variación dentro de una única pieza del producto. La figura 3.14 representa tres ejemplos de la relación de variación de producto con los límites de la tolerancia. En el caso 1, la variación dentro de la pieza sólo es demasiado grande en relación con la tolerancia. Por lo tanto, no hay solución posible a menos que se reduzca la variación dentro de la pieza. En el caso 2, la variación dentro de la pieza es cómoda, ocupando sólo un 20 por ciento de la tolerancia. El problema, entonces, es una variación de pieza a pieza. El problema

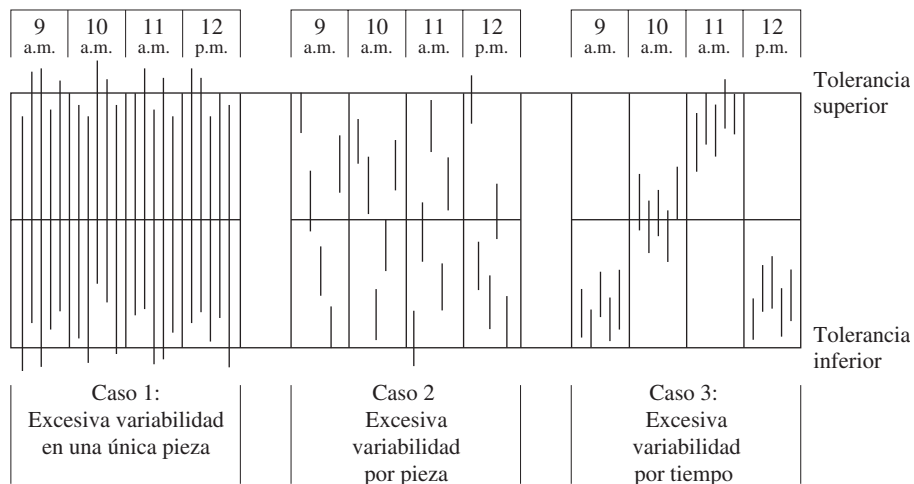


FIGURA 3.14
Gráfica *multivari*.

en el caso 3 es una excesiva variabilidad por tiempo. Para la elaboración de la gráfica *multivari*, véase Bhote (1991), capítulo 6.

Análisis de concentración de defectos

Una forma diferente de variación por pieza es el estudio de concentración de defectos usado para tipos de atributos de defectos. El propósito es descubrir si los defectos se localizan en la misma zona física. La técnica ha sido usada durante mucho tiempo por personal comercial cuando observa que todas las piezas son defectuosas y precisamente de la misma manera. Sin embargo, cuando los defectos son intermitentes o se hacen evidentes sólo en los departamentos posteriores, el análisis puede estar más allá de sólo la memoria del personal de la tienda.

Por ejemplo, se analizó un problema de piezas de fundición marcadas mediante su división en 12 zonas y haciendo la cuenta del número de marcas en cada zona sobre muchas unidades de producto. La concentración en las compuertas (a través de las cuales fluye el metal) llegó a ser evidente, así como las zonas que estaban libres de marcas.

Un equipo de mejoramiento de la calidad de la Asociación de Ayuda para los Luteranos usaba el concepto de concentración de defectos para analizar los errores que surgían al cambiar los beneficiarios de las pólizas de seguros. El equipo registró los datos del tipo de error, la frecuencia, el formulario en el cual ocurrió la falla y su ubicación en él.

Búsquedas por asociación

Algunas veces se puede anticipar el diagnóstico mediante el análisis de los datos que relacionan los síntomas con alguna teoría de causalidad, precisando el proceso, la pieza del equipo, el (los) empleado(s) u otro(s) factor(es). Las relaciones posibles pueden examinarse mediante el uso de instrumentos como la correlación y la clasificación.

Análisis de correlación. Este método traza los datos que relacionan la incidencia de los síntomas del problema con los valores de una variable potencial causal.

En un caso (Juran Institute, Inc., 1991), un fármaco anteriormente exitoso estaba perdiendo su reputación de efectividad, y la comunidad médica se quejaba con el fabricante. Una teoría sugirió que el ingrediente activo del compuesto podría estar descomponiéndose más rápidamente de lo esperado, mientras el fármaco permanecía en anaquel. Los investigadores decidieron indagar en esta teoría.

Se retiraron muestras del fármaco de los anaqueles y se devolvieron al laboratorio para determinar los miligramos del ingrediente activo (el mínimo para que el fármaco fuera efectivo era de 120 mg). Se examinaron de diferentes formas los datos sobre el tiempo desde la producción y el peso del ingrediente. Un instrumento clave de análisis fue el diagrama de distribución mostrado en la figura 3.15. Obsérvese que los datos fueron estratificados por dos proveedores que suministraban un cierto ingrediente de “relleno”. Los lotes producidos con el relleno del proveedor A mostraban una degradación lenta del ingrediente activo; mientras los lotes asociados con el proveedor B presentaban una rápida degeneración. Investigaciones más detalladas revelaron una sustancia en la formulación de B que llevaba a la rápida separación del ingrediente activo.

Clasificación. En este enfoque, se recopilan datos pasados o actuales sobre dos o más variables de un problema y se resumen en una tabla para ver si existe algún patrón. En un estudio que involucraba 23 tipos de tubos de pares de torsión, el síntoma fue un desequilibrio dinámico. Una teoría era que una operación de estampación podría ser una causa dominante. La tabla 3.4 contiene el

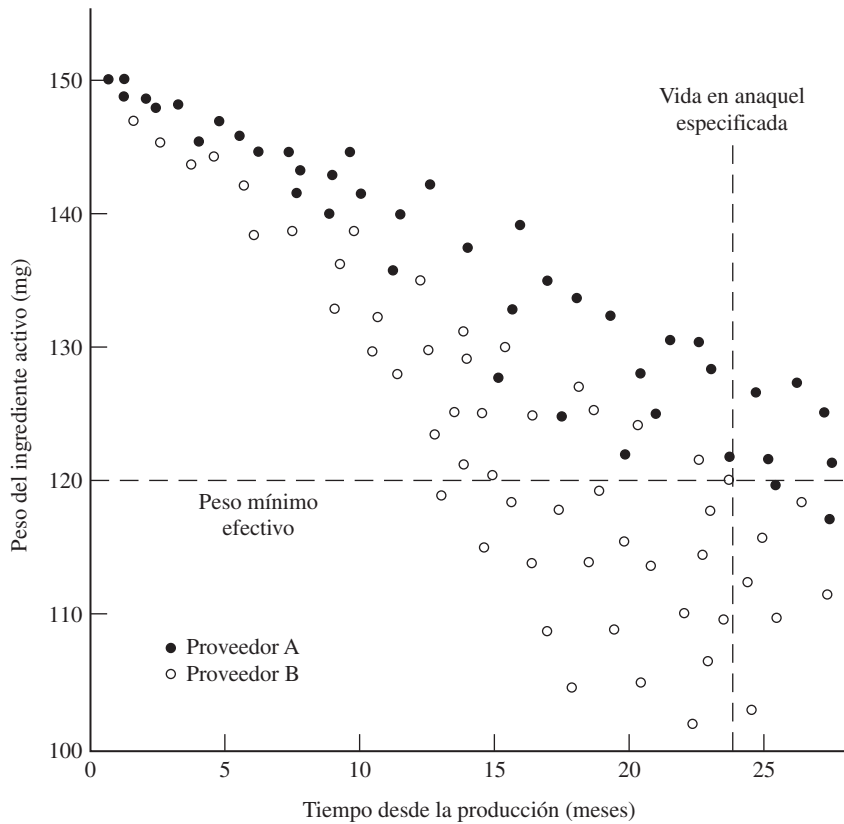


FIGURA 3.15

Diagrama de disposición estratificada sobre los datos de la vida en anaquel.

TABLA 3.4
Prueba de teorías por clasificación

Tipo	Defectuoso, %	Estampado (marcado con una X)	Tipo	Defectuoso, %	Estampado (marcado con una X)
A	52.3	X	M	19.2	X
B	36.7	X	N	18.0	X
C	30.8	X	O	17.3	
D	29.9	X	P	16.9	X
E	25.3	X	Q	15.8	
F	23.3	X	R	15.3	
G	23.1	X	S	14.9	
H	22.5		T	14.7	
I	21.8	X	U	14.2	
J	21.7	X	V	13.5	
K	20.7	X	W	12.3	
L	20.3				

porcentaje de piezas defectuosas (desequilibrio dinámico) y muestra si el estampado era parte del proceso. El resultado fue dramático: los peores siete tipos de tubos se estamparon; a los mejores siete se les quitó el estampado. Este patrón confirmó parcialmente que el estampado era una causa dominante. Los análisis posteriores revelaron una especificación inadecuada sobre una importante dimensión coaxial.

Más adelante, en este capítulo, se ilustra una técnica de clasificación de matrices para analizar problemas en contratos de seguros.

Prueba de teorías por recopilación de nuevos datos

En algunos casos, el descubrimiento de las causas requiere de un examen cuidadoso de los pasos adicionales en el proceso. Este “corte de ventanas nuevas” puede tomar diferentes formas:

1. *Medición en los pasos intermedios de una única operación.* Un ejemplo relacionado con un defecto conocido como “vacíos” en las ensambladuras soldadas de los recipientes a presión. El diagnóstico inicial estableció seis fuentes de variación: operador, tiempo a tiempo, ensambladura a ensambladura, capa a capa, dentro de las capas y dentro de un “cordón” de soldadura. La información anterior disponible permitió el análisis de las dos primeras fuentes como posibles causas de los vacíos. Los tres restantes no se pudieron analizar porque la prueba crítica de rayos X se llevó a cabo cuando sólo una ensambladura estaba completamente terminada. La respuesta fue “cortar una nueva ventana” por medio de rayos X después de que cada uno de los diversos cordones necesitara hacer una ensambladura. Los datos establecieron que la principal variable era la que estaba dentro del cordón y que el problema se concentraba al principio del mismo.

Un ejemplo del proceso de recursos humanos es el tiempo requerido para contratar a nuevos ingenieros. Las mediciones tomadas en el proceso de contratación en seis pasos formó la base para un diagnóstico de exceso de tiempo en el reclutamiento y contratación de los ingenieros.

2. *Medición que sigue a las operaciones no controladas.* Este tipo de diagnóstico incluye la recopilación de información adicional en pasos individuales de un proceso. Un ejemplo implicaba el diagnóstico de tiempo excesivo de cierre para extraer un molde caliente de una máquina de moldes. El proceso de cierre se dividió en 11 pasos y se tomaron mediciones para calcular el tiempo requerido para cada paso. Dos de los 11 pasos contabilizaron el 62 por ciento del tiempo de cierre. Este efecto de Pareto fue importante en otros diagnósticos.
3. *Medición de las propiedades relacionadas o complementarias al producto o proceso.* Algunas veces, el diagnóstico requiere de una medición de características diferente de aquellas en las que no se cumplen las especificaciones. En la fabricación de discos, el síntoma fue un alto porcentaje de ellos con defectos en la superficie. Los temporizadores automáticos controlaban el ciclo de proceso. El diagnóstico reveló que no deberían establecerse tiempos para algunos pasos, sino que deberían determinarse según las mediciones adicionales que se tomaran periódicamente. El remedio fue monitorear la presión, temperatura, viscosidad y otros factores. Una computadora en línea evalúa estos datos para cada disco y decide las condiciones óptimas de moldeo. Sólo entonces, y no antes, el proceso crea el producto.
4. *Estudio de los métodos de los trabajadores.* En algunos casos, existen diferencias consistentes en los niveles de defectos provenientes de varios trabajadores. Mes tras mes, algunos trabajadores producen más productos “buenos” que otros. Esta diferencia radicada en el desempeño observado debe tener una causa. El diagnóstico de los problemas relacionados con el desempeño humano se discutirá más adelante en esta sección.

A veces son necesarios los experimentos diseñados formalmente para probar las teorías (véase la sección 3.10 de este capítulo).

La mayoría de los problemas de calidad son controlables por la dirección o por los sistemas, aunque muchos directores encuentran esta declaración imposible de creer. Considere la situación en un banco. Una gerente de nivel medio enfrentó el problema de un empleado cuyo rendimiento laboral era bajo. La gerente sinceramente creía que la mayoría de los problemas se debían al empleado. Cuando se examinó la situación más de cerca (como parte de una asignación de clase), el empleado y su jefa concluyeron que el proceso era el principal problema. En palabras de ella: “Si pone un buen individuo al frente de un proceso malo, este último ganará siempre”. Exactamente. Con ese recordatorio, se tratarán a continuación los errores humanos.

Prueba de teorías que implican errores humanos

El diagnóstico de los errores humanos revela “tipos múltiples de errores”. Para ilustrarlos, la tabla 3.5 muestra la distribución de 80 errores cometidos por seis oficinistas ocupados en preparar contratos de pólizas de seguros.

Las 29 entradas siguen el principio de Pareto. Observe los errores en la entrada 3: había 19 de éstos y el trabajador B cometió 16 de ellos. La tabla también muestra el resto del trabajo hecho por el trabajador B. Excepto en la entrada 3, B cometió pocos errores. No existe básicamente nada equivocado con la especificación del trabajo o con el método, porque los otros cinco trabajadores tuvieron poco o ningún problema con la entrada 3. En principio no existe nada equivocado con el trabajador B, excepto en la entrada 3. Se deduce que el trabajador B y nadie más está malinterpretando alguna instrucción, lo que da como resultado ese grupo de 16 errores en la entrada 3.

La entrada 5 es de un tipo diferente de errores. Existe un grupo de 13 de éstos y todos los trabajadores cometieron tal error, más o menos igual. Este patrón sugiere cierta diferencia en el enfoque entre todos los trabajadores por un lado, y el inspector por el otro. Tal diferencia es, por lo general, de origen controlable por la dirección, pero la realidad puede conocerse pronto mediante entrevistas con los respectivos empleados.

TABLA 3.5
Matriz de errores por redactores de pólizas de seguro

Entrada	Redactor de pólizas						Total
	A	B	C	D	E	F	
1	0	0	1	0	2	1	4
2	1	0	0	0	1	0	2
3	0	16	1	0	2	0	19
4	0	0	0	0	1	0	1
5	2	1	3	1	4	2	13
6	0	0	0	0	3	0	3
.							
.							
27							
28							
29							
Total	6	20	8	3	36	7	80

TABLA 3.6
Interrelación entre patrón de error, subtipos probables de error
por trabajador y posible solución

Patrón revelado por análisis de error del trabajador	Subtipos probables de error que causan este patrón	Posible solución
En ciertos defectos, nadie es propenso al error; el modelo de defecto es aleatorio.	Los errores son involuntarios.	Prueba de error a los procesos.
En ciertos defectos, algunos trabajadores están consistentemente propensos al error y otros son consistentemente “buenos”.	Los errores se deben a la falta de técnica (habilidad, saber cómo, etc.). La falta de técnica puede tomar la forma de ignorancia secreta. La técnica puede consistir en un truco conocido o conocimiento secreto.	Descubrimiento y propagación del truco. Descubrimiento y eliminación de la ignorancia secreta.
Algunos trabajadores están consistentemente propensos al error sobre un amplio rango de defectos.	Existen varias causas potenciales: Falla consciente para cumplir con los estándares Incapacidad inherente para desempeñar esta tarea Falta de capacitación	La solución sigue la causa: Incrementar la motivación Transferir al trabajador Suministrar capacitación
En ciertos defectos todos los trabajadores están propensos al error.	Los errores son controlables por la dirección.	Cumplir con los criterios para el autocontrol.

Observe también la columna de las cantidades asociadas con el trabajador E. El total es de 36 errores, el grupo más grande de la tabla. El trabajador E cometió casi la mitad de los errores del equipo y prácticamente en todas las entradas. ¿Por qué cometió el trabajador E tantos errores? Pudiera ser cualquiera de una variedad de razones, por ejemplo, una capacitación inadecuada, falta de capacidad para hacer un trabajo tan demandante. Se necesita un estudio mayor, pero pudiera ser más fácil pasar directamente del síntoma al remedio: encontrar una ocupación menos demandante para ese trabajador.

Esta tabla muestra la presencia de múltiples tipos de errores por parte de los trabajadores. El remedio no es tan sencillo como “motivar al trabajador”. Entender los tipos de error por medio del diagnóstico es importante al momento de identificar las causas. La gran mayoría de los errores de los trabajadores caen en una de estas cuatro categorías: involuntaria, técnica, consciente y de comunicación. La tabla 3.6 muestra la interrelación entre el patrón de errores, la subcategoría probable y los posibles remedios. Las cuatro categorías se examinan a continuación.

Errores involuntarios. Los trabajadores no pueden evitarlos debido a la incapacidad humana de mantener la atención. Siglos de experiencia han demostrado que los seres humanos son simplemente incapaces de fijar su atención de manera constante.

Los ejemplos comunes implican un componente omitido desde un montaje o el ajuste de un proceso que se coloca de manera incorrecta.

Para ayudar al diagnóstico de identificación de errores involuntarios es útil el conocimiento de sus características distintivas. Éstas son:

- *Involuntario.* El trabajador no desea cometer errores.
- *Inconsciente.* Al momento de cometer el error, el trabajador no está consciente de haberlo hecho.

- *Impredecible.* No existe nada sistemático sobre cuándo se presentará un error, de qué clase será y quién lo cometerá. Como consecuencia de esta imposibilidad de predicción el patrón de los errores muestra una aleatoriedad. *Un grupo de datos que muestra un patrón aleatorio de error por parte del trabajador sugiere que el error es involuntario.* La aleatoriedad de los datos puede aplicarse a los tipos de errores, a las personas que incurren en ellos y a las veces que se cometen.

Los remedios para los errores involuntarios implican dos propuestas:

1. *Reducir la extensión de dependencia en la atención humana.* Todos los instrumentos usados aquí son de tipo de prueba y error: diseños contra fallas, validación de procesos, cuentas regresivas, verificaciones redundantes, cortocircuitos, interbloques, señales de alarma, automatización, robots. Las grandes reducciones en los errores pueden resultar del uso de códigos de barras para ayudar a identificar los artículos.
2. *Ayudar a los trabajadores a mantenerse atentos.* Ejemplos de esta medida son la reorganización y rotación del trabajo para reducir la fatiga y la monotonía, y el uso de multiplicadores de detecciones, plantillas, máscaras y revestimientos.

Errores de técnica. Estos errores surgen porque al trabajador le falta alguna técnica, habilidad o conocimiento esencial necesario para prevenirlos. El diagnóstico de identificación de errores causados por la técnica se ayuda del conocimiento de las características de aquéllos. Éstas son:

- *Involuntario.* El trabajador no desea cometer errores.
- *Específico.* Los errores de técnica son únicos para ciertos tipos de defectos: aquellos para los que la técnica faltante es esencial.
- *Consistente.* Los trabajadores que carecen de la técnica esencial cometen errores consistentemente en comparación con los que sí la tienen. Esta consistencia se hace muy evidente en los datos de los errores por parte de los trabajadores.
- *Inevitable.* Los trabajadores inferiores son incapaces de igualar el desempeño de los superiores porque los primeros no saben “qué hacer de manera diferente”.

El descubrimiento de la existencia de errores de técnica emplea los instrumentos de diagnóstico para los errores de los trabajadores, como se ilustra aquí en el ensamblado de escopetas.

EL CASO DE ENSAMBLADO DE ARMAS. Las armas eran ensambladas por 22 artesanos hábiles, cada uno de los cuales ensamblaba un arma completa desde sus partes más pequeñas. Después de una prueba de seguridad, alrededor del 10 por ciento de las armas no se podían abrir para quitar el cartucho usado, un defecto conocido como “difícil de abrir después de disparar”. En tales defectos, era necesario desmontarlas y volverlas a ensamblar, lo que tomaba cerca de dos horas por cada una, un derroche significativo.

Después de la angustia de discusiones infructuosas, fue claro que el elemento faltante era la información objetiva. Se registraron los datos ya archivados por ensamblador y por tiempo y se colocaron en una matriz (tabla 3.7). Se hizo evidente cierta información útil:

1. Había mes con mes una amplia variación por *departamento* en la tasa de defectos, que oscilaba desde un valor bajo del 1.8 por ciento en enero a uno alto del 22.6 por ciento en febrero. Debido a que todos los trabajadores parecían estar afectados, esta variación debió haber tenido su origen fuera del departamento. (El análisis subsecuente confirma esta teoría.)

TABLA 3.7
Análisis matricial

Rango del operador de ensamblado	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Total
1	4	1	0	0	0	0	5
2	1	2	0	5	1	0	9
3	3	1	0	3	0	3	10
4	1	1	0	2	2	4	10
5	0	1	0	10	2	1	14
6	2	1	0	2	2	15	22
.							
.							
17	18	8	3	37	9	23	98
18	16	17	0	22	36	11	102
19	27	13	4	62	4	14	124
20	6	5	2	61	22	29	125
21	39	10	2	45	20	14	130
22	26	17	4	75	31	35	188
Total	234	146	34	496	239	241	1 390
% defectuoso	10.6	6.6	1.8	22.6	10.9	11.0	10.5
Los cinco mejores	9	6	0	20	5	8	48
Los cinco peores	114	62	12	265	113	103	669
Proporción	13	10	∞	13	23	13	14

- La proporción de los cinco mejores desempeños frente a los peores cinco mostró una *consistencia abrumadora*. En cada uno de los seis meses, los cinco peores desempeños agregaron una tasa de error que es, por lo menos, 10 veces mayor que la suma de los cinco mejores. Debe haber una razón para dicha diferencia consistente y puede encontrarse al estudiar los métodos de trabajo (las técnicas usadas por los respectivos trabajadores).

EL TRUCO. El estudio de los métodos de trabajo mostró que los ejecutantes superiores usaban una lima para reducir una de las dimensiones de un componente complejo; los ejecutantes inferiores no limaban ese componente. Este limado constituyó un “truco”, una pequeña divergencia en el método que representa una gran diferencia en los resultados. (Hasta que se hizo el diagnóstico, los ensambladores superiores no se habían dado cuenta de que el limado reducía en gran medida la incidencia de defectos.)

Generalmente, es fácil seguir la diferencia en el desempeño de un trabajador hasta llegar a algún tipo de truco superior usado por los ejecutantes exitosos para beneficio del producto. En el caso de los ensambladores de armas, el truco consistió en limar un componente. Sin embargo, en otras ocasiones, la diferencia en el desempeño de un trabajador se debe al *daño* inconsciente hecho al producto por los ejecutantes inferiores.

Una regla útil para predecir si la diferencia en el desempeño de un trabajador se debe a un truco positivo o negativo es considerar qué trabajadores son la minoría. Si los ejecutantes superiores

lo son, probablemente la diferencia se deba al truco positivo. Si los ejecutantes inferiores son la minoría, probablemente la diferencia en el desempeño se deba a un truco negativo.

RESUMEN DE ERRORES DE TÉCNICA. La secuencia de sucesos para identificar, analizar y remediar los errores de técnica son:

1. Para los tipos de defectos bajo estudio, crear y recopilar datos que puedan revelar cualquier diferencia significativa de trabajador a trabajador.
2. Analizar los datos de vez en cuando para descubrir si hay consistencia.
3. Identificar a los ejecutantes que sean consistentemente mejores y peores.
4. Estudiar los métodos de trabajo usados por los mejores y peores ejecutantes para identificar las diferencias en su técnica.
5. Estudiar más estas diferencias para descubrir el truco positivo que produce resultados superiores o el negativo que está dañando el producto.
6. Educar a cada uno para que todos lleguen al nivel del mejor, por medio de acciones adecuadas de remedio como:
 - a) Capacitar a los ejecutantes inferiores en el uso del truco o para evitar daños.
 - b) Cambiar la tecnología de tal forma que el proceso adopte el truco.
 - c) Llevar a cabo métodos de prueba y error al proceso, de forma que requiera el uso del truco o se prohíba la técnica que está dañando al producto.

Errores conscientes. Conocer las características para identificar los errores conscientes ayuda a su diagnóstico. Éstas son:

- *Deliberado.* Al momento de cometer el error, el trabajador está consciente de ello.
- *Intencional.* El error es el resultado de una intención adrede por parte del trabajador.
- *Persistente.* El trabajador que comete el error generalmente lo continúa haciendo.

La evidencia externa de los errores conscientes probablemente sea única. Mientras los errores involuntarios son aleatorios, los errores conscientes muestran consistencia, esto es, algunos trabajadores cometen, de manera firme, más errores que otros. Sin embargo, mientras los errores de técnica están comúnmente restringidos a tipos de defectos que requieren de algún truco especial, los errores conscientes tienden a cubrir un espectro más amplio de tipos de defectos. Saber esto es útil en el diagnóstico de errores conscientes.

ERRORES CONSCIENTES INICIADOS POR LA DIRECCIÓN. Muchos errores conscientes se inician en la dirección. La mayoría de los ejemplos comunes surgen de los múltiples estándares que todos los directores deben cumplir (costo, entrega, productividad, así como calidad). Debido a los cambios en el mercado, los directores siguen transformando sus prioridades, por ejemplo, en el mercado de ventas, los programas de entrega son más importantes que los estándares de calidad. La presión de los directores se transmite a la fuerza laboral, lo que puede resultar en una violación consciente de un estándar para cumplir con otro.

ERRORES CONSCIENTES INICIADOS POR EL TRABAJADOR. Algunos errores conscientes los inicia el trabajador. Los empleados pueden tener quejas reales o imaginarias en contra del jefe o la empresa. Ellos se vengan no cumpliendo con los estándares. Unos pocos se vuelven rebeldes contra todo el sistema social y usan el sabotaje para mostrar su resentimiento. Algunos empleados son tan evidentemente antisociales que ningún compañero ni el sindicato defenderán sus acciones.

REMEDIOS PARA LOS ERRORES CONSCIENTES. Generalmente, los remedios enlistados aquí enfatizan cambios de seguridad en el comportamiento sin realizar ningún esfuerzo especial para garantizar un cambio de actitud. De cualquier manera, la propuesta se orienta principalmente a las personas más que al “sistema” (los aspectos de administración y de tecnología del trabajo). Entre los posibles remedios están:

- Explicar el impacto del error en los clientes internos y externos.
- Establecer una contabilidad individual.
- Suministrar un equilibrio entre la productividad y la calidad.
- Llevar a cabo auditorías periódicas.
- Recordar a los trabajadores los defectos específicos.
- Mejorar la comunicación sobre temas de calidad entre la dirección y los trabajadores.
- Crear competencia e incentivos.
- Llevar a cabo métodos de prueba y error en las operaciones.
- Reasignar el trabajo.

Para la elaboración de estos remedios, véase *JQH5*, páginas 5.62-5.63.

Errores de comunicación. Estos errores surgen debido a una falla en la comunicación con el empleado. Pueden ocurrir junto con errores involuntarios, de técnica o conscientes. Existen varias formas de errores de comunicación.

COMUNICACIÓN OMITIDA. Algunos errores conscientes parecen ser iniciados por el trabajador, pero tienen su origen en una comunicación inadecuada por parte de la dirección. Por ejemplo, tres lotes de producto no cumplen con la característica X de calidad. En cada caso, el inspector coloca un control en el lote, aunque a su vez el consejo de revisión de material concluye que el lote está adaptado para su uso y lo libera para su entrega. Sin embargo, ni al trabajador de producción ni al inspector se les dice por qué. Al desconocer la razón, estos trabajadores pueden concluir que la característica X no es importante. Eso establece el escenario para acciones no autorizadas.

COMUNICACIÓN IMPEDIDA. Históricamente, la alta gerencia puso poco énfasis en animar la comunicación desde los puestos inferiores con los superiores. Esta conducta dio como resultado un fracaso para capturar las ideas generales y sugerencias de diseño de trabajo específico de los que están más cerca de la acción: la fuerza laboral. Por fortuna, la dirección ha tomado medidas significativas para hacer un mayor uso de este activo subutilizado. Gran parte de los directores reconocen ahora la importancia de las contribuciones de la fuerza laboral para los empleados que trabajan en equipos, los equipos autodirigidos y otras formas de participación de los empleados. No obstante este progreso, aún ocurren casos individuales de dirección por miedo o intimidación que impiden la comunicación con la fuerza laboral.

ERRORES DE TRANSMISIÓN. La comunicación humana es imperfecta. Los errores surgen por la falta de vocabulario preciso; la confusión con palabras similares o acrónimos; el ruido que impide la comunicación oral, y por muchas otras razones. Algunas empresas de corretaje mantienen cuentas especiales para cubrir los gastos relacionados con los errores en sus operaciones, por ejemplo, la compra de una acción equivocada porque el corredor confundió el nombre Copytel con Datacopy. En un estadio, el partido de fútbol americano se pierde porque, en una jugada clave cercana al final, un jugador erróneamente escucha el nombre de la jugada como “revés” en lugar de “tres”. Pierde su asignación defensiva y el equipo contrario anota un *touchdown*.

REMEDIOS PARA LOS ERRORES DE COMUNICACIÓN. Aunque la “mala comunicación” a menudo se da como una causa vaga de una amplia variedad de problemas, las medidas que se pueden tomar para prevenir estos errores incluyen las siguientes:

- Un estado de alerta por parte de los mandos altos y medios para identificar y explicar cuidadosamente las decisiones clave que afectan a la fuerza laboral. Éstas incluyen las decisiones que inciden en el bienestar de los empleados y sobre productos y procesos que afectan la calidad. Dicha comunicación llevará tiempo, pero la inversión redundará en beneficios.
- Énfasis en mejorar la claridad y precisión de especificaciones, estándares, políticas e instrucciones de trabajo. Esta tarea puede cumplirse mediante la preparación de un glosario escrito de términos y definiciones, la estandarización de los términos clave, preparación de muestras físicas y el uso de números en lugar de adjetivos para describir las características de los productos.

Para encontrar información sobre el error humano, véase *JQH5*, sección 5.

Como se ilustró en los ejemplos anteriores, algunas veces las causas pueden determinarse con el simple análisis de los datos disponibles (actuales y pasados) de un proceso. Pueden ocurrir acuerdos sorprendentes sobre las causas cuando las personas se confrontan con los datos, en particular si éstos nunca se habían recopilado.

Empero, en otros casos, el análisis de los datos requiere del uso de técnicas estadísticas, es decir, establecer hipótesis cuantitativas y usar pruebas estadísticas para aceptar o rechazar las hipótesis. Los conceptos y las pruebas específicas se describen en el capítulo 17, “Conceptos básicos de estadística y probabilidad”, y en el capítulo 18, “Herramientas estadísticas para el análisis de datos”. Como se explica en el capítulo 17, una falla para comprender la necesidad de un análisis estadístico de datos fácilmente puede conducir a conclusiones incorrectas.

Hay disponibles muchas técnicas para ayudar en la fase de análisis. Los japoneses concluyeron que la mayoría de los problemas de calidad podían resolverse con siete herramientas básicas: diagrama causa-efecto, análisis de estratificación, hoja de control, histograma, diagrama de dispersión, análisis de Pareto y gráficas de control. Posteriormente, se recomendaron siete herramientas nuevas (tabla 3.8): diagrama de afinidad, diagrama de árbol (diagrama sistemático), gráfica de programa para decisión de procesos, diagrama matricial, dígrafo de interrelación (diagrama de relaciones), matriz de priorización (análisis matricial de datos) y diagrama de red de actividades (diagrama de flechas).

Estas herramientas tienen su origen en las disciplinas de ingeniería industrial, investigación de operaciones, estadística y administración, y se enfocan en entender las relaciones existentes entre las actividades relacionadas con la calidad en un sistema amplio. En contraste, las siete herramientas básicas se concentran en la resolución de problemas para un producto o proceso específico. Para la elaboración de las siete nuevas herramientas, véase Mizuno (1988).

Otro amplio enfoque para el mejoramiento, la teoría de restricciones (TOC, por sus siglas en inglés), merece nuestra atención. Una *restricción* es el vínculo más débil de un sistema (proceso) y, por lo tanto, debería ser el foco del mejoramiento. Las restricciones son en su mayoría políticas (procedimientos, prácticas del pasado), pero también pueden ser físicas (máquinas, gente, otros recursos). La TOC identifica la(s) restricción(es) y analiza el sistema para asegurar que todas las partes estén alineadas y ajustadas para apoyar la máxima efectividad de la restricción. La presentación del concepto en forma de novela la hace Goldratt (1997). Dettmer (1995) explica los pasos de cómo aplicarían en la calidad.

TABLA 3.8
Siete nuevas herramientas japonesas

Herramienta	Concepto
Diagrama de afinidad	Organiza hechos, opiniones y asuntos en agrupaciones naturales como una ayuda para el diagnóstico.
Diagrama de árbol (diagrama sistemático)	Disecciona un problema en subproblemas y causas.
Gráfica de programa para decisión de procesos	Evalúa procesos alternativos para ayudar a seleccionar el mejor.
Diagrama matricial	Muestra la presencia o ausencia de relaciones entre los pares de elementos recopilados en una situación problemática.
Dígrafo de interrelación (diagrama de relaciones)	Ayuda a identificar los factores clave para incluirlos en un diagrama de árbol.
Matriz de priorización (análisis matricial de datos)	Evalúa opciones por medio de un enfoque sistemático de identificación, peso y aplicación de criterios en las opciones.
Diagrama de red de actividades (diagrama de flechas)	Analiza la secuencia de actividades necesarias para completar un proyecto y determinar las tareas críticas para monitorear su ejecución eficiente.

Algunos libros clásicos y recientes que suministran una discusión extensa sobre los análisis son Wadsworth, Stephens y Godfrey (2001); Smith (1998); Kolarik (1995); Mears (1995); Wilson, Dell y Anderson (1993), y Juran Institute, Inc. (1989). Plsek (1997) aplica las herramientas del pensamiento e innovación creativos a varios aspectos de la administración de calidad, incluyendo el diseño de procesos.

3.10 FASE DE PROGRESO

Esta fase diseña un remedio, prueba su efectividad y prepara un plan de implementación. Sus pasos son:

- Evaluar remedios alternativos.
- Si es necesario, diseñar experimentos formales para optimizar el desempeño del proceso.
- Diseñar un remedio.
- Probar la efectividad del remedio.
- Tratar con la resistencia al cambio.
- Transferir el remedio a las operaciones.

Evaluar remedios alternativos

La acción del remedio responde a los descubrimientos del diagnóstico. Generalmente, se proponen varios remedios alternativos (soluciones) para eliminar la causa encontrada en el diagnóstico. El remedio elegido debería perfeccionar significativamente el problema original y optimizar los costos

TABLA 3.9
Matriz de selección de remedios

Criterio	Remedio 1	Remedio 2	Remedio 3
Nombre del remedio			
Costo total			
Impacto en el problema			
Relación costo-beneficio			
Impacto cultural/resistencia al cambio			
Tiempo de implementación			
Incertidumbre en la efectividad			
Salud y seguridad			
Ambiente			
Resumen (1 para el mejor, 2 para el siguiente, etcétera)			

Fuente: Juran Institute, Inc.

TABLA 3.10
Tipos de experimentos de diagnóstico

Tipo de experimento	Propósito y enfoque
Evaluación de variables dominantes sospechosas	Evalúa los cambios en los valores de una variable al dividir un lote en muchas partes y procesar cada una en un valor diferente, por ejemplo, la temperatura.
Experimentos exploratorios para determinar las variables dominantes	Plan estadístico de un experimento en el que un número de características son cambiadas cuidadosamente para producir información con el fin de cuantificar cada variable dominante, así como las interacciones entre las variables.
Experimentos de producción (operación evolucionista)	Hace pequeños cambios en las variables seleccionadas de un proceso y evalúa el efecto para encontrar la combinación óptima de las variables.
Respuesta a experimentos de superficie	Introduce cambios en las variables seleccionadas de un proceso para generar un mapa empírico y un modelo matemático de la respuesta.
Simulación	Usa la computadora para estudiar la variabilidad de diversas variables dependientes que interactúan para producir un resultado final.

de la empresa y el cliente. Al evaluar los remedios, un instrumento útil para el equipo de mejoramiento es el de matriz de selección de remedios (tabla 3.9).

El equipo primero discute y concuerda los criterios que usará. Si se desea, pueden asignarse diferentes pesos a los criterios. Luego, el equipo evalúa cada remedio para cada criterio. La clasificación puede ser cuantitativa o simplemente establecida como de alta, media o baja conveniencia.

Diseño de experimentos

Los experimentos dentro o fuera del laboratorio pueden ser necesarios en la determinación y análisis de las causas dominantes de un problema de calidad y para diseñar un remedio. En la tabla 3.10 se resumen cinco tipos de experimentos.

Los experimentos exploratorios (de filtración) se realizan a menudo para verificar las pocas causas vitales y las variables dominantes, y los experimentos de laboratorio y producción se llevan a cabo para generar un modelo matemático del proceso y optimizar el desempeño del mismo. Estos experimentos requieren una definición del objetivo, variables de respuesta (salida), variables independientes (entrada), niveles de prueba para las variables y la elección del diseño del experimento. En el capítulo 18 se tratan varios tipos de diseños experimentales, algunas herramientas para una experimentación acertada y los métodos clásicos de experimentación (un factor a la vez) frente a los modernos métodos. En *JQH5*, sección 47, se proporciona una cobertura exhaustiva del diseño y análisis de experimentos como parte del proceso de aprendizaje en el método científico.

La aplicación del diseño formal de experimentos (DOE, por sus siglas en inglés) se había visto entorpecida por las dificultades de elegir un diseño experimental, así como por los relativamente complejos cálculos estadísticos y análisis de datos requeridos. Ahora, las computadoras personales y el software asociado reducen estas cargas y facilitan el uso de herramientas poderosas como el DOE. El software como MINITAB® puede ayudar a elegir diseños, analizar datos (incluyendo los despliegues gráficos de datos construidos por computadora) y a crear un modelo matemático del desempeño del proceso.

Un experimento exploratorio bien organizado tiene una alta probabilidad de identificar las causas dominantes de la variabilidad. Sin embargo, existe el riesgo de sobrecargar el plan experimental con demasiados detalles. Se requiere que el analista prepare un plan por escrito de la revisión para controlar la sobreextensión del experimento. Este plan escrito debe definir:

1. Las características del material, proceso, ambiente y producto que se van a observar.
2. El control de estas características durante el experimento, sin olvidar que:
 - a) Se puede permitir que una característica varíe como desee y se le mida como es.
 - b) Una característica puede mantenerse en un valor estándar.
 - c) Puede variarse de manera aleatoria deliberadamente.
 - d) Puede ser variada deliberadamente, en varias clases o tratamientos.
3. Los medios de medición que se van a usar (si son diferentes a los de la práctica estándar).

Si el plan muestra que el experimento puede sobrecargarse, está bien realizar un ensayo general en forma de un experimento a pequeña escala. Entonces, una revisión del experimento de ensayo puede ayudar a decidir el plan final.

Experimentos de producción

La experimentación se relaciona con frecuencia con una actividad que sólo puede realizarse bajo condiciones de laboratorio. Sin embargo, para lograr el máximo desempeño de algunos procesos de fabricación, el efecto de las variables clave del proceso producen propiedades que deben demostrarse bajo condiciones comerciales. La experimentación de laboratorio para evaluar estas variables no siempre ofrece conclusiones que sean completamente aplicables a las condiciones comerciales. Cuando se justifique, se puede crear una “planta piloto” para evaluar las variables del proceso. No obstante, a menudo la determinación final del efecto de las variables del proceso se debe tomar durante la ejecución de la producción regular, al observar de manera informal los resultados y hacer los cambios que sean necesarios. Así, la experimentación informal tiene *realmente* lugar en el área de fabricación.

Para sistematizar la experimentación informal y suministrar un enfoque metódico para el mejoramiento del proceso, G. E. P. Box desarrolló una técnica conocida como “operaciones evolucionistas” (EVOP, por sus siglas en inglés). La EVOP se basa en el concepto de que cada lote fabricado

tiene información que contribuye en los efectos de las variables del proceso en una característica de calidad. Aunque tales variables pueden analizarse por medio de un diseño experimental, la EVOP introduce *pequeños* cambios en esas variables de acuerdo con un patrón planeado de transformaciones. Estos cambios son lo suficientemente pequeños como para evitar la inconformidad, pero lo suficientemente grandes como para establecer gradualmente (1) qué variables son importantes y (2) los valores óptimos del proceso para tales variables. Aunque este enfoque es más lento que el diseño experimental formal, los resultados se obtienen en un ambiente de producción sin los costos adicionales de un experimento especial.

Los pasos son:

1. Elija dos o tres variables independientes del proceso que probablemente vayan a influir en la calidad. Por ejemplo, el tiempo y la temperatura se escogieron como variables que afectan el rendimiento de un proceso químico.
2. Cambie estos pasos de acuerdo a un plan (véase figura 3.16). Este diagrama muestra el *plan*, no datos. Por ejemplo, se hizo una ejecución de referencia con el proceso de producción fijado para realizarse a 130 °C durante 3.5 horas. El siguiente lote (punto 1 de la figura 3.16) fue efectuado a 120 °C durante tres horas. El primer *ciclo* contiene 5 ejecuciones, una en cada condición. Se tomaron muestras de cada lote y se realizaron los análisis.
3. Se calculan los efectos después de la segunda repetición del plan (ciclo 2) y de cada ciclo sucesivo (véase *JQH5*, pp. 47.46-47.51).
4. Cuando uno o más de los efectos son significativos, se cambian los puntos medios de las variables y tal vez sus rangos.
5. Si ninguna variable ha resultado efectiva después de ocho ciclos, se cambian los rangos o se seleccionan nuevas variables.
6. Se sigue moviendo el punto medio del plan EVOP y se ajustan los rangos cuando sea necesario.
7. Cuando se haya obtenido un máximo o la tasa de ganancia sea demasiado lenta, se eliminan las variables actuales del plan y se ejecuta uno nuevo con diferentes variables.

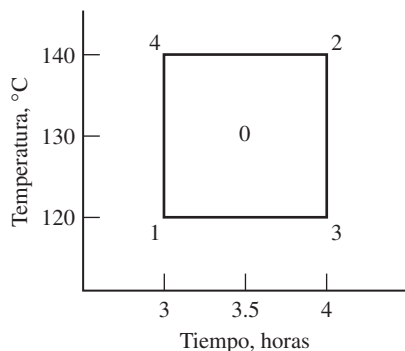


FIGURA 3.16
Plan EVOP. Los números están en el orden de ejecución.
0 es la ejecución de referencia.

La EVOP es una forma altamente estructurada de experimentación de producción. Una técnica asociada, que se aplica en laboratorios de investigación y desarrollo, es la metodología de superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés). La RSM proporciona mapas empíricos (diagramas de contorno) que muestran cómo los factores bajo el control del experimentador influyen en la respuesta. Los ajustes del factor se ven como puntos de definición en el espacio del factor (puede ser multidimensional) en el que se registrará la respuesta. Así, los mapas ilustran la naturaleza de la superficie de respuesta. Para su elaboración, véase *JQH5*, sección 47.

Experimentos de simulación

Del campo de la investigación de operaciones surge una técnica llamada “simulación” que puede ser útil al momento de analizar problemas de calidad. La simulación proporciona un método para estudiar el efecto de un número de variables en una característica final de calidad, ¡pero todo esto se hace en papel sin realizar experimentos! Un estudio de simulación requiere las siguientes entradas:

1. Definición de la(s) variable(s) de salida.
2. Definición de la(s) variable(s) de entrada.
3. Descripción del sistema completo que relaciona las variables de entrada y de salida.
4. Información de la distribución de cada variable de entrada; por consiguiente, la variabilidad se acepta como inherente al proceso.

En la simulación, se desarrolla y se traduce un modelo de sistema en un programa computacional. Este programa no sólo define la relación entre las variables de entrada y salida, sino que también toma las precauciones de guardar la distribución de cada variable de entrada. Luego, la computadora elige valores al azar de cada distribución de entrada y los combina, usando la relación definida, para generar un valor simulado de la variable de salida. Cada repetición de este proceso produce un resultado simulado de salida. Entonces, éstos se pueden formar en una distribución de frecuencia. El beneficio es hacer *cambios* en las variables de entrada o en las relaciones, ejecutar otra simulación y observar el efecto del cambio. De tal forma que la importancia de las variables puede evaluarse en el papel, lo que genera una manera más de evaluar teorías sobre las causas de los problemas.

La simulación se ha aplicado a muchos problemas de calidad, incluyendo las tolerancias de interacción, diseño de circuito y fiabilidad.

Se ha utilizado también en la industria de servicios. Anderson, Abetti y Savage (1995) presentan una aplicación en Aetna Health Plans. El proyecto de mejoramiento implicó la reducción del tiempo del ciclo en los casos de pacientes que requerían una revisión médica adicional. El promedio original de tiempo de respuesta tras llegada (TAT, por sus siglas en inglés) fue de 18.1 días y era una fuente principal de quejas de los clientes. Las metas del proyecto de mejoramiento fueron (1) reducir el TAT al 50 por ciento en los archivos resueltos en una semana, (2) mejorar la calidad general y (3) fomentar un sentido de propiedad y de responsabilidad. Entre la gente involucrada había representantes de servicio a clientes (CSR, por sus siglas en inglés), enfermeras, personal de correspondencia, directores médicos y varios supervisores. Se desarrolló un modelo de simulación para la computadora al usar el modelo de proceso (cómo funciona el flujo a través del área), el modelo de recursos (quién está disponible para hacer el trabajo) y el modelo de entrada (qué clase de trabajo se hace). Por ejemplo, se desarrollaron diagramas detallados de flujo de procesos, incluyendo los tiempos para cada tarea, para el modelo de simulación. Entonces, el modelo se probó (y mejoró) al usar la simulación por computadora para generar tres meses de información TAT y comparar los resultados de la simulación con los tres meses de datos reales.

El resultado fue un modelo de simulación por computadora que podía usarse para evaluar los cambios propuestos de los procesos.

Se probaron tres grupos de cambios de procesos con el modelo de simulación. Los resultados de la simulación identificaron los conductores clave del TAT. El remedio en forma de cambios de proceso incluía asignar un recurso de investigación de servicio al cliente (CSR, por sus siglas en inglés) dedicado a programar juntas entre los recursos para reemplazar la ruta de correo interno, usar cartas con formatos preimpresos, asumir una acción agresiva para obtener información externa y asignar trabajos que no requirieran de experiencia médica a los recursos administrativos. El proceso mejorado redujo el TAT de 18.1 días a 6.6 días.

Aetna concluyó que el modelo de simulación proporciona una base de prueba experimental (en la computadora) para intentar ideas, fomenta la necesidad de información y realiza implementaciones de procesos mejorados porque “retrasar la implementación frente a información tan convincente hubiera sido impensable”. El modelo fue una fuerza poderosa para hacer que la alta dirección se enfocara en el problema.

Batson y Williams (1998) presentan breves descripciones de siete estudios de caso sobre simulación de calidad en las industrias manufactureras y de servicios. El *New York Times* (11 de enero de 2000) describe una aplicación fascinante de simulación para estudiar el movimiento de burbujas en un vaso de un grosor de tipo Guinness. Usando el software informático de dinámica de fluidos, los investigadores ejecutan simulaciones para alterar varios parámetros, incluyendo la temperatura del grosor, el tamaño y la concentración de las burbujas, e incluso la forma del vaso. Por supuesto, la simulación por computadora se complementó con pruebas de campo en los bares locales; el tamaño de la muestra no se reportó.

Para una discusión completa de la metodología y aplicación de simulación, véase Banks (1998). También, un desarrollo emergente es la combinación de simulación con los conceptos de “lógica difusa”. La *lógica difusa* es la aplicación de las matemáticas para representar y manipular datos que poseen una incertidumbre no estadística y usan información imprecisa, por ejemplo, si está fresco, tibio o caliente en lugar de temperaturas específicas (para una breve explicación, véase *JQH5*, página 10.8).

Diseño de un remedio

El remedio debe cumplir con la misión original del proyecto, particularmente con respecto a la satisfacción de las necesidades del cliente. Este paso identifica a los clientes, define sus necesidades y prueba la efectividad del remedio. En algunos casos, diseñar un remedio puede requerir un replanteamiento importante del producto o proceso e implicar un enfoque estructurado para la replaneación (véase el capítulo 4, “Planeación de la calidad operacional e ingresos por ventas”).

Probar la efectividad del remedio

Antes de adoptar finalmente un remedio, debe probarse su efectividad. Se siguen dos pasos:

1. *Evaluación preliminar del remedio bajo condiciones que simulan el mundo real.* Dicha evaluación puede utilizar un “documento” de predicción de fiabilidad, un ensayo general en una planta piloto, o el examen de un prototipo. Pero estas evaluaciones preliminares contienen

suposiciones que nunca se cumplirán completamente, por ejemplo, se supone que el prototipo se hace bajo condiciones de fabricación comunes, cuando de hecho se realiza en el taller de modelo de ingeniería.

2. *Evaluación final bajo condiciones del mundo real.* No existe sustituto para probar remedios en el mundo real. Si el remedio es el cambio de diseño de un componente, la evaluación final debe ser una prueba del componente rediseñado operando en el sistema completo bajo condiciones de campo; si el remedio es un cambio en el procedimiento de fabricación, el nuevo procedimiento debe ser tratado bajo condiciones de fábrica comunes (no ideales); si el remedio es un cambio en el procedimiento de mantenimiento, la efectividad debe demostrarse en el ambiente de campo por el personal con niveles representativos de habilidad.

Finalmente, después de que se ha probado que un remedio es efectivo, queda un asunto de comunicación. Un remedio en un proyecto se puede aplicar también a problemas similares en otro lugar de una organización. Por lo tanto, es útil comunicar el remedio (1) a los que puedan enfrentar problemas similares y (2) a aquellos que sean responsables de planear productos y procesos futuros. En un método, el remedio se introduce en una base de datos donde pueda ser examinado fácilmente por medio de palabras clave.

Tratar con la resistencia al cambio

Se pueden manifestar varias objeciones al remedio, por ejemplo, a través de tácticas de retraso o rechazos rotundos al remedio por parte del director, la fuerza laboral o el sindicato. La “resistencia al cambio” es el nombre común de tales objeciones. El cambio consiste en dos partes: (1) una transformación tecnológica y (2) una consecuencia social de tal transformación.

La gente con frecuencia objeta contra el cambio tecnológico, aunque la verdadera razón de su reparo es el efecto social. Por consiguiente, aquellos que proponen el cambio pueden verse confundidos por las objeciones expuestas. Por ejemplo, una vez un ingeniero industrial propuso un cambio en el método de trabajo que implicaba mover el almacenamiento de partes terminadas desde una máquina específica hasta un área de almacenamiento central. El ingeniero estaba confundido por la resistencia del trabajador afectado por el nuevo método. El método parecía beneficiar a todas las partes involucradas, pero el trabajador argumentó que eso “no funcionaría”. El supervisor fue lo suficientemente perceptivo como para saber la verdadera razón de su resistencia: la producción del trabajador era espléndida y mucha gente se detenía frente a su máquina para admirarlo y felicitarlo. ¿A quién le gustaría renunciar a ese placer? Para citar otro ejemplo: algunos ingenieros de diseño se resistían al uso del diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés), argumentando que la tecnología no es tan efectiva como el análisis de diseño realizado por un ser humano. La verdadera razón, para algunos diseñadores de más edad, podría ser el miedo de tener dificultades para adaptarse al CAD. Para lograr el cambio, se debe:

- Ser conscientes de que estamos tratando con un patrón de hábitos, creencias y tradiciones (cultura) humanos que pueden diferir de los nuestros.
- Descubrir los efectos sociales exactos de los cambios tecnológicos propuestos.

Basados en las cicatrices de la experiencia, se pueden identificar algunas reglas para introducir el cambio.

Reglas para introducir el cambio

Entre las más importantes se encuentran:

- *Conceda participación.* La regla más importante para introducir el cambio es conceder participación. Aquellos que probablemente se verán afectados por el cambio deberían ser miembros del equipo de proyecto y participar en el diagnóstico y en el remedio. La falta de participación conduce al resentimiento, lo que puede elevar el muro de la resistencia.
- *Establezca la necesidad del cambio.* El cambio debería explicarse en términos que sean importantes para la gente involucrada más que en la base de la lógica del cambio.
- *Proporcione suficiente tiempo.* ¿Cuánto tiempo llevaría a los miembros de una cultura aceptar el cambio? Deben tener suficiente tiempo para evaluar el impacto del cambio y encontrar un acomodo entre los defensores del mismo. Proporcionar suficiente tiempo toma varias formas:
 - a) *Comenzar en pequeño.* Llevar a cabo una prueba a pequeña escala antes de ir con la “real” reduce riesgos a los defensores, así como a los miembros de la cultura.
 - b) *Evitar sorpresas.* Un beneficio principal del patrón cultural es que es predecible. Una sorpresa es un impacto a esta posibilidad de predecir y un perturbador a la paz.
 - c) *Elegir el año correcto.* Existen años buenos y malos, incluso décadas, para un cambio.
- *Mantenga las propuestas libres de peso excesivo.* Evite agrupar las propuestas con asuntos superfluos que no estén estrechamente relacionados con la obtención de los resultados. El riesgo es que el debate alejará del tema principal y subirá los secundarios.
- *Trabaje con el liderazgo reconocido de la cultura.* La cultura es lo más entendido por sus miembros, quienes tienen su propio liderazgo, que con frecuencia es informal. Convencer al líder es un paso significativo para conseguir que se acepte el cambio.
- *Trate a las personas con dignidad.* Un ejemplo clásico es el del relevo de los ensambladores en los “experimentos Hawthorne”. Su productividad fue en aumento, con buena o mala iluminación, porque en el laboratorio se les trató con dignidad.
- *Invierta las posiciones.* Pregúntese: ¿Qué postura tomaría yo si fuera un miembro de la cultura? Incluso es útil tomar el papel de uno de ellos para estimular la comprensión de la postura de la otra persona.
- *Trate directamente con la resistencia.* Existen muchas maneras de tratar directamente con la resistencia al cambio:
 - a) Intentar un programa de persuasión.
 - b) Ofrecer un *quid pro quo*, una cosa por su equivalente.
 - c) Cambiar las propuestas para terminar con objeciones específicas.
 - d) Modificar el clima social para hacer más aceptable el cambio.
 - e) Olvidarla; algunas veces la mejor alternativa es dejar la propuesta.

Tratar con la resistencia al cambio es un arte. Empero, algunos enfoques ofrecen una manera metódica de (1) entender el impacto del cambio y (2) resolver las diferencias entre las partes involucradas. Una propuesta para entender el impacto es identificar las fuerzas de contención y aquellas impulsoras del cambio (“análisis de la fuerza de campo”). Otro enfoque para resolver las diferencias se centra en que las partes expongan claramente sus posiciones para identificar los puntos exactos del desacuerdo (véase *JQH5*, página 5.66).

Transferencia del remedio a las operaciones

La transferencia a las operaciones puede incluir revisiones a los estándares y procedimientos de operación; transformaciones en la dotación de personal y en las responsabilidades; equipo, materiales y suministros adicionales, y una capacitación extensa sobre el porqué y el cómo de los cambios. Un programa detallado de las tareas y fechas puede ayudar a planear la implementación. Ahora se tratará la parte del control, la fase final de six sigma.

3.11 FASE DE CONTROL

En esta fase, se diseñan e implementan ciertas actividades para mantener los beneficios del mejoramiento. Los pasos son:

- Diseño de controles y documentación del proceso mejorado.
- Validación del sistema de medición.
- Determinación de la capacidad final del proceso.
- Implementación y monitorización de los controles del proceso.

Diseño de controles y documentación del proceso mejorado

En este paso se proporciona un medio sistemático para mantener los beneficios, el proceso de *control*. El control durante las operaciones se hace por medio del uso de un ciclo de retroalimentación, una medición del desempeño real, en comparación con el estándar de desempeño y de las acciones sobre la diferencia. La elaboración del concepto de control se trata en el capítulo 5, “Control de calidad”; el capítulo 16 describe las auditorías a los procesos como un medio para verificar la presencia de las condiciones requeridas para los mismos y otros pasos del remedio; el capítulo 20, “Control estadístico del proceso”, explica algunas técnicas estadísticas del control del proceso que son útiles para detectar las condiciones fuera de control. Los controles deberían incluir también una prueba de errores para prevenirlos; véase el capítulo 13 para su elaboración. La documentación del proceso mejorado debería incluir los pasos tomados durante las fases de definición, medida, análisis y mejora.

Validación del sistema de medición

El sistema de medición para el proceso mejorado debe evaluarse y hacerse competente. Este paso puede implicar nuevos aparatos de medición, recopilación de nuevos datos y capacitación adicional para el personal del proceso. El capítulo 15 proporciona un mayor planteamiento del sistema de medición.

Determinación de la capacidad final del proceso

Este paso significa proporcionar a las fuerzas operativas un proceso capaz de mantener los beneficios bajo condiciones eficaces. En la medida en que sean económicamente viables, los cambios del proceso deberían ser diseñados para ser *irreversibles*. Por ejemplo, el cambio de la introducción manual de los componentes para placas de circuitos impresos a una inserción automatizada por medio de rollos de cintas programadas es un remedio irreversible. En la soldadura por ondas, un remedio que requiere una gravedad específica diferente para un flujo podría ser reversible porque la contaminación u otros factores podrían resultar en un flujo con una gravedad específica que fuera anteriormente inaceptable.

Implementación y monitorización de los controles del proceso

En este paso, el proceso mejorado se pone en marcha y los pasos de control descritos se usan para monitorear las condiciones del proceso y el desempeño del producto. El equipo debería proporcionar la medida del costo por mala calidad para confirmar que los remedios han funcionado.

Implementar y monitorear el proceso mejorado es el paso final en un proyecto de mejoramiento de calidad. Se concluye el capítulo con una discusión de cómo mantener un enfoque en el mejoramiento continuo.

3.12

RESUMEN DE SIX SIGMA Y EJEMPLO DE PROYECTO

A continuación se presenta un resumen de la exposición de trabajos realizados y de los instrumentos comúnmente usados en cada fase del Mejoramiento Six Sigma (DMAIC, por sus siglas en inglés), reproducido con el permiso del Juran Institute, Inc.

Trabajos realizados e instrumentos fase a fase

Fase de definición

Trabajos realizados:

- Estatutos (reglas) de proyecto:
 - Enunciado del problema
 - Misión del proyecto (objetivos)
 - Costo por mala calidad y otro impacto financiero
 - Impacto operacional/estratégico
 - Equipo de proyecto
 - Plan de proyecto
 - Definiciones operacionales
- Mapa del proceso de alto nivel (SIPOC, por sus siglas en inglés)
- Requerimientos críticos para la calidad (CTQ, por sus siglas en inglés)

Instrumentos:

- Alineamiento estratégico y despliegue de metas
- Análisis del costo por mala calidad
- Elección del proyecto y establecimiento de estatutos
- Administración del proyecto
- Mapa SIPOC (proveedor-entrada-proceso-salida-cliente)
- Análisis de la voz del consumidor (VOC, por sus siglas en inglés)

Fase de medición

Trabajos realizados:

- Definición mensurable de Y (o Y 's) en $Y = f(X)$
- Mapa(s) detallado(s) del proceso del estado actual (como está)
- Análisis del modo y efecto de fallas de procesos (FMEA, por sus siglas en inglés)
- Plan de recopilación de datos
- Análisis del sistema de medición (MSA, por sus siglas en inglés)
- Desempeño de la línea de fondo para Y (o Y 's)
- Capacidad del proceso y nivel sigma
- Gráfica(s) de Pareto
- Diagrama(s) de causa-efecto
- Lista de posibles X 's (o teorías) que impactan a Y

Instrumentos:

- Trazar mapas de proceso
- Análisis del modo y efecto de fallas (FMEA, por sus siglas en inglés) del proceso
- Planeación de la recopilación de los datos
- Análisis del sistema de medición (MSA, por sus siglas en inglés)
- Gráficas y mapas
- Estratificación
- Análisis de la capacidad del proceso
- Cálculo sigma
- Gráfica(s) de Pareto
- Lluvia de ideas
- Diagramas de causa-efecto (o de espina)

Fase de análisis

Trabajos realizados:

- Lista de teorías (X 's) que se van a probar
- Plan de recopilación de datos para la fase de análisis
- Cada teoría probada (aprobada o no) con datos que usan el protocolo de prueba de hipótesis
- Lista de X 's probadas o de causas de origen probadas, esto es, $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$

Instrumentos:

- Planeación de recopilación de datos
- Potencia y tamaño de la muestra
- Intervalos de confianza
- Protocolo de prueba de hipótesis

- Pruebas T, prueba de análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés), prueba de la normalidad, prueba de varianzas iguales
- Pruebas no paramétricas
- Correlación, regresión
- Tabla de chi cuadrada de contingencia (prueba de independencia)
- Pruebas de proporciones

Fase de progreso

Trabajos realizados:

- Estrategia de mejoramiento
- Salidas de generación de soluciones alternativas
- Si es aplicable, plan y resultados de diseño de parámetros (DOE)
- Matriz de Pugh, matriz de selección de criterios, matriz de beneficios
- Si el piloto es aplicable, plan y resultados de la implementación piloto
- Lista de remedios (soluciones) seleccionados
- Mapa revisado del proceso (y fotos si aplica)
- Análisis del modo y efecto de fallas (FMEA, por sus siglas en inglés) actualizado
- Plan de implementación que muestre las fechas de inicio y de término de las actividades de solución y quién las realizó

Instrumentos:

- Diseño de experimentos (DOE, por sus siglas en inglés)
- Pensamiento creativo
- Punto de referencia (*Benchmarking*)
- Suceso esbelto (o kaizen)
- Prueba de errores
- Matriz de Pugh, matriz de selección de criterios, matriz de beneficios
- Trazado de mapas del proceso
- Análisis del modo y efecto de fallas (FMEA) del proceso
- Análisis de los participantes
- Administración del cambio
- Administración del proyecto

Fase de control

Trabajos realizados:

- Plan de control del proceso
- Lista de procedimientos (revisada o creada)
- Planes de comunicación y capacitación
- Gráficas de control que muestren resultados y comparaciones del desempeño del proceso (mejoramientos anteriores frente a posteriores)
- Análisis gráfico y estadístico para probar la importancia del mejoramiento
- Resultados (medidas y costo por mala calidad [COPQ, por sus siglas en inglés]) reales vs. objetivos vs. línea de fondo
- Dar de baja los resultados de Campeón y Finanzas
- Plan actualizado del proyecto (línea de tiempo/gráfica de Gantt)
- Lecciones aprendidas
- Reporte final del proyecto

Instrumentos:

- Análisis de autocontrol
- Plan de control del proceso
- Prueba de errores
- Método de las 5S
- Control del proceso estadístico
- Procedimientos de operación estándar
- Administración del cambio

Ejemplo de un proyecto DMAIC (definir, medir, analizar, implementar y controlar) Six Sigma

Mejoramiento del rendimiento de primera ejecución de la línea de pintura

(Adaptado del reporte final del proyecto Six Sigma dirigido por Chris Arquette con un cliente del Juran Institute; agradecemos su consentimiento)

Resumen ejecutivo

Exposición del problema

La línea de pintura tiene un rendimiento de primera ejecución del 74 por ciento. Esto significa que el 26 por ciento de todas las estructuras necesitan reelaborarse por lo menos una vez. Los defectos debidos a cuestiones de acabado representan el 15 por ciento y las del material (madera) representan el 11 por ciento. Este proyecto examina sólo los defectos de acabado porque éstos se hallan fácilmente al alcance de nuestro control. Cualquier trabajo de reelaboración no tiene, en esencia, ningún valor agregado y contribuye a la pérdida en pintura/imprimador, trabajo, utilidades, capacidad, trabajo en progreso y más desperdicios peligrosos. Nuestra meta es mejorar el rendimiento de la primera ejecución al 90 por ciento solamente para defectos de acabado.

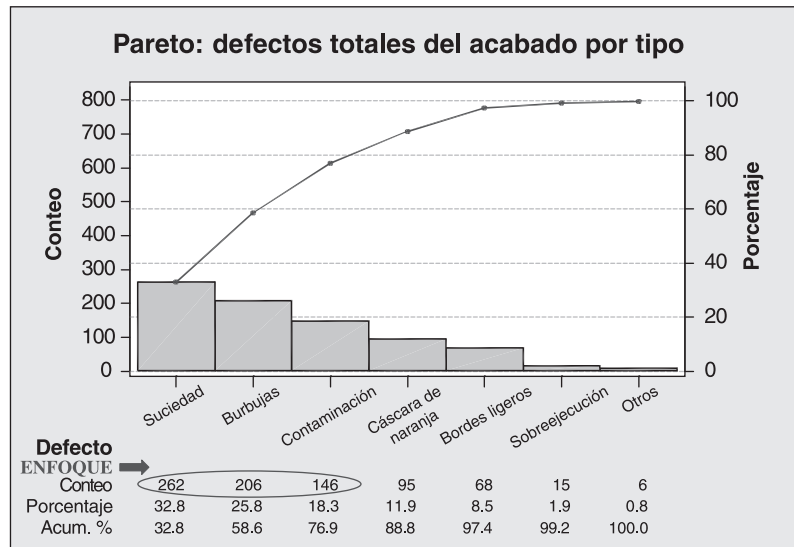
Crónica de un esfuerzo

La línea de pintura es muy antigua y está algo descuidada. En general, existen grandes oportunidades a corto plazo. Nuestros primeros resultados del Análisis del Sistema de Medición fueron expectativamente malos y los valuadores estaban contribuyendo a la tasa de defectos al rechazar las buenas estructuras. Mejoramos esto al continuar capacitando a los valuadores por medio del control de calidad. Realizamos dos Análisis del Sistema de Medición más con resultados aceptables. Esto tendrá que ser una prueba continua y una rutina en serie.

Descubrimos en la Fase de medición que las burbujas, contaminación y suciedad en el acabado generaron cerca del 77 por ciento de todos los defectos, así que decidimos ajustar nuestro ámbito a sólo esos tres. Establecimos nuestros valuadores de fin de línea para marcar defectos a la hora y para contar las ejecuciones de estructuras por hora mediante el descargador. Esto nos permitió seguir la tasa de defectos con variables cuando cambiaban. Tuvimos sesiones de causa y efecto con los representantes del proveedor de pintura, la planta, el equipo de investigación y desarrollo, y de las instalaciones corporativas. Esto nos ayudó realmente a obtener diagramas de causa y efecto muy detallados para nuestros defectos y fue crucial para determinar los factores clave potenciales. Realizamos un Diseño de experimentos en nuestros factores clave de burbujas y suciedad en el acabado. El equipo construyó un “túnel de viento” alrededor del transportador del destello del imprimador para controlar mejor el ambiente del destello. Quisimos usar aire caliente para esto, pero fuimos incapaces de

Transparencias elegidas

Diagrama de Pareto: defectos totales del acabado



CONCLUSIÓN: La suciedad, las burbujas y la contaminación son los defectos de acabado más frecuentes en todas las estructuras.

FIGURA 3.17

Diagrama de Pareto: defectos totales de acabado.

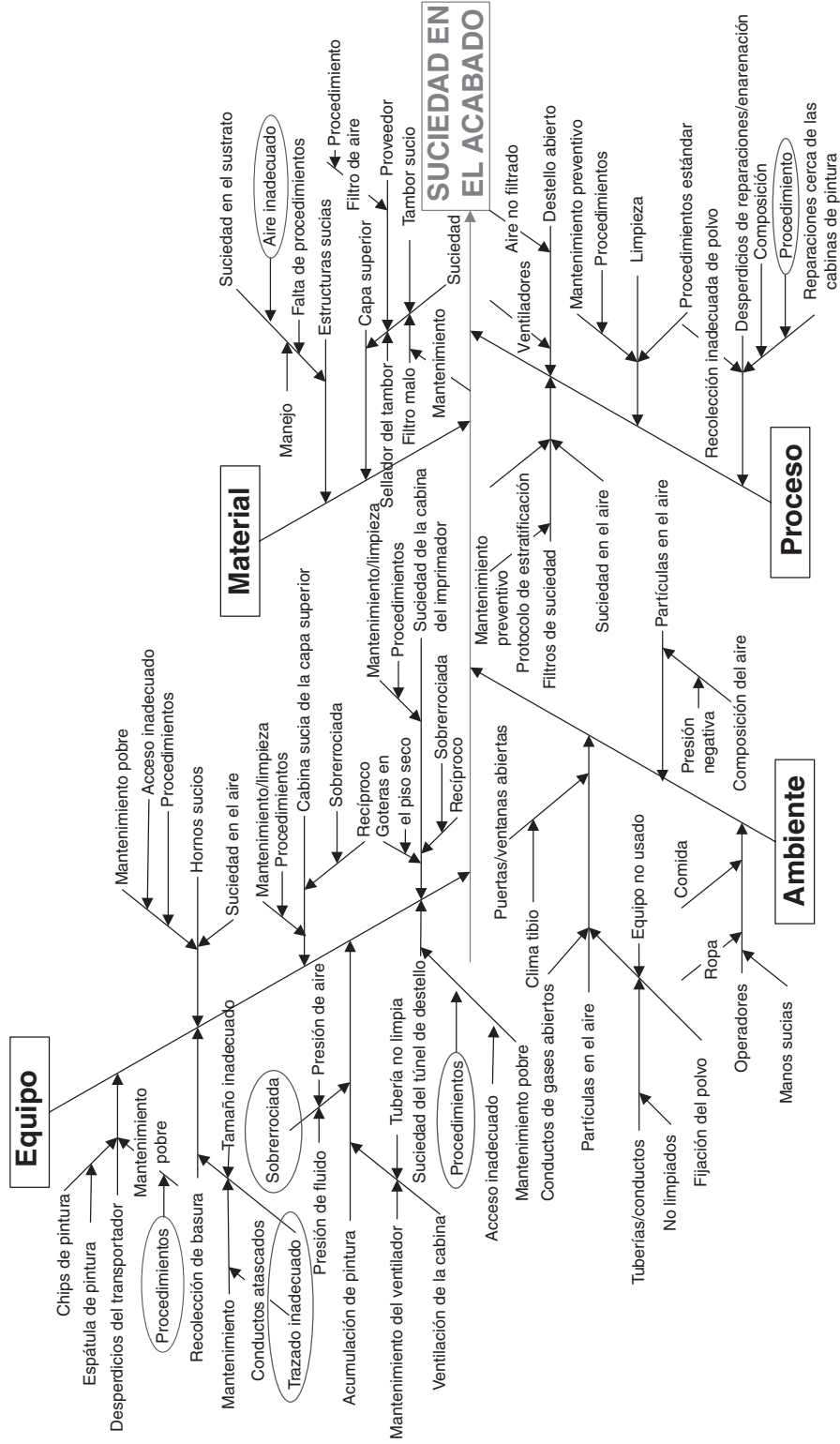
proponer una fuente de calor viable que fuera barata de implementar. Esto se examinará en el futuro. Descubrimos que el residuo de cera en la planta de componentes era la causa en un 75 por ciento de la contaminación que revisamos. Trabajamos con la planta de componentes para resolver este asunto. Para tratar de reducir la suciedad en el acabado, instalamos una nueva espátula de aire y una brocha en el transportador para esparcir la suciedad y que se la llevara entonces el aire a alta velocidad.

Mejoramientos y resultados

Logramos un aumento del 7.5 por ciento en un rendimiento de primera ejecución, desde una línea de fondo de 85 por ciento al 92 por ciento del total de los defectos de acabado. Esto se debió principalmente a la reducción de las burbujas y los defectos de contaminación. La suciedad en los defectos de acabado decreció ligeramente, pero no resultó estadísticamente significativa. A continuación se presentan los cambios que se le hicieron al proceso:

1. Se verificaron los ajustes óptimos del peso en gramos para el imprimador y para la capa superior. Éstos se monitorearán diariamente con gráficas de control X-R.
2. El túnel de viento para el destello del imprimador se quedará como parte permanente del proceso.
3. La temperatura óptima del sustrato se verificó y se controlará por medio de la temperatura del horno del imprimador.
4. Los MSA se harán mensualmente. Los resultados se monitorearán en la gráfica I-MR (individual y de rango móvil).

Diagrama de causa-efecto que muestra las teorías de suciedad en el acabado



5. La planta del componente se añadirá a un procedimiento estándar para inspeccionar y limpiar las superficies de la máquina de los residuos de cera antes de cada cambio. Esto se marcará en una hoja de control.
6. La tasa de defectos por burbujas, contaminación y suciedad en el acabado se monitoreará continuamente en gráficas p y se actualizarán a diario.

Resultados logrados. Se incrementó el rendimiento desde la primera vez para los defectos de acabado del 85 al 92.5 por ciento. El nivel sigma pasó del 2.6 al 2.9. El costo por mala calidad bajó sustancialmente. La capacidad a largo plazo subió del 0.35 al 0.48. Logramos ahorros sustanciales del costo total. Esto incluye la reducción en el costo por mala calidad y también ahorros al disminuir el peso en gramos, lo que reduce el uso de pintura y el desperdicio asociado. De forma potencial tenemos ahorros de costo adicionales a través de futuros eventos Kaizen identificados por nuestro Mapa de Flujo de Valor.

Lecciones aprendidas

- El MSA es un paso muy importante para cualquier recopilación de datos.
- No confíe en la información existente.
- Sea creativo en proponer ideas de mejoramiento.
- Tome tiempo para discutir el plan de control con todos los involucrados.
- Monitoree las actividades de recopilación de datos para su precisión.

Luego se seleccionaron las teorías que se probarán en la Fase de análisis

Potenciales X's de las burbujas: Teorías que se probarán

- X1: La muestra insuficiente del imprimador aumenta la incidencia de burbujas.
 X2: Las temperaturas inconsistentes del horno producen burbujas.
 X3: La variación del peso en gramos en la acumulación de la capa aumenta la incidencia de burbujas.
 X4: Las burbujas ocurren con más frecuencia en las estructuras reprocesadas que en las de primera secuencia.
 X5: La variación en la temperatura del sustrato antes de la capa superior aumenta la incidencia de burbujas.
 X6: Las burbujas ocurren con más frecuencia después de que se quita el solvente que durante la ejecución normal.

Potenciales X's de la suciedad: Teorías que se probarán

- X7: La limpieza de línea provoca un aumento en la proporción de estructuras con suciedad.
 X8: La suciedad en el acabado ocurre con más frecuencia en la etapa de la capa superior que antes de esa capa.
 X9: La suciedad en el acabado ocurre con más frecuencia en el lado pequeño que en el grande.

Potenciales X's de la contaminación: Teorías que se probarán

- X10: Las marcas de cera contaminan con más frecuencia que el sustrato no marcado.
 X11: La lubricación del recíproco de la capa superior causa una mayor proporción de estructuras contaminadas que otros equipos de proceso.

Plan de recopilación de datos para la Fase de análisis

(Plantilla de un plan de recopilación de información desarrollada por el Dr. Richard Chua, Juran Institute, Inc., todos los derechos reservados.)

Ref.	Teorías para probarse (seleccionadas del diagrama C-E, FMECA y/o FDM [por sus siglas en inglés])	Lista de preguntas que deben contestarse para probar cada teoría seleccionada	Cuando sea aplicable, exponga las hipótesis alternativas y nulas		Información para recopilarse							
			H ₀	H _A	Herramientas para usarse	Descripción/tipo de información	Tamaño de la muestra, número de muestras	Dónde recopilar información	Quién recopilará la información	Cómo se registrará la información		
BURBUJAS	1	El destello insuficiente en el imprimador produce burbujas.	¿Afecta el nivel de humedad del ambiente la proporción de burbujas?	La proporción mediana de burbujas en el nivel 1 de humedad = a la proporción mediana en el nivel 2 de humedad.	La proporción mediana de burbujas en el nivel 1 de humedad no es = a la proporción mediana en el nivel 2 de humedad.	Mann-Whitney	Y = Continua X = Discreta	Producción de 1 semana	Término de la línea de inspección	Inspectores	Hoja de datos	
			¿Afecta la temperatura del ambiente la proporción de burbujas?	La proporción mediana de burbujas en temperatura 1 = proporción mediana en temperatura 2.	La proporción mediana de burbujas en el nivel 1 de humedad no es = a la proporción mediana en el nivel 2 de humedad.	Mann-Whitney	Y = Continua X = Discreta	Producción de 1 semana	Término de la línea de inspección	Inspectores	Hoja de datos	
			¿Afecta la viscosidad del imprimador la proporción de burbujas?	La proporción mediana de burbujas en viscosidad 1 = proporción mediana en viscosidad 2.	La proporción mediana de burbujas en el nivel 1 de humedad no es = a la proporción mediana en el nivel 2 de humedad.	Mann-Whitney	Y = Continua X = Discreta	Producción de 1 semana	Término de la línea de inspección	Inspectores	Hoja de datos	
	2	La inconsistencia en las temperaturas del horno produce burbujas.	¿Afecta la variación de la temperatura del horno de la capa superior la proporción de burbujas?	No existe correlación entre la proporción de burbujas y la temperatura del horno en la capa superior.	Existe una correlación entre la proporción de burbujas y la temperatura del horno en la capa superior.	Correlación/regresión	Y = Continua X = Continua	Producción de 2 días @ intervalos de 2 horas	En el horno de la capa superior usando el paquete de información	Miembros del equipo Six Sigma		En hoja impresa de paquete de información
	3	La variación en gramos en la acumulación de la capa aumenta la incidencia de burbujas.	¿Afecta la variación del peso en gramos la proporción de burbujas?	La proporción mediana de burbujas @ peso en gramos del nivel 1 = a la proporción mediana de burbujas @ peso en gramos 2.	La proporción mediana de burbujas @ peso en gramos del nivel 1 no es = a la proporción mediana de burbujas @ peso en gramos 2.	Kruskal-Wallis	Y = Continua X = Discreta	Producción de 1 semana	En la cabina de la capa superior y al término de la línea de inspección	Operador de la cabina de la capa superior		Hoja de datos
	4	Las burbujas ocurren con más frecuencia en estructuras reprocesadas que en las estructuras de primera ejecución.	¿Existe una diferencia entre la proporción de burbujas entre la primera ejecución frente a las estructuras reprocesadas?	La incidencia de burbujas es independiente del número de ejecuciones.	La incidencia de burbujas es dependiente del número de ejecuciones.	Chi cuadrada	Y = Discreta X = Discreta	3 ejecuciones de reprocedimientos	Término de la línea de inspección	Inspectores		En hoja de información de defectos
SUCIEDAD EN EL ACABADO	5	La variación en la temperatura del sustrato anterior a la capa superior afecta la incidencia de burbujas.	¿Afecta la variación en la temperatura del sustrato la proporción de burbujas?	La incidencia de burbujas es independiente de la temperatura del sustrato.	La incidencia de burbujas es dependiente de la temperatura del sustrato.	Chi cuadrada	Y = Discreta X = Discreta	4 horas de producción	Después del horno del imprimador y antes de la aplicación de la capa superior	Miembros del equipo Six Sigma		Hoja de datos
	6	Las burbujas ocurren con más frecuencia después de quitar el solvente que durante una secuencia normal.	¿Existe alguna diferencia en la proporción de burbujas entre la correcta secuencia de estructuras después de quitar el solvente frente a esas secuencias anteriores?	La incidencia es independiente de cuando se quita el solvente.	La incidencia es dependiente de cuando se quita el solvente.	Chi cuadrada	Y = Discreta X = Discreta	2 horas antes y 2 horas después de retirar la línea	Término de la línea de inspección	Miembros del equipo Six Sigma		Hoja de datos
	7	La limpieza de la línea produce un incremento en la proporción de estructuras con suciedad.	¿Existe alguna diferencia en la proporción de estructuras con suciedad inmediatamente después de la limpieza de línea que antes de la limpieza?	La incidencia de la suciedad en el acabado es independiente de la limpieza de línea.	La incidencia de la suciedad en el acabado es dependiente de la limpieza de línea.	Chi cuadrada	Y = Discreta X = Discreta	La mitad de un día de producción antes y después de la limpieza de la línea	Término de la línea de inspección	Miembros del equipo Six Sigma		En hoja de información de defectos
	8	La suciedad en el acabado ocurre con más frecuencia en la etapa de la capa superior frente a la enarenación posterior.	¿Existe alguna diferencia en la proporción de estructuras con suciedad en la etapa de capa superior frente a la etapa del imprimador?	La incidencia de la suciedad en el acabado es independiente de la etapa de proceso.	La incidencia de la suciedad en el acabado es dependiente de la etapa de proceso.	DOE	Y = Continua X = Discreta	Producción de 1 día	Después de la enarenación y al término de la línea de inspección	Miembros del equipo Six Sigma		Hoja de datos
	9	La suciedad en el acabado ocurre con más frecuencia en el lado pequeño que en el grande.	¿Existe alguna diferencia en la proporción de estructuras con suciedad en el lado pequeño frente al grande?	La incidencia de la suciedad en el acabado es independiente del flujo del proceso.	La incidencia de la suciedad en el acabado es dependiente del flujo del proceso.	Chi cuadrada	Y = Discreta X = Discreta	Producción de 1 semana	Término de la línea de inspección	Miembros del equipo Six Sigma		En hoja de información de defectos
	CONTAMINACIÓN	10	Las marcas de cera son una causa importante de la contaminación en las estructuras.	¿Son las marcas de cera una causa significativa de la contaminación en las estructuras?	La contaminación es independiente de la marcación de cera.	La contaminación es dependiente de la marcación de cera.	Pareto	Y = Discreta X = Discreta	40 estructuras de muestra contaminadas	Término de la línea de inspección	Inspectores	
11		La lubricación de los reciprocos provoca más contaminación que la lubricación de otro equipo.	¿Existe alguna diferencia en la proporción de las estructuras contaminadas del reciproco frente a otro equipo?	La proporción mediana de la contaminación después del reciproco es = a la mediana antes del reciproco.	La proporción mediana de la contaminación después del reciproco no es = a la mediana antes del reciproco.	DOE	Y = Continua X = Discreta	2 horas por día en 3 días	Término de la línea de inspección			

Ejemplos de prueba de teorías

Prueba de la teoría X_3

Teoría: La variación del peso en gramos para la acumulación de la capa afecta la incidencia de burbujas.

H_0 : La proporción mediana de burbujas @ en nivel 1 de peso en gramos = a la proporción mediana de burbujas @ peso en gramos 2.

Análisis:

Prueba de normalidad:

H_0 : los datos son normales

H_A : los datos no son normales

Resultados: valores P: .000; rechazo nulo, los datos no son normales.

Prueba para varianzas igual

H_0 : $\sigma^2 = \sigma^2$

H_A : $\sigma^2 > \sigma^2$

Resultados: $p = .018$; rechazo nulo, las varianzas no son iguales.

Compare medianas – Mann-Whitney

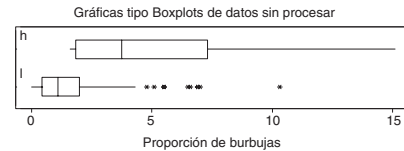
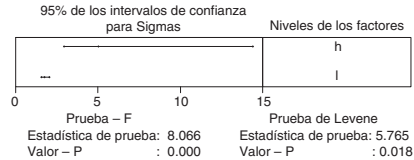
H_0 : medianas proporcionales son iguales

H_A : Medianas no son iguales

Resultados: $p = .003$; rechazo nulo, las medianas no son iguales.

Conclusión: el nivel de peso en gramos sí afecta las proporciones de burbujas.

Prueba para las varianzas iguales de la proporción de burbujas



Prueba Mann-Whitney y CI (por sus siglas en inglés):

Proporción de burbujas_h. Proporción de burbujas_l

Burbuja N = 6 Mediana = 3.750

Burbuja N = 133 = Mediana = 1.100

Punto estimado para ETA1-ETA2 es 2.400

95.0% CI para ETA1-ETA2 es (0.903,3.901)

P = 704.0

La prueba de ETA1 = ETA2 vs. ETA1 no es = ETA2 que es importante en 0.0033

La prueba es importante en 0.0032 (ajustado para vínculos)

Prueba de la teoría X_6

Teoría: Las burbujas ocurren con más frecuencia inmediatamente después de quitar el solvente que durante la secuencia normal.

H_0 : La incidencia de burbujas es independiente de cuando se quita el solvente.

Análisis:

Prueba de Chi cuadrada: Antes de quitarlo, después de quitarlo

Los conteos esperados aparecen debajo de los conteos observados

	Antes	Después	Total
1	14 021	931	1 495
	14 015.23		936.77
2	252	23	275
	257.77		17.23
Total	14 273	954	15 227

Chi cuadrada= 0.002 + 0.036 +

0.129 + 1,933 = 2.100

DF = 1, $p - \text{Valor} = .147$

Conclusión: Falla en el rechazo H_0 , la incidencia de burbujas es independiente de la producción antes de quitar el solvente frente a quitarlo inmediatamente después.

Estrategia de mejoramiento

DOE de burbujas:

- 2^4 factorial, la mitad fraccional, 8 secuencias
- Desarrollo del método para aplicar el aire forzado a través de un túnel de destello

Se- cuen- cia DOE #	Ajuste del viento en el destello del imprimador (ventiladores)	Ajuste del peso en gramos de la base	Ajuste del peso en gramos del imprimador	Temperatura del turno (estructura)	Información para recopilarse					Observaciones
					Descripción/Tipo de información	Tamaño de la muestra, número de muestras	Dónde recopilar información	Quién recopilará la información	Cómo se registrará la información	
	Prendido	12	13.8	90	% de burbujas encontradas	Un día de producción	Línea de pintura	Inspectores CQ	Hoja de datos	Establecer la temperatura del horno del imprimador a 135
	Prendido	13.8	12	90	% de burbujas encontradas	Un día de producción	Línea de pintura	Inspectores CQ	Hoja de datos	Establecer la temperatura del horno del imprimador a 135
	Apagado	13.8	12	105	% de burbujas encontradas	Un día de producción	Línea de pintura	Inspectores CQ	Hoja de datos	Establecer la temperatura del horno del imprimador a 145
	Apagado	12	13.8	105	% de burbujas encontradas	Un día de producción	Línea de pintura	Inspectores CQ	Hoja de datos	Establecer la temperatura del horno del imprimador a 145
	Apagado	12	12	90	% de burbujas encontradas	Un día de producción	Línea de pintura	Inspectores CQ	Hoja de datos	Establecer la temperatura del horno del imprimador a 135
	Prendido	13.8	13.8	105	% de burbujas encontradas	Un día de producción	Línea de pintura	Inspectores CQ	Hoja de datos	Establecer la temperatura del horno del imprimador a 145
	Apagado	13.8	13.8	90	% de burbujas encontradas	Un día de producción	Línea de pintura	Inspectores CQ/ Green Belts	Hoja de datos	Establecer la temperatura del horno del imprimador a 135
	Prendido	12	12	105	% de burbujas encontradas	Un día de producción	Línea de pintura	Inspectores CQ	Hoja de datos	Establecer la temperatura del horno del imprimador a 145

(Véase la sección 3.10 del libro de texto para detalles del experimento diseñado sobre las burbujas.)

Burbujas: mejoramientos anteriores vs. posteriores

¿Es la incidencia de burbujas después de los mejoramientos significativamente mejor (más baja) que las burbujas antes de los mejoramientos?

H₀: La incidencia de burbujas es independiente de los mejoramientos realizados.

Análisis: Prueba Chi cuadrada: burbujas: antes, después de los mejoramientos

Los conteos esperados aparecen debajo de los conteos observados

	Antes	Después	Total
Malo	16133	348	16481
	14302.61	2178.39	
Bueno	225176	36405	261581
	2.27E+05	34574.61	
Total	241309	36753	278062

$$\text{Chi cuadrada} = 234245 + 1.5E+03 + 14.759 + 96.901 = 1883.883$$

$$\text{DF} = 1, \text{ p-Valor} = 0.000$$

p es <.05, Rechazo H₀.

Conclusión: La incidencia de burbujas no es independiente de los mejoramientos realizados (después es más baja).

Contaminación: mejoramientos anteriores vs. posteriores

¿Es la incidencia de contaminación después de los mejoramientos significativamente mejor (más baja) que la contaminación antes de los mejoramientos?

H₀: La incidencia de contaminación es independiente de los mejoramientos realizados.

Análisis: Prueba de Chi cuadrada: contaminación anterior, posterior

Los conteos esperados aparecen debajo de los conteos observados

	Antes	Después	Total
Malo	6695	1219	7914
	6189.36	1724.64	
Bueno	398862	111788	510650
	3.99E+05	1.11E+05	
Total	405557	113007	518564

Chi cuadrada = 41.309 + 148.248 +
0.640 + 2.298 = 192.494

DF = 1, p-Valor = 0.000

p es <.05, Rechazo H₀.

Conclusión: La incidencia de contaminación no es independiente de los mejoramientos realizados (después es más baja).

Resultados del proyecto

Desempeño de la línea de fondo vs. objetivo vs. logros

<u>LÍNEA DE FONDO</u>	<u>OBJETIVO</u>	<u>LOGROS</u>
Costo por mala calidad COPQ: \$X por año	Costo por mala calidad COPQ: \$X por año	Costo por mala calidad COPQ: Más \$ ahorrados que los ahorros objetivo
Rendimiento de primera ejecución 85%	Rendimiento de primera ejecución 90%	Rendimiento de primera ejecución 92.5%
Capacidad: P _{PK} = 0.35	Capacidad: P _{PK} = 0.44	Capacidad: P _{PK} = 0.48
DPMO: 146247	DPMO: 91293	DPMO: 75368
Nivel Sigma: 2.6 (defectos de acabado)	Nivel Sigma: 2.8 (defectos de acabado)	Nivel Sigma: 2.9 (defectos de acabado)

3.13

MANTENIMIENTO DEL ENFOQUE EN EL MEJORAMIENTO CONTINUO

Las presiones competitivas requieren muchos proyectos de mejoramiento a un ritmo revolucionario. Tenemos que replicar los resultados de los proyectos actuales, proponer nuevos proyectos y tomar otras acciones para mejorar.

Replicar los resultados de un proyecto actual significa aplicar un remedio ya probado a problemas similares dentro de una organización. Como parte de la terminación de un proyecto, el equipo de mejoramiento documenta todos los pasos tomados en el diagnóstico de las causas y en la implementación de los remedios. Debe mantenerse una base de datos computarizada de los proyectos de mejoramiento (terminados y en progreso) y hacerla del conocimiento de todos los directivos. Además, ellos deben ser consultados para identificar los problemas de la organización que sean similares a los ya resueltos según los proyectos de mejoramiento ya concluidos. Cuando se identifica un problema similar, puede reunirse un “equipo de replicación” para validar el problema en la nueva situación y determinar si las causas y las soluciones del problema original se aplican al nuevo problema.

El fundamento para mantener el enfoque en el mejoramiento es la infraestructura para la mejora. La infraestructura incluye formalizar un proceso para proponer y seleccionar proyectos; formar equipos de mejoramiento, y proporcionar la capacitación y el apoyo para los equipos. Acciones adicionales pueden ayudar a mantener el enfoque:

1. Uso de la información de los estudios de evaluación (véase capítulo 2) para identificar las oportunidades de mejoramiento. Estas evaluaciones incluyen el costo por mala calidad; las investigaciones de mercado sobre la satisfacción y lealtad del cliente; la cultura de calidad, y el sistema completo. Observe que estas áreas van más allá del no cumplimiento de las especificaciones.
2. Trato de los procesos de mejoramiento en términos de efectividad, eficiencia, adaptabilidad y tiempo de ciclo (véase capítulo 6, “Administración de Procesos”).
3. Búsqueda de formas radicales de mejoramiento (véase capítulo 6).
4. Aplicación de todos los instrumentos de mejoramiento: técnicas y de comportamiento, simples y sofisticadas. En forma creciente, los ahorros de los proyectos de mejoramiento han “quitado la espuma de la superficie”. El siguiente episodio requiere un análisis más profundo.
5. Construcción de una base de datos de la información de mejoramiento. Se puede comenzar registrando simplemente los proyectos de mejoramiento concluidos y los que están en progreso, pero también se pueden tomar otras medidas. Por ejemplo, una empresa de comida rápida está creando una “red de trabajo intelectual” de boletines de información computarizados para incluir información de mejores prácticas. Rethmeier (1995) explica cómo una alianza de 300 hospitales usa un “centro de aprendizaje” para crear y transferir el conocimiento de mejoramiento continuo. El centro de aprendizaje emplea lecciones derivadas de las experiencias de eventos previos. Juran (*JQH5*, sección 5) llama a este análisis retrospectivo una “revisión Santayana” en honor de George Santayana, quien observó que, “Aquellos que no pueden recordar el pasado están condenados a repetirlo”. Siguiendo el ejemplo de las tribus nativas americanas, las organizaciones requieren de un “cuidador de la sabiduría”.

RESUMEN

- El proceso de mejoramiento de calidad trata de los problemas *crónicos* de calidad.
- La secuencia six sigma y la secuencia de grandes avances son enfoques estratégicos para el mejoramiento; estratégicos porque los proyectos seleccionados se basan en las brechas entre el desempeño real y las metas. Los dos enfoques son complementarios tanto en los objetivos como en el contenido.
- Los pasos de six sigma son: definir, medir, analizar, mejorar y controlar.
- Los pasos de la secuencia de grandes avances son: proveer la necesidad; identificar los proyectos; organizar los equipos de proyecto; verificar la necesidad y la misión del proyecto; diagnosticar las causas; proporcionar un remedio y comprobar su efectividad; tratar con la resistencia al cambio, e instituir controles para mantener los beneficios.

PROBLEMAS

- 3.1. Selwitchka (1980) presenta datos de 10 tipos de errores usando dos mediciones: frecuencia y costo:

Tipo de error	Frecuencia	Costo (\$, DM)
A	960	20 000
B	870	28 460
C	420	375 000
D	210	42 000
E	180	124 300
F	180	9 000
G	60	77 800
H	60	12 125
I	30	9 000
J	30	9 125

Observe que las dos primeras columnas presentan un análisis de Pareto basado en la frecuencia de la ocurrencia. Prepare una segunda tabla de Pareto basada en el costo. Comente la clasificación de errores usando la frecuencia *vs.* la clasificación basada en los costos.

- 3.2. Los cierres no planeados de los reactores han sido un problema crónico. Después de muchas discusiones, el consenso, llamado “sabiduría”, identificó que los “cambios de los cilindros” y los “errores humanos” eran las causas principales. Se instituyó un enfoque de diagnóstico basado en los hechos. Aquí están los datos de las causas de los cierres anteriores:

Causa	Frecuencia
Cambios de cilindros	21
Errores humanos	16
Sistema fundido caliente	65
Sistema iniciador	25
Mal funcionamiento de los interbloques	19
Otros	23
	<u>169</u>

- a) Convierta los datos anteriores en una tabla de Pareto que tenga tres columnas: causa, frecuencia y porcentaje de la frecuencia total.
- b) Calcule las frecuencias acumulativas para la tabla en la parte a).
- c) Calcule las frecuencias porcentuales acumulativas. Haga un diagrama de Pareto mediante el trazado de las frecuencias porcentuales acumulativas frente a las causas.
- d) Comente sobre la sabiduría *vs.* el hecho.
- 3.3.** Dibuje un diagrama de Ishikawa para uno de los incisos siguientes: a) la calidad de una actividad específica en una universidad, banco o taller de reparación de automóviles; b) la calidad de una característica importante de un producto en una planta local. Base el diagrama en discusiones con la organización involucrada.
- 3.4.** Los datos siguientes resumen el número total de defectos por trabajador en una empresa durante los últimos seis meses:

Trabajador	Número de defectos	Trabajador	Número de defectos
A	46	H	9
B	22	I	130
C	64	J	10
D	5	K	125
E	65	L	39
F	79	M	26
G	188	N	94

Un estudio de costos de calidad indica que los costos de estos defectos son excesivos. Hay una gran discusión acerca del tipo de programa de mejoramiento de la calidad. Los análisis indican que el equipo de manufactura es adecuado, las especificaciones son precisas y que a los trabajadores se les da información periódica sobre su registro de calidad. ¿Qué sugiere como siguiente paso?

- 3.5.** Un ingeniero en una organización de investigación ha propuesto en dos ocasiones que el departamento reciba la autorización para desarrollar un proyecto de investigación. El proyecto implica rediseñar un componente para disminuir la frecuencia de fallas. El enfoque de la investigación ha sido definido meticulosamente por el ingeniero y verificado como válido por un experto externo. La dirección no ha autorizado el proyecto porque “otros proyectos parecen ser más importantes”. ¿Qué acción subsiguiente debe considerar el ingeniero?
- 3.6.** Una empresa que fabrica pequeños electrodomésticos ha sufrido durante varios años una gran tasa de reprocesamientos y desechos. El costo total de desechar y reprocesar fue estimado recientemente en una base anual. La cifra conmocionó a la dirección. Las discusiones del equipo directivo degeneraron en argumentos. Finalmente, la alta dirección propuso que todos los departamentos redujeran los costos de reprocesar y desechar en un 20 por ciento para el siguiente año. Comente sobre dicho propósito.
- 3.7.** Una pequeña empresa manufacturera de acero ha tenido un problema crónico con los reprocesamientos y los desechos en el molino de cables. Los costos involucrados han alcanzado un nivel en el que son ya un factor principal en las utilidades de la división. Todos los niveles de personal en el molino de cables están al tanto del problema, y hay un acuerdo sobre las pocas líneas de producto vitales que cuentan con la mayor parte de las dificultades. Sin embargo, no se ha alcanzado ninguna reducción en los costos de desechos y reprocesamientos. ¿Qué propone como siguiente paso?

- 3.8.** La profesión médica hace todo el recorrido desde el síntoma hasta la causa y de la causa al remedio para los problemas de salud de los seres humanos. Compare este proceso con la tarea de diagnosticar problemas de calidad de los productos físicos. Si es posible hable con un doctor para aprender del enfoque de diagnóstico usado en la medicina.
- 3.9.** Según su experiencia, recuerde un problema crónico relacionado con la calidad que haya enfrentado una organización. Critique el enfoque para manejar el problema en términos del uso, o no uso, de los pasos de la secuencia de grandes avances.
- 3.10.** Seleccione un problema crónico relacionado con la calidad dentro de su organización.
- Escriba un breve planteamiento del problema.
 - Escriba el enunciado de una misión para un equipo de mejoramiento de la calidad.
 - ¿Que datos pueden ser recopilados para probar la necesidad de tratar el problema?
 - ¿Qué departamentos deben estar representados dentro del equipo?
 - Establezca uno o más síntomas del problema.
 - Establezca por lo menos tres teorías para la(s) causa(s).
 - Elija una teoría. ¿Qué datos u otra información es necesaria para probar la teoría?
 - Suponga que los datos señalan que la teoría que usted seleccionó es la correcta. Establezca una solución para eliminar la causa.
 - ¿Qué formas de resistencia a la solución propuesta es probable que encuentre? ¿Cómo trataría esta resistencia al cambio?
 - ¿Qué métodos deben ser instituidos para mantener los beneficios?
- 3.11.** Usted trata de convencer a la alta dirección de una compañía de seguros de que se embarque en un nuevo enfoque de la calidad. Los estudios sobre los costos por mala calidad, la situación en el mercado, la cultura de la calidad y el sistema de calidad han mostrado la necesidad de accionar. Usted ha propuesto un curso de acción, pero la dirección no ha actuado con respecto a su propuesta. ¿Qué paso adicional sería más útil para convencerla?
- 3.12.** Su hospital se ha embarcado en el enfoque proyecto por proyecto para el mejoramiento de la calidad. Los proyectos han sido seleccionados, se ha formado un equipo para cada uno y capacitado a los equipos en diagnóstico y otras cosas más. Muchos de los equipos han estado trabajando en su proyecto durante más de un año y algunos otros se han desalentado. ¿Cuál es la razón más probable para los largos tiempos de los proyectos?
- 3.13.** Describa cómo los principios del mejoramiento de la calidad podrían ayudar a mejorar su juego de golf. Considere cuestiones como establecer las metas; definir las medidas; recopilar y analizar los datos; identificar las debilidades, e implementar acciones de mejoramiento y capacitación. Para los puntos de vista de un profesional de la calidad y un experto golfista, véase Karlin y Hanewinkel (1998).

REFERENCIAS

- Anderson, D., F. Abetti y P. Savage (1995). "Process Improvement Utilizing Computer Simulation: Case Study", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 713-724.
- Banks, J., ed. (1998). *Handbook of Simulation*, Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA.
- Batson, R.G. y T.K. Williams (1998). "Process Simulation in Quality and BPR Teams". *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 368-374.

- Betker, H. A. (1983). "Quality Improvement Program: Reducing Solder Defects on Printed Circuit Board Assemblies". *Juran Report Number Two*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 53-58.
- Bhote, K. R. (1991). *World Class Quality*, AMACOM, Nueva York.
- Blakeslee, J. A. Jr. (1999). "Achieving Quantum Leaps in Quality and Competitiveness", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 486-496.
- Bottomo, R. y R. C. H. Chua (2005). "Genetech Error Proofs Its Batch Records", *Quality Progress*, julio, pp. 25-34.
- Chua, R. C. H. (1999). "Analyze Phase Data Collection Plan", Juran Institute's *Improvement Breakthrough Black Belt Workshop*, 2a. ed., Juran Institute, Inc.
- Chua, R. C. H. (2001). "What You Need to Know About Six Sigma", *Productivity Digest*, Singapur, diciembre, pp. 37-44.
- Chua, R. C. H. y A. Janssen (2000). "Six Sigma: A Pursuit of Bottom-Line Results", *European Quality*, vol. 8, núm. 3.
- Creveling, C. M., J. L. Slitsky y D. Antis, Jr. (2003). *Design for Six Sigma in Technology and Product Development*, Prentice-Hall, NY.
- DeFeo, J. A. y W. Barnard (2003). *Six Sigma Breakthroughs and Beyond*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Dettmer, H. W. (1995). "Quality and the Theory of Constraints", *Quality Progress*, abril, pp. 77-81.
- Forsha, H. I. (1995). *Show me: The Complete Guide to Storyboarding and Problem Solving*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- Goldratt, E. M. (1977). *Critical Chain*, North River Press, Great Barrington, MA.
- Hartman, B. (1983). "Implementing Quality Improvement", *Juran Report Number Two*, Juran Institute, Inc., pp. 124-131.
- Juran Institute, Inc. (1989). *Quality Improvement Tools*, Wilton, CT.
- Juran, J. M. (1995). *Management Breakthrough*, ed. rev., McGraw-Hill, Nueva York.
- Karlin, E. W. y E. Hanewinkel (1998). "A Personal Quality Improvement Program for Golfers", *Quality Progress*, julio, pp. 71-78.
- Klenz, B. W. (1999). "The Quality Data Warehouse: Serving the Analytical Needs of the Manufacturing Enterprise", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 521-529.
- Kolarik, W. J. (1995). *Creating Quality*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Lenhardt, L. (1993). "Quality Improvement in the Emergency Department Admission Process", *Impro Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 3A.3-1 a 3A.3-9.
- Marquette, D. K. (1996). "Achieving Breakthrough Results in Six Months... Really!: Rework Reduction in Insurance Service Processing", *Impro Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 3C.-11 a 3C.-29.
- Mears, P. (1995). *Quality Improvement Tools and Techniques*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Mizuno, S., ed. (1998). *Management for Quality Improvement: The 7 New QC Tools*, Productivity Press, Portland, OR.
- Plsek, P. E. (1997). *Creativity, Innovation, and Quality*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- Rethmeier, K. A. (1995). "Creating the Learning Organization: Toward Excellence in Knowledge Transfer", *Impro Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 3C.1-1 a 3C1.-11.
- Sanders, D., B. Ross y J. Coleman (1999). "The Process Map", *Quality Engineering*, vol. 11, núm. 4, pp. 555-561.
- Selwitchka, R. (1980). "The Priority List on Measures for Reducing Quality Related Costs", *EOQC Quality*, vol. 24, núm. 5, pp. 3-7.
- Slater, R. (1999). *Jack Welch and the GE Way*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Smith, G. F. (1998). *Quality Problem Solving*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- Wadsworth, H. M., K. S. Stephens y A.B. Godfrey (2001). *Modern Methods for Quality Control and Improvement*, John Wiley and Sons, Nueva York.
- Wilson, P. F., L. D. Dell y G. F. Anderson (1993). *Root Cause Analysis*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- Womack, J. P. y D. T. Jones (2003). *Lean Thinking*, rev. y actualizado, Free Press, Nueva York.
- Yank, K. y B. El-Haik (2003). *Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Yun, J. Y. y R.C.H. Chua (2002). "Samsung Uses Six Sigma to Change Its Image". *Six Sigma Forum*, noviembre, ASQ, pp. 13-16.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Mejoramiento de la calidad, general: *JQH5*, sección 5 y aplicaciones en las secciones 27-33.
- Grandes avances y control: Juran, J. M. (1995). *Managerial Breakthrough*, 2a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Nadler, G. y S. Hibino (1990). *Breakthrough Thinking*, Prima Publishing and Communications, Rocklin, CA.
- Análisis de datos: Tukey, J. W. (1977). *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Diagnóstico médico y diagnóstico de calidad: White, G. L. (1999). "GM Takes Tips from CDC to Debug Its Fleet of Cars", *Wall Street Journal*, 24 de abril.
- Concepto de Pareto: Koch, R. (1998). *The 80/20 Principle*, Currency Doubleday, Nueva York.
- Enfoque Six Sigma: Harry, M. y R. Schroeder (2000). *Six Sigma*, Doubleday, Nueva York.
- Hahn, G. J., N. Doganaksoy y R. Hoerl (2000). "The Evolution of Six Sigma", *Quality Engineering*, vol. 12, núm. 3 pp. 317-326.
- Bajaria, H. J. (1999). "Six Sigma-Moving Beyond the Hype", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 1-3.
- Henson, D. (1999). "Quality Driving Customer Impact", *Proceedings of the 8th Annual Service Quality Conference*, ASQ, Milwaukee.
- Historia: Yun, J. Y. y R. C. H. Chua (2002). "Samsung Uses Six Sigma to Change Its Image", *Six Sigma Forum*, noviembre, ASQ, pp. 13-16.
- Vista general de six sigma: Chua, R. C. H. (2001). "What You Need to Know About Six Sigma", *Productivity Digest*, diciembre, pp. 37-44.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Cita	Resumen
Balestracci, D. (2003). "Handling the Human Side of Change", <i>Quality Progress</i> 36(11):38-45.	Entender cómo las personas aprenden y responden al cambio. Argumenta que los profesionales de la calidad necesitan convertirse en agentes del cambio y que éste comienza por uno mismo.
Breen, A. M., T. Burton-Houle y D. C. Aron (2002). "Applying the Theory of Constraints in Health Care: Part 1-The Philosophy", <i>Quality Management in Health Care</i> 10(3):40-46.	Aplicación de la Teoría de las restricciones (TOC) de Goldratt a los sistemas de salud. Argumenta que la aplicación permite enfocarse en las áreas más productivas (por medio de los 5 pasos de enfoque del TOC).
Dettmer, H. W. (2004). <i>Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement</i> , Quality Press Milwaukee.	Amplía la Teoría de las restricciones de Goldratt. El documento anexo es una muy breve revisión del libro <i>Journal for Quality Participation</i> .
Fredenall, L. D., J. W. Patterson, C. Lenhartz, y B. C. Mitchell (2002). "What Should Be Changed?" <i>Quality Progress</i> 35(1):50-59.	Comparación de los diagramas de causa y efecto (TQM) con los Árboles Actuales de la Realidad (del TOC), con guías de cuándo es la mejor aplicación de cada uno de ellos cuando se buscan mejoras (qué cambiar, hacia qué cambiar y cómo implementar).
Fundin, A. P. y P. Cronemyr (2003). "Use Customer Feedback to Choose Six Sigma Projects", <i>ASQ Six Sigma Forum Magazine</i> , noviembre, pp. 17-21.	Modificación del proceso DMAIC en uno de ocho pasos que ayudan en la incorporación de la retroalimentación del cliente dentro del proceso de mejoramiento de procesos. Estudio de caso de Alstom Power.

Cita	Resumen
Galapon, E. A. y J. S. Norton (2001). "TQM Works for Lucent QITs in Saudi Arabia in TEP6", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 660-673.	Revisión detallada de los Equipos de Mejoramiento de la Calidad de Lucent.
Gardner, R. A. (2001). "Resolving the Process Paradox", <i>Quality Progress</i> 34(3):51-59.	Cómo seleccionar los procesos para el mejoramiento.
Gupta, P. (2004). <i>Six Sigma Business Scorecard</i> , McGraw-Hill, pp. 234.	
Harvey, J. (2004). "Scope Projects in 10 Steps", <i>Quality Progress</i> 37(8):64-72.	Cómo escoger las partes apropiadas de los procesos correctos con la intención de lanzar proyectos que sean de alcance apropiado y coherentes.
Kelly, W. M. (2002). "Three Steps to Project Selection", <i>ASQ Six Sigma Forum Magazine</i> , noviembre, pp. 29-32.	Recomendaciones para la selección de proyectos en una base continua. Pasos: (1) identificar el comité director de la selección de proyectos; (2) instituir una matriz de selección de proyectos; (3) programar reuniones fijas para evaluar clientes y proyectos.
Nave, D. (2002). "How to Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints", <i>Quality Progress</i> 35(3):73-78.	Comparación de tres metodologías para el mejoramiento (conceptos, efectos, similitudes y diferencias) con la intención de ayudar a que los directores seleccionen el mejor enfoque para su situación.
Plsek, P. E. (2000). "Creative Thinking for Surprising Quality", <i>Quality Progress</i> 33(5):67-73.	Varios instrumentos de creatividad para complementar la tradicional lluvia de ideas.
Rooney, J. J. y L. N. Vanden Heuvel (2004). "Root Cause Analysis for Beginners", <i>Quality Progress</i> 37(7):45-53.	Vista panorámica de la RCA: cuáles son las causas de raíz y el enfoque general para la identificación y resolución.

SITIOS WEB

Teoría de restricciones: www.goldratt.com

Red Europea de Mejoramiento Continuo: www.continuous-innovation.net

Juran Institute: www.juran.com

PLANEACIÓN OPERACIONAL DE CALIDAD E INGRESOS POR VENTAS

4.1 CONTRIBUCIÓN DE LA CALIDAD A LOS INGRESOS POR VENTAS

Planear para la calidad siempre requiere tiempo y esfuerzo. Desafortunadamente, las personas simplemente no invertirán tiempo en la planeación a menos que primero estén convencidas de que una minuciosa planeación de calidad sea esencial para el éxito del negocio. Para citar un viejo cliché: “No tienen tiempo para hacer una minuciosa planeación de calidad, pero sí para corregir los errores de la mala planeación”. Afortunadamente, sabemos cómo hacer una buena planeación de calidad: es uno de los tres procesos de la trilogía (véase el capítulo 1 bajo el rubro “Administrar para la calidad”). Pero antes de tratar los pasos de la planeación de calidad, se verá por qué el tiempo gastado en ella es una inversión que produce una ganancia muy mensurable.

Al definir la calidad para bienes y servicios, se han identificado dos dimensiones: las características y la ausencia de deficiencias (figura 1.1). Aunque en general ambos componentes son esenciales para generar ventas, el componente de las características es más dominante. Este capítulo trata del impacto de la calidad en los ingresos por ventas y proporciona la descripción de un enfoque que ofrece las características necesarias para cumplir los objetivos de ventas. Los capítulos 10 (“Entender las necesidades del cliente”), 11 (“Diseñar para la calidad”), 13 (“Operaciones: Sector manufacturero”) y 14 (“Operaciones: Sector servicios”) ofrecen más información. También observe que este capítulo trata de la planeación de calidad para productos y procesos (planeación operacional de calidad) en contraste con la planeación estratégica de calidad, la cual se estudia en el capítulo 8, “Administración estratégica de la calidad”.

Para las organizaciones lucrativas, la contribución de la calidad a los ingresos por ventas ocurre por diversos medios:

- Al aumentar la participación de mercado
- Al asegurar los mayores precios

- Al lograr economías de escala mediante el aumento de la producción
- Logrando ventajas competitivas únicas que consoliden las lealtades de marca

Tanto para las organizaciones lucrativas como para las no lucrativas la calidad es sinónimo de satisfacción del cliente, tanto interno como externo. Para la mayoría de las organizaciones, la satisfacción debe ser vista en relación con la competencia y, por consiguiente, va más allá del documento llamado “especificación”.

4.2 DESEMPEÑO EN LA CALIDAD Y EN LAS FINANZAS

Se puede comprender mejor el efecto de la calidad en el desempeño de las ventas y las finanzas al examinar algunos esfuerzos valiosos de investigación. Esta investigación se apoya en la base de datos conocida como Impacto de Estrategias de Mercado en Ganancias (PIMS, por sus siglas en inglés). El programa PIMS se encamina a determinar cómo las dimensiones clave de la estrategia afectan la rentabilidad y el crecimiento. Más de 450 empresas de numerosas industrias manufactureras y de servicios han contribuido con la información.

El análisis de los datos PIMS ha llevado a conclusiones importantes que se centran en la calidad en relación con la competencia. La valoración de la calidad relativa implica el uso de comparaciones de multiatributos (véase la sección 2.6, “Posición en el mercado”). Una conclusión clave es ésta: a largo plazo, el factor más importante que afecta el desempeño de los negocios es la calidad en relación con la competencia. La participación en el mercado y la rentabilidad miden el desempeño de los negocios. La tabla 4.1 muestra los datos de las ganancias en inversión (ROI, por sus siglas en inglés). Observe que los negocios que tienen una mayor participación en el mercado y una mejor calidad obtienen ganancias mucho más altas que los negocios con una menor participación en el mercado y con una calidad inferior. Además, aunque la calidad y la participación en el mercado están correlacionadas, cada una tiene una fuerte relación individual con la rentabilidad. La figura 4.1 muestra la relación entre la calidad y la rentabilidad [ganancias en las ventas (ROS por sus siglas en inglés) o ROI].

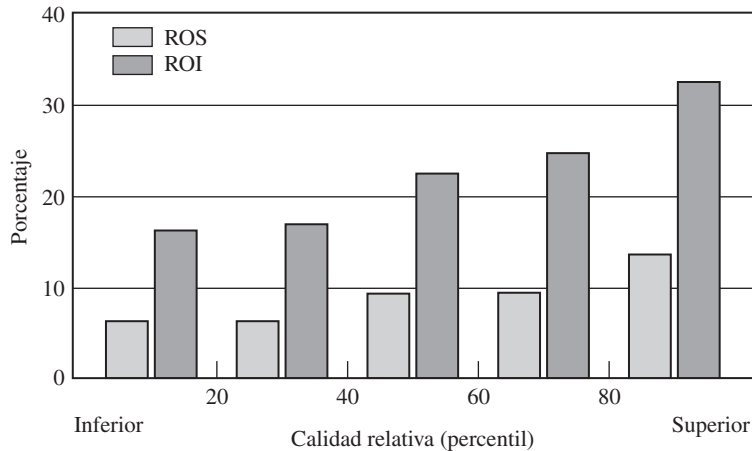
Por supuesto, la mayor rentabilidad pudiera deberse a precios más altos o costos más bajos. Sin embargo, el análisis de los datos del PIMS arroja una luz adicional. La calidad afecta el precio relativo, pero separada de la calidad, la participación en el mercado tiene poco efecto en el precio. La relación calidad-precio se muestra en la tabla 4.2. La superioridad en la calidad se vende a un precio mayor.

TABLA 4.1

La calidad y la participación en el mercado llevan a la rentabilidad (ROI)

Percentil de calidad relativa	Participación relativa en el mercado		
	Menor al 25%	25-59%	60% o mayor
Menor al 33%	7	14	21
33-66%	13	20	27
67% o mayor	20	29	38 (ROI)

Fuente: Buzzell y Gale (1987).

**FIGURA 4.1**

La calidad relativa estimula las tasas de retorno. (De Buzzell y Gale, 1987.)

TABLA 4.2
Calidad y precio

Calidad relativa	Precio relativo
La más baja	100
Vendible	102
Promedio	104
Mejor	106
La mejor	108

Fuente: Gale y Klavans (1985).

De acuerdo con otros datos del PIMS, la calidad relativa tiene poco efecto en el costo. Aparentemente, el ahorro de los esfuerzos para reducir los desechos y el trabajo de reelaboración (deficiencias) se contrarresta con el aumento de los costos de los atributos del producto (características) que venden.

4.3

LOGRAR LA SUPERIORIDAD EN CALIDAD

Para lograr el liderazgo en la calidad de un producto o servicio, la organización debe enfocarse en uno o más parámetros de calidad, como las características del desempeño, la larga vida, la facilidad de uso, la ausencia de deficiencias, el servicio personal o el servicio rápido.

En algunos casos la calidad superior puede ser obvia; por ejemplo, un cuarto de hotel con características sobresalientes o la llegada de un liquidador de seguros en menos de dos horas después de haberse reportado un accidente automovilístico.

En otros casos, la superioridad puede traducirse en la economía de los usuarios, por ejemplo, un automóvil logra más kilómetros por litro que uno de la competencia. Algunas veces la superioridad es menor pero puede demostrarse, por ejemplo, una sustancia química tiene ligeramente menor variación en una propiedad que la de la competencia, aunque ambas cumplen con la misma especificación. En otros casos, una mercadotecnia más inteligente puede presentar ejemplos convincentes de superioridad en el desempeño que los compradores aceptan. Muchas organizaciones tratan de establecer la superioridad en el valor (la combinación de calidad y precio). El valor es difícil de cuantificar, sin embargo, debido a la importancia para los compradores, el valor se escoge con frecuencia como el centro para establecer la superioridad y el liderazgo en la calidad. Los capítulos 10 y 11 ofrecen algunos ejemplos del uso del valor para lograr el liderazgo. También, Rust *et al.* (1994) tratan con más detalle los conceptos de valor, calidad y utilidad. Gale (1994) explica cómo el análisis del valor del cliente puede ayudar a planear acciones de mejoramiento.

Cualquiera que sea el enfoque que la administración elija para establecer el liderazgo en la calidad, las acciones subsiguientes deben considerar la calidad en relación con la competencia. A este respecto, el concepto de marcaje competitivo puede ofrecer una guía.

Marcaje competitivo

Un *marcaje* es un punto de referencia por el cual se juzga o mide el desempeño. Para la calidad, los marcajes posibles van de lo tradicional a lo inusual:

- La especificación
- Los deseos del cliente
- La competencia (véase el capítulo 2 bajo el título “Posición en el mercado”)
- Lo mejor en nuestra industria
- Lo mejor en cualquier industria

Para sobrevivir en el mercado, el marcaje tradicional (la especificación del producto) debe complementarse midiendo la calidad en relación con la competencia; para el liderazgo de calidad, el marcaje debe ser el “mejor”. Xerox, por ejemplo, define el marcaje competitivo como “el proceso continuo de medición de nuestros productos, servicios y prácticas frente a nuestros competidores más fuertes o frente a aquellas empresas reconocidas como líderes”. Así, un marcaje para un producto de fotocopiado sería el mejor competidor en esa industria; un marcaje para el sistema Xerox de pedidos de embalaje en almacén pudiera ser el desempeño de una empresa de cualquier industria, por ejemplo, una empresa de envíos de pedidos por correo que venda productos de consumo. Los pasos iniciales del marcaje son:

1. Determinar las características que se van a considerar marcajes
2. Determinar las organizaciones de las que se recopilarán los datos
3. Recopilar y analizar la información
4. Determinar al “mejor de su clase”

Luego se preparan los planes estratégicos para desarrollar o adaptar las “mejores prácticas”. Por supuesto que dichas estrategias tienen el objetivo de retener a los clientes actuales y de generar nuevos. Este enfoque se ilustra más adelante en este capítulo.

El proceso completo de marcaje competitivo como un enfoque para lograr el liderazgo de calidad se trata en el capítulo 8.

TABLA 4.3
La satisfacción del cliente vs. la lealtad del mismo

Satisfacción del cliente	Lealtad del cliente
Lo que los clientes dicen (las opiniones acerca del producto)	Lo que los clientes hacen (decisiones de compra)
El cliente espera comprar de entre varios proveedores en el futuro	El cliente espera comprar principalmente a uno o dos proveedores en el futuro
La empresa busca satisfacer a un espectro más amplio de clientes	La empresa identifica a los clientes clave y los “con-siente”
La empresa mide la satisfacción principalmente con el producto para un espectro de clientes	La empresa mide la satisfacción en todos los aspectos de interacción con los clientes clave y también su intención de volver a comprar
La empresa mide la satisfacción principalmente para los clientes actuales	La empresa también conoce y analiza las razones de los clientes perdidos (deserciones)
La empresa se enfoca en permanecer competitiva en la calidad para un espectro de clientes	La empresa continuamente agrega valor al crear productos nuevos basados en las necesidades cambiantes de los clientes clave

4.4

LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE VS. LA LEALTAD DEL MISMO

Es útil distinguir entre satisfacción y lealtad del cliente (véase la tabla 4.3).

En resumen, un cliente satisfecho comprará de nuestra empresa, pero también de nuestros competidores; un cliente leal comprará principal (o exclusivamente) de nuestra empresa. Es improbable que un cliente insatisfecho sea leal, pero de forma sorprendente, un cliente satisfecho no necesariamente es leal (véase la sección 4.6).

Los ingresos por ventas que se pierden debido a los clientes con problemas se pueden calcular (véase la sección 4.5).

4.5

LEALTAD Y RETENCIÓN DEL CLIENTE

La satisfacción y la lealtad del cliente son conceptos diferentes, aunque relacionados. En resumen, un cliente satisfecho comprará de nuestra empresa, pero también de nuestros competidores; un cliente leal comprará principal (o exclusivamente) de nuestra empresa (véase la sección 4.4). Asimismo, la satisfacción del cliente se relaciona con lo que los clientes *dicen*, es decir, sus opiniones acerca del producto; la lealtad del cliente se relaciona con lo que los clientes *hacen*, es decir, sus decisiones de compra.

Los clientes leales no sólo proporcionan ingresos de venta continuos, también contribuyen con otros beneficios:

- Agregar nuevas ventas cuando refieren otros clientes potenciales.
- Pagar (con frecuencia) un precio mayor.

- Comprar otros productos de la empresa.
- Cooperar con el desarrollo de nuevos productos.
- Reducir los costos internos de la empresa, como los costos de ventas.

Por consiguiente, los beneficios de tener un alto porcentaje de clientes leales (no sólo satisfechos) garantiza pasos específicos para lograr la alta lealtad de los clientes y minimizar las deserciones. Para proporcionar una perspectiva general, las nueve acciones que se presentan a continuación forman una hoja de ruta para lograr una gran lealtad del cliente.

1. Evalúe continuamente las necesidades del cliente y tradúzcalas en mejoras del producto

El desarrollo del producto debe basarse en un conocimiento minucioso de las necesidades del cliente. Pero esas necesidades cambian continuamente, así que la investigación de mercado para definir las necesidades debe ser continua (véase el capítulo 10). Después, los resultados de la investigación se traducen en productos nuevos o modificados (véase este capítulo y el 11).

2. Evalúe periódicamente la posición en el mercado en relación con la competencia

Por lo general, este proceso significa realizar estudios de investigación de mercados de multiatributos sobre la calidad. Estos estudios no sólo proporcionan el estatus en el mercado, también identifican las diferencias en la satisfacción, que es probable que resulten en deserciones de los clientes. Esta investigación debería incorporar una o más preguntas sobre la probabilidad de que el cliente vuelva a comprar o recomiende el producto.

3. Rastree la información sobre la retención y lealtad

Como una simple medida de retención, una empresa de seguros mide el porcentaje de clientes que no permite una política de error por no pagar la prima anual. Sin embargo, como una medida de lealtad, la empresa calcula qué porcentaje de los productos de seguros que compran sus clientes son adquiridos en la empresa y cuál con la competencia, es decir, la participación de los gastos que una empresa gana por parte de sus clientes.

Fidelity Investments (Nash, 1998) ha determinado que los clientes muy leales tienen casi dos veces los activos y la participación de cartera con Fidelity que los clientes poco leales (véase la figura 4.2). Reichheld (1996, capítulo 8) presenta el concepto de cartera compartida y otras medidas para la lealtad del cliente.

Sun Microsystems (Lynch, 1998) calcula un índice de lealtad del cliente basado en cuatro componentes de las cuestiones de lealtad: satisfacción del cliente, probabilidad de una nueva compra, probabilidad de recomendación y deleite del cliente.

Es útil establecer metas para la retención y lealtad de los clientes. Por ejemplo, Lexus fijó una meta de retención del 75 por ciento (Waltz, 1996).

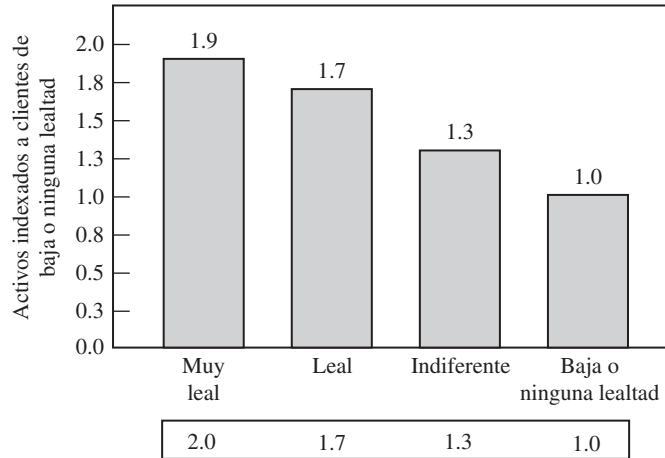


FIGURA 4.2
Cartera compartida indexada a baja lealtad.

4. Determine lo que conduce a la lealtad del cliente

Estos conductores son los elementos específicos que tienen un impacto significativo en la lealtad del cliente.

Fidelity Investments (Nash, 1998) analizó los datos obtenidos de un cuestionario de 12 páginas enviado por correo a una muestra de clientes elegida al azar. Los datos de lealtad se compararon con los de mercadotecnia para determinar el comportamiento real. Se usó un análisis de regresión para determinar los 10 conductores de lealtad. Por ejemplo, el máximo conductor (la satisfacción con el servicio al cliente) tuvo un 17 por ciento de impacto en la lealtad; a su vez, un conductor llamado satisfacción con desempeño de la inversión tuvo un 14 por ciento de impacto.

Sun Microsystems (Lynch, 1998) identificó 20 conductores de lealtad y los clasificó según su importancia relativa y el desempeño Sun en relación con la competencia.

5. Determine el impacto en las ganancias de reducir la deserción de clientes

Los problemas de los clientes deben convertirse en una implicación de costos e ingresos. Los ingresos por ventas de un cliente leal medidos en un periodo de compras de repeticiones potenciales pueden ser dramáticos. La investigación concluyó que una disminución de cinco puntos porcentuales en la tasa de deserción puede aumentar las ganancias de un 35 por ciento a un 95 por ciento, dependiendo de la industria de servicios implicada (véase la sección 4.6).

6. Entienda el impacto de manejar las quejas en la probabilidad de una nueva compra

La satisfacción del cliente con el manejo de las quejas tiene un impacto significativo en una nueva compra o en la intención de recomendar una compra a otros. Las cifras pueden ser dramáticas (véase la sección 4.7) y deben determinarse y darse a conocer a toda la organización.

7. Analice las quejas

Las quejas son un indicador temprano de la deserción potencial de los clientes. Se deben analizar la frecuencia y la naturaleza de las mismas.

8. Determine las razones de la deserción de clientes

Este paso significa llevar a cabo una investigación para descubrir las razones de las deserciones, preguntando a los clientes por qué se fueron. No obstante, las razones expuestas por los clientes no son, con frecuencia, las verdaderas; por ejemplo, a menudo se menciona el precio como una razón clave, pero generalmente al investigar a fondo se encuentran otras más. Reichheld (1996, capítulo 7) menciona cómo un “análisis de fallas” (una *falla* es una deserción del cliente) puede ayudar a descubrir las causas de las deserciones. El análisis incluye la aplicación de una técnica clásica de mejora de cinco por qué, es decir, preguntar por qué un suceso ocurrió al menos cinco veces para llegar al *origen* de la causa de una deserción.

9. Presente los resultados del análisis de lealtad para seguir una acción

Los resultados de la investigación de mercado y del análisis de lealtad deben actuar de acuerdo con si éstos contribuyen a la retención y lealtad del cliente. Para garantizar una acción, un banco emplea una guía para ayudar a los gerentes de cada sucursal a interpretar y tomar medidas según los resultados de la investigación (para su elaboración, véase *JQH5*, p. 18.19).

Un asunto relacionado es el diseño de encuestas para clientes con el fin de recopilar la información correcta con suficientes detalles para que los gerentes de línea puedan actuar sobre los resultados. Esta actividad destaca la importancia de obtener aportaciones de los gerentes al momento de diseñar las encuestas para los clientes.

Hacer gráficas de los resultados de la investigación puede ser un estímulo efectivo para la acción. Por ejemplo, rutas de satisfacción de los clientes y clasificaciones de importancia para relacionar las opiniones de los clientes con la acción potencial. Para ejemplos de rutas para un modelo de retención de clientes, véase Lowenstein (1995, capítulo 9) en las Lecturas complementarias.

Finalmente, es útil relacionar los resultados de la investigación de satisfacción con los procesos operacionales o con actividades específicas. La figura 4.3 es un ejemplo de esto.

Las nueve acciones presentadas anteriormente involucran muchas unidades de una organización. Por consiguiente, es necesario algún mecanismo para planear, coordinar y asegurar que se asignen suficientes recursos a las actividades y que éstas se ejecuten con eficacia. Un departamento de calidad pudiera desempeñar este papel usando, tal vez, el concepto de administración de proyecto.

4.6 VALOR ECONÓMICO DE UN CLIENTE LEAL

Los ingresos por ventas debidos a un cliente leal al medirse en un periodo de compras de repetición pueden resultar espectaculares, por ejemplo, \$5 000 de un comedor de pizzas; \$25 000 de una persona de negocios hospedándose en su cadena favorita de hoteles; \$300 000 de un cliente leal de una marca de automóviles. El valor económico se calcula como el valor actual neto (NPV, por sus siglas

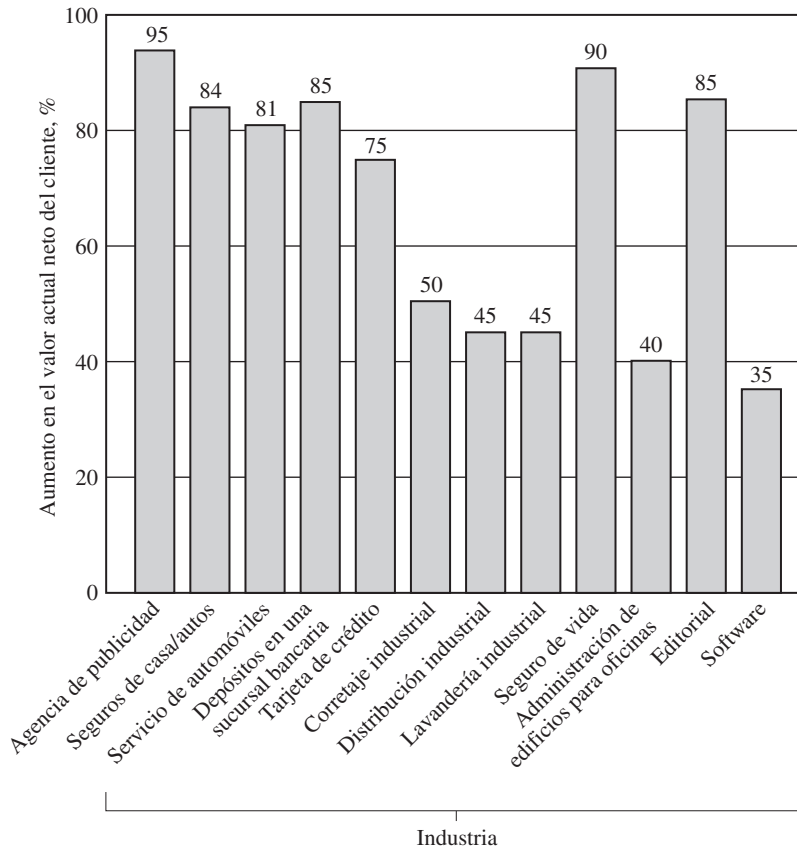


FIGURA 4.3

El impacto de un aumento del 5 por ciento de las ganancias en la tasa de retención (*Reichheld, 1996*). Reimpreso con el permiso de la Harvard Business School Press.

en inglés) del flujo neto de efectivo (ganancias) sobre el tiempo de vida esperado en las compras de repetición. El NPV es el valor en dólares de hoy de las ganancias en el transcurso del tiempo. Generalmente, las ganancias surgen cuando la tasa de deserción de clientes (clientes que no vuelven a comprar) disminuye, es decir, cuando la tasa de retención aumenta. Reichheld (1996) muestra, para una variedad de industrias de servicios, el aumento en el NPV del flujo de ganancias por cliente en el futuro a partir de una disminución de cinco puntos porcentuales en la tasa de deserción (figura 4.2). Y concluye que tal disminución puede aumentar las ganancias entre 35 y 95 por ciento.

4.7

EL IMPACTO DE LA CALIDAD EN LAS VENTAS PERDIDAS

Algunas veces, la evidencia de la importancia de la calidad al momento de retener a los clientes actuales es dramática. El fabricante B de electrodomésticos tiene una posición de liderazgo en dos

TABLA 4.4
Cambio en los proveedores del producto

Modelo	1979	1980	1981	1982
Precio alto	A	C	C	C
Precio medio	B	B	C	C
Precio bajo	C	C	C	C
Modelo especial	B	B	B	C

Nota: A, B y C se refieren a los proveedores.

de los cuatro modelos de un producto (véase la tabla 4.4). Durante un periodo de cuatro años, perdió el liderazgo, aunque la empresa era competitiva en las características del producto, precio y fechas de entrega. Sin embargo, no lo era en las fallas de campo y en los costos de garantía. El presidente tuvo que guiar personalmente el desarrollo y ejecución de una estrategia para reducir los costos por fallas y por garantía. Y tuvo éxito.

Algunas veces se puede cuantificar la pérdida de ventas debida a la mala calidad. Se compararon dos fabricantes de lavadoras. Una medida era el porcentaje de los clientes actuales que no comprarían la misma marca otra vez. De la marca A, sólo el 1.1 por ciento dijo que no la compraría otra vez; en la marca B, el 10.5 por ciento declinó adquirirla otra vez. Para la marca B, la razón principal era “la mala calidad”. Cuando el 10.5 por ciento se tradujo a la población total de los clientes actuales de la marca B, los investigadores concluyeron que se necesitarían ingresos adicionales por ventas de \$5 millones para recuperar las ganancias de las ventas perdidas de reemplazo. En un caso que implicaba un producto industrial, se realizó una encuesta entre los clientes actuales que estaban comprando el producto hecho por un fabricante. Algunos de estos clientes habían comprado una marca diferente. Un tercio de esos clientes anteriores dijo que la razón principal fue la mala calidad. Estas ventas perdidas debido a la mala calidad sumaron \$1.3 miles de millones en ingresos de ventas (y 2 000 empleos).

Para un ejemplo de pérdida de ingresos por ventas en un banco, véase el capítulo 2 bajo el rubro “Categorías de los costos de calidad”.

Para cuantificar el impacto de la calidad en las ventas, véase Rust *et al.* (1994). Véase también Campanella (1999) y *JQH5* (secciones 8 y 18) en las Lecturas complementarias.

4.8 NIVEL DE SATISFACCIÓN PARA RETENER A LOS CLIENTES ACTUALES

Algunas veces, los niveles aceptables de satisfacción de los clientes con el producto aún resultan en una pérdida significativa de nuevas ventas. La tabla 4.5 presenta dos ejemplos en la industria de servicios. Observe que incluso cuando la opinión del cliente acerca de la calidad es buena, es posible que una cuarta parte o más de los clientes actuales no regrese. Una historia similar se presenta en el sector manufacturero (Burns y Smith, 1991). En la Harris Corporation, la satisfacción con atributos específicos del producto (bienes y servicio) se mide en una escala del 1 al 10; la lealtad se mide como el porcentaje de clientes que volverían a comprar en Harris. Los datos mostraron que para lograr el 90 por ciento de lealtad se requería un nivel de satisfacción de por lo menos 8.5. En algunas industrias, más del 90 por ciento de los clientes comentan que están satisfechos o muy satisfechos con el producto, pero las tasas de compras de repetición son únicamente de un 35 por ciento.

TABLA 4.5
Satisfacción y ventas

Opinión del cliente sobre la calidad	Disposición para recomendar al proveedor, % (GTE)	Muy dispuesto a volver a comprar, % (AT&T)
Excelente	96	92
Buena	76	63
Suficiente	35	18
Mala	3	0

Fuente: Bultmann (1989); Scanlan (1989).

La otra dimensión de este fenómeno es el nivel de la satisfacción del cliente con el manejo de las quejas. La tabla 4.6 muestra el porcentaje de los clientes de una empresa de servicios financieros que intenta comprar un producto o servicio otra vez, basado en su nivel de satisfacción con la resolución de sus quejas (*JQH5*, p. 33.22).

Los clientes que tienen un problema y que no están satisfechos con la solución (“recuperación”) probablemente no volverán a comprar (30 por ciento). Los clientes muy satisfechos con el manejo de sus quejas tienen una intención mucho mayor de volver a comprar (79 por ciento) y de recomendar la adquisición a otros (88 por ciento). Algunas empresas aprovechan una queja como una oportunidad especial para generar ingresos adicionales por ventas al proporcionar una acción de recuperación memorable y espectacular. Finalmente, observe que algunos clientes satisfechos sin problemas no volverán a comprar.

Comercio electrónico

El comercio electrónico (o comercio en línea) compra y vende productos a través de las redes de telecomunicación. Están surgiendo tres dimensiones. Primero, el comercio electrónico puede contactar a un gran número de clientes y presentar muchos productos y opciones (“alcance”). Segundo, el comercio electrónico proporciona una gran profundidad de información a los clientes y puede recopilar mucha información sobre ellos (“riqueza”). Tercero, la profundidad de la información que proporciona el comercio electrónico (por ejemplo, productos alternativos) ayuda a promover la lealtad al ofrecer a los clientes información objetiva para la toma de decisiones (“afiliación”). Para mayor información de las dimensiones de alcance, riqueza y afiliación, véase Evans y Wurster (1999).

TABLA 4.6
Intención de volver a comprar

Tipo de cliente	Porcentaje con intención de volver a comprar	Porcentaje de quienes recomendarán la compra a otros
Cliente comúnmente satisfecho sin problemas	51	65
Cliente con problemas; insatisfecho con la recuperación	30	46
Cliente con problemas; muy satisfecho con la recuperación	79	88

4.9 COSTOS DEL CICLO DE VIDA

Para los simples productos de consumo como el alimento o el transporte, el precio de compra es también el costo de usar el producto. Cuando los productos crecen en complejidad y la duración de uso aumenta, el precio de compra debe incrementarse para incluir también costos operacionales, de mantenimiento y otros especiales. Para algunos productos, los costos después de la venta pueden fácilmente sobrepasar el precio original de compra.

El *costo del ciclo de vida* puede definirse como el “costo total de la compra para el usuario; uso y mantenimiento de un producto durante la vida del mismo”. Un estudio de todos los elementos de costo puede llevar al rediseño de un producto que pudiera resultar en un costo del ciclo de vida significativamente más bajo, tal vez, a expensas de un pequeño aumento en el precio original. Esto presenta una oportunidad de mercadotecnia para ofrecer un producto que dará como resultado ahorros en la vida del mismo para los clientes potenciales. A estos clientes se les insta a tomar decisiones de compra al comparar los costos del ciclo de vida en los productos de la competencia. Sin embargo, el precio inicial de compra puede ser más alto, y la gente de mercadotecnia puede encontrar que es más difícil vender ese producto a los clientes potenciales cuya primera prioridad es el precio inicial. La tabla 4.7 muestra la relación de los costos del ciclo de vida con el precio original para varios productos de consumo.

Un concepto asociado, el costo para el usuario de las fallas, calcula lo que le cuestan las fallas durante la vida del producto. La tabla 4.8 muestra un ejemplo de los costos anuales relacionados con las fallas (Gryna, 1977).

El concepto de costo del ciclo de vida es lógicamente convincente, pero la implementación ha sido lenta. Predominan dos razones para el lento ritmo de la adopción. Primero, es difícil calcular los costos futuros de operación y mantenimiento. No obstante, un mayor obstáculo es la resistencia cultural de los gerentes de compras, del personal de publicidad y de los diseñadores del producto. En gran medida las habilidades, hábitos y prácticas de estas personas se han construido durante mucho tiempo en torno al concepto de que el precio original de compra tiene una importancia fundamental (véase *JQH5*, pp. 7.22-7.27, para una mayor explicación).

TABLA 4.7
Costos del ciclo de vida: productos de consumo

Producto	Relación costo del ciclo de vida/precio original
Aire acondicionado doméstico	3.3
Lavavajillas	2.5
Congelador	4.8
Estufa eléctrica	4.4
Estufa de gas	1.9
Refrigerador	3.5
Televisión (blanco y negro)	2.5
Televisión (a color)	1.9
Lavadora	3.6

TABLA 4.8
Costo anual por calidad del equipo de fundición

	11 fabricantes de centros de estructuras	12 hornos de inducción
Reparaciones	\$16 000	\$ 70 000
Pérdida de efectividad	25 000	90 000
Ingreso perdido	8 000	50 000
Capacidad extra	2 500	8 000
Mantenimiento preventivo	8 000	20 000
Total	\$59 500	\$238 000
Inversión inicial	\$70 000	\$700 000

4.10

ESPECTRO DE CLIENTES

Para los productos industriales y de consumo, y para los bienes físicos y de servicios, la variedad de clientes forman un amplio espectro. Algunas empresas escogen dirigirse a una parte del espectro, mientras que otras buscan varios tipos de clientes. Para los propósitos de planeación para la calidad, identificaremos tres tipos de clientes:

1. Aquellos que enfatizan el precio inicial de compra como igual o más importante que la calidad.
2. Aquellos que evalúan simultáneamente productos alternativos en el precio inicial y la calidad.
3. Aquellos que sólo buscan obtener “lo mejor”.

La tabla 4.9 une estas tres categorías con una traducción en los deseos para las características del producto y la ausencia de deficiencias.

Hay que satisfacer las tres categorías del mercado. Particularmente en los productos de consumo, algunos clientes cambian de categoría durante su vida; por ejemplo, una pareja joven con niños cambia de la “importancia de la economía” a la “importancia del valor”.

4.11

PLANEACIÓN PARA QUE LA CALIDAD DEL PRODUCTO GENERE INGRESOS POR VENTAS

Un punto de partida para la planeación de la calidad de los productos individuales es la definición de la calidad mencionada en el capítulo 1. Los componentes de la definición (las características del producto y la ausencia de deficiencias) se pueden ampliar a áreas principales que deban tratarse para lograr la satisfacción del cliente. La tabla 1.1 es una lista de algunas de las subcategorías principales de las dos dimensiones. Observe que estas subcategorías van mucho más allá de las especificaciones del producto físico.

TABLA 4.9
Categorías del énfasis de los clientes relacionado con la calidad

Énfasis	Características	Ausencia de deficiencias
Economía inicial	Disposición a prescindir de algunas características. Características como “hágalo usted mismo” y agregar opciones para más adelante.	Tolerancia a algunas deficiencias del producto en la entrega y durante el uso.
	Tolerancia a una relativa vida corta del producto.	Tolerancia a algunas deficiencias en el servicio antes y después de la compra.
Valor	Disposición de hacer intercambios entre calidad y precio.	Las precauciones de las garantías pueden ser importantes.
	Los beneficios y el precio deben justificar las características.	Preocupación por los costos de operación y reparación.
“Lo mejor”	El deseo de muchas características convenientes.	Gran molestia por las deficiencias y las inconveniencias asociadas.
	Énfasis en el lujo, estética e imagen de la marca.	Demanda de una respuesta completa y a tiempo de todos los problemas.
	El deseo de un desempeño de alto nivel del producto y de todo el personal.	

En el diseño de un producto específico, las características detalladas que dan soporte a las subcategorías deben identificarse, planearse y ejecutarse. Por ejemplo, Ford identificó 429 características para el modelo Taurus, y GTE identificó 31 para un servicio de telecomunicaciones. Está claro que las aportaciones de los clientes deben tomarse en cuenta cuando se definen características específicas. Esas aportaciones no sólo identifican las características, también clarifican la importancia de cada una y, finalmente, proporcionan un estatus en el mercado actual en relación con la competencia. (Este concepto se introdujo en la sección 2.6, “Posición en el mercado”. El capítulo 10, “Entender las necesidades del cliente”, explica con más detalle el concepto.)

Este énfasis en entender las necesidades del cliente, como un requisito previo para cumplir con las metas de ventas, consigna la realidad de que los almacenes están llenos de productos que cumplen con las especificaciones y cuentan con precios competitivos pero que *no satisfacen las necesidades de los clientes* como lo hace un producto de la competencia. Los ejemplos de un espectro de industrias proporcionan razones de que las ventas se pierden por la competencia (tabla 4.10). Observe que algunos de los ejemplos implican un aumento de la satisfacción para el usuario final (verbigracia, el conductor de un automóvil); otros implican un aumento de la satisfacción para un usuario intermedio (por ejemplo, el procesador de una película fotográfica). En años recientes, la variabilidad más baja en torno al valor objetivo dentro de un conjunto de límites de especificaciones ha llegado a ser cada vez más importante para los clientes que realizan más procesos al producto.

Las características del producto deben satisfacer las necesidades del cliente, pero las que deleitan a los clientes de hoy, comúnmente se convierten en las características esperadas del mañana.

TABLA 4.10
Las necesidades ocultas de los clientes

Producto	Necesidad oculta de un cliente que es satisfecha por un competidor
Tela abrasiva	Costo interno menor de las partes de pulido debido a una mejor durabilidad de la tela.
Automóvil	Menor esfuerzo y mejor “sonido” al cerrar las puertas.
Lavavajillas	Sensación de mayor durabilidad debido a que las partes que componen el aparato son más pesadas.
Software	Manual del usuario comprensible.
Fibras	Menor número de quiebres en el procesamiento de las fibras.
Válvula de llantas	Mayor productividad cuando el fabricante de llantas usa una válvula en una operación de vulcanización.
Película fotográfica	Menos ajustes en los procesos cuando se pone en marcha la película debido a una mejor variabilidad.
Producto de materia prima	Entrega de pedidos en 24 horas en lugar del requerimiento estándar de 48 horas.
Solicitud de hipoteca para casa	La decisión se toma en menos tiempo que la competencia.

4.12

UNA HOJA DE RUTA DE PLANEACIÓN DE CALIDAD PARA ASEGURAR LA VENTA DEL PRODUCTO

La hoja de ruta de la planeación de calidad (véase la tabla 1.4) presenta una estructura de planeación (o replaneación) de nuevos productos (o revisiones de productos). Esta hoja de ruta aplica a los sectores manufactureros y de servicios y a los productos dirigidos a clientes externos e internos. Desarrollar una solución de remedio para un proyecto de mejora de la calidad (véase el capítulo 3) puede requerir de uno o más pasos de este proceso de planeación de calidad. Early y Colletti (1999) y Juran (1988) proporcionan amplias discusiones de los pasos. Estos pasos para la planeación de calidad deben incorporarse a las herramientas tecnológicas para el producto que se está desarrollando. El diseño de un automóvil requiere de disciplinas de ingeniería automotriz; para diseñar un tratamiento contra la diabetes se necesita de disciplinas médicas. Sin embargo, ambos precisan herramientas de planeación de calidad para asegurar que las necesidades del cliente se satisfagan.

La hoja de ruta se presenta con más detalle en la figura 4.4 y los pasos se tratan en capítulos posteriores. No obstante, es útil presentar una descripción ahora para explicarlos brevemente (véase Early y Colletti, 1999). Nuestro ejemplo se basa en el trabajo de planeación hecho para el Taurus original y el Mustang 1994 de Ford Motor Company.

A principios de la década de 1980, Ford empezó la planeación inicial para una nueva tracción delantera de un automóvil mediano. El ambiente del negocio incluía algunos elementos fatídicos: una fuerte competencia extranjera, disminución de la participación en el mercado y un pronóstico de un gran incremento en los precios del combustible. Ford concluyó que era esencial un nuevo enfoque para diseñar el modelo. La base de este nuevo enfoque fue “la satisfacción del cliente”, con el objetivo de que el Taurus fuera el mejor en su clase. Este enfoque de ser “el mejor en su clase” conllevó algunas visiones inusuales para la planeación. Una de las rupturas con la tradición fue la organización de la planeación para el Taurus. Históricamente, el diseño del nuevo automóvil usaba

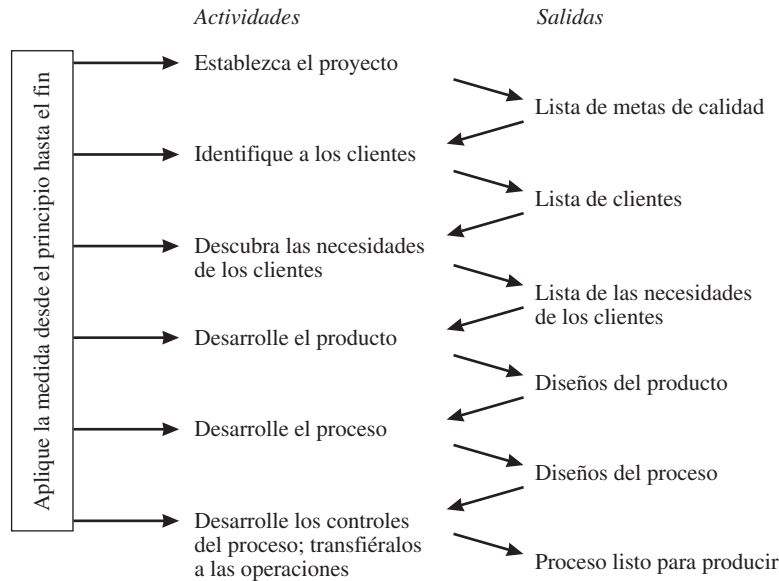


FIGURA 4.4

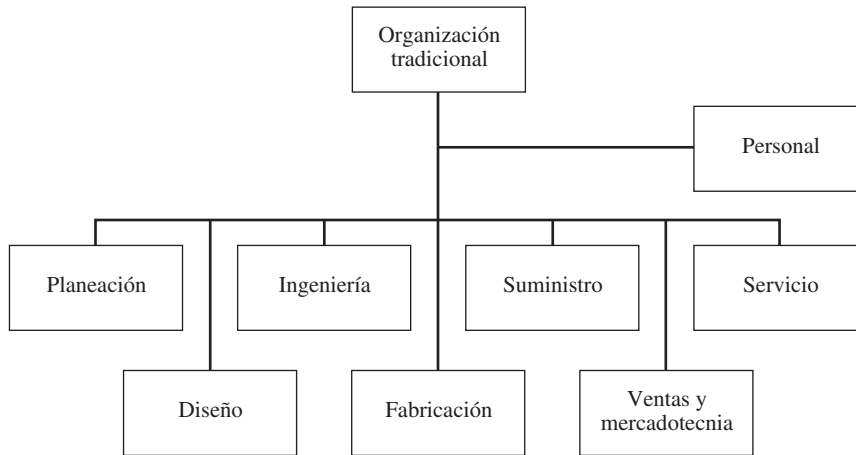
Hoja de ruta de planeación de calidad. (De Juran Institute, 1990.)

la estructura organizacional tradicional (figura 4.5a). Bajo tal estructura, las actividades principales se ejecutaron *secuencialmente*, por ejemplo, el departamento de planeación estudiaba los deseos de los clientes y entonces presentaba los resultados a diseño; diseño desempeñaba sus tareas y entregaba los resultados a ingeniería; ingeniería creaba las especificaciones detalladas y los resultados se daban al departamento de fabricación. Desafortunadamente, el enfoque secuencial resulta en un mínimo de comunicación entre los departamentos según avanza la planeación; cada departamento entrega su producción “sobre la barda” al siguiente. Esta falta de comunicación a menudo da problemas al siguiente departamento de cliente interno. Para el Taurus, las actividades se organizaron como un equipo (figura 4.5b) desde el principio del proyecto. Así, por ejemplo, manufactura trabajó *simultáneamente* con diseño e ingeniería antes de que se concluyeran las especificaciones detalladas. Este enfoque permitió al equipo tratar los asuntos de producibilidad durante la preparación de las especificaciones.

Nos referiremos ahora a los pasos de la figura 4.4 para explicar cómo procedieron los proyectos del Taurus y del Mustang. Como un problema para tarea, se pide a los lectores que proporcionen más ilustraciones.

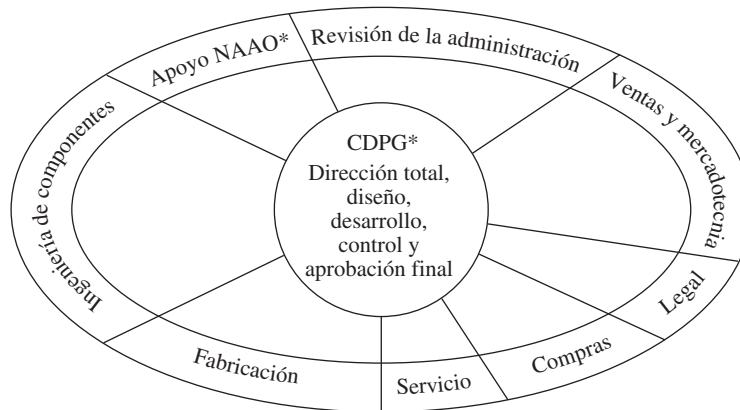
1. *Establecer el proyecto.* Este paso tiene tres etapas:
 - a) Elaborar una declaración de misión: el propósito, alcance y metas del proyecto.
 - b) Establecer un equipo para hacer la planeación.
 - c) Planear la ejecución del proyecto: responsabilidades, programas, recursos y seguimiento.
 Algunos de los instrumentos usados para establecer el proyecto son el análisis competitivo, el marcaje y el despliegue de metas.

Para el Taurus original de Ford (a principios de la década de 1980), la meta de calidad era ser el mejor en su clase. Para el Mustang de 1994 de Ford, se establecieron cuatro metas numéricas de calidad, por ejemplo, “cosas que han ido mal/1000”.



a)

Equipo Taurus



*(por sus siglas en inglés)

b)

FIGURA 4.5

a) Organización tradicional. b) Organización para Taurus. (De Juran, 1990.)

El equipo del Mustang fue interfuncional e incluía representantes de varias secciones de ingeniería de diseño; fabricación y ensamblado; ventas y mercadotecnia, y compras y finanzas. Este grupo funcionó como un equipo de proyecto de planeación de calidad. Además, el proceso de diseño y desarrollo se benefició de la importante participación de los clientes (externos e internos) y de los proveedores, antes de la salida del diseño a producción. En el capítulo 7 se explican diferentes tipos de equipos y el papel del líder, del facilitador y de los miembros de los equipos.

2. *Identificar a los clientes.* El cliente es cualquiera que sea afectado por un producto, no sólo el que lo compra. Este paso incluye identificar a los clientes externos e internos (véase el capítulo 1 bajo el título "Definición de *calidad*"). Ejemplos de las herramientas empleadas son organigramas, análisis de Pareto y hojas de cálculo.

Algunos clientes son obvios; otros no. De esta manera, para un automóvil:

Función de la empresa	Cliente
Ventas	Consumidor
Legal	Departamento de Transporte de Estados Unidos
Ingeniería de diseño	Fabricación
Fabricación de partes	Planta de montaje
Publicidad	Medios de comunicación

(Observe que los clientes son externos e internos)

Este paso se trata más adelante en el capítulo 10, “Entender las necesidades del cliente”.

3. *Descubrir las necesidades de los clientes.* Este paso tiene tres etapas:
 - a) Planear cómo descubrir las necesidades de los clientes, por ejemplo, con una investigación de mercado, quejas de los clientes, aportación de los comerciantes, evaluaciones competitivas.
 - b) Recopilar información sobre las necesidades de los clientes.
 - c) Analizar y ordenar por prioridad las necesidades de los clientes.

Algunos instrumentos para descubrir las necesidades de los clientes son los estudios de multi- atributos, grupos de muestra, cuestionarios, visitas de sitio y hojas de cálculo (véase el capítulo 10, “Entender las necesidades del cliente”).

Se realizaron amplias investigaciones de mercado para el Taurus y el Mustang. Para el Taurus, la investigación se llevó a cabo sobre 429 características potenciales del producto. Por ejemplo:

Cliente	Necesidad
Consumidor	Calentador efectivo
Departamento de Transporte de Estados Unidos	Tercera luz de freno
Planta de montaje	Facilidad de montaje

Se desarrolla este paso con más detalle en el capítulo 10.

4. *Desarrollar el producto.* Este paso tiene cuatro etapas:
 - a) Agrupar lo relacionado con las necesidades del cliente.
 - b) Identificar las características alternativas del producto.
 - c) Desarrollar las características detalladas del producto y las metas.
 - d) Finalizar el diseño del producto.

Algunos instrumentos utilizados para desarrollar el producto son el análisis competitivo, la confiabilidad, el análisis de seguridad y valor, pruebas de prototipo y hojas de cálculo (véase el capítulo 11, “Diseñar para la calidad”).

El equipo del Taurus usó una investigación de mercado para proporcionar un desarrollo del producto con pautas detalladas para las 429 características que eran importantes para facilitar de manera importante la venta del mismo. Estas pautas llegaron a ser la base de los proyectos específicos de diseño. Dos ejemplos de estas características fueron la cantidad de esfuerzo requerido para levantar la capota del automóvil y el nivel de ruido del viento. Para cada característica, se definió una forma de medición, se obtuvieron datos competitivos y se estableció una meta numérica. Por ejemplo, el esfuerzo requerido para levantar la capota se midió en libras por medio de un dinamómetro. La información competitiva mostró que el mejor competidor tenía un diseño que requería 9 libras de esfuerzo. Para el Taurus, se estableció una meta de 8 libras; el diseño final

sobrepasó el objetivo al requerir sólo 7 libras. El Taurus logró ser el mejor en su clase para el 80 por ciento de sus características. Es cierto que también se agregaron otras características al producto, aunque no estuvieran relacionadas directamente con la facilidad de venta del mismo, por ejemplo, la tercera luz de freno, una característica que deseaba el Departamento de Transporte.

Este paso se trata más detalladamente en el capítulo 11.

5. *Desarrollar el proceso.* Este paso tiene cuatro etapas:
 - a) Identificar las características alternativas del proceso.
 - b) Desarrollar las características y las metas detalladas del proceso.
 - c) Establecer la capacidad inicial del proceso.
 - d) Finalizar el diseño del proceso.

Algunos instrumentos utilizados para desarrollar las características del proceso son los organigramas, los estudios de capacidad del proceso, las producciones piloto y las hojas de cálculo (véase el capítulo 13, “Operaciones: Sector manufacturero”).

Debido a que el equipo para desarrollar el nuevo automóvil se organizó al principio del proyecto, el departamento de fabricación trabajó simultáneamente con el de diseño y el de ingeniería antes de que concluyeran las especificaciones detalladas. Este enfoque permitió al equipo tratar los asuntos de producibilidad durante la preparación de las especificaciones; por ejemplo, en el plan de montaje se identificaron cuestiones específicas de fabricación que debían tratarse durante la planeación del diseño y la fabricación. La planta de montaje hizo una lista de 1 400 asuntos, que iban desde el deseo de automatizar el ensamblado lateral de la estructura para tener un cierre anual en la planta y así tener vacaciones. Se requirió mucho esfuerzo para lograr la capacidad del proceso (“calificación del proceso”), y optimizarlo fue también una parte de la planeación. Como resultado, al inicio de la producción estaba preparado un conjunto de planes de proceso. Este paso se presenta con más detalle en el capítulo 13.

6. *Desarrollar los controles del proceso y transferirlos a operaciones.* Este paso tiene cinco etapas:
 - a) Identificar los controles necesarios y diseñar los circuitos de retroalimentación.
 - b) Optimizar el autocontrol y la autoinspección (véase el capítulo 5).
 - c) Establecer auditorías del proceso.
 - d) Verificar la capacidad del proceso en operaciones.
 - e) Transferir los planes a operaciones.

Cuando estos planes se llevaron a la producción de Ford, la coordinación entre todas las funciones continuó y resultó en los perfeccionamientos finales del diseño del producto y del proceso.

Para una mayor información, véase el capítulo 13, “Operaciones: Sector manufacturero” y el capítulo 20, “Control estadístico del proceso”.

Un ejemplo de la planeación de calidad para los servicios

En un ejemplo del sector servicios, el proceso de planeación de calidad se aplicó a la replaneación del proceso de adquirir clientes corporativos y de crédito comercial para una mayor afiliación a una gran corporación bancaria. A continuación se presenta un resumen de los pasos en el proceso de planeación de calidad.

1. *Establecimiento del proyecto.* Para el año se fijó una meta de \$43 millones en ingresos por ventas a clientes con crédito.

2. *Identificación de los clientes.* En este paso se identificaron 10 departamentos de clientes internos y 14 organizaciones de clientes externos.
3. *Descubrimiento de las necesidades de los clientes.* Los clientes internos tuvieron 27 necesidades; los clientes externos, 34.
4. *Desarrollo del producto.* El producto tuvo nueve características para satisfacer las necesidades de los clientes.
5. *Desarrollo del proceso.* Para generar las características del producto, se desarrollaron 13 procesos.
6. *Desarrollo de los controles del proceso y transferencia a operaciones.* Se definieron las revisiones y los controles para los procesos y los planes se pusieron en operación.

El proceso revisado alcanzó el objetivo de los ingresos. Asimismo, el costo de adquirir a los clientes fue de sólo un cuarto del promedio de otros afiliados al banco.

La planeación de calidad genera una gran cantidad de información que debe organizarse y analizarse sistemáticamente. La alineación y los vínculos de información son esenciales para la planeación efectiva de calidad de un producto. Un instrumento útil es la hoja de cálculo o matriz de la planeación de calidad (básicamente, una tabla). La figura 4.6a muestra cinco hojas de cálculo que corresponden a los pasos del proceso de planeación de calidad. Observe cómo las hojas de cálculo interactúan y se agregan entre sí; cubren la planeación de calidad para el producto y la planeación de calidad para el proceso que crea el producto. Este enfoque es llamado a menudo “despliegue de la función de calidad” (QFD, por sus siglas en inglés). Así, el QFD es una técnica para documentar la lógica de traducir las necesidades del cliente en características de productos y procesos. El uso de las hojas de cálculo en el proceso de planeación de calidad se presenta en capítulos posteriores (véase particularmente la sección 11.4 bajo el título “Despliegue de la función de calidad”). La figura 4.6b muestra un ejemplo.

Estos seis pasos de planeación de calidad aplican a un producto nuevo o modificado (bienes o servicios) o a un proceso en cualquier industria. En el sector de servicios, el “producto” pudiera ser la aprobación de una tarjeta de crédito o hipoteca, o un sistema de respuesta para los *call centers* o la asistencia hospitalaria. Asimismo, el producto puede ser un servicio ofrecido a clientes internos. Endres (2000) describe la aplicación de los seis pasos de la planeación de calidad en la Aid Association for Lutherans, una compañía de seguros, y en el Stanford University Hospital.

4.13

INTRODUCCIÓN AL DISEÑO POR SIX SIGMA (DFSS)

La sección 3.6 describe el enfoque six sigma en términos de cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC, por sus siglas en inglés). El proceso DMAIC trataba principalmente de reducir los defectos y errores en los productos, servicios y procesos existentes. La importancia del diseño ha llevado a adoptar el six sigma para diseñar proyectos. El diseño por six sigma (DFSS, por sus siglas en inglés) consiste en cinco pasos llamados DMADV (Hahn *et al.*, 2000):

1. *Definir (D).* Identifique el producto nuevo (o modificado) que se va a diseñar y defina un equipo y un plan de proyecto.
2. *Medir (M).* Planee y realice una investigación para entender las necesidades de los clientes y los requerimientos relacionados.
3. *Analizar (A).* Desarrolle conceptos de diseños alternativos, seleccione un concepto de diseño de alto nivel y pronostique la capacidad del diseño para cumplir con los requerimientos.

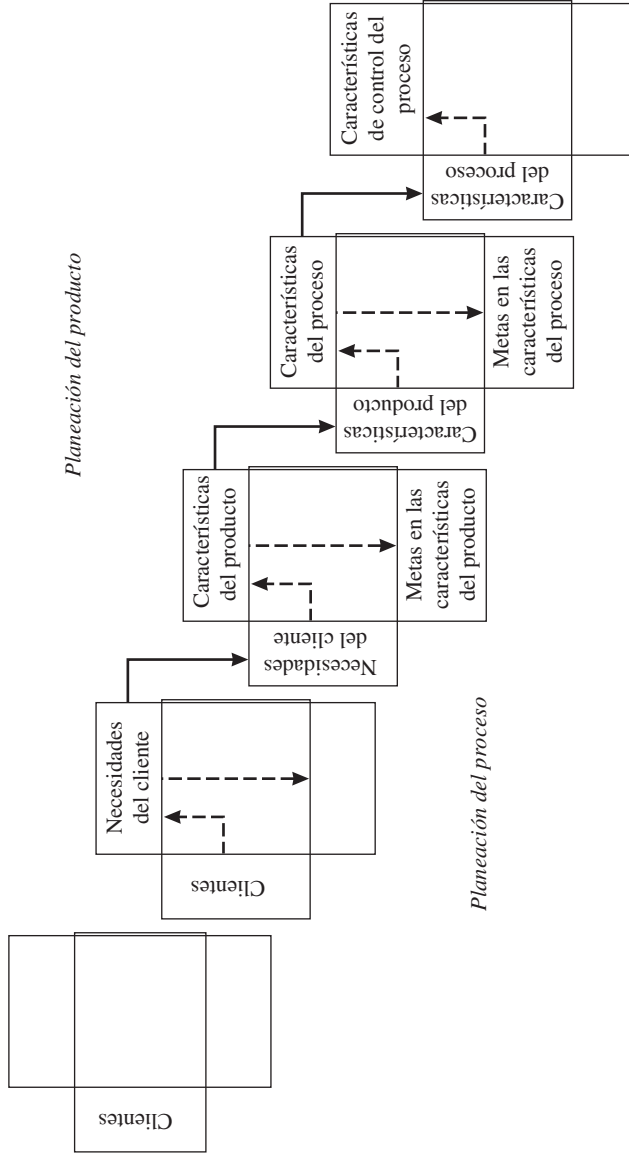


FIGURA 4.6a
 Hojas de cálculo en la planeación de calidad. (Juran Institute, Inc. Derechos reservados, 1994. Usado con su permiso.)

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Fuerte 9 Moderado 3 Débil 1 PESO Necesidades de los clientes </div>								Puntuación de prioridad
		Grosor de la película	Microscopio y calibradores de grosor de película	Suave al tacto	Inspección visual	Comparación visual con el original	Contador de brillo	
Cobertura del acabado final		9	9	1	1	1	1	11
Satinado/brillo		1	1	1	1	1	9	11
Suave al tacto		1	1	9	9	1	1	10
Armonía de la madera		1	1	1	9	9	1	9
Veteado final áspero		1	1	9	9	9	1	10
Color consistente		1	1	1	9	9	1	12
Terminado sucio		1	1	9	9	3	1	8
Parteluz de perfil áspero		1	1	9	9	3	1	2
Puntuación de prioridad Críticos para la Calidad		16	16	40	56	36	16	
Límites objetivo		$\gg .001 \text{ o } \gg = .00075$	$\gg .001 \text{ o } \gg = .00075$	Suave al tacto e indetectable en longitud de brazos	Experto	Estándar máximo aceptable	35-45	

FIGURA 4.6b

Un ejemplo de un despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés) para una métrica de calidad de “terminado” para un producto de madera. (Extraído del informe final de un proyecto de DFSS dirigido por John Kolin para un cliente del Juran Institute; usado con nuestro agradecimiento de por medio.)

4. *Diseñar (D)*. Desarrolle el diseño detallado, evalúe su capacidad y planee una prueba piloto.
5. *Verificar (V)*. Lleve a cabo la prueba piloto, analice los resultados y haga los cambios al diseño si son necesarios.

Diseño por six sigma (DFSS)

El diseño por six sigma (DFSS) se enfoca en crear diseños nuevos o modificados capaces de alcanzar niveles de desempeño significativamente mayores (enfoque six sigma). La secuencia definir-medir-analizar-diseñar-verificar (DMADV, por sus siglas en inglés) es una metodología de diseño aplicable para desarrollar productos, servicios y procesos nuevos o revisados.

Fase de definición

La fase de definición fija el tono para todo el proyecto de diseño; establece sus objetivos, carta e infraestructura. Durante esta fase, las actividades se comparten entre el equipo de administración y el equipo contratado para el diseño del proyecto. La administración tiene la responsabilidad final de definir el problema de diseño: lo que se va a modificar, rediseñar o crear de cero.

Los proyectos se designan para ser consecuentes con la estrategia general del negocio y se seleccionan según su contribución óptima con esa estrategia.

Una tarea clave de la fase de definición es crear el caso inicial de negocio que valida la selección racional y establece la justificación de negocios vía la reducción del costo del producto y el aumento de ventas u oportunidades totalmente nuevas de mercado. El trabajo del caso inicial de negocios se lleva a cabo bajo los auspicios del equipo de administración y luego se valida y actualiza continuamente por el equipo de diseño mediante las fases subsecuentes del proyecto de diseño.

El equipo de administración designa un Black Belt para dirigir el proyecto de diseño. El Campeón, que es el patrocinador de la administración con un interés personal en el éxito del diseño, en conjunción con el Black Belt, es responsable de seleccionar un equipo interdisciplinario que llevará a cabo todas las actividades para completar el diseño y llevarlo a producción.

Con el nombramiento del equipo interdisciplinario, se lanza el proyecto. Toda la responsabilidad para el éxito del diseño se transfiere al Black Belt y a su equipo. La participación de la administración sigue durante todo el esfuerzo de diseño por medio del monitoreo y el consejo del Campeón, que incluye actualizaciones periódicas del Black Belt y del equipo.

El equipo de diseño, bajo el liderazgo del Black Belt, establece el plan del proyecto, que incluye asignación de recursos, listas de tareas y oportunidades del proyecto.

En resumen, los trabajos clave que se requieren para completar la fase de definición son:

- Proyecto establecido de diseño.
- Carta del proyecto, incluyendo el enunciado de la misión del proyecto y de los objetivos del diseño.
- Plan del proyecto.
- Caso inicial de negocios.

Fase de medición

La fase de medición en la secuencia de definir-medir-analizar-diseñar-verificar (DMADV, por sus siglas en inglés) trata principalmente de identificar a los clientes clave, determinar cuáles son sus necesidades críticas y cuáles las mediciones de los requerimientos críticos para la calidad (CTQ, por sus siglas en inglés) necesarios para un producto, servicio o proceso exitosamente diseñado.

Se requiere una evaluación inicial de los mercados y de la segmentación de los clientes por diversos factores para identificar a los clientes clave. Por lo general, esta evaluación se completa por la organización de mercadotecnia y luego es revisada y verificada por el equipo de diseño. Sin embargo, es responsabilidad del equipo de diseño completar el análisis de las necesidades de los clientes y recopilar sus resultados en una tabulación organizada por orden de prioridades de dichas necesidades. Los métodos para determinar las necesidades de los clientes incluyen grupos de muestra, entrevistas y encuestas a grupos de clientes clave. Uno de los autores de este libro, el Dr. Richard Chua, ha adaptado una técnica usada en psicología industrial para determinar y organizar por prioridades las necesidades de los clientes. Ésta es la técnica de incidente crítico. Ha sido usada con éxito en varios clientes. En la aplicación de ésta, se les pide a los clientes que hagan una lista de incidentes o escenarios específicos en los cuales usan o querrían usar el producto, servicio o proceso. Su lista se valida internamente así como entre los clientes. Mediante entrevistas y grupos de muestra, se determinan las necesidades de los clientes para cada uno de los escenarios o incidentes específicos.

El equipo de diseño transforma las necesidades críticas de los clientes en términos que se pueden medir a partir de una perspectiva del diseño. Estas necesidades traducidas se convierten en los requerimientos críticos para la calidad (CTQ) que deben ser satisfechos por la solución del diseño. El marcaje competitivo y el desarrollo creativo interno son dos fuentes adicionales para los CTQ. Estas áreas investigan los requerimientos del diseño que generalmente no se tratan o que, posiblemente, ni siquiera son conocidos por los clientes. El resultado es un conjunto de CTQ de diseño definidos y documentados de manera consistente.

Una vez que se produjo la lista de CTQ organizada por prioridades, el equipo de diseño procede a determinar el desempeño básico del producto y del proceso de producción existentes. Antes de medir el desempeño básico actual, se debe realizar un análisis del sistema de medición para asegurarse de que los datos reportados que se van a usar sean válidos.

Las decisiones de Six Sigma se basan en datos buenos, y el método de análisis de sistema de medición (MSA, por sus siglas en inglés) sirve para asegurar que el sistema de medición use y produzca datos de alta calidad. El análisis de capacidad de producto ayuda al equipo de diseño al momento de evaluar el desempeño actual del producto frente a los CTQ establecidos y sus objetivos.

Finalmente, se crea una tarjeta de tanteo de diseño que rastrea la evolución del mismo hacia un desempeño de producto de six sigma. Este instrumento se usa para predecir cuál será el nivel de defectos del producto final después de integrar todos los elementos del diseño.

En resumen, los trabajos clave que se requieren para completar la fase de medición son:

- Lista por orden de prioridad de las necesidades de los clientes.
- Lista por orden de prioridad de los CTQ.
- Desempeño básico actual:
 - MSA.
 - Capacidad del producto.

- Capacidad del proceso de producción, apoyado por un diagrama de flujo de procesos.
- Evaluación de riesgo de productos y procesos (usando un diseño y un proceso FMEA).
- Tarjeta de tanteo de diseño inicial.

Fase de análisis

El propósito principal de la fase de análisis en la secuencia de definir-medir-analizar-diseñar-verificar (DMADV) es seleccionar un diseño de alto nivel a partir de diferentes alternativas de diseño y desarrollar los requerimientos detallados de diseño frente a los cuales se optimizará un diseño detallado en la subsiguiente fase de diseño.

El punto de comienzo en el diseño de alto nivel es realizar un análisis funcional de los CTQ establecidos en la fase de medición, que dé como resultado un diseño funcional de alto nivel. Esto debería satisfacer los CTQ de una manera económicamente viable.

El equipo desarrolla diversas alternativas de diseño de alto nivel que representan diferentes soluciones funcionales al requerimiento establecido de diseño funcional. Estas alternativas se analizan frente a un conjunto de criterios de evaluación, y se selecciona una de ellas (o una combinación de alternativas) para sacarla adelante como el “diseño de alto nivel” preferido. El desarrollo de alternativas y la selección de la alternativa preferida son procesos iterativos: a medida que se desarrolla más información de diseño de manera progresiva, la naturaleza iterativa inherente al diseño requiere de varias aprobaciones para asegurar que se lleva adelante el diseño de alto nivel más capaz.

Un reciente desarrollo es la aplicación de la Teoría de la resolución de problemas de inventiva (TRIZ, por sus siglas en ruso) en DFSS para generar conceptos alternativos de diseño. TRIZ es desarrollada en la Unión Soviética por Genrich S. Altshuller a finales de la década de 1940. Para más información de la TRIZ en DFSS, véase Yang y El-Haik (2003).

Algunos de los instrumentos usados por el equipo en la fase de medición para establecer el desempeño básico se aplican otra vez para predecir el del diseño de alto nivel frente a los CTQ. Estudios de capacidad de procesos; análisis de funcionalidad y capacidad de los productos; análisis de riesgo, y análisis financiero, son los instrumentos analíticos usados para pronosticar el desempeño.

Después de que se completa la evaluación y de que se ha validado el mejor diseño de alto nivel, el equipo de diseño realiza un análisis final que da como resultado un “diseño más adecuado”. Este diseño facilita las bases para desarrollar los requerimientos de diseño detallado que sirven como entrada para la fase de diseño detallado.

En resumen, los trabajos clave que se requieren para completar la fase de análisis/diseño de alto nivel son:

- Alternativas de diseño.
- Selección de un diseño de alto nivel.
- Resultados de la capacidad del diseño de alto nivel/análisis de riesgo.
- Diseño más adecuado.
- Requerimientos detallados de diseño.

Las figuras 4.7 a 4.10 ilustran ese proceso de diseño de alto nivel. La figura 4.11 muestra un ejemplo de una tarjeta de tanteo de diseño.

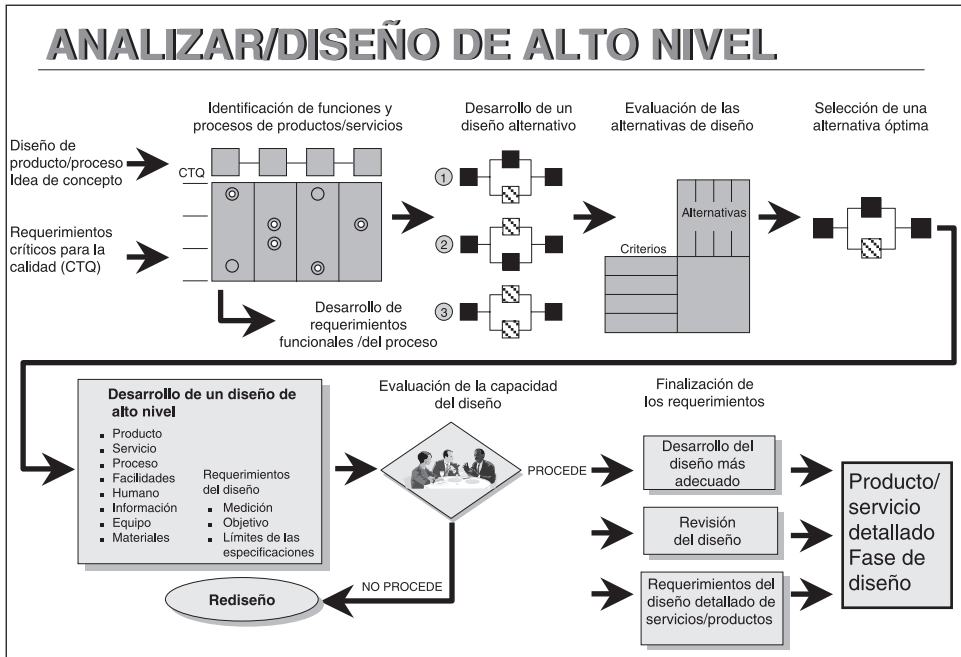


FIGURA 4.7
Reimpreso con el permiso del Juran Institute, Inc. Todos los derechos reservados.

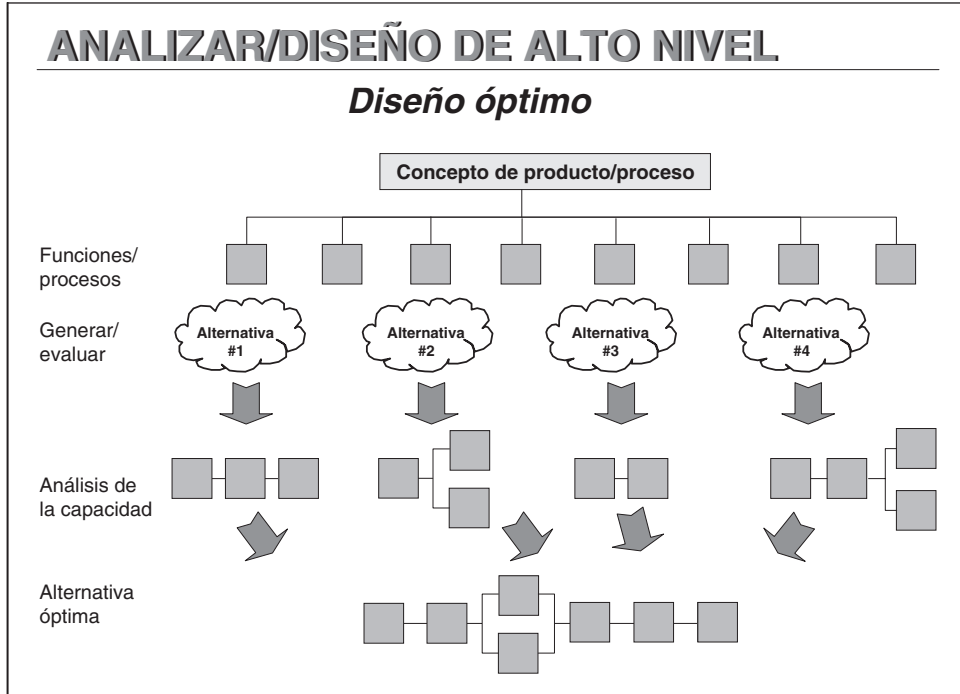


FIGURA 4.8

CÓMO SE USAN LAS MATRICES DE DISEÑO EN EL PROCESO DE UN DISEÑO DE ALTO NIVEL

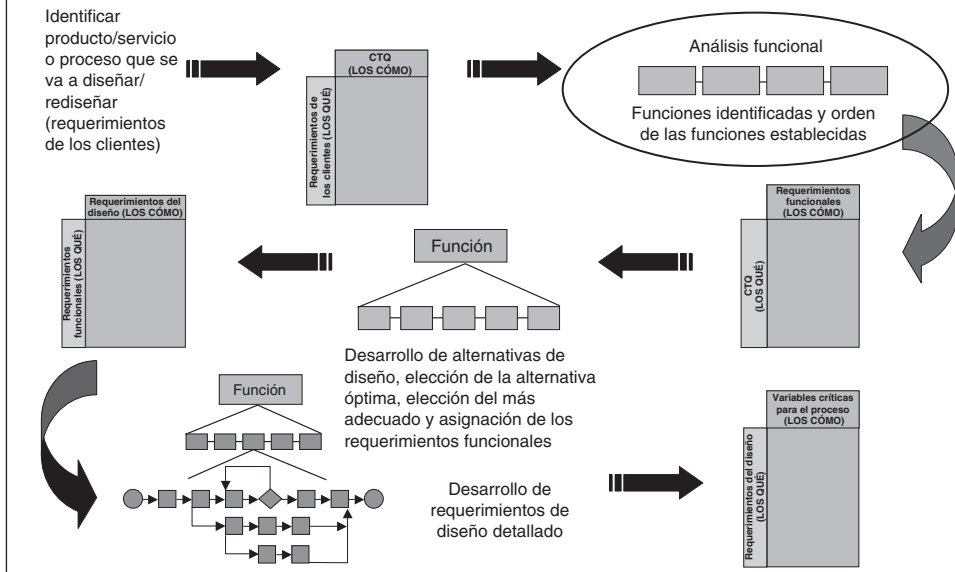


FIGURA 4.9

Reimpreso con el permiso del Juran Institute, Inc. Todos los derechos reservados.

HOJAS DE CÁLCULO EN EL DISEÑO DE ALTO NIVEL

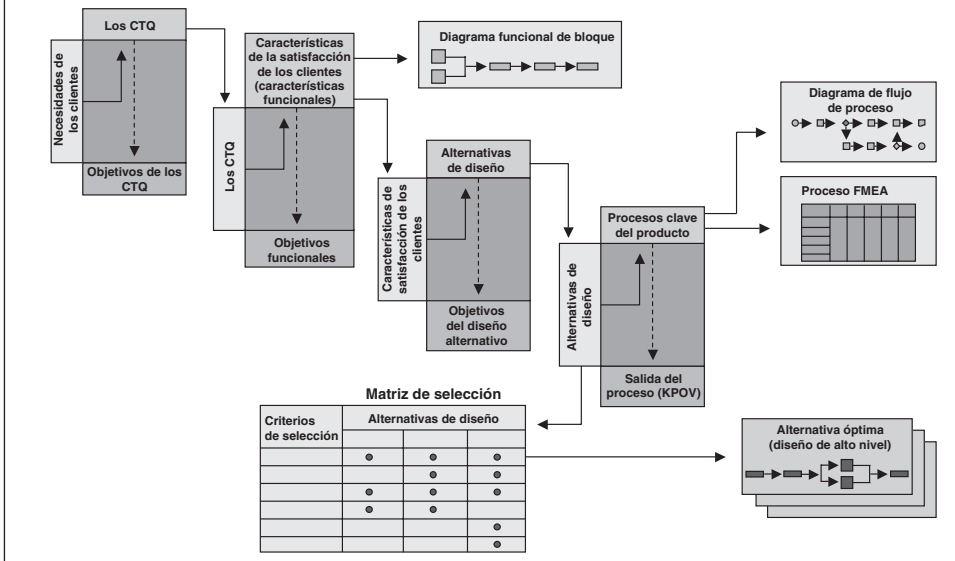


FIGURA 4.10

Fase de diseño

La fase de diseño de la secuencia definir-medir-analizar-diseñar-verificar (DMADV) agrega los requerimientos del diseño detallado con el fin de entregar un óptimo diseño funcional detallado que también cumpla los requerimientos de manufactura y servicio.

Usando los pocos parámetros vitales de diseño determinados en la fase de análisis/diseño de alto nivel previa, se llevan a cabo los experimentos diseñados (DOE, por sus siglas en inglés) para optimizar el diseño detallado en torno a los parámetros clave del mismo. Ellos dan como resultado un óptimo diseño paramétrico detallado, representado por una ecuación matemática de predicción. La mayor parte de la experimentación supone relaciones lineales entre los parámetros de diseño y el desempeño total. Sin embargo, se emplean instrumentos tales como los métodos de superficie de respuesta para manejar modelos no lineales.

Estos experimentos diseñados proporcionan las entradas para el diseño de tolerancia que se concentra en la reducción selectiva de tolerancias para reducir la variación y la pérdida de calidad.

Al usar los métodos e instrumentos apropiados de diseño [diseño para la manufactura (DFM, por sus siglas en inglés) y diseño para el ensamble (DFA, por sus siglas en inglés), y análisis de confiabilidad y de capacidad de servicio], el equipo de diseño examina las capacidades del proceso actual de producción y los sistemas relacionados frente al nuevo diseño. Se lleva a cabo un análisis de riesgo final usando los instrumentos tradicionales. Basado en estos análisis, se desarrolla un diseño final que encaje en las capacidades operacionales proyectadas (de manufactura y servicio).

TARJETAS DE TANTEO DE DISEÑO. EJEMPLO										
Tarjeta de tanteo del proceso de proveedores										
Proceso/ Paso/ Salida	CTQ Proceso/ Requerimientos del diseño	L S L	USL (Limite estadístico superior)	Mediana	Desviación estándar	Corto o largo plazo	DPMO (Defectos por millón de oportunidades)	# veces aplicado	DPU (Defectos por unidad)	Sigma de corto plazo (Z_{ST})
Compañía telefónica - Local/Larga distancia										
Servicio	Disponibilidad							1	0.0003	4.9
Servicio eléctrico público										
Servicio	Disponibilidad							1	0.0001	5.2
Oficina de Servicio de Crédito										
Verificación de crédito	Tiempo de ciclo		45 min	15 min	10 min			1	0.0014	4.5
	Información correcta proporcionada						60 000	8	0.48	3.1
Servicio de evaluación										
Verificación colateral	Tiempo de ciclo		480 min	460 min	30 min			1	0.25	2.2
	Correcta evaluación colateral						80 000	6	0.48	2.9
Servicio de correo exprés										
Servicio de reparto	Tiempo de ciclo		24 hrs	18 hrs	2 hrs			3	0.0014	4.5
	Reparto correcto						1 000	3	0.003	4.6
Oportunidades totales										2.4
Función DPU										1.22
Función DPMO										50 675
Función Z_{ST}										3.1

FIGURA 4.11
Ejemplo de tarjeta de tanteo de diseño.

Esta fase termina cuando el equipo de diseño lleva a cabo una prueba de verificación del diseño (DVT, por sus siglas en inglés) que valida los detalles mediante el uso de instrumentos tales como simulación, prototipos y pruebas piloto. Los resultados del DVT se resumen y se presentan en una revisión formal del diseño.

La tarjeta de tanteo de diseño se actualiza otra vez con la información final del diseño y con los últimos resultados del DVT. (Véase la figura 4.11 para un ejemplo de una tarjeta de tanteo de diseño.)

En resumen, los trabajos clave que se requieren para completar la fase de diseño son:

- Parámetros optimizados de diseño (valores nominales que sean los más robustos).
- Modelo de predicción.
- Tolerancias óptimas y marcos del diseño.
- Diseño funcional detallado.
- Resultados de los análisis de confiabilidad/tiempo de vida.
- Resultados del DVT.
- Tarjeta de tanteo de diseño actualizada.

Fase de verificación

El propósito de la fase de verificación en la secuencia de definir-medir-analizar-diseñar-verificar (DMADV) es asegurar que el nuevo diseño pueda ser fabricado y reciba apoyo en campo dentro de los parámetros requeridos de calidad, confiabilidad y costos. Sobre la terminación de las diversas iteraciones que ocurren durante el DVT y las producciones piloto, el diseño se consolida y se logra una producción en fase de preparación a gran escala mediante la prueba de verificación industrial (MVT, por sus siglas en inglés) para poner de relieve cualquier asunto o problema potencial de producción.

El equipo de diseño debe asegurar pruebas apropiadas en un ambiente de servicio y apoyo de campo para descubrir cuestiones potenciales de tiempo de vida o capacidad de servicio. Estas pruebas variarán mucho dependiendo del producto y la industria.

Una tarea clave es registrar todos los documentos de diseño y los planes de control de procesos (incluyendo las pautas para el autocontrol) en un conjunto robusto de procedimientos estándar de operación. Estos documentos formales no intervienen en los propietarios del proceso descendente (por ejemplo, manufactura, logística y servicio). Ellos deben resumir los controles y los límites de tolerancia requeridos a los que la manufactura y el servicio deben adherirse y mantenerse. (Véase la figura 4.12 para el diseño detallado en fases de verificación.)

Se debe completar una tarjeta de tanteo de diseño final, así como registrar y archivar todas las conclusiones clave para referencias futuras. El equipo debe acabar un informe final y celebrar la terminación exitosa de un diseño de six sigma.

En resumen, los trabajos que se requieren para completar la fase de verificación son:

- Resultados de la prueba de verificación industrial (MVT) (incluyendo procesos de producción a escala piloto e incrementos proporcionales).
- Documentos de transición.
- Planes de control (incluyendo los planes para el autocontrol y la prueba de error).
- Tarjeta de tanteo de diseño final.
- Informe final del proyecto (incluyendo el plan de auditoría establecido).

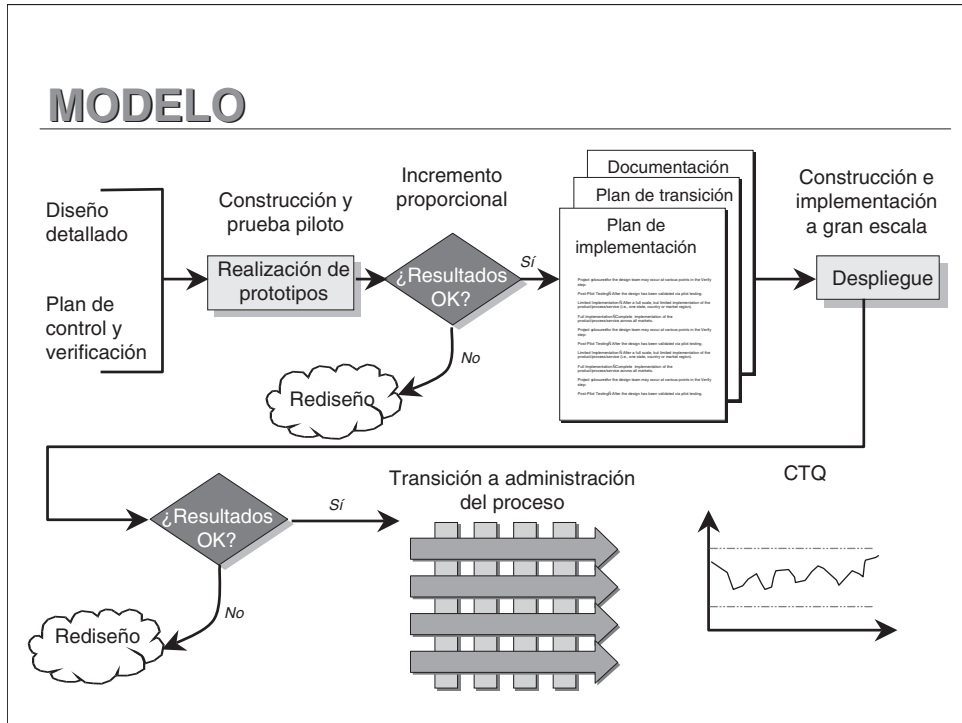


FIGURA 4.12

Reimpreso con el permiso del Juran Institute, Inc. Todos los derechos reservados.

4.14 EJEMPLO DE DISEÑO PARA UN PROYECTO DE SIX SIGMA (DMADV)

(Adaptado del informe final de un proyecto de diseño de six sigma dirigido por Dave Kinsel para un cliente del Juran Institute; expresamos nuestro agradecimiento.)

Resumen ejecutivo

Antecedentes

El proceso actual para buscar, recuperar e interpretar la información de ingeniería de productos, tales como los dibujos de especificaciones de componentes y las estructuras de productos, entró en operación desde 1998. Este sistema es complejo y caro de mantener. Desde el comienzo, este proceso ha tenido muchos defectos desde el punto de vista de los usuarios principales: las plantas de manufactura. Estos defectos le cuestan dinero a la empresa por conceptos de productividad perdida y de altos costos de mantenimiento de sistemas.

Implementación del proceso DMADV

Con la larga historia de quejas y una base limitada de clientes, las zonas de mejora no fueron difíciles de determinar. Para ofrecer un enfoque a nuestro equipo, se desarrolló y analizó una encuesta para organizar por prioridades a los grupos de clientes y sus necesidades, así como sus expectativas de desempeño para el nuevo sistema. Las necesidades llegaron a ser los asuntos críticos para la calidad de los clientes (CTQ).

Trabajamos con nuestros clientes para determinar la capacidad básica en relación con cuatro criterios:

- Exactitud de la información.
- Rápida recuperación de la información.
- Fácil recuperación de la información.
- Información fácil de interpretar.

A partir de esta lista construimos una matriz de flujo descendente de despliegue de la función de calidad para convertir los CTQ en alternativas de características de productos que apoyaran las necesidades de los clientes. Se trazó un mapa del proceso actual en niveles amplios y luego más detallados para identificar las áreas de mejora.

Se preparó un diseño de alto nivel y se estimó una capacidad de alto nivel. A continuación se desarrolló, simuló, documentó y verificó un diseño más detallado.

Resultados

- El nivel de exactitud no se cambió (six sigma capaz).
- Se logró una mejora del 451 por ciento en el tiempo promedio de acceso a la impresión/copia impresa (desde 1.5 hasta 6 sigma).
- Mejora del 100 por ciento en la capacidad virtual de visualizar/preguntar.
- Mejora del 300 por ciento en dibujar la diferenciación de la importancia de la línea.
- Ahorros finales esperados: significativos.

Detalles del proyecto y transparencias seleccionadas

Enunciado del problema. El personal de apoyo de calidad de planta, de soporte técnico y de servicio al cliente, descubren que nuestro sistema actual para encontrar y ver componentes de productos (así como la información de montaje) es engorroso para acceder, interpretar y mantener.

Definición del proyecto. Proporcionar acceso más rápido a la información de ingeniería de productos en un formato consolidado, usando una interfaz sencilla que sea amistosa con el usuario.

Enunciado de la misión. El equipo del proyecto desarrollará una interfaz de usuario y un sistema de capacitación para proporcionar un acceso más rápido de punto sencillo para los gerentes de calidad de planta, ingeniería, servicio a clientes y soporte técnico con el fin de producir estructuras y especificaciones relacionadas con los componentes y el montaje para julio de 2004.

Las siguientes transparencias seleccionadas (figuras 4.13 a 4.30) destacan el proyecto para cada fase: definir, medir, analizar, diseñar y verificar.

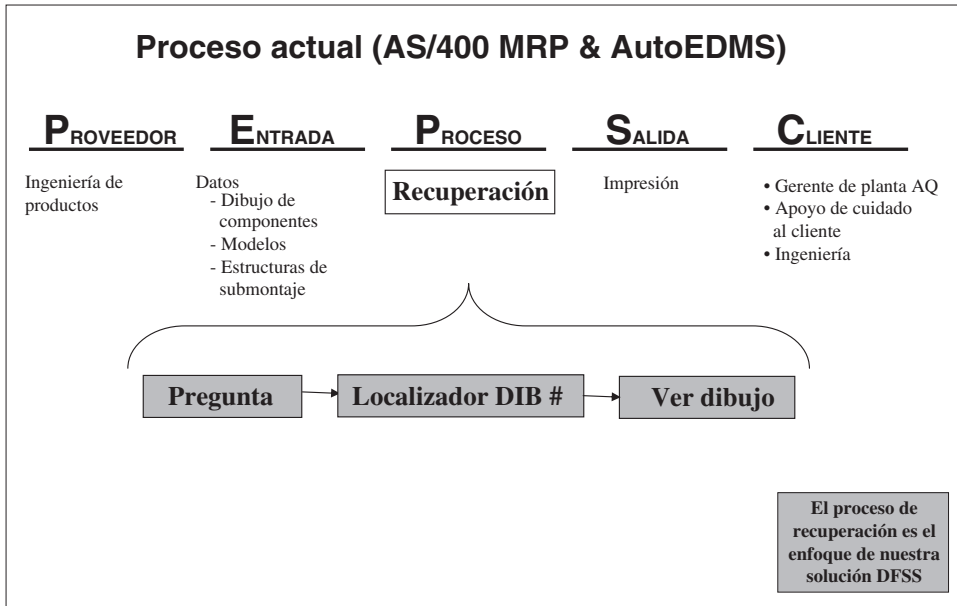


FIGURA 4.13
SIPOC [por sus siglas en inglés] (Mapa de proceso de alto nivel).

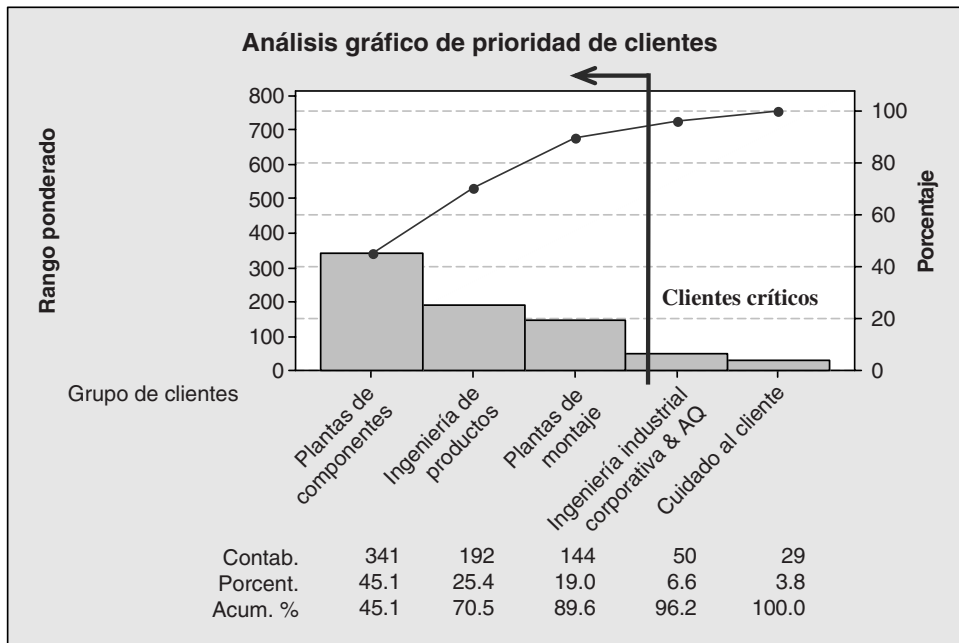


FIGURA 4.14
Pareto de prioridades de clientes.

CLIENTES ORDENADOS POR PRIORIDAD (Basado en # de usuarios por grupo y frecuencia de necesidad)	Clientes ponderados	NECESIDADES DE LOS CLIENTES (Basado en los resultados de la encuesta)	Exactitud de la información	Velocidad de recuperación	Facilidad de recuperación	Formato
		Necesidad ponderada	592	343	275	260
		Tabla de asociación cliente ponderado × necesidad ponderada				
Planta de componentes	341		201 872	11 6963	93 775	88 660
Ingeniería de productos	192		113 664	65 856	52 800	49 920
Planta de montaje	144		85 248	49 392	39 600	37 440
		Totales:	400 784	232 211	186 175	176 020

FIGURA 4.15
Flujo descendente de QFD: clientes vs. necesidades de los clientes.

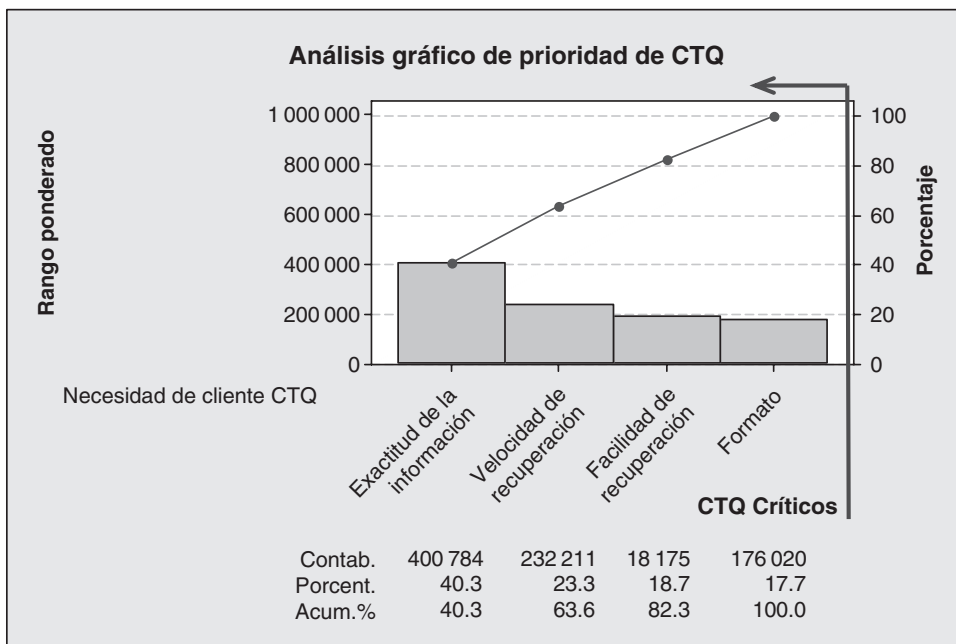


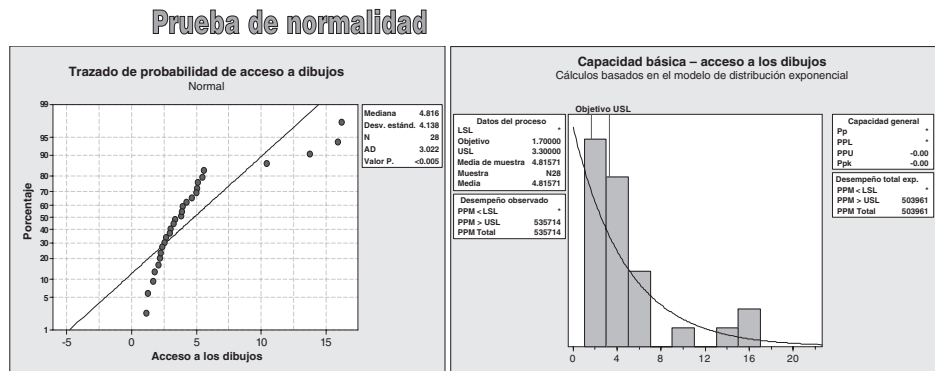
FIGURA 4.16
Los pocos CTQ vitales.

Necesidad/ expectativa	Prioridad	Característica	Medición/ sensor	Objetivo	Límite superior de especificaciones	Tasa permitida de defectos
Exactitud de la información	400 784	El dibujo representa el número de parte correctamente	Coincidencia: YorN/visual	Y	Debe coincidir	3.4 DPMO
Rápida recuperación de la información	232 211	Tiempo para encontrar e imprimir el dibujo de un componente	Tiempo/cronómetro	1.7 min	+ 1.6 min	10 700 DPMO
Fácil recuperación de la información	186 175	Número de entradas de usuario para localizar un dibujo	Número de entradas/visual	10	+ 3	3.4 DPMO
La información es fácil de interpretar (formato)	176 020	Son aparentes en el dibujo diferentes importancias de las líneas	Número de importancias múltiples de líneas/visual	3	+ 1	3.4 DPMO

FIGURA 4.17
Traducción de las necesidades de los clientes a CTQ mensurables.

Análisis básico de capacidad CTQ

Especificaciones de acceso a los dibujos (datos combinados desde el uso de tablas de lookup con y sin dim)



Alfa: 0.05

H_0 : Los datos son normales.

H_A : Los datos no son normales.

Valor p : <.005, por lo tanto no acepta H_0 .

Los datos no son normales.

Conclusión:

Uso de 1 muestra Wilcoxon para análisis estadísticos de datos.

Conclusión:

Capacidad básica basada en 500 000 DPMO es 1.4 sigma

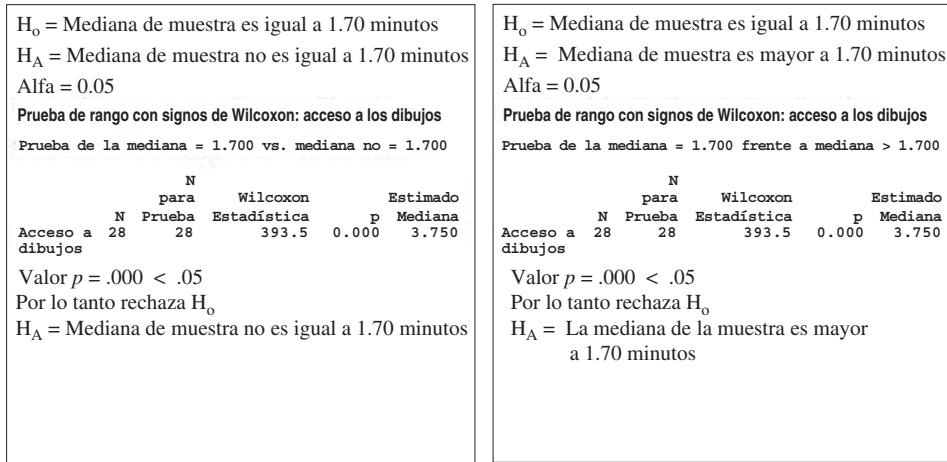
FIGURA 4.18

Análisis básico de capacidad CTQ

Especificaciones de acceso a los dibujos (datos combinados desde el uso de tablas de lookup con y sin dim)

Las expectativas de los clientes son 1.70 minutos o más rápido para acceder e imprimir un dibujo según la encuesta CTQ.

¿Está el sistema actual funcionando según las expectativas de los clientes? Este es el CTQ primario en nuestra tarjeta de tanteo de diseño. Véase el Apéndice A para el análisis de los datos de la encuesta.



Conclusión: El sistema actual no está cumpliendo las expectativas de los clientes

FIGURA 4.19

CTQ				Capacidad de alto nivel	Capacidad de las características (a partir de las pruebas de verificación)
Descripción	LSL	USL	Capacidad actual		
La información es exacta	0 errores		0 errores		
	(6 sigma)		(6 sigma)		
Rápida recuperación	0 seg	3.3 min	4.82 min		
			(1.4 sigma)		
Fácil recuperación (entradas mínimas)	8	12	17 (0 sigma)		
Formato fácil de interpretar (número de ponderaciones por línea)	2	4	1 (0 sigma)		

FIGURA 4.20 Tarjeta de tanteo de diseño.

CTQ	Funciones								CLAVE
	Recuperar especificaciones por número de parte	Dibujos recuperables por última revisión	Importancias múltiples de las líneas sobre la calidad del dibujo de alta impresión	Accesibilidad preparada	Información de atributos sobre los dibujos (especies/color, etcétera)	Representación en 3D del gabinete	Capaz de almacenar datos/dibujos de herencia		
Fácil de interpretar (formato)	<input type="checkbox"/> 2	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="radio"/> 1	13	<input checked="" type="checkbox"/> 3 Relación fuerte
Rápida recuperación	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	12	<input type="checkbox"/> 2 Relación moderada
Número mínimo de entradas por parte del usuario	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	11	<input type="radio"/> 1 Relación débil
La información es exacta	<input checked="" type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 2	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1	10	
	11	7	6	6	6	5	5		

FIGURA 4.21

Flujo descendente de QFD: CTQ vs. funciones

Los CTQ se derivaron y clasificaron a partir de las encuestas. Las funciones se desarrollaron mediante la canalización de las reclamaciones de los clientes usando el sistema actual.

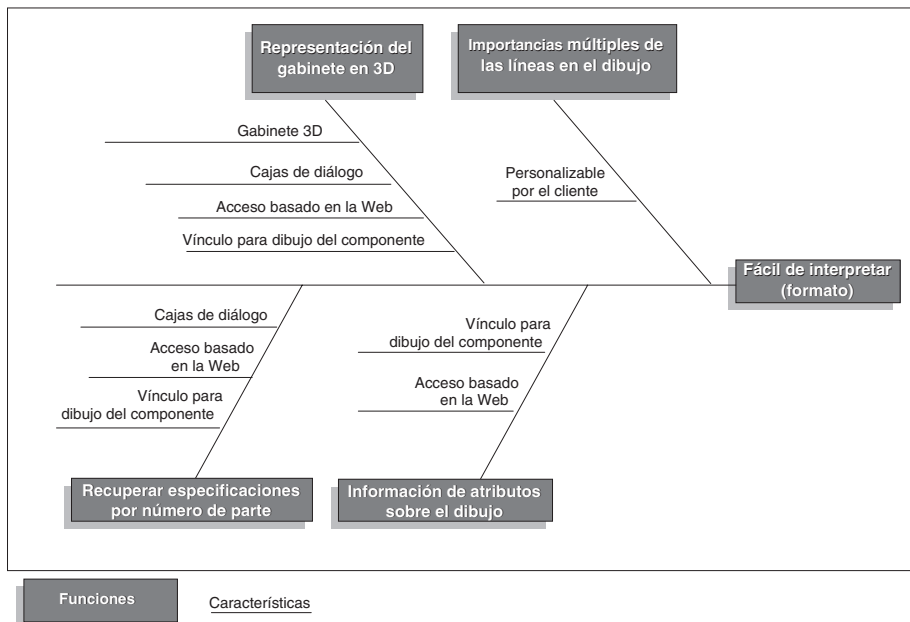


FIGURA 4.22

Diagrama de función/característica: fácil de interpretar.

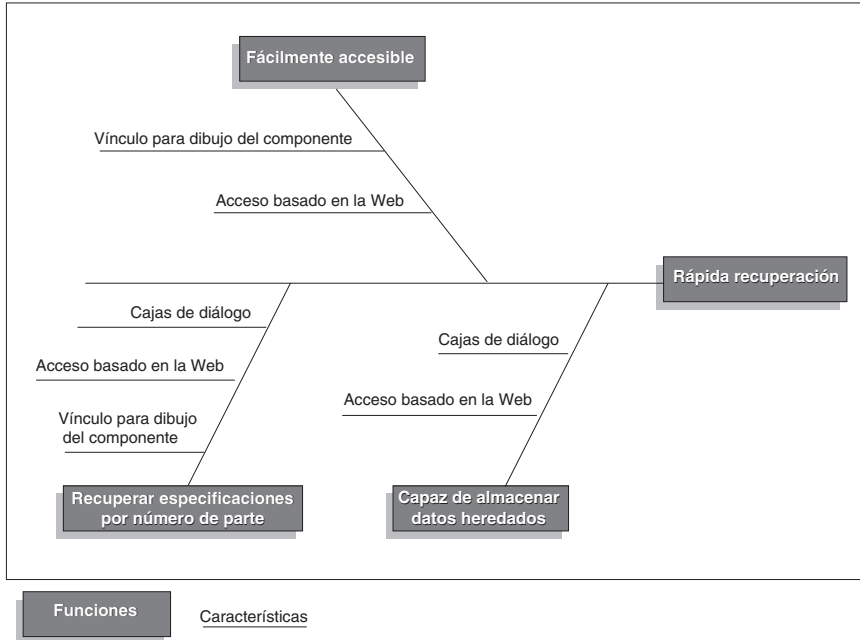


FIGURA 4.23
Diagrama de función/características: rápida recuperación.

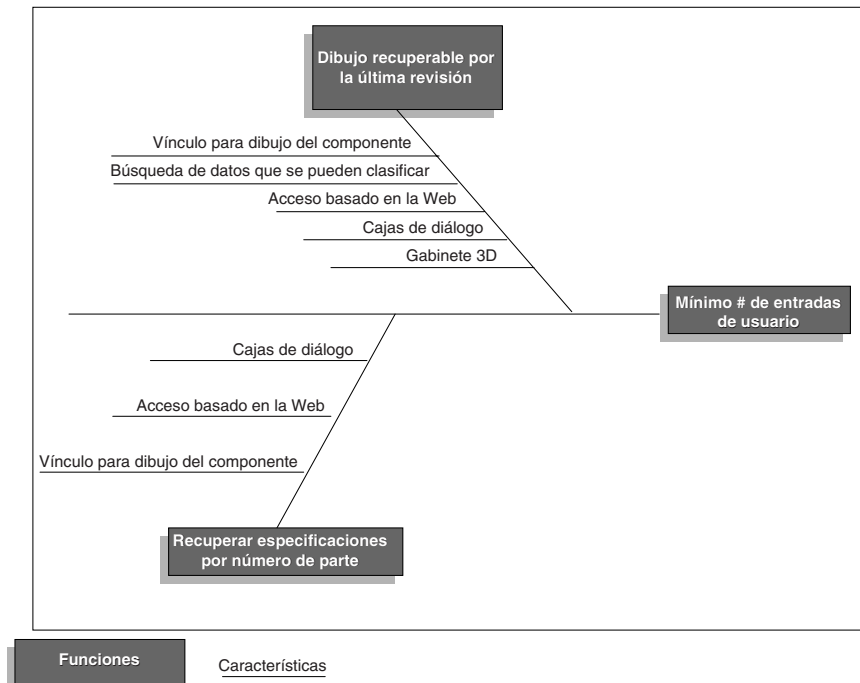
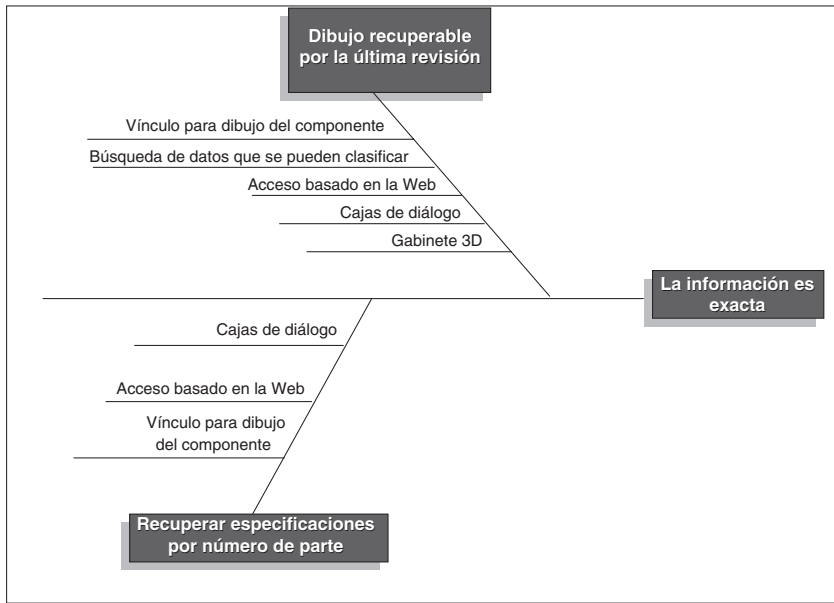


FIGURA 4.24
Diagrama de función/características: mínimo # de entradas de usuario.



Funciones

Características

FIGURA 4.25

Diagrama de función/características: la información es precisa.

Funciones	Características							
	Vínculo con los dibujos de los componentes	Acceso basado en la Web	Cajas de diálogo	Visualización virtual del gabinete	Búsqueda de datos que se pueden clasificar	Personalizable por el cliente		
Dibujos recuperables por la última revisión	■ 3	□ 2	□ 2	□ 2	■ 3	⊖ 1		13
Representación 3D del gabinete	□ 2	□ 2	□ 2	■ 3	⊖ 1	⊖ 1		11
Fácilmente accesible	■ 3	■ 3	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1		10
Recuperar especificaciones por número de parte	□ 2	□ 2	■ 3	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1		10
Información de atributos del dibujo (especies/color, etcétera)	■ 3	□ 2	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1		9
Capaz de almacenar datos/dibujos de herencia	⊖ 1	□ 2	□ 2	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1		8
Importancias múltiples de las líneas sobre la calidad del dibujo de alta impresión	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1	■ 3		8
	15	14	12	10	9	9		

CLAVE	
■ 3	Relación fuerte
□ 2	Relación moderada
⊖ 1	Relación débil

FIGURA 4.26

Flujo descendente de QFD: funciones vs. características.

Características	Alternativas (X's)						
	Uso de casos basado en material de capacitación	Página Web del JSP	Conexión con el buscador	Vínculo desde la lista	Caja de entrada de applet de Java	Vínculo desde las miniaturas de las páginas que se van a imprimir	
Acceso basado en la Web	■ 3	■ 3	■ 3	■ 3	■ 3	■ 3	18
Visualización virtual del gabinete	■ 3	□ 2	■ 3	■ 3	⊖ 1	■ 3	15
Vínculo con el dibujo de componentes	■ 3	■ 3	□ 2	■ 3	■ 3	⊖ 1	15
Cajas de diálogo	■ 3	■ 3	⊖ 1	⊖ 1	■ 3	⊖ 1	12
Búsqueda de datos que se pueden clasificar	■ 3	■ 3	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1	10
Personalización del cliente	■ 3	⊖ 1	■ 3	⊖ 1	⊖ 1	⊖ 1	10
	18	15	13	12	12	10	

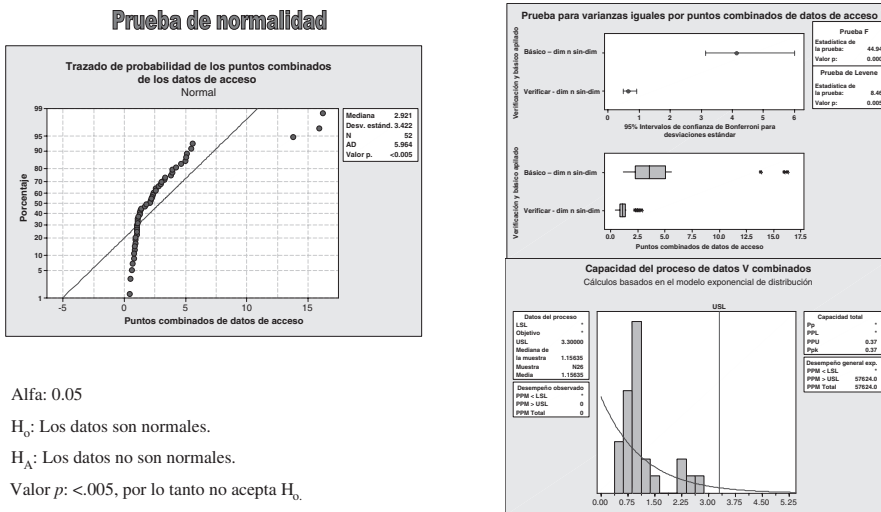
CLAVE

■ 3	Relación fuerte
□ 2	Relación moderada
⊖ 1	Relación débil

FIGURA 4.27
Flujo descendente de QFD: características vs. alternativas.

Análisis de verificación de capacidad de CTQ

Especificaciones de acceso a los dibujos (datos combinados desde el uso de tablas de lookup con y sin dim)



Conclusión:
La capacidad básica basada en 0 DPMO es
Six sigma

FIGURA 4.28

Análisis de verificación de capacidad CTQ

Especificaciones de acceso a los dibujos
(datos combinados desde el uso de tablas de lookup con y sin dim)

Las expectativas de los clientes son de 1.70 minutos o más rápido para tener acceso e imprimir un dibujo según la encuesta CTQ.

¿Está el sistema actual funcionando según las expectativas de los clientes? Este es el CTQ primario de nuestra tarjeta de tanteo de diseño.

<p>H_0 = Mediana de muestra es igual a 1.70 minutos H_A = Mediana de muestra no es igual a 1.70 minutos Alfa = 0.05</p> <p>Prueba de rango con signos de Wilcoxon: Combinado frente a datos</p> <p>Prueba de la mediana = 1.700 vs. mediana no = 1.700</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>N</th> <th>Prueba para</th> <th>Wilcoxon Estadística</th> <th>p</th> <th>Estimado Mediana</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Combinado frente a datos</td> <td>26</td> <td>26</td> <td>53.5</td> <td>0.002</td> <td>1.033</td> </tr> </tbody> </table> <p>Valor $p = .002 < .05$ Por lo tanto rechaza H_0 H_A = La mediana de la muestra no es igual a 1.70 minutos</p>		N	Prueba para	Wilcoxon Estadística	p	Estimado Mediana	Combinado frente a datos	26	26	53.5	0.002	1.033	<p>H_0 = Mediana de muestra es igual a 1.70 minutos H_A = Mediana de muestra es menor a 1.70 minutos Alfa = 0.05</p> <p>Prueba de rango con signos de Wilcoxon: Combinado frente a datos</p> <p>Prueba de la mediana = 1.700 vs. mediana < 1.700</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>N</th> <th>Prueba para</th> <th>Wilcoxon Estadística</th> <th>p</th> <th>Estimado Mediana</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Combinado frente a datos</td> <td>26</td> <td>26</td> <td>53.5</td> <td>0.001</td> <td>1.033</td> </tr> </tbody> </table> <p>Valor $p = .001 < .05$ Por lo tanto rechaza H_0 H_A = La mediana de la muestra es menor a 1.70 minutos</p>		N	Prueba para	Wilcoxon Estadística	p	Estimado Mediana	Combinado frente a datos	26	26	53.5	0.001	1.033
	N	Prueba para	Wilcoxon Estadística	p	Estimado Mediana																				
Combinado frente a datos	26	26	53.5	0.002	1.033																				
	N	Prueba para	Wilcoxon Estadística	p	Estimado Mediana																				
Combinado frente a datos	26	26	53.5	0.001	1.033																				

Conclusión:

El DDL y el diseño de la interfaz del usuario cumplirán las expectativas de los clientes para el tiempo de acceso a los dibujos.

FIGURA 4.29

Descripción	CTQ		Capacidad actual	Capacidad de alto nivel	Capacidad de las características (a partir de la prueba de verificación)
	LSL	USL			
La información es exacta	0 errores (6 sigma)		0 errores (6 sigma)	0 errores (6 sigma)	0 errores (6 sigma)
Rápida recuperación	0 seg	3.3 min (1.4 sigma)	4.82 min (6 sigma)	.75 min (6 sigma)	1.07 min
Fácil recuperación (entradas mínimas)	8	12	17 (0 sigma)	10 (6 sigma)	10 (6 sigma)
Formato de fácil interpretación (número de importancias por línea)	2	4	1 (0 sigma)	3 (6 sigma)	3 (6 sigma)

FIGURA 4.30

Tarjeta de tanteo de diseño actualizada y verificada.

RESUMEN

- Los negocios que tienen mayor participación de mercado y mejor calidad obtienen rendimientos mucho mayores que sus competidores. La calidad y la participación de mercado tienen fuertes relaciones individuales con la rentabilidad.
- El marcaje competitivo es el proceso continuo de medición de productos, servicios y prácticas en relación con aquéllos de los más fuertes competidores o de empresas líderes.
- La calidad puede ser el factor decisivo de las ventas perdidas, y a veces se puede cuantificar su impacto.
- Las quejas de los clientes que se resuelven con menos de la satisfacción completa darán como resultado importantes ventas perdidas.
- La planeación para la calidad del producto debe basarse en cumplir con las necesidades de los clientes y no sólo con las especificaciones de los productos.
- Una investigación de mercado a profundidad puede identificar las necesidades de los clientes que surgen repentinamente.
- La planeación para la calidad debe reconocer un espectro de clientes con necesidades diferentes.
- Para algunos productos, se necesita planear para la perfección; para otros hay que planear para el valor.
- El costo del ciclo de vida es el costo total para el usuario de comprar, usar y mantener un producto por el resto de la vida de éste.
- La superioridad en la calidad puede traducirse en una participación de mercado mayor o un precio mayor.
- La planeación de la calidad para un producto nuevo o modificado sigue estos pasos: establecimiento del proyecto; identificación de los clientes; descubrimiento de sus necesidades; desarrollo del producto, de las características del proceso y de los controles del proceso, y transferencia de los planes para operaciones. Se debe aplicar un proceso de medición durante todos los pasos.

PROBLEMAS

- 4.1. En la explicación del caso Taurus, se dieron ejemplos para ilustrar cada paso en la hoja de ruta de la planeación, por ejemplo, se listaron cinco clientes.
Para cada paso, en la hoja de ruta de la planeación dé dos ejemplos nuevos. Éstos pueden aplicar a cualquier producto o servicio.
- 4.2. Para un producto físico de consumo o industrial, haga una comparación de calidad de tres marcas en los niveles de precios bajo, medio y alto. La comparación debe enumerar las diferencias en las características de los productos y la ausencia de deficiencias.
- 4.3. Para un servicio de consumo o de negocios, haga una comparación de calidad, como se describe en el problema 4.2.

- 4.4. Seleccione dos productos físicos para los cuales la revista *Consumer Reports* haya realizado un análisis, proporcionado clasificaciones de calidad y reportado los precios de compra. Para cada producto, resuma la relación entre la alta calidad y el precio, es decir, hasta qué punto la alta calidad se asocia con un precio mayor.
- 4.5. Formen un grupo de discusión de cinco personas. Seleccionen un producto físico que es probable que compren y discutan cómo se puede definir la calidad para este producto. ¿Cómo se relaciona la definición con la satisfacción y lealtad de los clientes, las características del producto y la ausencia de deficiencias?
- 4.6. Formen un grupo de discusión de cinco personas. Para un servicio de consumo o de negocios, lleven a cabo una discusión como la descrita en el problema 4.5.

REFERENCIAS

- Bultmann, C. (1989). "How to Define Customer Needs and Expectations: An Overview", *Customer Satisfaction Measurement Conference Notes*, American Marketing Association y ASQ, 26-28 de febrero. El artículo fue publicado en "New Ways of Understanding Customers' Service Needs" por T.F. Gillett.
- Burns, R. K. y W. Smith (1991). "Customer Satisfaction-Assessing Its Economic Value", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 316-321.
- Buzell, R. D. y B. T. Gale (1987). *The PIMS Principles: Linking Strategy to Performance*, The Free Press, Macmillan, Nueva York, reproducido con permiso.
- Early, J. F. y O. J. Coletti (1999). "The Quality Planning Process", en *Juran's Quality Handbook*, 5a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, sección 3.
- Endres, A. (2000). *Implementing Juran's Roadmap for Quality Leadership*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Evans, P. y T. S. Wurster (1999). "Getting Real about Virtual Commerce", *Harvard Business Review*, noviembre-diciembre, pp. 85-94.
- Gale, B. T. (1994). *Managing Customer Value*, The Free Press, Nueva York.
- Gale, B. T. y R. Klavans (1985). "Formulating a Quality Improvement Strategy", *Journal of Business Strategy*, invierno, pp. 21-32, Warren, Gorham y Lamont, usado con permiso.
- Gryna, F. M. (1977). "Quality Costs: User vs Manufacturer", *Quality Progress*, junio, pp. 10-15.
- Hahn, G. J., N. Doganaksoy y R. Hoerl (2000). "The Evolution of Six Sigma", *Quality Engineering*, vol. 12, núm. 3, pp. 317-326.
- Juran, J. M. (1998). *Juran on Planning for Quality*, The Free Press, Nueva York.
- Juran Institute (1990). *Designs for World Class Quality*; Juran Institute, Wilton, CT.
- Lynch, J. (1998). "Measuring the Pursuit of Customer Loyalty", *Proceedings of the 10th Annual Customer Satisfaction and Quality Measurement Conference*, ASQ & American Marketing Association, Atlanta.
- Nash, M. (1998). "The Business Impact of Customer Loyalty", *Proceedings of the 10th Annual Customer Satisfaction and Quality Measurements Conference*, ASQ & American Marketing Association, Atlanta.
- Reichheld, F. F. (1996). *The Loyalty Effect*, Harvard Business School Press, Boston.
- Rust, R. T., A. J. Zahorik y T. L. Keiningham (1994). *Return on Quality*, Probus, Chicago.
- Scanlan, P. M. (1989). "Integrating Quality and Customer Satisfaction Measurement", *Customer Satisfaction Measurement Conference Notes*, American Management Association y ASQC, febrero, pp. 26-28.
- Waltz, B. (1996). "Managing Customer Loyalty", *Proceedings of the Impro Conference*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, p. 7A-9.
- Yang, K. y B. El-Haik, (2003). *Design for Six Sigma*, McGraw-Hill, NY.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Retención de clientes: Lowenstein, M. W. (1995). *Customer Retention*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.

Proceso de planeación de calidad: *JQH5*, sección 3.

Calidad e ingresos: *JQH5*, sección 7.

Cuantificación del impacto de la calidad en las ventas:

JQH5, secciones 8 y 18.

Rust, R. T., A. J. Zahorik y Keiningham (1994). *Return on Quality*, Probus, Chicago.

Campanella, J., ed. (1999). *Principles of Quality Costs*, 3a. ed., ASQ, Milwaukee.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Bames, W. R. (2003). "Designing Customer Satisfaction Programs for Actionability" <i>ASQ Annual Quality Congress 2003 Proceedings</i> .	Los datos de retroalimentación de los clientes no son una isla. Debe haber vínculos, alineamientos y despliegues de datos. Se tratan las mejores prácticas.
Bestian, K. (2001). "Numbers Don't Tell the Whole Story", <i>ASQ Annual Quality Congress 2001 Proceedings</i> .	Ya que las empresas usan los datos de retroalimentación de los clientes, se necesita una arquitectura integrada que combine la captura de la información cuantitativa y cualitativa de entrada, y la información no solicitada y la investigación de mercado externa que se haya solicitado para asegurar una imagen completa.
Heskett, J. L. (2002). "Beyond Customer Loyalty", <i>Managing Service Quality</i> , vol. 12, núm. 6, pp. 355-357.	Las investigaciones recientes indican una variedad de adaptaciones de comportamiento bajo la categorización general de "lealtad". Los negocios deberían identificar a los clientes con comportamientos del tipo "apóstoles" o "propietarios".
Hill, N. y J. Alexander (2001). <i>Handbook of Customer Satisfaction and Loyalty Measurement</i> , 2a. ed., Gower Publishing, Nueva York.	Actualizada para incluir las mediciones de lealtad.
Long, J. A., J. F. Castellano y H.A. Roehm (2002). "A User Friendly Financial Reporting System", <i>Quality Progress</i> , 35(1):60-65.	Aplicación de SPC (Control estadístico de procesos, por sus siglas en inglés) y de contabilidad de rendimiento (Goldratt) a los informes financieros (Master Industries como estudio de caso).
Gardner, B. (2001). "What Do Customers Value?" <i>Quality Progress</i> , 34(11):41-48.	Cómo vincular el valor del cliente con los procesos de negocio. Las encuestas con los clientes son útiles, pero si la meta es la lealtad, entonces debe haber un entendimiento de lo que el cliente valora y de cómo se vincula esto con los procesos de negocio. Se ofrece un enfoque de cinco pasos.

Citas

- Tamini, N., M. Rajan y R. Sebastianelli (2000). "Benchmarking the Home Pages of 'Fortune' 500 Companies", *Quality Progress*, 33(7): 47-51.
- Kyro, P. (2004) "Benchmarking as an Action Research Process", *Benchmarking*, 11(1):52.
- Ahn, M. J. y D. Dombusch (2004). "Competency-Based Benchmarking: Revolutionizing Biopharmaceutical Product Launches", *Benchmarking*, 11(2):190.
- Malayeff, J. (2003). "Benchmarking Performance Indices: Pitfalls and Solutions", *Benchmarking*, 10(1):9-28.
- Dattakumar, R. y R. Jagadeesh (2003). "A Review of Literature on Benchmarking", *Benchmarking*, 10(3):176-209.
- Flitman, A. (2003). "Towards Meaningful Benchmarking of Software Development Team Productivity", *Benchmarking*, 10(4):382-399.
- Carpinetti, L. C. R. y A.M. de Melo (2002). "What to Benchmark?", *Benchmarking*, 9(3):244-255.
- Fernandez, P., I. P. McCarthy y T. Rakotobe-Joel (2001). "An Evolutionary Approach to Benchmarking", *Benchmarking*, 8(4):281-256.
- Zairi, M. y J. Whymark. (2000). "The Transfer of Best Practices: How to Build a Culture of Benchmarking and Continuous Learning-Part 1", *Benchmarking*, 7(1):62.
- Zairi, M. y J. Whymark (2000). "The Transfer of Best Practices: How to Build a Culture of Benchmarking and Continuous Learning-Part 2", *Benchmarking*, 7(2):146.

Resumen

- Estudio de 13 factores CTQ propuestos en los sitios Web de empresas importantes.
- Teoría del proceso de marcaje; el autor argumenta el uso del marcaje como un método de acción de investigación (comparativo, enfoque científico).
Recomienda que las empresas biofarmacéuticas busquen fuera de la industria mejores prácticas para el lanzamiento de productos por medio del marcaje "basado en la competencia".
Discute los errores en el marcaje (por ejemplo, ignorar el tamaño de las muestras y de los cambios sobre el periodo de marcaje) y la aplicación de SPC al marcaje efectivo en el índice de desempeño.
Revisión del marcaje y la subsiguiente reclasificación para ayudar a los profesionales en la determinación de la aplicabilidad. Amplia bibliografía.
Aplicación del "análisis del contenido de la información" como un método de marcaje para el equipo de productividad de desarrollo de software. Toma un enfoque fuertemente matemático/cuantitativo.
Enfoque sistemático para decidir en dónde aplicar el marcaje.
Los autores desarrollan un "marcaje evolucionista" basado en la cladística (que toman prestada de la biología evolucionista) como un nuevo marco de referencia. Considerada útil para el estudio y la caracterización de las metodologías de marcaje.
Estudios de casos del desarrollo de una cultura del marcaje y transferencia de mejores prácticas; dos estudios en cada uno de los dos artículos.
Véase arriba.

SITIOS WEB

Estudios de marcaje del American Productivity and Quality Center: www.apqc.org

Juran Institute: www.juran.com

CONTROL DE CALIDAD

5.1 DEFINICIÓN DE CONTROL

En la terminología de este libro, *control* se refiere al proceso empleado para cumplir con los estándares de manera consistente. El proceso de control implica observar el desempeño actual, compararlo con algún estándar y luego tomar medidas si el desempeño observado es significativamente diferente al estándar.

El proceso de control es un circuito de retroalimentación (figura 5.1). El control supone una secuencia universal de pasos como la siguiente:

1. Elegir el evento de control, es decir, seleccionar lo que se intenta regular.
2. Establecer una medición.
3. Establecer estándares de desempeño: objetivos del producto y del proceso.
4. Medir el desempeño real.
5. Comparar con los estándares el desempeño real medido.
6. Actuar en relación con la diferencia.

Esta secuencia universal aplica a los individuos de todos los niveles, desde el director ejecutivo hasta los miembros de la fuerza de trabajo. La secuencia puede aplicarse como una estructura para ayudar a los supervisores y equipos laborales a entender y ejecutar los procesos cotidianos de trabajo. Tal estructura se vuelve cada vez más importante mientras el concepto de equipo (particularmente de equipos autodirigidos) surge como una forma importante en la vida de los negocios. En el capítulo 7 se explican algunos tipos de equipos y los papeles del líder, facilitador, y los miembros de un equipo.

Cuando el equipo natural de trabajo de un departamento pone en práctica el proceso de control, se cumple con tres propósitos:

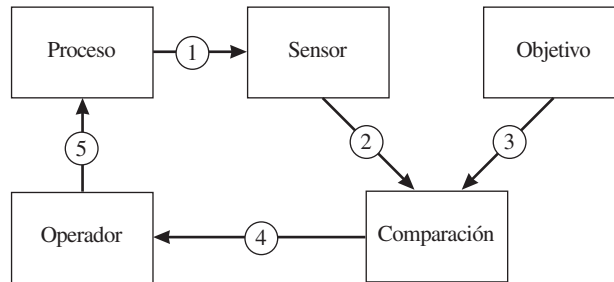


FIGURA 5.1
El circuito de retroalimentación.

- Mantener las ganancias de los proyectos de mejora.
- Promover el análisis de la variación del proceso, basado en los datos, con el fin de identificar las oportunidades de mejora.
- Permitir a los miembros del equipo aclarar sus responsabilidades y trabajar para lograr un estado de autocontrol.

Los primeros tres pasos del proceso de control (elegir el tema, establecer las mediciones y fijar los estándares) requieren la *participación* del equipo de trabajo del departamento. Los últimos tres pasos (medición, comparación con los estándares y toma de medidas al respecto) pueden ser la *responsabilidad* del equipo de trabajo del departamento.

El control, uno de los procesos de la trilogía de la calidad, se dirige en gran medida a cumplir con los objetivos y prevenir el cambio adverso, es decir, mantener el *statu quo*. Por el contrario, la mejora se enfoca en crear el cambio, es decir, cambiar el *statu quo*. El proceso de control se dirige a los problemas esporádicos de calidad; el de mejora, a los problemas crónicos.

5.2 MEDICIÓN

La medición de la calidad es básica para el proceso de control de calidad: “Lo que se hace, se mide”. La medición es básica para los tres procesos operacionales de calidad y para la administración estratégica: para el control de calidad, la medición proporciona retroalimentación y advertencias tempranas a los problemas; para la planeación operacional de calidad, la medición cuantifica las necesidades de los clientes y las capacidades del producto y del proceso; para la mejora de la calidad, la medición puede motivar a las personas, ordenar por prioridades las oportunidades de mejora y ayudar en el diagnóstico de las causas, y para la administración estratégica de la calidad, la medición proporciona entradas para establecer los objetivos y después aporta los datos para la revisión del desempeño.

La figura 5.2 muestra el impacto de largo alcance de la medición en la administración de calidad. Observe cómo la medición proporciona alineaciones y vínculos en varios niveles, desde el trabajo diario hasta la planeación estratégica de la calidad. Estos elementos, sucesivamente, se convierten en conductores para fomentar el uso de las mediciones para la calidad. Este capítulo

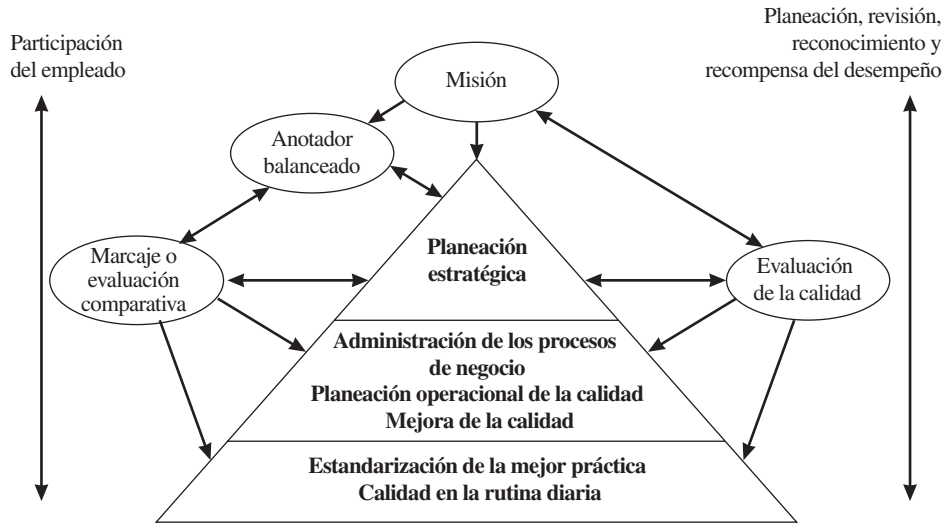


FIGURA 5.2
Conductores de mediciones. (Reproducido con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

presenta conceptos que son la base de la medición; los siguientes capítulos presentan ejemplos de medición de la calidad tanto a nivel operacional como estratégico.

Los siguientes principios pueden ayudar a desarrollar mediciones efectivas para la calidad:

1. Definir el propósito y el uso que se hará de la medición. Un ejemplo de particular importancia es la aplicación de mediciones en la mejora de la calidad. Las mediciones finales deben complementarse con mediciones intermedias necesarias para el diagnóstico.
2. Enfatizar las mediciones relacionadas con los clientes; asegurarse de incluir tanto a clientes externos como internos.
3. Enfocarse en mediciones que sean útiles, no sólo en las fáciles de recopilar. Cuando la cuantificación sea difícil, subrogar las mediciones puede, al menos, proporcionar el entendimiento parcial de un resultado.
4. Buscar la participación de todos los niveles, tanto en la planeación como en la implementación de las mediciones. Las mediciones que no se usan finalmente se ignorarán.
5. Intentar realizar las mediciones lo más cercanamente posible a las actividades a las que impactarán. Esta sincronización facilita el diagnóstico y la toma de decisiones.
6. Buscar no sólo los indicadores concurrentes, sino también los indicadores principales y el rezago. Las mediciones actuales y las históricas son necesarias, pero el indicador principal ayuda a investigar el futuro.
7. Definir, de antemano, los planes para la recopilación y el almacenamiento de datos, y el análisis y la presentación de las mediciones. Los planes estarán incompletos a menos que se examine cuidadosamente el uso que se espera dar a las mediciones.
8. Buscar la simplicidad en el registro, análisis y presentación de los datos. Son útiles las simples hojas de comprobación, la codificación de datos y las calibraciones automáticas. Las presentaciones gráficas pueden ser especialmente efectivas.

9. Facilitar las evaluaciones periódicas de la exactitud, integridad y utilidad de las mediciones. La utilidad incluye la relevancia, el grado de comprensión, el nivel de detalle, la disponibilidad y la facilidad para interpretarlas.
10. Darse cuenta de que las mediciones por sí solas no pueden hacer mejoras en los productos y los procesos. Las mediciones deben complementarse con los recursos y la capacitación para permitir que las personas logren la mejora. Para la elaboración de estos y otros principios de sistemas de medición, véase *JQH5*, sección 9, y Zairi (1994).

Este capítulo presenta conceptos que son la base de la medición, pero este tema se encuentra en todo el libro. Por ejemplo, el capítulo 2 trata las mediciones para una amplia evaluación de calidad; el capítulo 8 se dirige a la medición estratégica, incluyendo el anotador equilibrado, y los capítulos 11, 12, 13 y 14 presentan ejemplos de mediciones funcionales. Por consiguiente, las mediciones son tanto para el control de procesos de productos como para el control de la administración.

5.3 AUTOCONTROL

Idealmente, la planeación de calidad para cualquier tarea debería poner al empleado en un estado de autocontrol. Cuando el trabajo se organiza de tal forma que una persona tiene un dominio total sobre la realización de los resultados planeados, se dice que esa persona está en un estado de autocontrol y puede, por lo tanto, ser considerada responsable de los resultados. El autocontrol es un concepto universal, aplicable a un gerente general responsable de dirigir la división de una empresa para que tenga beneficios, a un gerente de planta responsable de cumplir los diversos objetivos fijados para esa planta, a un técnico que dirige un reactor químico o bien a un cajero de banco que atiende a los clientes.

Para estar en estado de autocontrol, las personas deben recibir:

1. Conocimiento de lo que se supone tienen que hacer, por ejemplo, el beneficio presupuestado, el programa y la especificación.
2. Conocimiento de su desempeño, por ejemplo, el beneficio real, la tasa de entregas, el alcance del cumplimiento con las especificaciones (esto es medición de calidad).
3. Medios para regular el desempeño si fracasan al cumplir sus objetivos. Estos medios deben incluir siempre la autoridad y la capacidad para regular en caso de que varíe *a*) el proceso bajo la autoridad de la persona o *b*) la propia conducta de la persona.

Si se han cumplido todos los parámetros anteriores, se dice que la persona está en un estado de autocontrol y puede ser considerada, apropiadamente, como responsable de cualquier deficiencia en el desempeño. Si algún parámetro no se ha satisfecho, la persona no se halla en estado de autocontrol y, en la medida de la deficiencia, no puede ser considerada como verdaderamente responsable.

En la práctica, estos tres criterios no se cumplen totalmente. Por ejemplo, algunas especificaciones pueden ser imprecisas o indiferentes (el primer criterio); la retroalimentación de los datos puede ser insuficiente, a menudo imprecisa o llegar demasiado tarde (el segundo criterio); las personas pueden no recibir el conocimiento y los mecanismos de ajuste de procesos para corregir un proceso (el tercer criterio). Por tanto, si se tiene un problema de calidad y se fracasa al cumplir con cualquiera de los tres criterios, el problema es “controlable por la dirección” (o “controlable por sistema”). Si se tiene un problema de calidad y se cumplen totalmente los tres criterios, el problema es “controlable por el trabajador”. Los capítulos 13 y 14 aplican el concepto de autocontrol a las industrias de servicios y manufactureras.

TABLA 5.1
Control clásico y autocontrol

Control clásico	Autocontrol
Estándar u objetivo	Conocimiento de lo que se supone que las personas tienen que hacer
Medición	Conocimiento del desempeño
Acción sobre la diferencia	Medios para regular el proceso
Énfasis primario durante la ejecución	Énfasis primario antes de la ejecución

El control clásico y el autocontrol son complementarios (tabla 5.1). Sin embargo, una diferencia importante entre ellos es el tiempo en que suceden. El control clásico tiene lugar *durante* la ejecución de una tarea; el autocontrol ofrece criterios útiles para evaluar los planes *antes* de que se ejecute una tarea.

Kondo y Kano (1999, p. 41.3) sostienen que hay una relación entre el proceso de control, el ciclo “planear, hacer, comprobar, actuar”, y el concepto de autocontrol. La figura 5.3a representa el ciclo planear, hacer, comprobar, actuar, que corresponde a los elementos principales del circuito de retroalimentación (figura 5.1) del proceso de control. Dichos elementos señalan que el desempeño individual del trabajador durante el paso “hacer” comprende un ciclo de planear, hacer, comprobar, actuar (figura 5.3b). El grado al cual la tarea del trabajador está planeada adecuadamente refleja el punto en el que aquél se sitúa en un estado de autocontrol. El ciclo planear, hacer, comprobar, actuar, a menudo se denomina “ciclo Deming”.

Algunos autores se refieren al ciclo como planear, hacer, estudiar, actuar. Gitlow *et al.* (1995) enfatizan que el ciclo se repite una y otra vez y proporciona un medio de mejora interminable.

Tanto para el autocontrol como para el ciclo Deming, el concepto de estandarización de las prácticas de trabajo es importante. En él, los empleados aplican un ciclo estandarizado de estudiar, hacer y actuar (SDSA, por sus siglas en inglés). Los empleados analizan el proceso para desarrollar métodos de mejores prácticas, usarlos en una base de prueba, evaluar la efectividad de las mejores prácticas y documentar el proceso estandarizado. Este proceso estándar ayuda a estabilizar el proceso y a reducir la variación. Para su elaboración, véase Gitlow *et al.* (1995) e Imai (1986). Una herramienta de estandarización es el “método de las 5S” para lograr un lugar de trabajo organizado. Este método se discute en el capítulo 13 bajo el rubro “Plan para ambientes de trabajo ordenados y limpios”.

Schonberger (1999) describe el concepto de un sistema autoajutable donde el personal de primera línea emplea continuamente métodos simples y directos. Propone cuatro elementos: (1) administración de capacidad del proceso para minimizar las filas (“kanban”), (2) trazar las medidas de los datos del proceso (“control estadístico del proceso”), (3) prevención de errores (seguridad) y (4) comprobaciones de calidad antes de pasar el resultado del trabajo al siguiente trabajador (“inspección desde la fuente”). Como con el autocontrol, el concepto de Schonberger apunta a proporcionar al personal todo lo necesario para que controle directamente el resultado de su trabajo.

Observe que otro concepto, la autoinspección, *no* es lo mismo que el autocontrol. La autoinspección se dirige al examen del producto; el autocontrol, al proceso de lograr una tarea. La autoinspección se comenta en el capítulo 13.

Ahora se procederá a examinar los pasos de la secuencia de control.

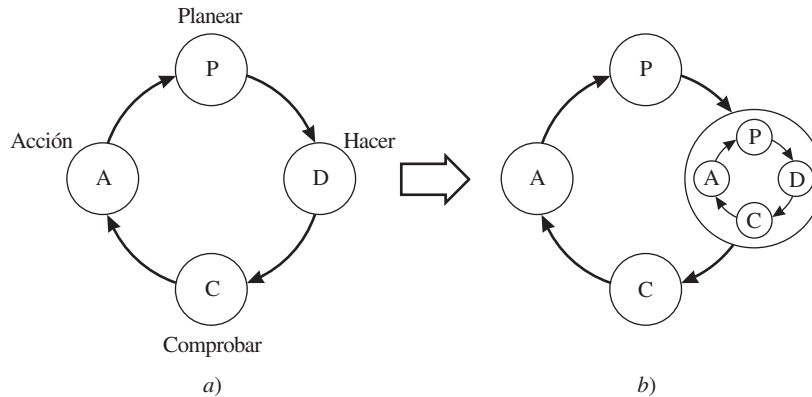


FIGURA 5.3
Ciclo de Deming. (De *JQH5*, p. 41.4.)

5.4 LOS TEMAS DE CONTROL PARA LA CALIDAD

Los temas de control para la calidad son los parámetros críticos. En el nivel tecnológico, cada división de un producto (componentes, unidades, subsistemas y sistemas) tiene características de calidad. Las condiciones de procesamiento (por ejemplo, el tiempo para pagar una reclamación del seguro, la temperatura del horno) y sus instalaciones también tienen características de calidad. Además, los materiales de entrada y los servicios poseen características de calidad. Con todo, las fuerzas externas (clientes, regulaciones del gobierno y cuerpos de estandarización) imponen más temas de control de calidad.

Más allá de los temas tecnológicos de control de calidad están los temas directivos de control de calidad. Éstos son, principalmente, los objetivos del desempeño para las unidades de la organización y los gerentes asociados. Los objetivos directivos se amplían a asuntos no tecnológicos, tales como relaciones con los clientes, tendencias financieras (por ejemplo, los avances para reducir el costo de la mala calidad), y relaciones con los empleados y con la comunidad.

Para identificar y elegir los temas de control de calidad, se aplican diferentes principios:

1. Los temas de control de calidad deben alinearse y vincularse con los parámetros de los clientes, es decir, deben medir directamente las necesidades, satisfacción y lealtad de los clientes o medir las características de los productos y procesos que se asocian con estos parámetros de los clientes. Los clientes externos que afectan los ingresos por ventas son un parámetro; igual de importantes son los clientes internos, que afectan los costos internos, como el costo por la mala calidad. Pero hay que enfrentar la realidad. Algunas veces los temas de control están incompletos. Por ejemplo, aunque se han hecho avances en medir la calidad de la asistencia médica, es difícil medir si un doctor detecta un problema médico tan pronto como sea posible.

La tabla 5.2 muestra ejemplos de temas de control de calidad de diferentes organizaciones. Más adelante en este capítulo se especificarán estas categorías con más detalle, al definir las unidades de medición.

TABLA 5.2
Temas de control

Fabricante de aparatos electrónicos	Un banco
Calidad de los documentos	Operaciones: oportunidad
Calidad del software	Banca de menudeo: exactitud
Calidad del hardware	Banca comercial: destino de pago de préstamos
Calidad del proceso	Tarjetas de crédito y de cajero automático: transacciones
Calidad del sistema	Finanzas e inversiones: transacciones Recursos humanos: requisiciones de personal Servicios de información: periodo de inactividad del sistema Administrativo: estatus de la orden de trabajo

2. La definición de los temas de control de calidad para los procesos de trabajo empieza al precisar los procesos de trabajo en términos de objetivos; pasos y clientes del proceso, y necesidades de los clientes.
3. Los temas de control de calidad deben reconocer los dos componentes de la definición de la calidad, es decir, la ausencia de deficiencias y las características de los productos. El número de errores por mil líneas de código computacional (KLOC, por sus siglas en inglés) es importante, pero incluso el código perfecto no significa que un cliente quedará satisfecho con el software.
4. Los temas potenciales de control de calidad pueden identificarse al obtener ideas de los clientes y los empleados. Se puede preguntar a los clientes: “¿Cómo califica el producto o servicio que le entregué?” Un grupo de muestra de clientes puede proporcionar respuestas valiosas. Una vez más, nos estamos dirigiendo a clientes internos y externos. Todos los empleados son fuentes de ideas, pero los empleados que tienen contacto directo con los clientes externos pueden ser un manantial prolífico de ideas imaginativas sobre temas de control de calidad.
5. Aquellos que serán medidos deben ver los temas de control de calidad como válidos, apropiados y fáciles de entender cuando se traduzcan a cifras. Seguro que estas nociones son agradables, pero en el mundo real pueden ser bastante esquivas.

A continuación se debe establecer el proceso de medición para estos temas de control.

5.5 ESTABLECER LA MEDICIÓN

Para cuantificar, se debe crear un sistema de medición compuesto de:

- Una *unidad de medición*: la unidad usada para informar el valor de un tema de control, por ejemplo, libras, segundos, dólares.
- Un *sensor*: un método o instrumento que realice la evaluación y enuncie los hallazgos en términos de la unidad de medición.

Las unidades de medición para el desempeño de productos y procesos por lo general se expresan en términos tecnológicos, por ejemplo, la eficiencia del combustible se mide en términos de

la distancia recorrida por volumen de combustible; la oportunidad del servicio se expresa en los minutos (horas, días, etc.) requeridos para proporcionar el servicio.

Por lo general, las unidades de medición de los defectos de los productos toman la forma de una fracción:

$$\frac{\text{Número de acontecimientos}}{\text{Oportunidad de acontecimientos}}$$

El numerador puede hallarse en términos como defectos por millón, número de fallas de campo o costo de gastos por garantía. El denominador puede expresarse en términos como unidades producidas, volumen de venta en dólares, número de unidades en servicio o duración del tiempo de servicio.

Las unidades de medición para las características del producto son más difíciles de crear. El número y la variedad de estas características pueden ser grandes. Algunas veces inventar una nueva unidad de medición es un desafío técnico fascinante. En un ejemplo, el fabricante de un producto de poliestireno recién desarrollado tuvo que inventar una unidad de medición y un sensor para evaluar una característica importante del producto. Luego fue posible medir la característica de su producto y el de la competencia antes de liberarlo a manufactura. En otro caso, el proceso de cosechar chícharos en el campo requirió una unidad de medición para la blandura y el invento de un “blandurómetro”. Se creó una escala numérica y las mediciones se llevaron al campo para determinar cuándo los guisantes estaban listos para ser cosechados.

La tabla 5.3 muestra ejemplos de unidades de medición para una organización manufacturera y para una de servicios. Debe observarse que en muchas industrias de servicios, el *tiempo* que se tarda en entregar un servicio a un cliente externo es el tema decisivo de control para la medición.

A menudo hay un número importante de características del producto. Para desarrollar una unidad total de medición, se pueden identificar las características importantes del producto y luego definir la importancia relativa de cada una de ellas. En mediciones subsiguientes, cada característica recibe una puntuación. La medición total se calcula como el promedio ponderado de las puntuaciones de todas las características. Este enfoque se ilustra en la tabla 2.4. Al usar un enfoque así para mediciones continuas o periódicas, deben mencionarse algunas precauciones (Early, 1989). Primero, la importancia relativa de cada característica no es precisa y puede cambiar mucho con el tiempo. Segundo, la mejora en ciertas características puede resultar en una medición total mejorada, pero puede ocultar el deterioro de otra característica que tenga gran importancia.

Las escalas de medición son parte de un sistema de medición. La más útil es la *escala de proporción*, en la cual se registran las cantidades reales de un parámetro como el peso. Una *escala de intervalo* registra números ordenados pero carece de un origen aritmético como el cero (el tiempo del reloj es un ejemplo). Una *escala ordinal* registra información en categorías clasificadas (verbigracia, la preferencia de un cliente por el sabor de diversos refrescos). Un ejemplo poco usual de escala de medición es la escala ROSTROS de clasificación de dolor de Wong-Baker, usada ampliamente en hospitales pediátricos para comunicar a las enfermeras la intensidad del dolor que los niños padecen (Wong y Baker, 1998). La escala muestra seis caras a las que el niño puede señalar, que van desde un rostro muy feliz (para indicar que no duele) hasta uno muy triste (lo que más duele). Finalmente, la *escala nominal* clasifica los objetos en categorías sin un orden o punto de origen (por ejemplo, el recuento de la población en cada estado). El tipo de la escala de medición determina el análisis estadístico que puede aplicarse a los datos. A este respecto, la escala de proporción es la escala más poderosa. Para su elaboración, véase Emory y Cooper (1991).

TABLA 5.3
Unidades de medición. Ejemplos

Fabricante de aparatos electrónicos	Un banco
Calidad de los documentos	Operaciones
Defectos por mil páginas formateadas de salida	$\frac{\text{Número de órdenes enviadas con retraso}}{\text{Número total de declaraciones procesadas}}$
Calidad del software	Banca al menudeo
Defectos corregidos por mil enunciados no comentados de fuentes	$\frac{\text{Número de errores de entradas al cajero}}{\text{Número total de entradas al cajero}}$
Calidad del hardware	Banca comercial
Tasa de retiro de campo	$\frac{\text{Pago de préstamos enviados incorrectamente}}{\text{Pagos totales de préstamos}}$
Calidad del proceso	Tarjetas de crédito y de cajeros automáticos
Rendimientos funcionales	$\frac{\text{Número de destinos equivocados}}{\text{Número total de transacciones}}$
Calidad del sistema	Finanzas/inversiones
Pausas totales	$\frac{\text{Número de correcciones de transacciones comerciales}}{\text{Número de transacciones realizadas}}$
	Recursos humanos
	$\frac{\text{Requisiciones no completadas en 30 días}}{\text{Número total de requisiciones}}$
	Servicios de información
	$\frac{\text{Tiempo de indisponibilidad de los sistemas de información de clientes (CIS)}}{\text{Tiempo total de CIS}}$
	Administrativo
	$\frac{\text{Número de órdenes de trabajo no completadas en 10 días}}{\text{Número de órdenes de trabajo completadas}}$

El sensor

El sensor es el medio usado para hacer la medición real. La mayoría de los sensores se diseñan para proporcionar información en términos de unidades de medición. Para temas operacionales de control, los sensores son, por lo general, instrumentos tecnológicos o seres humanos empleados como instrumentos (por ejemplo, inspectores, auditores); para temas directivos, los sensores son sistemas de datos. Elegir el sensor incluye definir cómo se harán las mediciones (cómo, cuándo y quién hará las mediciones) y los criterios para actuar. Esta información puede ser resumida convenientemente en una hoja de cálculo de control (véase la figura 5.4a y b).

Ha habido una tendencia continua hacia proporcionar sensores con funciones adicionales del circuito de retroalimentación: registro y análisis de datos, comparación del desempeño con los estándares y comienzo de la acción correctiva. Una herramienta útil para que el autocontrol y el circuito de retroalimentación entren en operaciones es el plan de control, también llamado plan de control de procesos. Puede ser usado como un anteproyecto para planear el control y como un procedimiento de trabajo para implementar el autocontrol y el circuito de retroalimentación. En la figura 5.4a se muestra un ejemplo de plan de control para la distribución oportuna y la entrada de órdenes expeditas por fax en un centro de asistencia al cliente (CCC, por sus siglas en inglés).

Plan de control de entradas de órdenes expeditas

Nombre del proceso: Procesamiento de órdenes expeditas			Fecha: 14/4/2003			Aprobado por:							
Nombre del proceso: Procesamiento de órdenes expeditas			Fecha: 14/4/2003			Aprobado por:							
Tema de control	Objetivos del tema	Unidad de medición	Sensor	Frecuencia de medición	Tamaño de la muestra	Registro de la medición/herramienta usada	Medido por quién	Criterios para la acción (cuándo tomarla)	Qué acciones tomar	Quién decide	Quién actúa	Registro de acciones tomadas	Comentarios
Procesamiento y entrada de órdenes expeditas	90% de entradas a tiempo de órdenes expeditas	% de órdenes expeditas que no entraron antes de las 12:30 p.m.	Clasificador	Cálculo diario	Todas las órdenes expeditas	Gráfica-P	Clasificador/supervisor	El nivel de desempeño desciende por debajo del 90%	Investigar y determinar la causa. Ajustar los procesos según se necesite	La dirección	Supervisor	Procesos de ventas y operaciones (SOP, por sus siglas en inglés), trabajo estándar	Véase proceso SOP del clasificador
Nivel adecuado de papel en la máquina de fax para imprimir	Sin retrasos en las órdenes debido a falta de papel en la máquina de fax	N/A	Clasificador	Cuatro veces al día	Población (dos máquinas de fax)	N/A	Clasificador	Añadir papel a las 8:00 a.m., 11:00 a.m., 12:00 p.m., 3:00 p.m.	Rellenar el depósito de papel en cada comprobación	Clasificador	Clasificador	N/A	Véase proceso SOP del clasificador
Nivel adecuado de tinta en el <i>cartucho</i> de la máquina de fax para imprimir	Sin retrasos en las órdenes debido a falta de tinta en el <i>cartucho</i> de la máquina de fax	N/A	Clasificador	Cuatro veces al día	Población (dos máquinas de fax)	N/A	Clasificador	Iluminado el indicador de tinta baja	Reemplazar el cartucho	Clasificador	Clasificador	N/A	

Distribución de las órdenes expedidas llegadas por fax al centro de asistencia al cliente (CCC)	Clasificación y distribución de todas las órdenes expedidas	Tiempo transcurrido	Ver el reloj	Una entrega cada 30 minutos. Una entrega cada 15 minutos	Todas las órdenes enviadas en dos máquinas de fax	El clasificador día/hora de distribución de pedidos	Los centros de asistencia al cliente	El CCC no recibe ninguna orden por más de 30 minutos. Las órdenes que quedan sin distribuir se guardan hasta las 12 p.m.	Investigar el estatus del clasificador. Referir a clasificación de procesos SOP expedidos	CCC o supervisor	CCC/ supervisor	N/A	Véase clasificador del proceso SOP
Uso del tablero de mensajes cuando el CCC no esté disponible	Tiempo de retorno al CCC indicado en el tablero de mensajes para cada ausencia > 15 minutos	Tablero de mensajes utilizado en caso de ausencia	Clasificador	Comprobar cada ciclo de distribución por fax	Todos los ciclos de distribución de faxes	N/A	Clasificador	El tablero de mensajes está vacío y el CCC no está disponible	Transferir orden a otro CCC. Referir CCC a tablero de mensajes de procesos de ventas y operaciones (SOP)	Clasificador/ supervisor	Supervisor	N/A	Véase tablero de mensajes del proceso SOP
Tiempo transcurrido para recibir la orden	El captu- rista del CCC las introduce en los pri- meros 30 minutos de recepción (entrega- das por el clasifica- dor)	Tiempo transcurrido	Tiempo impreso y tiempo de entrada al sis- tema de infor- mación JDE	Cuando el nivel de desem- peño des- cienda por debajo del 90% en un día deter- minado	30 órde- nes expe- ditas	Formato de recopilación de datos	Supervi- sor	Cuando el tiempo pro- medio para introducir las órdenes sea mayor a 60 minutos	Investigar y determinar la causa. Ajustar el proceso cuando sea necesario	Supervi- sor	Supervi- sor	N/A	Proceso de SOP expedi- tos

FIGURA 5.4a
Plan de control para la entrada y distribución de pedidos de órdenes despachadas por fax.
(Cortesía de *Merillat Industries, Inc.*)

Características del control del proceso Tema de control	Unidad de medición	Tipo de sensor	Objetivo	Frecuencia de medición	Tamaño de muestra	Criterios para la toma de decisiones	Responsabilidad para la toma de decisiones
Condiciones de soldadura de onda Temperatura de soldadura	Grados Fahrenheit (°F)	Par termo-eléctrico	505 °F	Continua	N/A	510 °F reduce calor 500 °F aumenta calor	Operador • • •
Velocidad de la transportadora	Pie por minuto (ft/min)	Crono-metro	4.5 ft/min	1/hora	N/A	5 ft/min reduce velocidad; 4 ft/min aumenta velocidad	Operador • • •
Pureza de la aleación	% contaminantes totales	Análisis de laboratorio químico	1.5% max	1/mes	15 gramos	A 1.5%, baño de escurrimiento, reemplaza soldador	Ingeniero de procesos • • •
	•	•	•	•	•	•	•
	•	•	•	•	•	•	•
	•	•	•	•	•	•	•

FIGURA 5.4b
 Hoja de cálculo para quién hace qué.
 (Making Quality Happen, Juran Institute, Inc., taller de ejecutivos senior, p. F-8, Wilton, CT.)

A pesar del gran número de temas de control, se necesitan relativamente pocos seres humanos para llevar a cabo el proceso de control. Imagine una pirámide de temas de control: unos pocos controles vitales son llevados a cabo por supervisores y gerentes; otro segmento es conducido por la fuerza de trabajo; el resto de la mayoría de los temas de control son manejados por medios no humanos (procesos estables, procesos automatizados, servomecanismos).

Claramente, los sensores deben ser económicos y fáciles de usar. Además, dado que los sensores proporcionan datos que pueden llevar a tomar decisiones críticas sobre los productos y los procesos, deben ser exactos y precisos. El significado, la medición y el impacto de la exactitud y precisión se tratan en el capítulo 15.

5.6 ESTABLECER ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO

Cada tema de control debe tener un objetivo de calidad. La tabla 5.4 muestra ejemplos de temas de control y de objetivos asociados para una variedad de ellos que van desde aquellos para productos, procesos y departamentos, hasta los de toda una organización.

Este capítulo se concentra en los objetivos de los niveles operacionales; la sección 8.5, “Desarrollo de objetivos”, trata los objetivos de calidad de toda una empresa.

Para fijar los objetivos operacionales, se deben cumplir ciertos criterios. Los objetivos deben ser:

- *Legítimos*: tener estatus oficial.
- *Enfocados en los clientes*: externos e internos.
- *Medibles*: en cifras.
- *Comprensibles*: claros para todos.
- *Alineados*: integrados con niveles más altos.
- *Equitativos*: justos para todos los individuos.

Los objetivos para rasgos de productos y procesos se basan en análisis tecnológicos. Para fomentar la mejora continua, los objetivos deben basarse en altos niveles logrados por otros (véase capítulo 8 bajo “Marcaje”). El despliegue y la alineación de los objetivos de calidad de la empresa con los objetivos operacionales se comentan en el capítulo 8 bajo el rubro “Despliegue de objetivos”.

TABLA 5.4
Temas y objetivos de control

Tema de control	Objetivos
Tiempo promedio entre fallas	Mínimo de 5 000 horas
Temperatura para soldar del proceso de soldadura	500 °F
Entrega durante la noche	99.5% entregado antes de las 10:30 a.m. de la mañana siguiente
Clasificación relativa de calidad	Al menos igual en calidad que los competidores A y B
Retención de clientes	95% de los clientes clave año con año

5.7 MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO REAL

Al organizar para controlar, una técnica útil es establecer un número limitado de estaciones de control para la medición. Cada una de esas estaciones de control recibe luego la responsabilidad de ejecutar los pasos del circuito de retroalimentación para una lista seleccionada de temas de control. Una revisión de numerosas estaciones de control revela que, por lo general, se localizan en una de las principales disyuntivas:

- En cambios de jurisdicción, por ejemplo, donde los productos pasan entre empresas o entre departamentos principales.
- Antes de embarcarse en un camino irreversible, por ejemplo, aprobación del montaje antes de la producción.
- Después de la creación de una calidad crítica.
- En las variables dominantes del proceso, por ejemplo, las poco vitales.
- En ventanas naturales, para el control económico.

La preparación de un diagrama de flujo que muestre la progresión de los acontecimientos mediante los cuales se fabrica el producto ayuda a la elección de las estaciones de control.

Es esencial medir tanto la calidad del resultado que va al cliente externo (“producción final”) como la calidad en los primeros puntos del proceso, incluyendo la “producción de primera vez”.

En la figura 5.5, entran 100 unidades de entrada a un proceso. Después de las operaciones A, B y C se lleva a cabo una inspección; 87 unidades aceptables continúan a la operación D, 8 unidades son reprocesadas en operaciones previas y 5 son rechazadas. Por consiguiente, la producción de primera vez es del 87 por ciento. Después de las operaciones D y E, se lleva a cabo una segunda inspección; 82 unidades aceptables (de las 87) quedan disponibles para su entrega, 2 unidades son reprocesadas y 3 rechazadas. Suponiendo que todas las unidades reprocesadas son aceptables, la producción final es 92 (82 + 8 + 2), o 92 por ciento de la entrada original. Observe cómo la medición de la producción en diferentes lugares pone de relieve algunas oportunidades para la mejora.

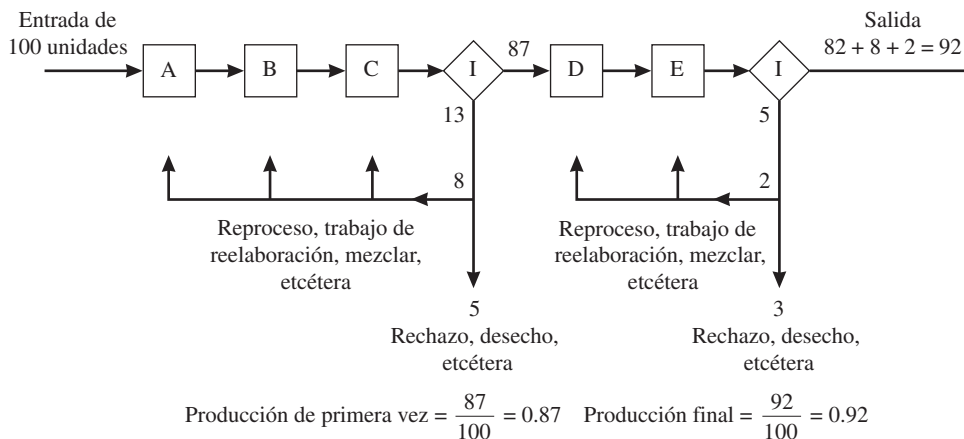


FIGURA 5.5
Producción de primera vez y final (A, B, C, D, E = operaciones o tareas;
I = inspecciones, comprobaciones, revisiones).

Este concepto aplica a procesos industriales y no industriales. No deje que ninguna terminología diferente (por ejemplo, inspección frente a verificación) oscurezca el concepto. Por ejemplo, en una organización de desarrollo de software, el número promedio de errores del software fue aproximadamente de dos errores por mil líneas de código, momentos antes de la entrega al cliente. Sin embargo, el nivel promedio de errores, medido anteriormente en el proceso de desarrollo, fue de 50 errores por mil líneas de código. Se necesitaron enormes recursos para eliminar estos errores. Irónicamente, el jefe de la organización no supo de esta producción de primera vez sino hasta que le fue revelada por un consultor.

Para cada estación de control, es necesario definir el trabajo que se hará: qué temas de control se medirán; los objetivos y los estándares que se cumplirán; los procedimientos y los instrumentos que se utilizarán; los datos que se registrarán, y las decisiones que se tomarán, incluyendo los criterios y la responsabilidad para la toma de cada decisión.

Véase el ejemplo de una hoja de cálculo de control en la sección 5.5, “Establecer la medición”. Recuerde que los temas de control incluyen las mediciones tanto de los parámetros del producto como de las variables del proceso. Con toda esta información, el circuito de retroalimentación puede funcionar bien.

El “diagrama de bandera” (figura 5.6) es una ilustración innovadora de cómo la medición se puede combinar con los temas de control para rastrear la mejora. Este diagrama utiliza los datos de la medición en combinación con el concepto de Pareto y el diagrama de causa-y-efecto (ambos comentados en el capítulo 3).

El tema de control total (la reducción de la mecanización del tiempo) se divide en cinco temas importantes, por ejemplo, el mejoramiento del procedimiento de la mecanización. Cada uno de éstos se divide después en temas secundarios, verbigracia, el mejoramiento de la operación. Los objetivos para cada tema se muestran como líneas punteadas en las gráficas y luego se traza el desempeño en las mismas. Los diagramas se convierten en una base para la revisión por parte del gerente responsable y para la acción, si hay una desviación importante de un objetivo.

5.8 COMPARACIÓN DE ESTÁNDARES

Esta fase del proceso de control consiste en comparar la medición del objetivo y decidir si cualquier diferencia es lo suficientemente importante como para justificar la acción. Los criterios para actuar (o no actuar) se deben definir numéricamente antes de tomar las mediciones, y se tiene que proporcionar capacitación para asegurar que los criterios se aplican correctamente. A menudo los criterios pueden ser enunciados sencillamente: si la temperatura de la soldadura es superior a 510 °F, disminuya el calor; si está entre 500 °F y 510 °F, no tome ninguna medida con la temperatura. Otros casos presentan una necesidad de distinguir entre las diferencias verdaderas y aparentes en las mediciones de un producto o proceso. Esta tarea puede realizarse utilizando el concepto de la significancia estadística.

Significancia estadística

Una diferencia observada entre el desempeño y un objetivo puede ser el resultado de (1) una diferencia verdadera debida a alguna causa o (2) una diferencia aparente que surge de la variación arbitraria. Por otro lado, las diferencias entre una medición y un objetivo no deben verse individual-

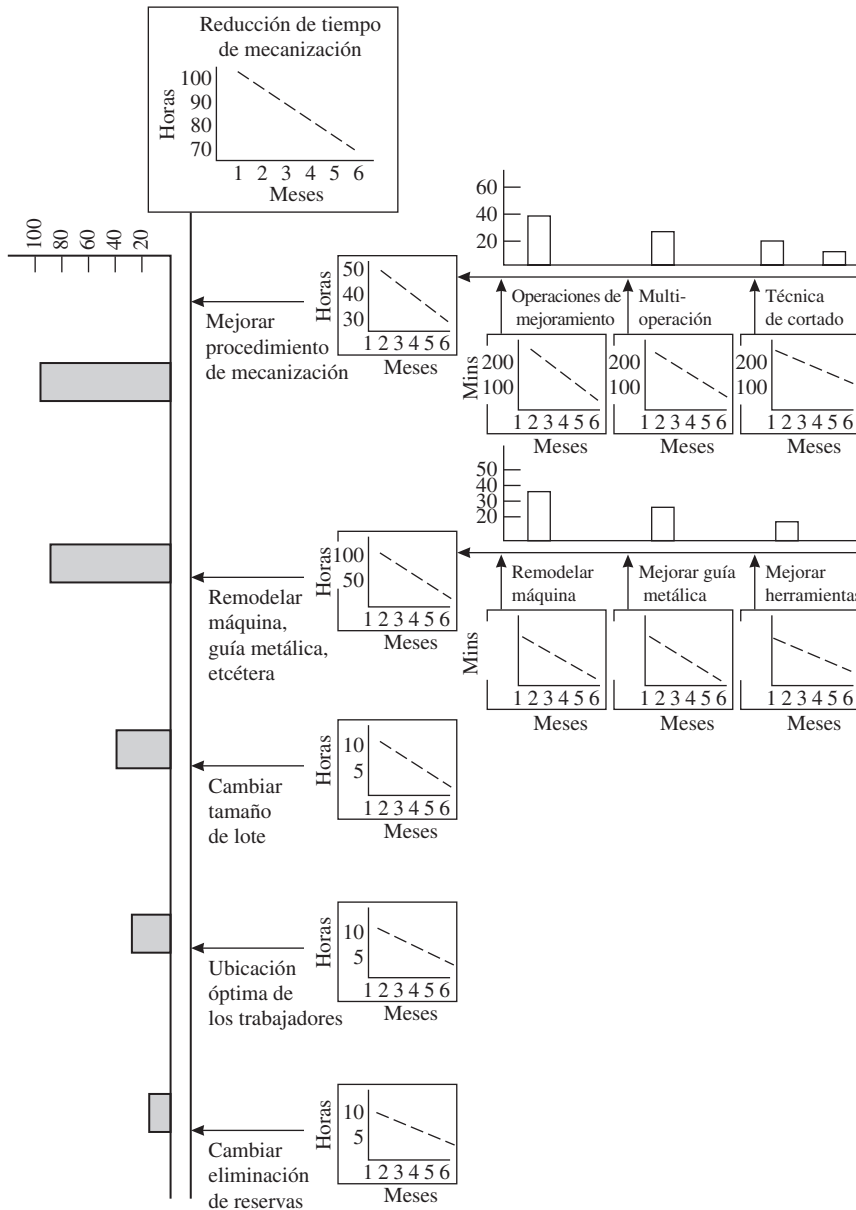


FIGURA 5.6
Ejemplo de un “diagrama de bandera”. (Adaptado de Kondo y Kano, 1999, p. 41.17.)

mente. Conocer el patrón de diferencias en el tiempo es esencial para sacar conclusiones correctas. En la figura 5.7, las mediciones en A y B y la tendencia en C representan diferencias reales (“estadísticamente significativas”) del objetivo; las otras mediciones se deben a la variación arbitraria. La figura 5.7 es una gráfica estadística de control: una de las elegantes herramientas estadísticas usadas para evaluar la significancia estadística.

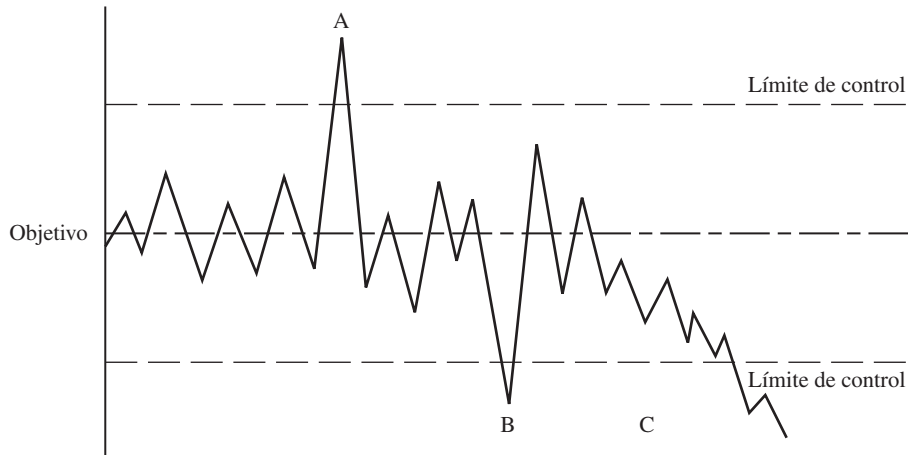


FIGURA 5.7
Gráfica de control.

Una gráfica de control es una comparación de los datos del desempeño del proceso para los “límites de control” calculados, dibujados como las líneas de los límites en la gráfica. Los datos de desempeño del proceso generalmente consisten en grupos de mediciones (“subgrupos racionales”) seleccionados en secuencia regular de producción.

Un primer uso de la gráfica de control es detectar causas asignables de variación en el proceso. El término *causas asignables* tiene un significado especial, y entenderlo es un requisito previo para comprender el concepto de gráfica de control (véase la tabla 5.5).

Las variaciones del proceso se pueden rastrear hasta llegar a dos tipos de causas: (1) arbitrarias, es decir, debidas solamente al azar, y (2) asignables, es decir, debido a causas “especiales”. Idealmente, las causas sólo arbitrarias (también llamadas “comunes”) deben estar presentes en un proceso. Un proceso que opera sin causas asignables de variación se dice que está en “un estado de control estadístico”, lo cual generalmente se abrevia “en control”.

La gráfica de control distingue entre causas arbitrarias y asignables de variación mediante su opción de límites de control. Éstas se calculan a partir de las leyes de la probabilidad de tal forma que se supone que las variaciones aleatorias altamente improbables se deben no a causas del azar, sino a causas asignables. Cuando la variación real excede los límites de control, es una señal de que las causas asignables entraron en el proceso y éste debe ser investigado. La variación dentro de los límites del control significa que sólo las causas arbitrarias están presentes.

En el capítulo 20, “Control estadístico del proceso”, se exponen las importantes ventajas del control estadístico y de la metodología de construir e interpretar gráficas de control.

La gráfica de control no sólo evalúa la significancia estadística, sino que también ofrece una advertencia temprana de los problemas que pudieran tener importancia económica.

Las causas arbitrarias generalmente son crónicas, asociadas con muchas variables menores, y por eso son difíciles de diagnosticar y arreglar; las causas asignables generalmente son esporádicas y a menudo se originan en variables únicas, facilitando el diagnóstico. Un problema que existe cuando sólo están presentes las causas arbitrarias requiere un análisis básico usando conceptos de mejora de calidad (véase capítulo 3, “Mejoramiento de la calidad y reducción de costos”) o conceptos de planeación de calidad (véase capítulo 4, “Planeación operacional de la calidad e ingresos

TABLA 5.5
Distinción entre causas arbitrarias y asignables de variación

Causas arbitrarias (comunes)	Causas asignables (especiales)
Descripción	
Consiste en muchas causas individuales.	Consiste en sólo una o unas pocas causas individuales.
Cualquier causa arbitraria resulta en una insignificante cantidad de variación (pero muchas causas arbitrarias actúan juntas para producir un total considerable).	Cualquier causa asignable puede resultar en una gran cantidad de variaciones.
Los ejemplos son la variación humana a la hora de fijar los cuadrantes de control; ligera vibración en las máquinas; ligera variación en la materia prima.	Los ejemplos son un error grave del operador, un montaje defectuoso o un lote de materias primas defectuosas.
Interpretación	
La variación arbitraria no puede eliminarse económicamente de un proceso.	La variación asignable puede ser detectada; la acción para eliminar las causas por lo general se justifica económicamente.
Una observación dentro de los límites de control de la variación arbitraria significa que el proceso no debe ajustarse.	Una observación más allá de los límites de control significa que el proceso debe ser investigado y corregido.
Con sólo la variación arbitraria, el proceso es lo suficientemente estable como para usar procedimientos de muestreo para predecir la calidad de la producción total o hacer estudios de optimización de procesos.	Con la variación asignable presente, el proceso no es lo suficientemente estable como para usar procedimientos de muestreo para pronóstico.

por ventas”). Por ejemplo, un proceso puede estar en control estadístico pero no tener la capacidad inherente del proceso (es decir, variación pequeña) para cumplir una especificación del cliente. Se necesita un estudio para mejorar la capacidad del proceso. Si existe un problema cuando están presentes las causas asignables, entonces son adecuados los conceptos de control de calidad de esta sección. Por ejemplo, un aumento repentino en los errores de procesar las reclamaciones del seguro puede ser rastreado hasta una persona inexperta. Se elaboran estas ideas en el capítulo 20 bajo el rubro “Ventajas de disminuir la variabilidad del proceso” y en el capítulo 15 bajo los rubros “Cumplimiento con la especificación” y “Aptitud para el uso”.

Significancia económica

Herramientas como la gráfica de control estadístico sirven para muchos propósitos, por ejemplo, documentan el desempeño del proceso e identifican situaciones especiales tales como causas o tendencias asignables. Este tipo de herramienta proporciona una advertencia temprana de problemas inminentes en el producto. Pero identificar una diferencia estadísticamente significativa entre una medición y un objetivo no siempre lleva a acciones correctivas. La presencia de causas asignables indica que el proceso es inestable, pero algunas veces las causas asignables son tan numerosas que es necesario establecer prioridades para la acción basadas en la significancia económica y los parámetros relacionados. Cuando los problemas de los productos son serios o frecuentes, entonces se justifica establecer un proyecto formal de mejora de calidad o tomar otra medida.

5.9 ACTUAR EN RELACIÓN CON LA DIFERENCIA

En el último paso del circuito de retroalimentación se actúa para devolver el proceso a un estado capaz de lograr el objetivo. La acción puede ser necesaria para tres tipos de condiciones:

1. *Eliminación de las fuentes crónicas de deficiencias.* El circuito de retroalimentación no es apropiado para tratar dichos problemas crónicos. En cambio, se debe emplear el proceso de mejora de la calidad descrito en el capítulo 3 o el proceso operacional de planeación de calidad descrito en el capítulo 4.
2. *Eliminación de fuentes esporádicas de deficiencias.* El circuito de retroalimentación está bien diseñado para este propósito. En estos casos, el punto principal es determinar qué cambios causaron la diferencia esporádica. El descubrimiento de esos cambios, más la acción para restaurar el control, generalmente pueden llevarlos a cabo los supervisores de operación locales utilizando procedimientos de solución de problemas (véase abajo).
3. *Regulación continua del proceso para minimizar la variación.* Esta situación requiere enlazar cada característica del producto a una o más variables del proceso, proporcionando un medio para el ajuste conveniente de la fijación de las variables del proceso, y determinar la relación entre el cambio en la fijación de una variable del proceso y el efecto resultante en la característica del producto. Estos temas se tratan en la sección 13.3 bajo el rubro “Correlación de las variables del proceso con los resultados del producto” y en el capítulo 20, “Control estadístico del proceso”.

La sección 13.10 proporciona las pautas para las operaciones sobre cuándo actuar con la solución de problemas (control de calidad), mejora de la calidad o planeación operacional de calidad.

Solución de problemas

La *solución de problemas* (también llamada “combate de incendios”, es decir, detección de focos rojos) es el proceso de tratar los problemas esporádicos y de restablecer la calidad al nivel original. En las organizaciones que no hacen un esfuerzo formal para reducir los problemas crónicos y esporádicos, los gerentes de operación a menudo pasan el 30 por ciento de su tiempo en la solución de problemas; para los supervisores que informan a estos gerentes, el tiempo consumido excede con frecuencia el 60 por ciento. Para decirlo de manera informal, un ejecutivo comentó una vez: “Los gerentes que son buenos para apagar fuegos se pueden convertir en héroes. Creo que algunos de nuestros gerentes pueden ser los pirómanos”.

La solución de problemas es el diagnóstico y la acción de remedio aplicados a los problemas esporádicos, y se compone de tres pasos:

1. *Identificar el problema.* La identificación significa la detección exacta del problema en términos de un solo indicador del proceso, del tiempo del acontecimiento y de su efecto. Por ejemplo, el proceso de facturación en un hospital requiere un promedio de 5.2 días laborables desde que el paciente recibe el alta hasta el envío de la factura final. Para una semana, el tiempo promedio fue de 6.7 días, excediendo en una gráfica de control el límite de control superior de los 5.9 días (Juran Institute, 1995).
2. *Diagnosticar el problema.* Diagnosticar significa investigar, desarrollar y probar las teorías para la causa del problema. El análisis de las facturas de esa semana en particular reveló un grupo

específico de facturas que se retrasó. Las facturas para esa semana se clasificaron luego por departamento hospitalario, pagador, empleado que preparó la factura y unidad de enfermería que procesó el alta. Un diagrama de Pareto trazó el porcentaje de todas las facturas de más de siete días frente a la organización pagadera. Este diagrama mostró que las dos terceras partes de las facturas retrasadas fueron por servicios que iban a ser pagados por un plan particular de asistencia. Una investigación más detallada reveló que el plan acababa de hacer revisiones importantes en sus procedimientos para enviar las facturas. Estos cambios provocaron dificultades en el departamento de facturación y resultaron ser la causa primaria de las facturas retrasadas para esa semana.

3. *Tomar medidas de remedio.* El remedio requiere tomar pasos para eliminar la causa identificada en el paso 2. En este caso se actuó inmediatamente para modificar los nuevos procedimientos, cambiar cierto software e identificar un único punto de contacto con el plan de seguros hasta que el problema fuera resuelto.

Observe que las jornadas de diagnóstico y remedio para la solución de problemas son similares a las de la mejora de la calidad (véase capítulo 3, “Mejoramiento de la calidad y reducción de costos”). El enfoque para la solución de problemas es generalmente menos complejo porque el problema se localiza en un momento específico esporádico; por el contrario, los problemas crónicos están presentes durante un periodo ininterrumpido.

La solución de problemas puede hacerse de manera más efectiva al anticipar los problemas y planear de antemano para la solución. Una matriz de planeación de contingencia (véase la figura 5.8) puede ser útil a este respecto. Observe cómo la planeación intenta prevenir problemas y ofrecer medidas, en caso necesario, en un proceso de facturación. En las operaciones de manufactura, cada característica de producto (tema de control de calidad) debe vincularse con una o más variables del proceso, de tal forma que los empleados tengan un plan de contingencia para ajustar el proceso en caso necesario. Para su elaboración, véase el capítulo 14 bajo el rubro “Revisión del diseño de procesos”.

Ejemplo: departamento de facturación				
Indicador de proceso: días promedio para facturar				
Condición: promedio semanal que sobrepasa los 5.9 días				
Quién	Qué	Dónde	Cuándo	Cómo
Supervisor	Si el volumen semanal de facturas es más de 800, agregar horas a las facturas de los empleados de medio tiempo	Informe semanal de volumen	Para el lunes a las 8:30 a.m.	Informar a los encargados de facturación y al personal
	De otra manera, convocar al equipo de solución de problemas	Oficina del supervisor	Para el lunes a las 11:00 a.m.	Por teléfono
Equipo de solución de problemas (supervisor, técnico de apoyo de sistemas, planeador de altas)	Detectar y solucionar el problema	—	Comienza para el lunes a las 11:00 a.m.	Métodos estándar

FIGURA 5.8
Matriz de planeación de contingencia.

5.10 UN SISTEMA DE CONTROL DE PROCESOS QUE USA EL CONCEPTO DE SIX SIGMA

La GE Capital Mortgage Insurance Corporation ofrece un ejemplo de un sistema de control de procesos en la industria de servicios. La empresa ofrece seguros de hipotecas a prestamistas importantes de fondos hipotecarios para compradores individuales de casas. Están implicados cuatro procesos clave: financiamiento, facturación, reclamaciones y ventas. El sistema de control de procesos emplea información de los clientes y mediciones internas. Los elementos del sistema de control de procesos se ilustran en el circuito de retroalimentación de seis pasos comentados en este capítulo.

1. *Elegir los temas de control.* La figura 5.9 llama a estos temas “categorías de medición”, por ejemplo, una categoría de medición (tema de control) para el proceso de financiamiento es el tiempo de respuesta tras llegada. Un diagrama de flujo documenta el proceso y ayuda a identificar las mediciones de los procesos y las indicaciones del resultado (características del proceso y del producto).
2. *Establecer mediciones.* Se emplearon nueve unidades de medición (métricas), por ejemplo, tiempo promedio de respuesta tras llegada para el financiamiento.

Anotador de calidad 1er. trimestre de 1997

Categoría de medición	Especificaciones de los clientes	Desempeño real	σ real	Evaluación				
				Excelente ←	→ Mala			
Financiamiento								
Tiempo de respuesta tras llegada	4 horas	99.9%	4.6 σ	5	4	3	2	1
Accesibilidad	100%	99.5%	4.2 σ	5	4	3	2	1
Conocedor	Aplicación consistente de las pautas	95.5%	3.2 σ	5	4	3	2	1
Facturación								
Oportunidad	3er. a 5o. mes	99.9%	4.6 σ	5	4	3	2	1
Terminación	100%	98.9%	3.8 σ	5	4	3	2	1
Reclamaciones								
Pagos a tiempo	30 días	84%	2.5 σ	5	4	3	2	1
Tiempo de ciclo de resultado	Para las pautas 100%	95%	3.1 σ	5	4	3	2	1
Ventas								
Frecuencia de reuniones	Mensual/trimestral	100%	6+ σ	5	4	3	2	1
Conocimiento	Contestar preguntas cuando se plantean	86%	2.6 σ	5	4	3	2	1

FIGURA 5.9

Anotador de calidad. (Reproducido con permiso del ASQ.)

3. *Establecer estándares de desempeño.* Para cada métrica, los clientes proporcionan entradas para establecer una especificación numérica, por ejemplo, el tiempo de respuesta para la financiación es de cuatro horas.
4. *Medir el desempeño real.* La recopilación de datos incluye el porcentaje de transacciones que cumplen la especificación, la sigma real y una evaluación de los clientes (en una escala del 1 al 5, donde 5 es excelente). Para el tiempo de respuesta para la financiación, el desempeño real es 99.9 por ciento, lo cual está en el nivel 4.6 sigma, con una clasificación de evaluación de clientes de 5. En el nivel 4.6 sigma, la oportunidad promedio para defectos es de unos 970 defectos por millón de oportunidades; en el nivel 6.0 sigma, la oportunidad promedio es sólo de 3.4 defectos.
5. *Comparar con los estándares.* Las gráficas de control monitorean los procesos y proporcionan el vínculo entre las mediciones de alto nivel y los indicadores de proceso del nivel inferior. Estas gráficas, junto con el diagrama de flujo del proceso, se despliegan en el área de negocios. Se presenta al cliente (los prestamistas importantes) un anotador con tendencias de datos.
6. *Actuar en relación con la diferencia.* Los datos se revisan constantemente para lograr las mejoras al proceso asignadas a un nivel de 6.0 sigma para el año 2000. Se mantienen reuniones periódicas con los clientes para revisar el desempeño numérico y para identificar cualquier cambio en las necesidades de los clientes.

Para la elaboración de este sistema, véase Pautz (1998).

Los elementos del circuito de retroalimentación comentados en este capítulo son universales. Los conceptos aplican no sólo a las industrias de manufactura y servicios, sino también a las actividades ejecutivas y operacionales dentro de todas las industrias.

RESUMEN

- Control es el proceso que se emplea para cumplir con los estándares.
- El control implica una secuencia universal de pasos: elegir el tema de control; escoger una unidad de medición; fijar un objetivo; crear un sensor; medir el desempeño; interpretar la diferencia entre el desempeño real y el objetivo, y actuar en relación con la diferencia. La medición es una fuente silenciosa de acción.
- El autocontrol implica tres elementos: las personas deben saber lo que se supone que tienen que hacer, conocer su desempeño y tener los medios para regular su desempeño.
- La solución de problemas es el diagnóstico y la acción de remedio aplicados a problemas esporádicos.

PROBLEMAS

- 5.1. Seleccione una tarea específica que usted haya realizado regularmente para una organización. Evalúe el grado al cual esta tarea satisface los tres criterios del autocontrol.
- 5.2. Entreviste a alguien que desempeñe regularmente una tarea específica para una organización. Explíquele los tres criterios de autocontrol y documente el grado al cual esta tarea satisface los criterios, como los ve la persona que desempeña la tarea.

- 5.3. Imagínese en el papel de un cliente de cualquier producto, bien o servicio. Identifique por lo menos cuatro temas de control de calidad que sean importantes para usted como cliente y que el proveedor debe medir. Para cada tema de control de calidad, proponga una unidad de medición.
- 5.4. Imagínese en el papel de un alto directivo de cualquier organización que produzca bienes o servicios. Identifique por lo menos cuatro temas de control de calidad que sean importantes para el desempeño organizacional interno que la organización debe medir. Para cada tema de control de calidad, proponga una unidad de medida.
- 5.5. Seleccione un proceso consistente en una serie de tareas dentro de una organización. Identifique la localización y los datos que son recopilados en los temas de control relacionados con la calidad en todo el proceso.
- 5.6. Entreviste a alguien que regularmente desempeñe una tarea de fabricación que incluya tomar mediciones periódicas de la característica de un producto o proceso y compare el resultado con una especificación. Determine cómo toma las siguientes decisiones esa persona:
 - a) ¿Qué tanta desviación de una medida se permite con respecto a una especificación, antes de que dicha persona tome medidas para ajustar el proceso?
 - b) Si se necesita el ajuste del proceso, ¿qué *cantidad* de ajuste se hace?
- 5.7. Usted está diseñando controles de procesos para la sustitución de tarjetas de crédito perdidas o robadas. Los clientes están preocupados por la responsabilidad de los cargos y las reposiciones de tarjetas. Identifique dos temas potenciales de control que ayuden a administrar el proceso mientras se cumplen las necesidades de los clientes. Luego defina una unidad de medición y un sensor para cada tema de control.
- 5.8. Una cadena principal de hoteles es la sede de muchas conferencias de negocios. Una necesidad clave de los clientes es tener salas de juntas cómodas que posean iluminación adecuada, control de temperatura y equipo de ayuda visual. Identifique dos temas de control, una unidad de medición y un sensor para cada tema.

REFERENCIAS

- Deavis III, W. (2000). "Using Corrective Action to Make Matters Worse", *Quality Progress*, 33(10):56-61.
- Early, J. F. (1989). "Strategies for Measuring Service Quality", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 2-9.
- Emory, C. W. y D. R. Cooper (1991). *Business Research Methods*, Irwin, Homewood, IL.
- Endres, A. C. (2000). *Implementing Juran's Roadmap for Quality Leadership*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Gitlow, H., A. Oppenheim y R. Oppenheim (1995). *Quality Management-Tools and Methods for Improvement*, Irwin, Burr Ridge, IL.
- Imai, M. (1986). *Kaizen*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Juran Institute, Inc. (1995). *Work Team Excellence*, Wilton, CT.
- Kondo, Y. y N. Kano (1999). "Quality in Japan", *JQH5*, sección 41.
- McCaffery, M. (2002). "Choosing a Faces Pain Scale" *Nursing*, 32(5):68.
- Pautz, S. J. (1998). "Using Dashboards and Scorecards in a Service Industry", *ASQ Annual Quality Congress Proceedings*, Milwaukee, pp. 324-330.
- Schonberger, R. J. (1999). "Economy of Control", *Quality Management Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 10-18.

- Wong, D. y C. Baker (1988). "Pain in Children: Comparison of Assessment Scales", *Pediatric Nursing*, 14(1):9-17.
- Zairi, M. (1994). *Measuring Performance for Business Results*, Chapman & Hall, Londres.

LECURAS COMPLEMENTARIAS

- Medición: Sink, D. S. (1991). "The Role of Measurement in Achieving World Class Quality and Productivity Management", *Industrial Engineering*, junio, pp. 23-29.
- Medición del desempeño: Zairi, M. (1994). *Measuring Performance for Business Results*, Chapman & Hall, Londres.
- Proceso de control de calidad: *JQH5*, sección 4.
- Producción: Harry, M. y R. Schroeder (2000). *Six Sigma*, Doubleday, Nueva York, pp. 83-91.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Deavis III, W. (2000). "Using Corrective Action to Make Matters Worse", <i>Quality Progress</i> , 33(10):56-61.	Discusión sobre sabotajes.
Lawton, R. (2002). "Align Strategy and Measures with Customer Priorities", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 411-420.	Ejemplos de cómo los planes estratégicos pueden fallar (tres ejemplos de caso).
McCaffery, M. (2002). "Choosing a Faces Pain Scale", <i>Nursing</i> , 32(5):68.	Descripción y comparación de la escala ROSTROS de calificación de dolor de Wong-Baker y una nueva escala de rostros de dolor revisada por Hick y colaboradores. Estas escalas son usadas para evaluar el dolor de los niños.
Morgan, M. W. (2000). "Customer Focused Scorecards: Measuring the Right Things", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 735-742.	Mediciones enfocadas al cliente aplicadas por un proveedor de servicios de aplicaciones.

SITIO WEB

Medidas de desempeño: www.zigonperf.com

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

6.1 ADMINISTRACIÓN FUNCIONAL VS. ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

En el futuro, la estructura y los conceptos tradicionales de las organizaciones podrán ver un cambio notable (es más, extraordinario). Históricamente, la mayoría de las empresas se han organizado en torno a departamentos funcionales, por ejemplo, ingeniería de diseño, manufactura (operaciones), mercadotecnia, servicio y apoyo (véanse las columnas de la figura 6.1). La dirección de la administración, los objetivos y la revisión llegan desde arriba y descienden a lo largo de una jerarquía vertical. Los departamentos funcionales (“silos”) se enfocan en lograr sus objetivos funcionales (departamentales). De esta manera, el objetivo de una función de desarrollo es desplegar una serie de productos nuevos y el de una función de ventas estaría en términos de cuotas de ventas. La administración de cada función enfatiza las prioridades que ayudarán a cumplir los objetivos funcionales. Sin embargo, un examen de los objetivos totales de la empresa revela que el éxito depende de ciertos resultados críticos, que son la consecuencia de procesos interdisciplinarios (véanse las filas de la figura 6.1). El énfasis tradicional en los objetivos funcionales puede ser un serio obstáculo para lograr los objetivos de negocios de la empresa que requieren procesos interdisciplinarios.

Un *proceso* es un conjunto de actividades que convierte las entradas en salidas o resultados. De esta manera, un proceso puede ser, simplemente, varios pasos en un área de manufactura o servicios. Pero la experiencia sugiere que lograr los objetivos de negocio depende en su mayor parte de grandes y complejos procesos que cruzan departamentos funcionales. Ejemplos de dichos procesos interdisciplinarios son: facturación, desarrollo de producto y distribución. Otros más son: procuración de materiales, asistencia hospitalaria a los pacientes y servicio de reclamaciones de seguros.

Se define un *proceso primario* como un conjunto de actividades interdisciplinarias que son esenciales para la satisfacción de los clientes externos y para lograr la misión de la organización. Estas actividades integran a las personas, los materiales, la energía, el equipo y la información.

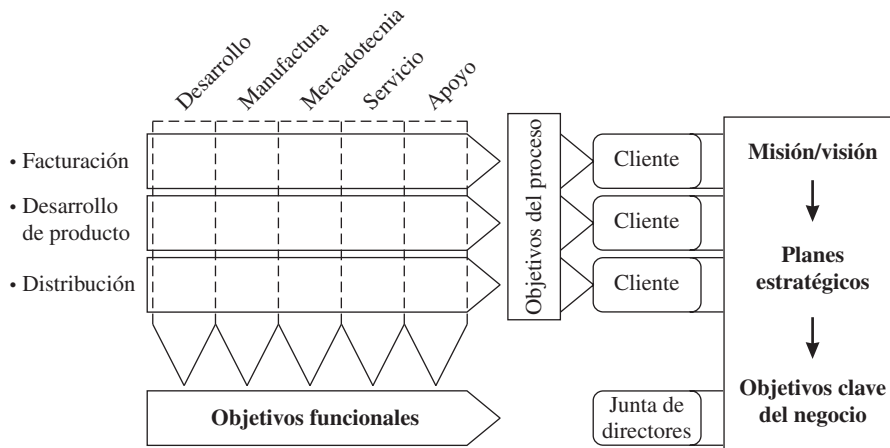


FIGURA 6.1

Flujo de trabajo en una organización funcional. (Del Juran Institute, Inc.)

Los productos y servicios que se brindan a los clientes externos se producen en su mayor parte mediante procesos interdisciplinarios primarios. Los gerentes de los departamentos funcionales son responsables de las partes funcionales del proceso, pero nadie es responsable de la totalidad del mismo. A menudo los problemas surgen porque estos gerentes se enfocan en cumplir los objetivos funcionales en lugar de los objetivos del proceso. Los problemas se presentan con frecuencia en las interfases funcionales entre los departamentos (el “espacio blanco”); véase Rummler y Brache (1995) en las Lecturas complementarias.

Las mayores oportunidades para la mejora existen en el nivel interdisciplinario de los procesos, el cual nos lleva al concepto de administración de procesos.

6.2

ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

En este libro, la administración de procesos es un enfoque para planear, controlar y mejorar los procesos primarios de una organización mediante la colaboración de equipos permanentes de procesos. Las características distintivas de la administración de procesos son:

- Énfasis en las necesidades de los clientes en lugar de en las necesidades funcionales.
- Enfoque en unos cuantos procesos interdisciplinarios clave.
- Dueños de procesos responsables de todos los aspectos del proceso.
- Equipos permanentes de procesos interdisciplinarios responsables de operar el proceso (permanentes durante la vida del proceso).
- Aplicación al nivel del proceso de la trilogía de los procesos de calidad: planeación, control y mejora de calidad (véanse los capítulos 3, 4 y 5).

Hildreth (1993) describe un ejemplo de procesos clave dentro de una organización de investigación y desarrollo. En Lederle-Praxis Biological, una división de American Cyanamid, se identificaron seis procesos principales: investigación del prototipo del descubrimiento, investigación del candidato a desarrollar, buenas prácticas de manufactura (GMP, por sus siglas en inglés) en la producción de vacunas, investigación clínica, transferencia de productos a manufactura y normativa de investigación y desarrollo (I&D). Un dueño del proceso, asignado a cada uno de éstos, es responsable de mejorar la satisfacción de los clientes, aumentar la eficiencia, disminuir el tiempo promedio de I&D de productos y mejorar la conciencia y el reconocimiento externo a la excelencia científica/técnica.

La administración de procesos reemplaza a la organización jerárquica vertical con una visión horizontal de una organización. (Véase la sección final de este capítulo para una discusión sobre el impacto en los departamentos funcionales que todavía existen bajo la administración de procesos.) Bajo la administración de procesos, las funciones tienen amplias interacciones entre sí, lo cual lleva a un entendimiento saludable de las interdependencias entre las funciones, es decir, a un “punto de vista de sistemas”.

Uno de los primeros títulos de este enfoque fue el de administración de la calidad en los procesos de negocios. Otros nombres incluyen: administración de la calidad en los procesos y administración de procesos de negocios. Parte de la evolución incluye un énfasis tanto en la efectividad como en la eficiencia del desempeño (véase abajo), en lugar de en una conformidad más ceñida a los requerimientos de calidad.

La administración de procesos está exigiendo mucha atención y más uso (en contraste con la administración funcional), pero todo lo que se describe aquí es todavía una forma minoritaria (quizás el 30%) de administración.

En la figura 6.2 se muestra una hoja de ruta para la administración de procesos. La administración de procesos comienza cuando la dirección superior selecciona los procesos clave; designa a los dueños y equipos de los procesos, y proporciona los enunciados y objetivos de la misión de los procesos. A continuación se considera, entonces, la selección de procesos.

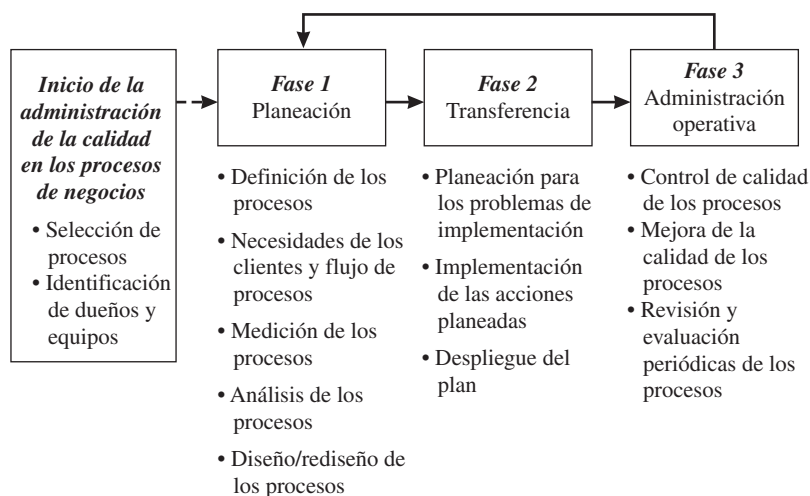


FIGURA 6.2

Hoja de ruta de la administración de procesos. (Del Juran Institute, Inc.)

6.3 SELECCIÓN DE PROCESOS

Las organizaciones tienen muchos procesos interdisciplinarios importantes. De ellos, la dirección superior debe seleccionar unos cuantos procesos primarios para el enfoque de la administración de procesos. Los procesos seleccionados deben, por supuesto, estar alineados con la misión de la organización, así como con sus planes estratégicos y con los objetivos clave del negocio (véase la figura 6.1).

La selección de los procesos se basa en los factores críticos para el éxito de la organización, es decir, los pocos eventos que deben ocurrir para que aquélla tenga éxito. Ejemplos de factores críticos para el éxito son: la reducción de los tiempos de desarrollo de productos, el aumento de la percepción de valor y mayores rendimientos. Luego, los procesos candidatos se pueden clasificar mediante la evaluación de su importancia en relación con los factores críticos y su desempeño actual. Este paso se ilustra en la figura 6.3. La relevancia de cada factor se introduce en el cuerpo de la matriz (por ejemplo, 5 es alta relevancia del proceso en el factor crítico para el éxito, 3 es moderada y 1 baja). El *recuento* es simplemente el total de las clasificaciones de relevancia. El *desempeño actual* de un proceso es una clasificación de cómo se está desarrollando el proceso en el momento actual (por ejemplo, 1 es buen desempeño, 3 es bueno y 5 malo). Entonces, el recuento de la relevancia se multiplica por la clasificación actual del desempeño con el fin de obtener una puntuación total para el proceso candidato. Los procesos con el total más alto probablemente serían las selecciones para el enfoque formal de la administración de procesos. Hardaker y Ward (1987) ofrecen un artículo clásico que describe el uso de los factores críticos para el éxito en la selección de procesos. *JQH5*, sección 6, describe otros enfoques de selección de procesos para su administración.

Cuando se selecciona un proceso, el consejo de calidad de la dirección superior debe preparar una declaración de la misión y los objetivos del mismo. Para el proceso de cuentas por pagar, la declaración podría ser algo así:

Procesos clave de negocios	Factores críticos para el éxito (CSF, por sus siglas en inglés)						Conteo	Desempeño actual	Total
	Calidad del producto 1	Calidad del proveedor 2	Empleados con habilidades y <i>empowerment</i> 3	Satisfacción de los clientes 4	Costo mínimo de la mala calidad 5	Costo mínimo entregado 6			
A									
B									
C									
D									
E									
...									

FIGURA 6.3
Factores críticos para el éxito.

Misión del proceso

La misión del proceso de cuentas por pagar es abonar a los proveedores a tiempo y sin errores.

Objetivos del proceso

El dueño y el equipo de administración del proceso serán responsables de aumentar la exactitud de los pagos en 50 por ciento y reducir el costo total del proceso en 25 por ciento en dos años.

Esta declaración se debe presentar al equipo para su revisión y para ofrecerle una guía.

6.4**ORGANIZACIÓN DEL EQUIPO DEL PROCESO**

Después de seleccionar los procesos, el consejo de calidad (véase la sección 7.3) designa a un dueño del proceso como responsable de todos los aspectos del desempeño del mismo. Específicamente de:

- Ser responsable de hacer que el proceso sea efectivo, eficiente y adaptable (véase abajo).
- Programar, establecer agendas y dirigir las reuniones del equipo.
- Establecer las relaciones cooperativas de trabajo entre todas las funciones que contribuyan con el proceso.
- Guiar al equipo del proceso al momento de analizar el proceso actual y de lograr la mejora.
- Fijar asignaciones a los miembros del equipo.
- Resolver o transmitir los asuntos que pueden dificultar la mejora.
- Asegurarse de que los miembros del equipo reciban capacitación en administración de procesos.
- Dirigir la implementación de los cambios del proceso.
- Programar las revisiones al proceso.
- Informar de los progresos del equipo al consejo de calidad.

En los procesos críticos interdisciplinarios la carga es mucha, porque el dueño no tiene responsabilidad de línea ni autoridad para todas las actividades que componen el proceso. Pero el dueño es responsable ante la dirección superior del desempeño total del proceso. En la práctica, el dueño se enfoca en establecer relaciones de trabajo en el equipo del proceso; instalar conceptos de calidad; resolver o transmitir los asuntos interdisciplinarios, y fomentar el progreso continuo. El dueño típico proviene de un nivel alto de la dirección y, con frecuencia, es el gerente con la mayor cantidad de recursos del proceso o el más afectado cuando ocurren los problemas. Por ejemplo, el gerente de compras es una buena elección para el proceso de compras.

Algunos procesos tienen un “dueño ejecutivo” que sirve como campeón y un “dueño trabajador” responsable de las actividades de la rutina diaria. Esta estructura ofrece la participación y apoyo de la dirección superior y la administración continua de los detalles del proceso. El dueño del proceso (con éste o dos escalones jerárquicos) tiene un puesto permanente.

El equipo del proceso incluye un gerente o supervisor de cada función principal de las actividades de trabajo en el proceso. A diferencia de los equipos *ad hoc*, descritos en el capítulo 3, que resuelven problemas específicos de mejora de calidad, el equipo de procesos es permanente. Por

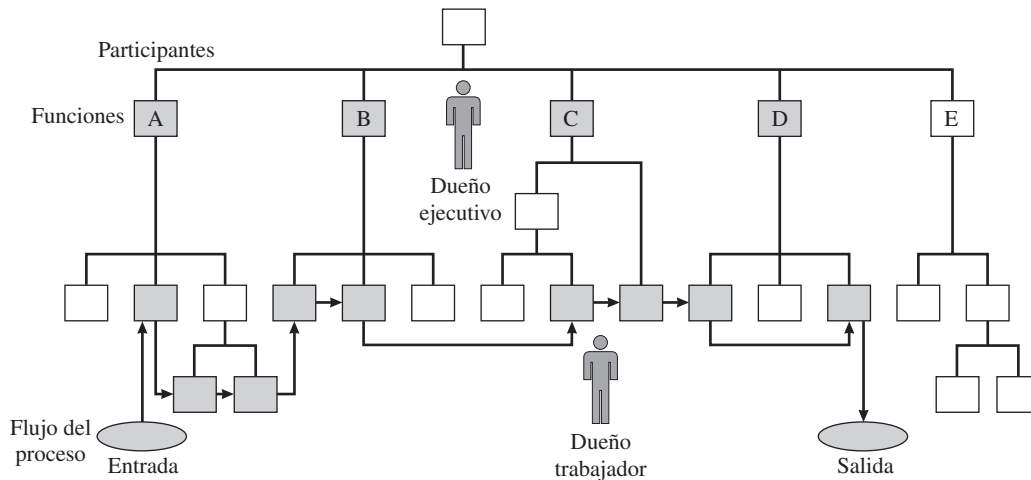


FIGURA 6.4

Infraestructura de la organización para la administración de procesos en organizaciones multifuncionales. (*Del Juran Institute, Inc.*)

lo general, el equipo tiene un máximo de ocho miembros y un facilitador (véase capítulo 7, bajo el rubro “Equipos de calidad de proyectos”).

La figura 6.4 muestra una organización multifuncional y uno de sus procesos principales. Las partes sombreadas muestran al dueño ejecutivo, al dueño trabajador, al equipo de administración del proceso y a los gerentes funcionales que tienen actividades de trabajo.

6.5

EJEMPLO DE ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

Un ejemplo de administración de procesos nos lo proporciona un proceso que implica preparar cotizaciones de precios y programas de entrega para pedidos grandes, que van más allá de las cantidades descritas en las clasificaciones de descuentos estándar a los precios (Juran Institute, Inc., 1990). El proceso, llamado “de administración de contrato”, requería una revisión de los pedidos de ventas, un análisis y la preparación de la cotización final. Se seleccionó un dueño y se le asignó un equipo. El proceso usado anteriormente, uno manual, se representa en la figura 6.5. Observe que la requisición de cotización por parte del cliente se recibía en una sucursal, recorría diversas oficinas en diferentes lugares y requería de 28 aprobaciones consecutivas antes de que se diera una decisión a la sucursal, la cual notificaba al cliente. Por lo general, este último esperaba 14 semanas para una cotización, y sólo el 20 por ciento de éstas acababan en pedidos firmes de compra.

El análisis del proceso reveló que mucho del retraso se debía a la no conformidad con los requerimientos de los clientes *internos* sobre el formato y contenido de la propuesta para el cliente *externo*. Un proceso electrónico rediseñado eliminó muchas de las razones para el retraso interno. También se crearon procedimientos separados para manejar los “pocos vitales” y los “muchos útiles”

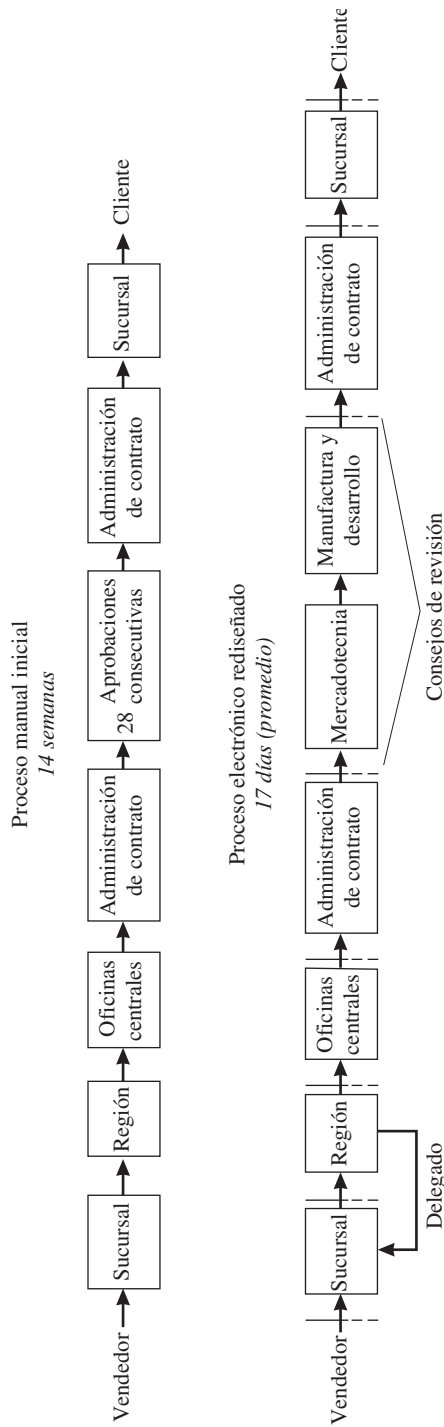


FIGURA 6.5
Proceso de administración de contrato. (Del Juran Institute, Inc., 1990.)

requerimientos de los clientes, con autoridad delegada a las oficinas regionales para que tomaran las decisiones finales sobre los muchos útiles. Finalmente, se establecieron dos consejos de revisión para romper el cuello de botella de las 28 revisiones consecutivas. El tiempo de ciclo requerido para responder al cliente se redujo a un promedio de 17 días (mejoras posteriores lograron mayores ahorros). Este tiempo de respuesta reducido fue decisivo a la hora de aumentar el rendimiento de los pedidos firmes de ventas desde un 20 por ciento hasta un sólido 60 por ciento.

Para la elaboración de este ejemplo, véase *JQH5*, sección 6.

6.6

LA FASE DE PLANEACIÓN DE LA ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS

La fase de planeación se compone de cinco pasos: (1) definir el proceso actual; (2) descubrir las necesidades de los clientes y el diagrama de flujo del proceso; (3) establecer las mediciones del proceso; (4) analizar la información del proceso, y (5) diseñar (o rediseñar) el proceso. Observe la similitud de la fase de planeación con el enfoque de six sigma, y la trilogía de planeación, control y mejora de la calidad.

Definir el proceso actual

Este paso de la definición del proceso establece la misión, los objetivos, el alcance y los subprocesos principales del proceso actual (o “como es”).

Para empezar, el equipo del proceso revisa detalladamente los enunciados de la misión y de los objetivos que el consejo de calidad les proporciona, junto con otra información, como las fortalezas y debilidades, y la historia del desempeño del proceso. Un ejemplo de un enunciado de misión y objetivos se dio anteriormente para el proceso de cuentas por pagar.

Los subprocesos importantes se describen en un diagrama de flujo de alto nivel o de macro-flujo, como en la figura 6.5. Se proporciona otro ejemplo en la figura 6.6 para el proceso de facturación y cobro en la organización de seguros AAL (Hooyman y Harshbarger, 1994). Este paso en la definición del proceso debería “vincular” este último en términos de dónde comienza, qué actividades incluye (y excluye) y dónde termina.

Descubrir las necesidades de los clientes y trazar el diagrama de flujo para del proceso

En este paso, el equipo identifica a los clientes (es decir, todas las partes internas y externas que se ven afectadas por el proceso), determina sus necesidades y las clasifica por prioridades. Los pormenores de este proceso se describen en el capítulo 4, “Planeación operacional de la calidad e ingresos por ventas”, y en el capítulo 10, “Entender las necesidades del cliente”.

Se preparó un diagrama de flujo más detallado (un “mapa del proceso”) que muestra las actividades principales; los clientes y los proveedores clave, y sus papeles en el proceso. Este diagrama de flujo crea un entendimiento entre el dueño del proceso y los miembros del equipo acerca de cómo funciona aquél. El uso del diagrama de flujo para obtener este entendimiento es importante porque, por lo general, las discusiones iniciales revelan desacuerdos sobre cómo funciona realmente el proceso. Crear el diagrama de flujo aclara (a menudo después de mucha discusión) cómo fun-

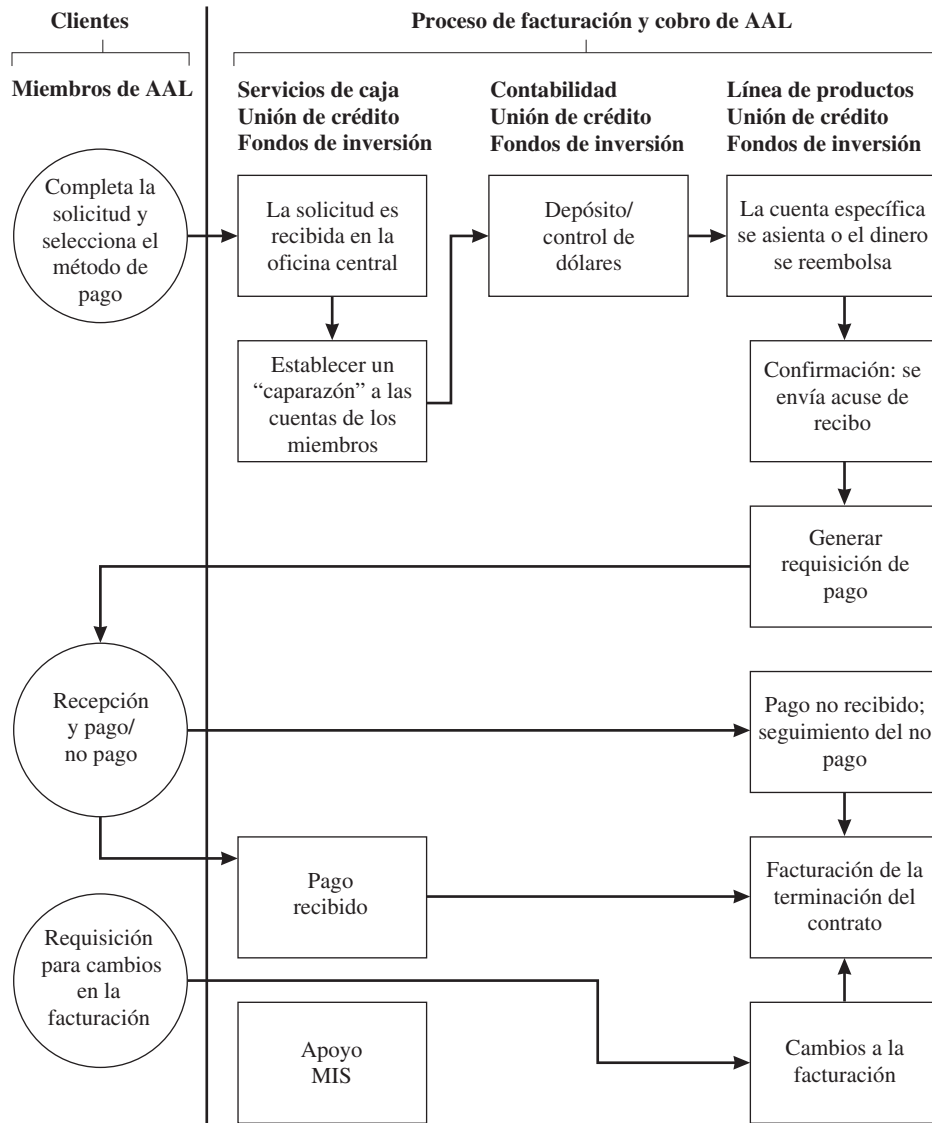


FIGURA 6.6

Diagrama de flujo de proceso en macroniveles para el proceso de facturación y cobro.

ciona el proceso. Es útil programar una sesión de trabajo de varias horas en la cual el equipo discuta el proceso y prepare el diagrama de flujo. Un facilitador describe cómo procederá dicha sesión de trabajo, pide entradas en la secuencia de actividades y usa mecanismos como notas adhesivas para crear físicamente el diagrama de flujo sobre un gran tablero preparado para ese propósito. El resultado es un punto de inicio para el análisis y la mejora. En la figura 6.7 se da un ejemplo de dicho diagrama de flujo (el concepto de medición, M, se explica después).

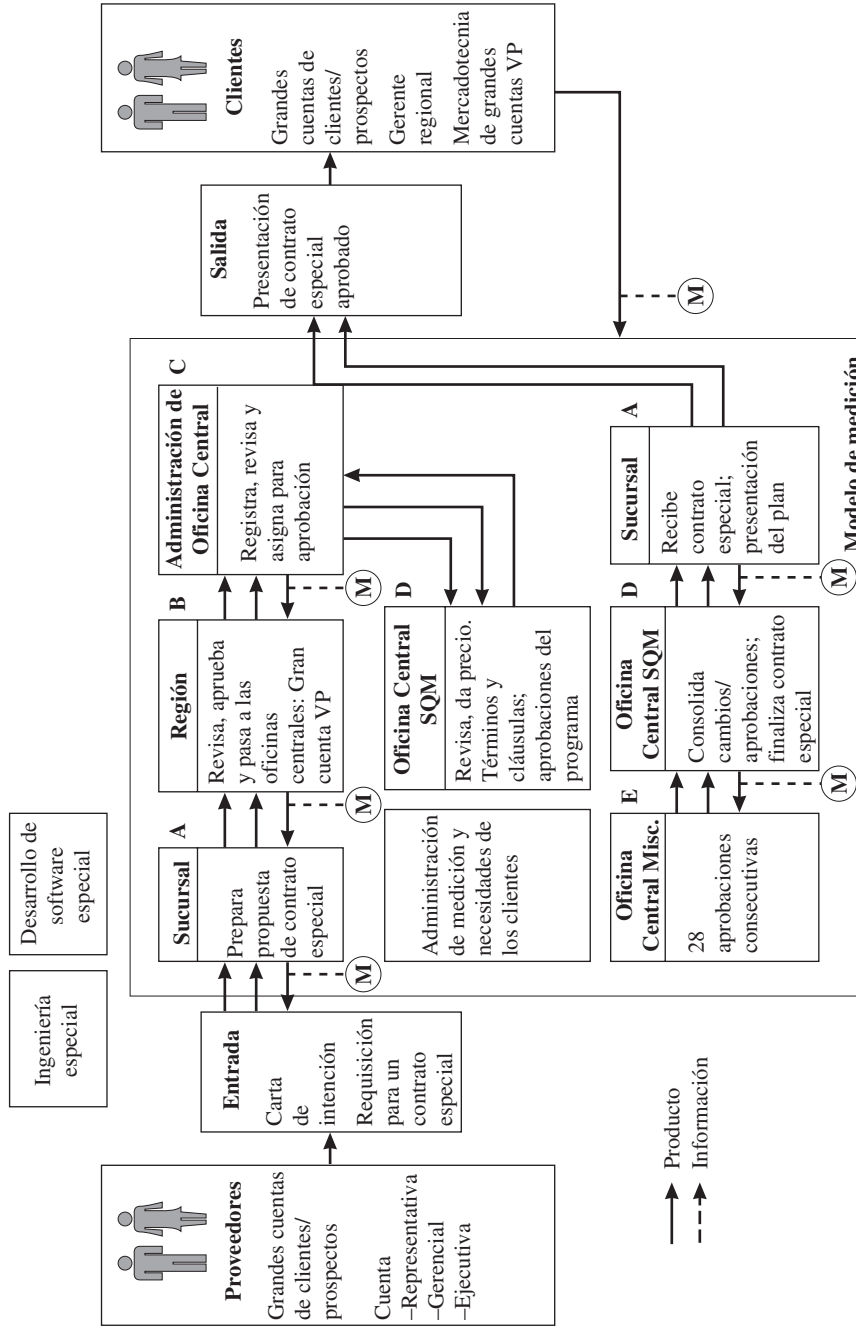


FIGURA 6.7
Diagrama de flujo del proceso de administración de contrato especial, incluyendo puntos de medición de control del proceso (M). (Del Juran Institute, Inc.)

Van Aken y Hacker (1997) describen en siete pasos cómo se llevan a cabo la sesión de trabajo y el seguimiento. Después de crear a mano un diagrama de flujo inicial, se debe usar software (como Vision® u Optima!®) para generar el diagrama de flujo.

Establecer mediciones de procesos

En un principio, las mediciones de un proceso son necesarias para describir qué tan bien está funcionando éste y establecer la etapa para el análisis y mejora del proceso. Más tarde, las mediciones se emplean para ayudar a controlar su desempeño y determinar periódicamente su capacidad.

Al momento de decidir qué mediciones de un proceso recopilar, el énfasis debe estar en el enunciado de su misión, sus objetivos y las necesidades de los clientes (todo ello ya tratado previamente). En el esquema mostrado en la figura 6.8, la efectividad se enfoca en cumplir las necesidades de los clientes, la eficiencia se refiere a satisfacer dichas necesidades al menor costo posible y la adaptabilidad refleja la capacidad del proceso de reaccionar positivamente cuando las condiciones externas o las suyas cambien. Aunque la efectividad y la eficiencia pueden estimarse fácilmente, cuantificar la adaptabilidad es más difícil. Snee (1993) comenta métodos para hacer que los procesos sean adaptables a las condiciones cambiantes. Los pasos básicos para cuantificar los parámetros se tratan en el capítulo 5, “Control de calidad”. Observe, en la figura 6.7, cómo se indican los puntos de control de medición en el diagrama de flujo.

Las mediciones del proceso deben vincularse a los indicadores tradicionales de negocios. Se muestran algunos ejemplos en la figura 6.9.

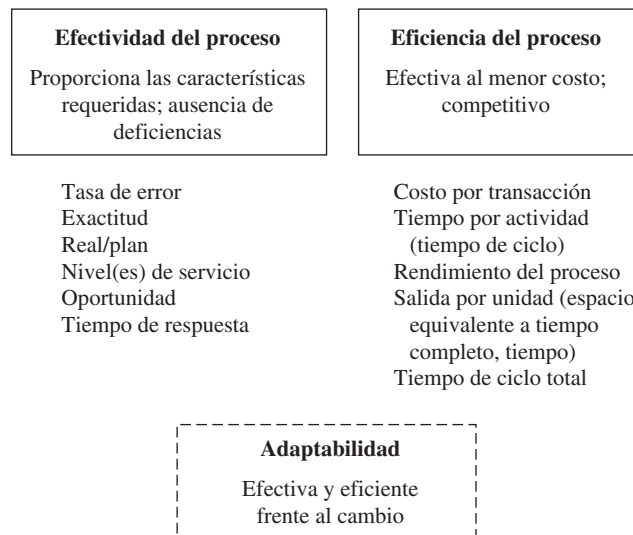


FIGURA 6.8
Mediciones del proceso de negocios.

Visión tradicional de negocios		Visión de proceso	
Objetivo del negocio	Indicador de negocios	Proceso clave	Medida del proceso
Ingresos más altos	Porcentaje logrado de cuotas de ventas	Administración de contrato	Tasa de contratos cerrados
	Porcentaje logrado de planes de ingresos	Desarrollo de producto	Desarrollo de tiempo de ciclo
	Valor de pedidos cancelados después del envío	Administración de cuentas	Administración del trabajo atrasado y oportunidad de garantía del sistema
	Días por pagar pendientes		Índice de calidad de facturación
Menores costos	Rotación de inventario	Manufactura	Tiempo de ciclo de manufactura

FIGURA 6.9

Vínculos entre objetivos de negocios, indicadores tradicionales de negocios y mediciones de procesos generados por el enfoque de administración de procesos; unos cuantos ejemplos. (*Del Juran Institute, Inc.*)

Analizar la información del proceso

En este paso, se evalúan los datos del desempeño del proceso, se identifican oportunidades para la mejora y se determinan las causas de sus problemas. El enfoque y las herramientas específicas se describen en el capítulo 3, “Mejoramiento de la calidad y reducción de costos”, en el capítulo 4, “Planeación operacional de la calidad e ingresos por ventas”, y en el capítulo 5, “Control de calidad”, pero con especial énfasis en el proceso total y en los subprocesos.

Los datos del desempeño se evalúan por la efectividad y la eficiencia del proceso (véase página anterior), y los problemas se identifican usando análisis de Pareto, diagramas de flujo y otros medios comentados en el capítulo 3 bajo el rubro “Identificar proyectos potenciales”.

Los diagramas de flujo de alto nivel y los detallados son herramientas clave en este punto. Por ejemplo, un equipo de una empresa de servicios de telecomunicaciones requirió de cuatro horas para construir un diagrama de flujo de alto nivel para un nuevo servicio suministrado a clientes corporativos. El tiempo consumido fue un caso clásico donde cada miembro tenía un punto de vista diferente de cómo operaba el proceso. La discusión y el diagrama de alto nivel resultantes expusieron vínculos perdidos, cuellos de botella, pasos innecesarios y repeticiones en el proceso. Por primera vez, todos los miembros del equipo tuvieron un entendimiento común del proceso.

El equipo entonces dividió el diagrama de alto nivel en cuatro segmentos y construyó diagramas de flujo detallados para cada uno. Una parte de los diagramas detallados se muestra en la figura 6.10. El examen de los cuatro diagramas de flujo por separado reveló 30 circuitos de trabajos de reelaboración (y el análisis de Pareto mostró que 6 de los 30 circuitos suponían el 82 por ciento del tiempo total de tal clase de trabajo). En la figura 6.10, dos de los circuitos de trabajos de reelaboración (26 y 27) se identifican con un triángulo.

Los diagramas de flujo a menudo usan cuatro símbolos para los eventos: un diamante para un evento de toma de decisiones, un cuadrado pequeño para una actividad, un grupo de cuadrados consecutivos para un circuito de trabajo de reelaboración y el símbolo de un papel para un documento

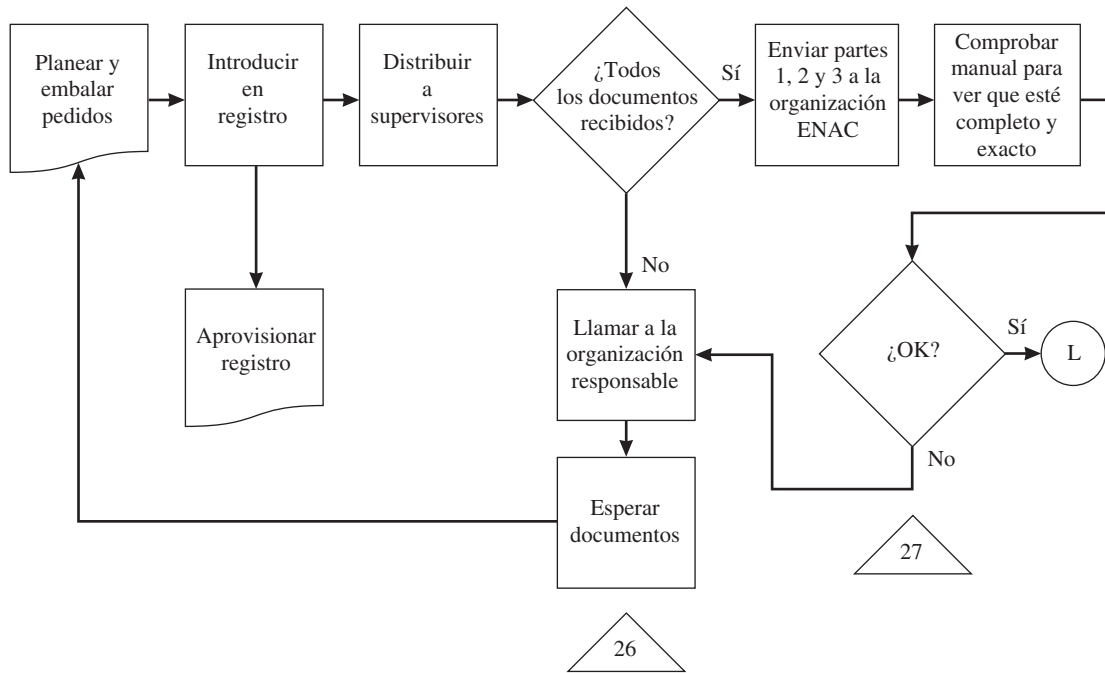


FIGURA 6.10

Diagrama de flujo con circuitos de trabajos de reelaboración (identificados con triángulos).
(Del Juran Institute, Inc., 1989.)

o base de datos. La figura 6.11 ofrece una lista de verificación de preguntas para cada uno de esos símbolos, con el fin de ayudar a descubrir las oportunidades para la mejora. La construcción y el análisis de diagramas de flujo, junto con otras técnicas sencillas y complejas de análisis de procesos, fueron originados y mejorados por la profesión de ingeniería industrial. Una referencia útil es Salvendy (1992).

Un ejemplo de una técnica poderosa (pero más compleja) es la simulación por computadora de un proceso. En ella se desarrolla un modelo computacional basado en la secuencia lógica de las actividades del proceso, junto con la información de las actividades. El modelo de cómputo genera luego resultados simulados de los procesos. El tiempo tomado en desarrollar dicho modelo es una inversión para ayudar a revelar cuellos de botella, actividades de proceso subutilizadas y causas clave de problemas, así como para entender el proceso. Más tarde, el modelo también puede ayudar a evaluar las soluciones potenciales de los problemas. Batson y Williams (1998) describen siete casos, en las industrias manufactureras y de servicios, del uso de la simulación en la mejora de los procesos.

Una excelente fuente de ideas para diseñar o rediseñar un proceso es investigar otras organizaciones con procesos similares. Algunos procesos son comunes en muchos tipos de industrias de manufactura y servicios (por ejemplo, el proceso de contratación), y la experiencia de otras organizaciones puede aportar ideas que ya han sido probadas en la práctica. Este enfoque es realmente una aplicación de marcaje (véase el capítulo 8 bajo el rubro “Marcaje competitivo” y Camp, 1995).

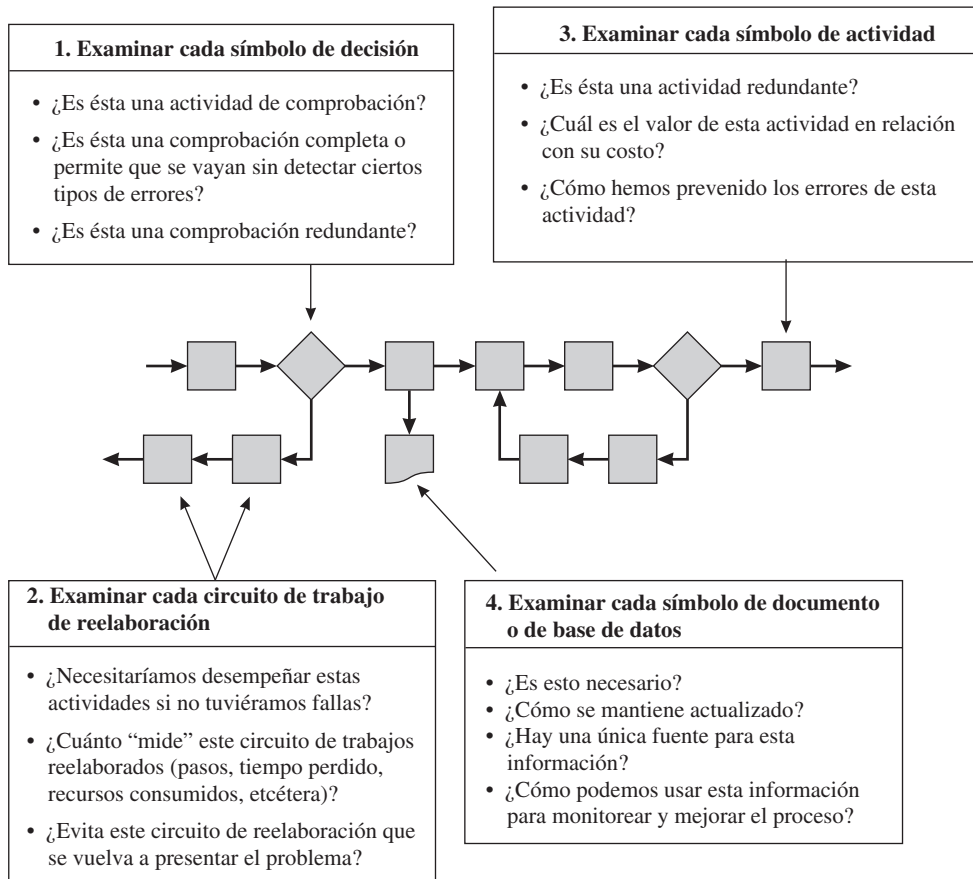


FIGURA 6.11

Analizar un diagrama de flujo. (Del Juran Institute, Inc., 1989.)

Si es posible obtener una copia de los diagramas de flujo de los procesos de otra organización, será mucho mejor.

Dow Corning usa ahora software para administrar su conocimiento de los procesos. Este software crea mapas interconectados de los procesos clave, que son almacenados en la *intranet* (red interna) de la empresa. El “depósito de procesos” organiza la información por tipos y partes de los mismos. El Instituto Tecnológico de Massachusetts le está autorizando a las empresas emplear el depósito y software de procesos. Un depósito general de procesos se colocará en la Internet, permitiendo a los gerentes el acceso a una riqueza de conocimientos sobre el diseño de procesos (Carr, 1999).

Al final de la fase de análisis, cuando se entiende claramente el proceso actual, se han identificado los problemas reales y sus causas, y se tienen las primeras ideas sobre los tipos de acciones de mejora necesarias. Esta información debe ser revisada por el dueño ejecutivo del proceso y por otros gerentes antes de proceder al diseño/rediseño.

Diseñar (rediseñar) el proceso

Este paso final puede implicar un cambio radical o de incremento, o ambos. El enfoque y las herramientas de la mejora, planeación y control de calidad se describen en los capítulos 3, 4 y 5, pero éstos se aplican con especial énfasis al proceso y los subprocessos. Se comenzará con el análisis de diagrama de flujo del proceso actual (como es) y luego se rediseñará el proceso para crear un diagrama para el proceso revisado (como debería ser). Los cambios de diseño implican flujo de trabajo; tecnología de la información y de otro tipo; personas; localizaciones físicas, y políticas y normativas.

El rediseño radical de un proceso se asocia con el término *reingeniería*. Hammer y Champy (1993) definen *reingeniería* como “la reconsideración fundamental y el rediseño radical de los procesos de negocios para lograr mejoras espectaculares en las mediciones críticas contemporáneas de desempeño, como costo, calidad, servicio y velocidad”. Claramente, las cuatro palabras clave son: *fundamental, radical, espectaculares y procesos*.

En realidad, la reingeniería es una mezcla de lo antiguo con lo nuevo. Muchos conceptos y técnicas de la ingeniería industrial, de la administración de calidad y de otras disciplinas han sido durante mucho tiempo parte integral de la mejora y el rediseño de procesos. Algunos aspectos clave de la reingeniería son:

- Aplicación de tecnología de la información de vanguardia (véase abajo).
- Análisis de las actividades de los procesos para mejora, es decir, eliminar el trabajo sin valor agregado; simplificar, combinar y colocar en nuevas secuencias las actividades, y minimizar la transferencia de material e información especialmente entre los departamentos. Este aspecto de la reingeniería incluye combinar los pasos del proceso de tal forma que un empleado produzca el resultado final en lugar de transferir el trabajo en pasos subsiguientes a otros especialistas.
- Evaluación comparativa frente a otras organizaciones.
- Otorgamiento de facultades (*empower*) a los empleados para que tomen decisiones que minimicen el tiempo requerido para las aprobaciones.
- Eliminación de las causas de errores en los procesos para reducir el trabajo de reelaboración y minimizar las comprobaciones y controles.
- Considerar la transferencia de algunas actividades hacia arriba, a los proveedores, o hacia abajo, a los clientes.
- Establecimiento de un único punto de contacto para los clientes, de tal forma que un empleado maneje todo un servicio, en lugar de transferir al cliente a otros empleados.
- Uso de técnicas de pensamiento creativo, incluyendo sesiones de *lluvia de ideas*.

Esta lista presenta puntos de interés, pero no los incluye todos.

Una contribución importante de la reingeniería es el énfasis en la aplicación de los siempre crecientes beneficios de la tecnología de la información en el trabajo. Hammer y Champy (1993) proporcionan algunos ejemplos:

- La información puede aparecer simultáneamente en tantos lugares como se la necesite.
- Un generalista puede hacer el trabajo de un experto. Por ejemplo, apoyado por sistemas integrados de información, el representante de un *call center* puede manejar todos los pasos para dar servicio a un cliente.
- Los negocios pueden cosechar simultáneamente los beneficios de la centralización y la descentralización. Las divisiones descentralizadas, en ubicaciones lejanas, pueden intercambiar información instantáneamente con las oficinas centrales corporativas y con otras divisiones.

- Tomar decisiones es parte del trabajo de todo el mundo. La tecnología de bases de datos ofrece ahora información a mucha gente que antes estaba disponible sólo para la dirección.
- El personal de campo puede enviar y recibir información desde cualquier lugar donde se encuentre.
- El mejor contacto con un comprador potencial es el contacto efectivo (con o sin la intervención humana). Por ejemplo, bancos, corredores inmobiliarios y demás pueden ahora ofrecer a sus clientes videos interactivos con una riqueza de información cuidadosamente preparada.
- Las cosas revelan dónde se encuentran. Por ejemplo, ahora la ubicación de camiones y vagones de ferrocarril puede ser determinada fácilmente en tiempo real.
- Los planes se revisan instantáneamente. En lugar de revisarlos periódicamente y actualizar el estatus, ahora todo el trabajo puede hacerse y quedar disponible instantáneamente para todas las partes.

El mensaje es claro: la tecnología de la información tiene ahora un impacto importante en la forma en que se organiza y ejecuta el trabajo.

En la práctica, los cambios de diseño son tanto radicales como de incremento. Los cambios radicales son espectaculares, pero los de incremento también son, en conjunto, esenciales.

Antes de que el nuevo diseño se coloque en la operación, hay que llevar a cabo una revisión del diseño y una prueba de implementación. Por lo general, el dueño del proceso integra un grupo de expertos (externos al mismo) para evaluar el diseño elegido y sus alternativas. Finalmente, el diseño seleccionado debe ser probado bajo condiciones de operación, usando ejecuciones de prueba con personal regular de operaciones para predecir tanto la efectividad como la eficiencia del proceso.

El enfoque similar de AT&T en la administración de procesos se resume en la tabla 6.1. Observe cuántas de las herramientas de mejora, planeación y control de calidad desempeñan un papel integral en ella.

6.7

TRANSFERENCIA Y ADMINISTRACIÓN DEL NUEVO PROCESO

Transferir un proceso nuevo o revisado a operaciones implica planear cuidadosamente los muchos aspectos del cambio. Para una discusión general, véase el capítulo 4 bajo el rubro “Planeación para que la calidad del producto genere ingresos por ventas”. La administración de los nuevos procesos incluye establecer los controles apropiados y planear para la mejora continua y la evaluación periódica. Para más detalles, véase el capítulo 4, “Planeación operacional de la calidad e ingresos por ventas”, y *JQH5*, pp. 6.16-6.19.

Los procesos evolucionan en varias fases de madurez. En General Electric, las cinco clases de madurez son *ad hoc*, consistente, organizada, sistemática y estadísticamente estable (McNamara, 1997). McNamara informa que la mayoría de los procesos de negocios no son estadísticamente estables.

Para resumir, la administración de procesos presenta algunas similitudes con los conceptos tratados anteriormente en este libro, y también algunas diferencias. Las similitudes incluyen un énfasis en el concepto del cliente y el uso de técnicas de planeación, control y mejora de la calidad. Pero el concepto de administración de procesos añade importantes puntos:

TABLA 6.1
Administración de calidad de procesos y metodología de mejora de AT&T

Pasos	Actividades	Herramientas
1. Establecer las responsabilidades de la administración del proceso.	Revisar criterios para selección de dueño. Identificar al dueño y miembros del proceso. Establecer/revisar las responsabilidades del dueño y de los miembros del proceso.	Técnica de grupo nominal
2. Definir el proceso e identificar los requerimientos de los clientes.	Definir límites del proceso y grupos principales; salidas y clientes; entradas y proveedores, y subprocesos y flujos. Llevar a cabo análisis de las necesidades de los clientes. Definir los requerimientos de los clientes y comunicárselos a los proveedores.	Diagrama de bloque Encuesta Lista de verificación de relaciones cliente/proveedor Entrevista Marcaje Diagrama de afinidad
3. Definir y establecer las mediciones.	Decidir las mediciones efectivas. Revisar las mediciones existentes. Instalar nuevo sistema de medición e informes. Establecer un sistema de retroalimentación de satisfacción del cliente.	Diagrama de árbol <i>Lluvia de ideas</i> Técnica de grupo nominal Encuesta Entrevista
4. Evaluar el cumplimiento con los requerimientos de los clientes.	Recopilar y revisar los datos de las operaciones del proceso. Identificar y eliminar las causas de las variaciones anormales. Comparar el desempeño del proceso estable con los requerimientos, y determinar las áreas crónicas de problemas.	Tabla de control Entrevista Encuesta Diagrama de Pareto Diagrama de causa y efecto <i>Lluvia de ideas</i> Técnica de grupo nominal Gráfica de tendencias
5. Investigar el proceso para identificar las oportunidades de mejora.	Reunir información sobre los problemas del proceso. Identificar áreas de problemas potenciales del proceso para monitorearlas. Documentar las áreas de problemas potenciales. Reunir información sobre los problemas de los subprocesos. Identificar problemas potenciales de los subprocesos para monitorearlos.	Entrevista Diagrama de flujo <i>Lluvia de ideas</i> Diagrama de Pareto Técnica de grupo nominal
6. Clasificar las oportunidades de mejora y fijar los objetivos.	Revisar oportunidades de mejora. Establecer prioridades. Negociar los objetivos. Decidir sobre los proyectos de mejora.	Diagrama de Pareto Técnica de grupo nominal Gráfica de tendencias
7. Mejorar la calidad del proceso.	Desarrollar un plan de acción. Identificar causas de origen. Probar e implementar la solución. Seguimiento. Ejecutar revisiones periódicas al proceso.	Diagrama de Pareto Técnica de grupo nominal <i>Lluvia de ideas</i> Diagrama de causa y efecto Análisis de causa y efecto/ fuerza-campo Gráfica de control Encuesta

Fuente: Shaw et al. (1988).

1. Se enfatiza la efectividad, eficiencia y adaptabilidad total de un *proceso* interdisciplinario, en lugar de enfatizar el resultado de departamentos individuales funcionales.
2. Se analiza el proceso de una forma integrada para corregir defectos, errores y otros problemas, y también para identificar y satisfacer las necesidades de los clientes.
3. Se define la responsabilidad del proceso en términos de un dueño y un equipo del proceso. El dueño y el equipo son permanentes. El equipo del proceso puede establecer equipos de calidad que operen temporalmente para tratar problemas específicos dentro del proceso total.

Finalmente, las características especiales de la administración de procesos requieren que se considere su impacto en la organización.

6.8 IMPACTO DE LA ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS EN UNA ORGANIZACIÓN

Este capítulo presenta un concepto de administración de procesos que identifica aquéllos clave para el éxito de la organización, y selecciona dueños y equipos de procesos responsables de la planeación, control y mejora de todos los aspectos de los procesos. Estos equipos son permanentes, no equipos *ad hoc* de planeación o mejora de calidad.

Aunque sólo una minoría de las organizaciones aplica este concepto total de administración de procesos, la aplicación está creciendo. Efectivamente, los cambios son profundos: las actividades de trabajo se enfocan en los equipos interdisciplinarios de procesos, no en departamentos funcionales; la estructura de la organización cambia de jerárquica a horizontal; los gerentes pasan de supervisores a orientadores y líderes; los empleados dejan de ser personas que desarrollan tareas limitadas y procedimientos rígidos y se convierten en individuos facultados capacitados en un amplio rango de trabajo, y más.

El impacto en la organización funcional de departamentos puede ser espectacular. Si una organización es dirigida por procesos, éstos impulsarán la organización, incluyendo la estructura. Cuando la mayor parte del trabajo se hace con equipos permanentes de procesos, el papel de los departamentos funcionales llega a ser uno de los procesos de servicio, es decir, el proceso es el cliente interno de los departamentos funcionales. Estos últimos todavía serán necesarios para hacer consultoría interna, capacitación, medición e investigación.

Quizás la administración de procesos enterrará los silos, derribará los muros entre los departamentos funcionales y reemplazará el mando y la administración del control, con empleados facultados, a quienes los directivos ofrezcan procesos capaces. Quizás.

RESUMEN

- Un proceso es un conjunto de actividades que convierten entradas en salidas o resultados.
- Un proceso primario es un conjunto de actividades interdisciplinarias esenciales para la satisfacción de los clientes externos y para lograr la misión de la organización.

- La administración de procesos es un enfoque para la planeación, control y mejora de los procesos primarios en una organización, mediante el uso de equipos permanentes de procesos.
- La administración de procesos es más efectiva cuando el dueño y un equipo permanente del proceso lo dirigen y operan.

PROBLEMAS

- 6.1. Para una organización con la que usted esté familiarizado, discuta los factores críticos para el éxito, es decir, los pocos eventos que deben ocurrir para que una organización sea exitosa. Después identifique tres procesos interdisciplinarios y clasifíquelos con base en *a)* su importancia con respecto a los factores críticos y *b)* la necesidad relativa para la mejora.
- 6.2. Para uno de los procesos del problema 6.1, prepare un enunciado de misión y otro de objetivos.
- 6.3. Para uno de sus procesos clave de negocio, proponga un dueño y un equipo del proceso.
- 6.4. Para el proceso del problema 6.3, desarrolle un diagrama de flujo del proceso actual.
- 6.5. Para el proceso del problema 6.3, proponga por lo menos tres mediciones de procesos que pudieran ser recopiladas para su análisis y mejora.
- 6.6. Para el proceso del problema 6.3, analice el proceso y proponga un rediseño.

REFERENCIAS

- Batson, R. G. y T. K. Williams (1998). "Process Simulation in Quality and BPR Teams", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, WI, pp. 368-381.
- Camp, R. C. (1995). *Business Process Benchmarking*, Quality Press, ASQ, Milwaukee, WI.
- Carr, N. G. (1999). "A New Way to Manage Process Knowledge", *Harvard Business Review*, septiembre-octubre, pp. 24-25.
- Hammer, M. y J. Champy (1993). *Reengineering the Corporation*, HarperCollins, Nueva York.
- Hardaker, M. y B. K. Ward (1987). "Getting Things Done: How to Make a Team Work", *Harvard Business Review*, noviembre-diciembre, pp. 112-119.
- Hildreth, S. W. (1993). "Rolling out BPQM in the Core R & D of Lederle-Praxis Biologicals, American Cyanamid", *Proceedings of R & D Quality Symposium*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 2A-1 a 2A-9.
- Hooyman, J. A. y R. W. Harshbarger (1994). "Re-Engineering the Billing and Collections Process", *Impro 94*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 7A-3 a 7A-18.
- Juran Institute, Inc. (1989). *Quality Improvement Tools-Flow Diagrams*, Wilton, C.T.
- Juran Institute, Inc. (1990). *Business Process Quality Management*, Wilton, CT.
- McNamara, D. M. (1997). "Process Maturity Classes", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 891-897.
- Salvendy, G. (1992). *Handbook of Industrial Engineering*, 2a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York.

- Shaw, G. T., E. Leger y J. C. MacDorman (1988). "Process Quality at AT&T", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton CT, pp. 4D-5 a 4D-9.
- Snee, R. D. (1993). "Creating Robust Work Processes", *Quality Progress*, febrero, pp. 37-41.
- Van Aken, E. M. y S. K. Hacker (1997). "Enhancing Conventional Process Improvement with Systems Mapping", *Proceedings Annual Quality Congress*, ASQ, Milwaukee, pp. 84-94.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Administración de procesos: *JQH5*, sección 6.

- AT&T (1988). *Process Quality Management and Improvement Guidelines*, AT&T Bell Laboratories, Indianápolis, IN.
- Hammer, M. y S. Stanton (1999). "How Process Enterprises Really Work", *Harvard Business Review*, noviembre-diciembre, pp. 108-118.
- Harrington, H. J. (1991). *Business Process Improvement*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Melan, E. H. (1993). *Process Management*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Pall, G. A. y L. A. Kelly (1999). *The Process Centered Enterprise*, St. Lucie Press, Boca Raton, FL.
- Rummler, G. A. y A. P. Brache (1995). *Improving Performance*, 2a. ed., Jossey-Bass, San Francisco.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Biazzo, S. (2002). "Process Mapping Techniques and Organizational Analysis: Lessons from Sociothetical System Theory", <i>Business Process Management Journal</i> , 8(1):42-52.	Una crítica a profundidad de las técnicas de mapeo de procesos.
Lin, F. R., M. C. Yang y Y. H. Pai (2002). "A Generic Structure for Business Process Modeling", <i>Business Process Management Journal</i> , 8(1):19-41.	Estructura de modelado de procesos de negocio para ayudar en la reingeniería de procesos de negocios (BPR, por sus siglas en inglés).
Shin, N. y D. F. Jemella (2002). "Business Process Reengineering and Performance Improvement: The Case of Chase Manhattan Bank", <i>Business Process Management Journal</i> , 8(4):351-363.	BPR en instituciones financieras, usando al Chase Manhattan como caso de estudio.
Crowe, T. J., P. M. Fong, T. A. Bauman y J. L. Zayas-Castro (2002). "Quantitative Risk Level Estimation of Business Process Reengineering Efforts", <i>Business Process Management Journal</i> , 8(50):490-511.	Cuantificación de los riesgos en la BPR, usando un análisis de portafolio de inversiones.

Citas

- Paper, D. J., J. A. Rodger y P. C. Pendharkar (2001). "A BPR Case Study at Honeywell", *Business Process Management Journal*, 7(2):85-99.
- Aksu, A. A. (2001). "Re-Engineering Revisited: A Simulation Approach", *Business Process Management Journal*, 7(2):131-138.
- Cao, G., S. Clarke y B. Lehaney (2001). "A Critique of BPR from a Holistic Perspective", *Business Process Management Journal*, 7(4):332-339.
- Cotoia, M. y S. Johnson (2001). "Applying the Axiomatic Approach to Business Process Redesign", *Business Process Management Journal*, 7(4):304-322.
- Castellano, J. F. y H. A. Roehm (2001). "The Problems with Managing by Objectives and Results", *Quality Progress*, 34(30):39-46.
- McCormack, K. (2001). "Business Process Orientation: Do You Have It?" *Quality Progress*, 34(1):51-58.

Resumen

- Diez lecciones para lograr una BPR exitosa basada en entrevistas con el personal de Honeywell.
- Aplicación y simulación de TQM para diseñar un nuevo modelo de procesos de negocios para un hotel.
- Análisis y crítica de la BPR para entender mejor las razones del fallo y las acciones correctivas.
- Enfoque axiomático y "científico" para la reingeniería de procesos de negocios. Altamente matemático.
- Siguiendo las recomendaciones de Deming, se presenta una crítica a la administración basada en resultados finales (objetivos MB, resultados MB) y una comparación con un enfoque de procesos.
- Análisis estadístico de los resultados de las encuestas que investigan el grado y el impacto del enfoque de procesos de negocios en una variedad de industrias.

SITIOS WEB

Reingeniería de procesos de negocios:
www.brint.com/BPR.htm
www.prosci.com

ORGANIZACIÓN PARA LA CALIDAD

7.1

EVOLUCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN PARA LA CALIDAD

Muchas organizaciones, particularmente en las industrias manufactureras, han centralizado las actividades relacionadas con la calidad en un “departamento de calidad”. En el transcurso de las décadas, los nombres y el alcance de las actividades han cambiado: inspección, control estadístico de calidad, control de calidad, ingeniería de confiabilidad, control de calidad total, evaluación de calidad, administración de calidad total (TQM, por sus siglas en inglés).

Durante la década de 1980 y la de 1990 surgieron en Estados Unidos cinco tendencias importantes en la organización para la calidad:

1. Las tareas de la administración de calidad eran asignadas (o transferidas) a departamentos de línea funcionales en lugar de a departamentos de calidad. Por ejemplo, los estudios de capacidad de procesos fueron transferidos de un departamento de calidad a uno de ingeniería de procesos.
2. El alcance de la administración de calidad se amplió de sólo operaciones (pequeña C) a todas las actividades (gran C), y desde los clientes externos hasta los externos e internos. La mayoría de las organizaciones capacitan ahora al personal de los departamentos funcionales en las herramientas de administración de calidad, y hacen responsables de implementar los conceptos modernos de calidad a los empleados.
3. Ocurrió una expansión importante en el uso de los equipos de calidad.
4. La autoridad para tomar decisiones se delegó a los niveles inferiores.
5. Muchas empresas incluyen proveedores y clientes clave en las actividades de calidad: mejora, planificación y control. El término empleado es *asociación*. Algunas veces la asociación da como resultado una “corporación virtual”, es decir, una red temporal de funciones por parte de diferentes empresas que colaboran en un propósito específico de negocios; luego, cuando el propósito se ha cumplido, la red se disuelve. Para más detalle, véase Christie y Levary (1998).

Estas tendencias llevaron a nuevos enfoques para coordinar y organizar las actividades de calidad. Becker *et al.* (1994) llevaron a cabo una investigación en 30 empresas para aprender sobre el impacto de la TQM en las organizaciones. Los hallazgos: la TQM llevó a (1) organizaciones más niveladas; (2) un aumento en los dispositivos de enlace como equipos interdisciplinarios; (3) una disminución del tamaño y un aumento del resultado; (4) un cambio a sistemas de recompensas de grupo; (5) la participación de los empleados de nivel inferior en la planeación, y (6) límites organizacionales cambiantes.

7.2 COORDINACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE LA CALIDAD

El enfoque usado para coordinar las actividades de calidad en toda una organización toma dos formas principales:

1. La coordinación para el *control* se logra mediante la línea regular y los departamentos del cuerpo administrativo, principalmente mediante el empleo de procedimientos formales y el uso de circuitos de retroalimentación. Los circuitos de retroalimentación toman la forma de auditorías de la ejecución con respecto a los planes; muestreo para evaluar la calidad de productos y procesos; gráficas de control, y reportes de calidad.
2. La coordinación para *crear el cambio* se logra principalmente mediante el uso de equipos de proyectos de calidad y otras formas organizacionales para crear el cambio.

La coordinación para el control a menudo es el foco de un departamento de calidad; a veces, un foco así es tan preocupante que el departamento de calidad es incapaz de hacer progresos importantes en la coordinación para el cambio. Como resultado, han evolucionado algunas “organizaciones paralelas” para crear el cambio.

Organizaciones paralelas para crear el cambio

Todas las organizaciones están comprometidas para crear el cambio beneficioso, así como para evitar el cambio adverso (“control”). Mucho del trabajo de crear el cambio consiste en procesar cambios pequeños y similares. Un ejemplo es la introducción continua de nuevos productos consistentes en nuevos colores, tamaños, formas, etc. La coordinación a este nivel de cambio a menudo se puede manejar mediante procedimientos cuidadosamente preparados.

Los programas no rutinarios e inusuales del cambio por lo general requieren nuevas formas organizacionales. Estas nuevas formas se llaman “organizaciones paralelas”. *Paralelas* significa que estas formas organizacionales existen además de la organización regular de “línea” y simultáneamente a ella.

Ejemplos de organizaciones paralelas para lograr el cambio en la administración de calidad son los equipos de procesos (véase el capítulo 6), los consejos de calidad y diversos tipos de equipos de proyectos de calidad (que se tratarán después). Las organizaciones paralelas pueden ser permanentes o *ad hoc* (un equipo de procesos *versus* uno de mejora de calidad) y pueden ser obligatorias o voluntarias (un consejo de calidad *versus* un equipo de fuerza de trabajo). Gryna (1960) describe una primera forma de organización paralela para la confiabilidad de productos.

Un tipo totalmente diferente de organización paralela es la organización de la administración de procesos tratada en el capítulo 6. Puede considerarse que las actividades en cualquier organización

ocurren en tres niveles: el organizacional, el de proceso y el del puesto individual. El nivel organizacional se refiere a un amplio panorama de toda la organización, unidad de negocios o planta; en el de proceso se tratan las actividades interdisciplinarias de trabajo que generan un resultado clave; en el nivel del puesto, los individuos realizan actividades específicas que contribuyen al resultado de los procesos. Rummler y Brache (1995) trataron estos tres niveles en términos de objetivos, diseño y administración. Las muchas actividades de los tres niveles son interdependientes y dan como resultado un número ilimitado de interacciones para formar un “sistema”. Baker (1999) explica la importancia de considerar una organización como un sistema de partes interdependientes.

El concepto completo de administración de procesos implica organizar mediante procesos clave; tener dueños y equipos de proceso y hacerlos responsables de la administración de todos los aspectos de los mismos (planeación, control y mejora). La aplicación de la administración de procesos aún está en evolución y sólo unas pocas organizaciones han adoptado el concepto completo.

Cambiar de una organización funcional a una organización de proceso es un paso importante que requiere, al menos, tres años. Garvin (1995) presenta las experiencias de los directores generales de Xerox, USAA, SmithKline Beecham y Pepsi al aplicar la administración de procesos. Majchrozak y Wang (1996) describen las experiencias de fabricantes de equipos electrónicos al cambiar de una organización funcional a una de procesos. El mensaje en ambos artículos es claro: la dirección debe estar preparada para enfatizar de manera consistente una cultura colaboradora en lugar de una jerárquica.

A continuación se examinarán los papeles de varios participantes en un esfuerzo global de calidad. El papel clave es el de la alta dirección.

7.3

EL PAPEL DE LA ALTA DIRECCIÓN

El presidente de una compañía dijo esto: “Mi gente me ha decepcionado. Les dije claramente que la calidad es nuestra primera prioridad; los capacité, y ahora, dos años después, hay muy poca evidencia de mejora.” Él no captó la idea del liderazgo activo. De todos los ingredientes para lograr con éxito una superioridad en la calidad, sobresale uno: el liderazgo activo por parte de la alta dirección. El compromiso con la calidad se asume, pero eso no es suficiente.

Se pueden identificar ciertos papeles:

- Establecer y ser parte de un consejo de calidad (del que se hablará en una sección posterior).
- Establecer estrategias de calidad (véase el capítulo 8).
- Establecer, alinear y desplegar objetivos de calidad (véase el capítulo 8).
- Proporcionar los recursos.
- Proporcionar capacitación en metodología de calidad (véanse los capítulos 3, 4 y 5).
- Ser parte de equipos de alta dirección para la mejora de calidad que traten acerca de problemas crónicos de una naturaleza propia de la alta dirección (véase el capítulo 9).
- Revisar el progreso y estimular la mejora (véase el capítulo 9).
- Proporcionar recompensas y reconocimiento (véase el capítulo 9).

En resumen, la alta dirección desarrolla las estrategias para la calidad y asegura su implementación por medio del liderazgo personal.

Un ejemplo efectivo es la acción que toma el jefe de una división de manufactura. Modera personalmente una reunión anual en la que se proponen y comentan proyectos de mejora. Al final de ésta, se concluye una lista de los proyectos que se aprobaron para el año siguiente y se asignan la responsabilidad y los recursos para cada proyecto.

Desafortunadamente, se debe pagar un precio por este liderazgo activo. Éste es el tiempo. Los gerentes de nivel superior necesitarán pasar al menos el 10 por ciento de su tiempo en actividades de calidad, con otros gerentes, y con empleados de primera línea, proveedores y clientes.

Proporcionar recursos para actividades de calidad

El enfoque moderno para la calidad requiere de una inversión de tiempo y recursos en toda la organización; para mucha gente, el precio es de aproximadamente el 10 por ciento de su tiempo. A largo plazo, esta inversión produce un ahorro de tiempo que después estará disponible para actividades de calidad o de otro tipo; a corto plazo, la inversión de recursos puede ser un problema.

La alta dirección tiene el papel clave a la hora de proporcionar los recursos para las actividades de calidad. Una alternativa es añadir recursos, pero en tiempos altamente competitivos este enfoque puede no ser factible. A menudo sólo se pueden encontrar el tiempo y los recursos al cambiar la prioridad de las unidades de trabajo de línea y del cuerpo administrativo. Por consiguiente, se debe eliminar o retrasar algo de trabajo para hacer que el personal esté disponible para actividades de calidad.

Las personas asignadas a equipos de calidad deben estar conscientes de la cantidad de tiempo que se requerirá mientras estén en un equipo. Si el tiempo es un problema se les deberá animar a proponer cambios en sus otras prioridades (antes de que comience la actividad del equipo). Los recursos para los equipos de proyecto estarán disponibles sólo si los equipos piloto demuestran beneficios al lograr resultados tangibles, de ahí la importancia de nutrir a estos equipos para que los logren. A medida que se desarrolla un historial para los equipos exitosos, el tema de los recursos deja de ser un problema. Un resultado puede ser incluir una lista de los proyectos propuestos y de los recursos necesarios en la agenda de debate para el proceso del presupuesto anual de una organización.

En una acción dramática para proporcionar los recursos para un esfuerzo exhaustivo de calidad, la alta dirección de un fabricante moderno asignó el 3 por ciento del total de su fuerza de trabajo (de 3 000 personas) para trabajar tiempo completo en la calidad. El equipo incluía a seis gerentes de alto nivel, que eran responsables de diseñar y supervisar el esfuerzo. Estos gerentes regresaron a su trabajo original después de un año.

Consejo de calidad

Un *consejo de calidad* (a veces llamado “equipo de liderazgo”) es un grupo de gerentes de alto nivel que desarrollan la estrategia de calidad y dirigen y apoyan su implementación. Los consejos se pueden establecer en varios niveles: corporativo, de división y de unidad de negocios. Cuando se establecen muchos consejos, generalmente están conectados entre sí, es decir, los miembros de los consejos de alto nivel actúan como presidentes de los consejos de nivel inferior. Para cualquier nivel, los miembros son los gerentes superiores, tanto de línea como del cuerpo administrativo. El presidente es el gerente que tiene toda la responsabilidad y autoridad para ese nivel, como, por

ejemplo, el presidente para el consejo corporativo, y la división y los gerentes de sitio para sus niveles. Un miembro del consejo es el director de calidad cuyo papel en la empresa se trata más adelante.

Cada consejo deberá preparar una carta que incluya responsabilidades, tales como:

- Formular estrategias y políticas de calidad.
- Calcular las principales dimensiones del tema de calidad.
- Establecer una infraestructura para seleccionar los proyectos de calidad, y asignar líderes y miembros de los equipos de proyecto.
- Proporcionar recursos, incluyendo el apoyo para los equipos.
- Planear la capacitación para todos los niveles.
- Establecer mediciones estratégicas del progreso.
- Revisar el progreso y eliminar cualquier obstáculo para la mejora.
- Proporcionar reconocimiento público a los equipos.
- Revisar el sistema de recompensas para reflejar el progreso en la mejora de la calidad.

En Kelly Services, Inc. (McCain, 1995), el consejo de calidad identificó sus responsabilidades clave como:

- Establecer y desplegar la visión, la misión, los valores compartidos, y la política y los objetivos de calidad.
- Revisar el progreso frente a los objetivos.
- Integrar los objetivos de calidad en los planes de negocios y de administración de desempeño.

Los gerentes a menudo preguntan si el consejo de calidad tiene los mismos miembros que el equipo regular de la alta dirección. Normalmente, sí. Si es así, en lugar de tener un consejo por separado, ¿por qué no añadir temas de calidad a la agenda de las reuniones periódicas de la alta dirección? Finalmente (cuando la calidad se ha convertido en una “forma de vida”) las dos pueden combinarse, *pero no desde el principio*. La seriedad y complejidad de los temas de calidad requieren un enfoque que se logra mejor en reuniones que traten solamente de calidad.

Dado que un consejo trabaja en sus diversas actividades, con frecuencia asigna a una o más personas del cuerpo administrativo de tiempo completo para ayudarlo a preparar anteproyectos de recomendaciones para su posterior revisión. En otro enfoque, varios miembros del consejo son miembros de grupos de trabajo *ad hoc* que investigan varios temas para el consejo.

Además, los miembros individuales del consejo a menudo son defensores (“campeones”) de los proyectos clave relacionados con la calidad. En este papel, monitorean continuamente el proyecto; utilizan su posición ejecutiva para eliminar obstáculos y completarlo, y reconocen a los equipos de proyecto por su esfuerzo.

Proporcionar evidencia del liderazgo de la alta dirección es claramente importante a la hora de establecer una cultura positiva de calidad. Para más información véase la sección 9.6.

Por último, observe que el liderazgo es el primero de los criterios de Baldrige. El criterio de liderazgo abarca el liderazgo organizacional, la responsabilidad pública y la ciudadanía. El examen de todos los criterios revela que el liderazgo debe ligarse a otros criterios Baldrige, tales como la planeación estratégica; el enfoque en los clientes y el mercado; la información y el análisis, y los recursos humanos.

Miller (1984), en las Lecturas complementarias, es un libro clásico acerca de los nuevos papeles a los que se enfrenta la dirección en las organizaciones.

7.4 EL PAPEL DEL DIRECTOR DE CALIDAD

Es probable que el director de calidad del futuro tenga dos papeles primarios: administrar el departamento de calidad y ayudar a la alta dirección con la administración estratégica de calidad (Gryna, 1993).

El departamento de calidad del futuro

¿Cuál será el futuro papel de un departamento de calidad? Las actividades principales se indican en la tabla 7.1. La tabla indica algunas actividades tradicionales del departamento de calidad y otras tantas salidas importantes de la norma actual.

Observe, por ejemplo, el rubro “transferir actividades a los departamentos de línea”. Las últimas décadas han mostrado que la mejor manera de *implementar* las metodologías de calidad es por medio de organizaciones de línea en lugar de un departamento de calidad del cuerpo administrativo. (¿Acaso no es una pena que nos tomara tanto tiempo entender este punto?) Unas cuantas organizaciones han hecho hincapié en este enfoque durante varios años y algunas han sido notablemente exitosas al transferir muchas actividades de calidad a la organización de línea.

Para lograr el éxito en dicha transferencia, los departamentos de línea deben entender clara y completamente las actividades de las que son responsables. Además, se debe capacitar a éstos para realizar tales actividades recientemente adquiridas.

Ejemplos de dicha transferencia incluyen cambiar la actividad de inspección de tipo centinela (clasificación) de un departamento de calidad a la misma fuerza de trabajo, transferir trabajo de ingeniería de confiabilidad de un departamento de calidad al de ingeniería de diseño y trasladar las actividades de calidad del proveedor del departamento de calidad al departamento de compras.

Un papel clave del departamento de calidad consiste en ayudar a sus clientes internos a lograr sus objetivos de calidad. En la mayoría de las organizaciones, el cliente interno clave es el departamento de operaciones (llamado “de operaciones” en el sector de servicios y “de manufactura” o

TABLA 7.1
Funciones del departamento
de calidad del futuro

Planeación de la calidad en toda la empresa.
Establecimiento de las mediciones de calidad en todos los niveles.
Auditorías de la calidad saliente.
Auditorías de las prácticas de calidad.
Coordinación y ayuda con los proyectos de calidad.
Participación en asociaciones con los proveedores.
Capacitación para la calidad.
Consultoría para la calidad.
Desarrollo de nuevas metodologías de calidad.
Transferencia de actividades a los departamentos de línea.

“de producción” en el sector manufacturero). Evidentemente, la calidad y las operaciones deben ser socias, no adversarias. Como director de calidad, el autor tenía que obtener cada año 50 por ciento del presupuesto de su departamento de los departamentos de operaciones. Esta experiencia provoca vívidamente que un gerente llegue a estar orientado al cliente. Si un director de calidad realmente quiere ayudar a los clientes internos, un paso constructivo es llevar a cabo una “investigación de mercado” interna en estos clientes. Bourquin (1995) describe cómo una unidad de AT&T llevó a cabo una encuesta entre los clientes internos (principalmente del departamento de fabricación, pero también de mercadotecnia, diseño y otros más). La encuesta contenía diez preguntas que reflejaban tanto la importancia relativa de ciertos servicios como el grado de satisfacción con los mismos. Esta encuesta requirió de poco tiempo o dinero, pero proporcionó una retroalimentación cuantitativa valiosa de los clientes internos principales.

El autor cree que siempre existirá la necesidad de un departamento de calidad para proporcionar una evaluación independiente de la calidad del producto y para pulir el servicio que se da a los clientes internos (véase la tabla 7.1). Sin embargo, las condiciones cambiantes de los negocios hacen que sea imprescindible revisar periódicamente el papel del departamento y realizar los cambios apropiados. Estas cambiantes condiciones de negocios incluyen las fusiones de empresas; cambios en las expectativas de los clientes (internos y externos); subcontratación; explosión de la información, nuevas tecnologías de comunicación; impacto de los negocios y culturas globales, y la madurez del esfuerzo de calidad dentro de la organización. Además, el énfasis en una mejora continua dentro de las organizaciones ha dado como resultado competidores internos del departamento de calidad para coordinar las actividades de mejora. Dichos competidores incluyen la ingeniería industrial, los recursos humanos, la auditoría financiera y la tecnología de la información.

Ayudar a la alta dirección con la administración estratégica de calidad (SQM)

Existe una maravillosa oportunidad para el director de calidad de ayudar a la alta dirección a planear y realizar las muchas actividades de la administración estratégica de calidad (SQM, por sus siglas en inglés). Algunas de estas actividades se muestran en la tabla 7.2. (Para más información, véase el capítulo 8.) ¿Puede un director de calidad lograr tan glorioso papel? Es útil citar una analogía con el área de finanzas (véase la tabla 7.3). Hoy en día, muchas organizaciones cuentan con un director financiero (CFO, por sus siglas en inglés). Este empleado se encarga de la amplia planeación financiera, tratando cuestiones como qué debería hacer una empresa respecto a las finanzas. Otros gerentes financieros dirigen y administran los procesos económicos detallados, como cuentas por pagar y por cobrar; manejo de efectivo; adquisiciones, y elaboración de presupuestos. Estos papeles también son vitales en la organización, pero diferentes al amplio papel del CFO. Finalmente, por supuesto, los gerentes de línea de toda la organización tienen actividades específicas que ayudan a cumplir los objetivos financieros de la empresa. Observe que la función de calidad comprende tanto las actividades de calidad técnica como las de administración estratégica de calidad. Se deben tomar precauciones para proporcionar al departamento de calidad un personal que tenga habilidades en estas dos áreas. Las organizaciones más grandes pueden beneficiarse de tener tanto una función de ingeniería de calidad como una de administración de calidad (de la misma manera en que la contabilidad y la planeación financiera son funciones separadas). Estas funciones reportarían al director de calidad.

El director de calidad del futuro podría actuar como la mano derecha de la alta dirección en lo referente a la calidad, de la misma manera que el director financiero actúa como la diestra de la

TABLA 7.2
Ayudar a la alta dirección con la administración estratégica de calidad

Evaluar la calidad.
Formular objetivos y políticas.
Desarrollar estrategias de calidad para aumentar los ingresos por ventas y reducir los costos internos.
Delegar responsabilidades organizacionales para la calidad.
Llevar a cabo recompensas y reconocimientos.
Revisar el progreso.
Determinar los papeles del personal para la alta dirección.
Actuar como facilitador para el consejo de calidad.
Integrar la calidad durante el ciclo de planeación estratégica de negocios.

TABLA 7.3
Un contraste de papeles

Finanzas (hoy en día)	Calidad (en el futuro)
Director financiero	Director de calidad
Otros gerentes de finanzas	Otros gerentes de calidad
Gerentes de línea	Gerentes de línea

dirección superior de finanzas. (Observe que otros gerentes de calidad deben dirigir y manejar las otras actividades esenciales de calidad como la inspección, auditoría y medición de calidad.)

Algunas de las cicatrices de la experiencia que se ha acumulado dentro de los círculos financieros aplican también a la función de calidad. Hace años no había un cargo como el de director financiero. Los procesos financieros detallados los manejaban uno o varios gerentes. A medida que pasó el tiempo, la necesidad de una persona con un punto de vista financiero más amplio se volvió evidente. En algunas empresas, se promovió a la persona que en ese entonces era el “contralor” al puesto de director financiero. Otras empresas sintieron que el contralor no tenía la suficiente visión y alcance para ayudar a la alta dirección en la extensa planeación financiera, aun cuando fuera excelente al administrar algunos de los detallados procesos financieros. Es por esto que no todos los contralores llegaron a ser directores financieros.

Un tema similar surge en relación con el amplio alcance necesario para el director de calidad del futuro. ¿Está el director de calidad actual preparado (o está esa persona dispuesta a prepararse) para el papel de negocios más amplio con respecto a la calidad? Los directores de calidad que deseen asumir tal reto en el futuro tienen que aprender de las lecciones de los contralores financieros.

La tabla 7.4 muestra algunos de los ingredientes para el éxito como director de calidad del tipo que aquí se indica.

Evidentemente, esta lista va más allá del actual ámbito de los directores de calidad en muchas empresas. En las más grandes se necesitarán directores de calidad, incluso aquellos que administrarán algunas de las actividades técnicas de calidad en varios niveles. Es probable que un director de calidad se involucre en la administración de actividades técnicas, pero se le pedirá cada vez más que

TABLA 7.4
Ingredientes para el éxito como director de calidad

Enfoque en la orientación y apoyo al cliente.
Capacidad para desarrollar relaciones colaboradoras entre funciones.
Grandes habilidades de comunicación oral y escrita para promover el intercambio de información.
Orientación hacia los objetivos.
Capacidad para analizar temas complejos y generar soluciones innovadoras.
Iniciativa, persistencia y confianza en sí mismo al obtener aceptación de las nuevas ideas.
Capacidad para organizar actividades.
Capacidad para proporcionar el autodesarrollo de los subordinados.

Fuente: Adaptado de Watson (1998). Usado con el permiso de Business Systems Solutions, Inc.

ayude a la alta dirección, ya que ésta (y no el director de calidad) *encabeza* la empresa en calidad. Para más información sobre el futuro papel del departamento de calidad, véase Gryna (1993).

Cinelli y Schein (1994) presentan los resultados de una encuesta acerca del perfil del ejecutivo senior de calidad de Estados Unidos. Ésta examina los orígenes profesionales, actividades diarias y responsabilidades de los ejecutivos de calidad en 223 empresas de una lista de 500 de *Fortune*. Para ver los resultados de una revisión en 38 empresas del Reino Unido acerca de la organización para la calidad, véase Groocock (1994).

7.5 EL PAPEL DE LA GERENCIA MEDIA

Los gerentes medios, supervisores, especialistas profesionales y la fuerza de trabajo son las personas que ejecutan la estrategia de calidad desarrollada por la alta dirección.

Los papeles de los gerentes medios, supervisores y especialistas incluyen:

- Señalar los problemas de calidad para encontrar soluciones.
- Ser líderes de varios tipos de equipos de calidad.
- Ser miembros de equipos de calidad.
- Servir en las fuerzas de trabajo que ayudan al consejo de calidad a desarrollar los elementos de sus estrategias.
- Encabezar las actividades de calidad dentro de sus áreas, al demostrar un compromiso personal y animar a sus empleados.
- Identificar a clientes y proveedores, y reunirse con ellos para descubrir y atender sus necesidades.

Cada vez más se les pide a los gerentes medios que sean líderes de equipos como una parte continua de su trabajo. Para muchos de ellos, sus papeles como líderes de equipo requieren de habilidades gerenciales especiales. Para el gerente de un departamento que dirija a la gente del mismo, es común un enfoque jerárquico tradicional. El líder de un equipo interdisciplinario de mejora de

calidad enfrenta varios retos; por ejemplo, generalmente no tiene autoridad jerárquica sobre nadie del equipo porque los miembros vienen de varios departamentos, trabajan medio tiempo y tienen prioridades en sus departamentos de origen. El éxito del líder de un equipo depende de la aptitud técnica, la capacidad de hacer que la gente colabore como equipo y de un sentido personal de la responsabilidad por llegar a una solución del problema asignado. Liderar un equipo requiere de una variedad de talentos y disposición a asumir la responsabilidad. Para algunos gerentes medios, el cambio requerido en el estilo gerencial es una carga demasiado pesada; para otros, el papel representa una oportunidad. Dietch *et al.* (1989) identificaron y estudiaron 15 características de los líderes de equipos en la Southern California Edison Company. La investigación concluyó que los líderes de equipo (en comparación con los miembros del equipo) tienen más tolerancia para encargarse de los contratiempos, creen que tienen gran influencia sobre lo que les sucede, exhiben una mayor tolerancia a la ambigüedad y son más flexibles y curiosos (véase la sección 9.6, “Proporcionar evidencia del liderazgo de la dirección”).

7.6

EL PAPEL DE LA FUERZA DE TRABAJO

Como fuerza de trabajo nos referimos a todos los empleados, excepto aquéllos en la dirección y especialistas profesionales.

Se recordará que la mayoría de los problemas son controlables por la administración o por el sistema. Por consiguiente, la dirección debe (1) dirigir los pasos necesarios para identificar y eliminar las causas de los problemas de calidad (véase el capítulo 3), y (2) proporcionar el sistema que coloque a los empleados en un estado de autocontrol (véase la sección 5.3, “Autocontrol”). Las sugerencias y cooperación por parte de la fuerza de trabajo son imprescindibles. Los papeles de ésta incluyen:

- Señalar los problemas de calidad para encontrar soluciones.
- Ser miembros de varios tipos de equipos de calidad.
- Identificar los elementos de sus propios trabajos que no cumplan con los tres criterios de autocontrol.
- Conocer las necesidades de sus clientes (internos y externos).

Por fin se comienza a recurrir al potencial de la fuerza de trabajo al utilizar su experiencia, capacitación y conocimiento. Un gerente de planta dice: “Nadie conoce un lugar de trabajo y un radio de 6 metros alrededor de éste mejor que el trabajador.” Los objetivos de calidad no se pueden lograr a menos que se utilicen las manos y las cabezas de la fuerza de trabajo. No hay más. A continuación se tratan algunos de los papeles de la fuerza de trabajo en los equipos.

7.7

EL PAPEL DE LOS EQUIPOS. GENERAL

La “organización del futuro” se verá influida por la interacción de dos sistemas presentes en todas las organizaciones: el sistema técnico (equipo, procedimientos, etc.) y el sistema social (personas, papeles, etc.); de aquí el nombre de “sistemas sociotécnicos” (STS, por sus siglas en inglés).

Gran parte de la investigación en los sistemas sociotécnicos se ha concentrado en diseñar nuevas maneras de organizar las labores, especialmente a nivel de la fuerza de trabajo. Los conceptos de equipo desempeñan un papel importante en estos nuevos enfoques. Algunas organizaciones reportan ahora que, dentro de un año determinado, el 40 por ciento de su gente participa en un equipo; algunas organizaciones tienen el objetivo de que sea el 80 por ciento. En la tabla 7.5 se muestra un resumen de los tipos más comunes de equipos de calidad. Se comentan los equipos de proyectos de calidad en la sección 3.7, bajo el rubro “Fase de definición”; se describen los equipos de negocios de administración de calidad en el capítulo 6; los equipos de proyecto de calidad, los de fuerza de trabajo y los autodirigidos se comentan en este capítulo.

Aubrey y D. Gryna (1991) describen las experiencias de más de 1 000 equipos de calidad durante 4 años en 75 afiliados bancarios asociados a Banc One. Este esfuerzo dio resultados significativos: \$18 millones de ahorro en costos y aumento de ingresos; una mejora del 10 al 15 por ciento en la satisfacción del cliente, y de 5 a 10 por ciento de reducción en costos, defectos y clientes perdidos. En algunos equipos se asignaron los miembros; en otros, ser miembro fue voluntario. En la tabla 7.6 se muestra un resumen de algunos de los resultados organizativos. Los principales intereses son: mejorar la satisfacción del cliente; reducir los costos y aumentar el ingreso, y mejorar la comunicación entre los empleados de primera línea y la dirección.

A continuación se examinan tres tipos de equipos: de proyecto de calidad, de fuerza de trabajo y autodirigidos.

TABLA 7.5
Resumen de los tipos de equipos de calidad

	Equipo de proyecto de calidad	Equipo de fuerza de trabajo	Equipo de negocios de calidad de procesos	Equipo autodirigido
Propósito	Resolver problemas de calidad interdisciplinarios	Resolver los problemas de un departamento	Planear, controlar y mejorar la calidad de los procesos interdisciplinarios clave	Planear, ejecutar y controlar el trabajo para lograr una producción definida
Miembros	Combinación de gerentes, profesionales y fuerza de trabajo de varios departamentos	Principalmente fuerza de trabajo de un departamento	Principalmente gerentes y profesionales de múltiples departamentos	Principalmente la fuerza de trabajo de un área laboral
Bases y número de miembros	Obligatorio; de 4 a 8 miembros	Voluntario; de 6 a 12 miembros	Obligatorio; de 4 a 6 miembros	Obligatorio; todos los miembros del área de trabajo (de 6 a 18)
Continuidad	El equipo se des hace una vez completado el proyecto	El equipo permanece intacto proyecto tras proyecto	Permanente	Permanente
Otros nombres	Equipo de mejora de calidad	Grupo de participación de empleados	Equipo de negocios de administración de procesos, equipo de procesos	Equipo autosupervizado, equipo semiautónomo

TABLA 7.6
Observaciones de una organización de equipos de calidad en un banco

Característica	Resultados de la investigación
Tamaño de los equipos	Promedio de 7 miembros, con un rango de 2 a 11.
Selección de los proyectos	75% por parte de la dirección, 15% por parte del consejo de calidad, 10% por parte del equipo individual.
Ahorros promedio relacionados con la selección de los proyectos	Los proyectos seleccionados por la dirección o el consejo de calidad lograron ahorros de aproximadamente el doble que los de los proyectos elegidos por el equipo.
Duración de los proyectos	Promedio de 3 meses; 24 horas-trabajador por miembro del equipo (sin incluir el tiempo que se pasó fuera de las reuniones del equipo).
Factores para maximizar el éxito de los equipos	Tamaño ideal del equipo de 4 a 5 empleados; 75% de nivel de directores/cuerpo administrativo, 25% empleados no exentos; miembros elegidos por la dirección; proyecto elegido por la dirección o el consejo de calidad; duración del proyecto de 3 a 4 meses con reuniones semanales de equipo de 90 minutos.

7.8 EQUIPOS DE CALIDAD DE PROYECTOS

Un equipo de calidad de proyecto (a menudo llamado equipo interdisciplinario) generalmente consta de aproximadamente 6 a 8 personas que se eligen de varios departamentos para tratar un problema seleccionado de calidad. El trabajo del equipo es llevar el proyecto a una conclusión exitosa tal como se define en la declaración de la misión del proyecto (véase el capítulo 3 bajo el rubro “Enunciado del problema y de la misión”). Puede ser que el proyecto sea de mejora (véase el capítulo 3), de planeación (véase el capítulo 4) o de control (véase el capítulo 5).

El equipo se reúne periódicamente y los miembros trabajan medio tiempo, además de realizar sus responsabilidades funcionales regulares. Los equipos se pueden colocar físicamente o ser virtuales. Bock (2003) y Wilson (2003) tratan las reglas, temas y herramientas para los equipos virtuales. Cuando se termina el proyecto el equipo se deshace.

El equipo de proyecto consta de un patrocinador (campeón), un líder, un registrador, miembros del equipo y facilitadores (cuando es necesario se invita a las reuniones a otras fuentes de disciplinas, tales como contabilidad y tecnología de la información). La dirección ejecutiva indica el inicio al seleccionar los proyectos, establecer sus equipos, proporcionar los recursos y fomentar el uso de metodologías formales de calidad.

Campeón del proyecto

El campeón del proyecto (o patrocinador) es alguien de la alta dirección que proporciona administración, liderazgo, apoyo y consejo al equipo. El campeón sigue el progreso del equipo y actúa para eliminar los obstáculos con el fin de que éste avance.

El líder del equipo del proyecto

El líder dirige al equipo a su responsabilidad para llevar a cabo el proyecto. Un liderazgo exitoso requiere de conocimiento del área del proyecto y de habilidades para lograr que los miembros que provienen de diferentes áreas funcionales trabajen como un equipo. A menudo es útil para el líder del equipo provenir de la unidad organizacional más afectada por el problema.

Registrador de proyecto

Cada equipo requiere de un registrador de proyecto para hacerse cargo de la documentación: agendas, minutas, informes, etc. El registrador debe ser miembro del equipo de proyecto.

Miembros del equipo del proyecto

Los miembros del equipo recurren a todas las habilidades y conocimientos necesarios para el proyecto. Para problemas crónicos, los equipos generalmente son interdisciplinarios y consisten en personal de gerencia media, profesional y de la fuerza de trabajo. Sorprendentemente, algunos proyectos son relativamente fáciles y se pueden llevar a cabo con un mínimo de habilidades y conocimiento. (Tales proyectos son resultado de una carencia anterior de un enfoque de proyectos.) Otros son complejos y requieren de más profundidad en los miembros, incluso tal vez incluir a especialistas en asesoría de dentro de la empresa. Dado que los miembros del equipo provienen de diferentes departamentos funcionales, debe haber un claro entendimiento entre ellos y sus gerentes funcionales acerca de la prioridad y el tiempo requerido para la actividad del equipo (las reuniones y otras de sus tareas pueden ocupar un día a la semana). Cuando sea posible, los proveedores y clientes deben participar en el equipo del proyecto.

Facilitadores

El “facilitador” complementa la calidad de miembro formal del equipo. Muchas empresas han adoptado el concepto de utilizar un facilitador para ayudar a los equipos a llevar a cabo su primer proyecto. Aunque no es un miembro de éstos, el facilitador puede desempeñar un papel muy importante, que consiste en cualquiera de las siguientes funciones o en todas ellas:

- Explicar el enfoque de la empresa para la mejora de la calidad y en qué se diferencia de intentos anteriores a este respecto.
- Proporcionar ayuda en la construcción del equipo.
- Auxiliar en la capacitación de los equipos del proyecto.
- Ayudar al líder del equipo del proyecto a resolver problemas de relaciones humanas entre los miembros.
- Ayudar a que el equipo evite elegir un mal proyecto.
- Reportar el progreso de los proyectos a la dirección.
- Reactivar un proyecto estancado.
- Proporcionar soporte técnico en metodologías de calidad.
- Practicar la virtud de la paciencia.

Las empresas con numerosos equipos de proyectos generalmente tienen varios niveles de facilitadores. Por consiguiente, en el enfoque de six sigma se emplean tres niveles: “black belts maestros”, “black belts” y “green belts”. Un black belt maestro es generalmente un facilitador de tiempo completo que capacita a los black y green belts; un black belt está de tiempo completo y capacita y encabeza al equipo de proyecto en la resolución de problemas; un green belt está de medio tiempo y ayuda a los black belts.

Para más información acerca de los papeles en un equipo de proyecto de calidad, véase *JQH5*, sección 5, bajo el rubro “Equipo de proyecto”.

Un ejemplo de un equipo especial de proyecto de calidad es el “equipo relámpago”. Un *equipo relámpago* es un equipo de proyecto que funciona bajo un programa acelerado de resolución de

problemas (varias semanas para una solución en lugar de varios meses). El rápido ritmo se logra al hacer que el equipo se reúna frecuentemente, varias veces a la semana, a menudo durante días enteros. Se puede asignar al equipo un facilitador de tiempo completo. Se proporciona ayuda adicional para la recopilación y análisis de los datos. La mayor parte del trabajo de diagnóstico (análisis de datos, elaboración de diagramas de flujo) se realiza fuera de las reuniones. Skiba (1996) describe su aplicación en el sistema de asistencia médica Mayo.

Otro equipo especial del proyecto de calidad es el *equipo virtual*. Un equipo virtual es un equipo de proyecto cuyos miembros habitan en diferentes ubicaciones geográficas (incluso en diferentes países). El equipo emplea una o más tecnologías de comunicación: teléfono, correo urgente, fax, bases de datos compartidas, correo electrónico, Internet, conexiones por computadora, pantallas compartidas de computadora y videoconferencias. Para más información acerca de los temas especiales relacionados con este asunto, así como de los enfoques para hacer que los equipos virtuales sean efectivos, véase Bock (2003).

7.9 EQUIPOS DE FUERZA DE TRABAJO

Un mecanismo organizacional para la participación de los empleados en la calidad consiste en los equipos de fuerza de trabajo, llamados originalmente círculos de calidad. (Los trabajadores también pueden participar en otros tipos de equipos, véase la tabla 7.5.) Un equipo de fuerza de trabajo es un grupo de personas, generalmente pertenecientes a un departamento, que se presentan voluntariamente para reunirse durante la semana (en horario de trabajo) y tratar los problemas de calidad de su departamento. Los miembros del equipo seleccionan los problemas y reciben capacitación en técnicas de resolución de éstos. Observe que este equipo es diferente al equipo de proyecto de calidad, donde los proyectos son interdisciplinarios y seleccionados por la alta dirección, basándose en las prioridades para las operaciones globales de la empresa.

Cuando la introducción de equipos de fuerza de trabajo se planea cuidadosamente y el ambiente de la empresa es de gran ayuda, estos equipos tienen mucho éxito. Los beneficios se agrupan en dos categorías: ahorros que se pueden medir y mejoras en la actitud y conducta de las personas.

Los equipos de la fuerza de trabajo se ocupan de dos tipos de problemas: los relacionados con el bienestar personal de los trabajadores y aquéllos referentes al bienestar de la empresa. Los problemas de los trabajadores son los de su ambiente, por ejemplo, reducir la cantidad de comida chatarra en las máquinas dispensadoras, eliminar una corriente de aire de un área de trabajo, diseñar mesas de labor especiales para la comodidad del trabajador. Estos problemas de frustración son importantes para la fuerza de trabajo y, por consiguiente, con frecuencia son los primeros que se seleccionan. Muchos de éstos se pueden resolver en un periodo corto con poca o ninguna inversión. Pero la dirección debe estar preparada para pagar algunas deudas al permitir que los trabajadores empleen tiempo en tales problemas de frustración. Después, a medida que los equipos comienzan a tratar con los problemas de la empresa, la atención se centra en los productos y procesos. Los beneficios son una mejor calidad para los clientes internos y externos y ahorros monetarios. El ahorro en este tipo de proyecto generalmente va de los \$5 000 a los \$25 000 al año, con una escala de beneficio a costo de, al menos, 4:1.

Tal vez el beneficio más importante de los equipos de fuerza de trabajo es su efecto en las actitudes y conductas de las personas. Las reacciones entusiastas de los trabajadores, algunas veces

con emoción, se basan en su participación personal en la resolución de problemas. Los efectos benéficos se agrupan en tres categorías (Gryna, 1981):

1. Efectos en las características de los individuos.

Los equipos permiten al individuo mejorar sus capacidades personales. Muchos miembros hablaron de los beneficios obtenidos al participar dentro de un grupo y al aprender herramientas específicas de resolución de problemas. Un trabajador sintió que había desarrollado una mejor relación con su esposa como resultado de su participación en el equipo, porque éste había mejorado su capacidad para interactuar con otros.

Los equipos aumentan la autoestima del individuo. En Woodward Governor un trabajador habló muy bien de los equipos gracias a que “el hombre pequeño puede hacer grandes cosas”.

Los equipos ayudan a los trabajadores a cambiar ciertas características de su personalidad. Casi todas las organizaciones reportaron por lo menos un caso de una persona extremadamente tímida que se volvió más extrovertida gracias a la participación. El equipo ayuda a los trabajadores a desarrollar el potencial para convertirse en supervisores en un futuro.

2. Efectos en las relaciones de los individuos con los demás.

Los equipos aumentan el respeto del supervisor por los trabajadores. “Como resultado de los círculos, me doy cuenta de que hablo más con los trabajadores de línea.”

Los equipos aumentan la comprensión por parte de los trabajadores de las dificultades que afrontan los supervisores. Como resultado de la selección, resolución e implementación de problemas, los miembros de los equipos se dan cuenta por primera vez de las muchas cargas de trabajo y exigencias que tienen los supervisores.

Los equipos aumentan el respeto de la dirección por los trabajadores. “Algunas de las presentaciones que hicieron los equipos han sido mejores que las que hace mi gente.”

3. Efectos en los trabajadores y en sus actitudes hacia la empresa.

Los equipos cambian las actitudes negativas de algunos trabajadores. En una empresa, un trabajador declaró: “Siempre andaba con la espada desenvainada cuando estaba aquí, porque no creía que la empresa se preocupara por el trabajador. Como resultado de algunos proyectos en equipo, tengo una actitud mucho mejor.”

Los equipos reducen los conflictos que surgen en el ambiente de trabajo. La eliminación de esas frustraciones no sólo acaba con las fuentes de conflicto, sino que anima a los trabajadores a pensar que pueden ocuparse de otras más.

Los equipos ayudan a los trabajadores a comprender por qué muchos problemas no pueden resolverse rápidamente. Por ejemplo, algunos cambios en los procesos en las instalaciones de BF Goodrich Chemical Group en Henry, Illinois, requirieron de la aprobación de la función técnica. Los trabajadores de la planta aprendieron que este proceso de aprobación requiere de algún tiempo, porque se consideran muchos otros cambios en el proceso.

Los equipos infunden en el trabajador una mejor comprensión de la importancia de la calidad del producto. En Keystone Consolidated Industries se inició un equipo en la trefilería. En una primera reunión, el equipo recibió los resultados de un estudio que mostraba los dólares al año que se perdían debido a la mala calidad. En la siguiente junta, un trabajador mostró voluntariamente unos cálculos que había hecho que indicaban que el valor en dólares de los derroches que él mismo estaba generando era mayor que su sueldo.

Con todos los beneficios potenciales de los equipos de fuerza de trabajo, su tasa de éxito ha sido mixta. Baker (1988) ofrece algunas perspicaces recomendaciones para que la dirección apoye y mantenga dichos equipos.

1. Reconocer y recompensar (no necesariamente con dinero) los esfuerzos de los trabajadores aun cuando no se adopten las recomendaciones. El dar a los trabajadores una mayor discreción y autocontrol para actuar según sus propias recomendaciones es una excelente recompensa.
2. Ofrecer recompensas monetarias por medio del programa de sugerencias (el cual tal vez tenga que modificarse para acomodar las presentaciones conjuntas de los miembros del equipo).
3. Proporcionar la capacitación suficiente para incrementar las habilidades de los trabajadores y que puedan hacerse cargo de proyectos más complejos.
4. Establecer un sistema para que los equipos de fuerza de trabajo se amplíen a equipos interdisciplinarios cuando sea el paso más lógico a seguir. Los equipos pueden “cansarse” cuando sientan que han logrado todo lo que pueden por ellos mismos y se vean en la necesidad de trabajar con sus proveedores y clientes internos.
5. Capacitar a los gerentes medios en el uso de herramientas y técnicas de equipo para que puedan plantear a sus subordinados la “pregunta correcta” y no ser los “intrusos”. Estas herramientas también son útiles para los procesos propios de los gerentes.
6. Tratar con la resistencia de la gerencia media cuando se diagnostique. Típicamente, la dirección se preocupa por una pérdida de autoridad y control.
7. Medir la efectividad al enfocarse en la calidad del proceso —por ejemplo, en la capacitación, proceso de debates de grupo, relaciones interpersonales, estilo de liderazgo de los supervisores—, en lugar de preocuparse por resultados tales como la reducción de derroches y costos. Si el proceso es correcto, los resultados también lo serán, y eso reforzará la participación del empleado, así como el compromiso de la dirección.

Los equipos de fuerza de trabajo pueden mejorar la calidad del producto y la del ambiente laboral dentro de un departamento. Sin embargo, dichos equipos no pueden ser el principal conductor para la mejora de la calidad dentro de una organización, porque los problemas de mayor impacto son interdisciplinarios y la alta dirección debe hacerse cargo de ellos mediante el establecimiento de equipos de proyectos de calidad.

Cada organización debe facilitar la participación de la fuerza de trabajo en la resolución de problemas de calidad. Un enfoque utiliza los equipos de fuerza de trabajo. Otro más revolucionario involucra los equipos autodirigidos.

7.10 EQUIPOS AUTODIRIGIDOS

Un *equipo autodirigido* es un grupo de personas que trabajan juntas continuamente y que planean, ejecutan y controlan su trabajo para lograr un resultado definido. Esa definición contrasta fuertemente con el sistema tradicional de Taylor de diseño de trabajo. Lo básico en el sistema Taylor es la división de una tarea global en pequeñas subtareas especializadas que un supervisor asigna a los individuos. Después ese supervisor coordina y controla la ejecución y se hace cargo de la inspección general de los trabajadores.

Por el contrario, aquí hay dos ejemplos de equipos de trabajo autodirigidos:

- En una planta de aparatos electrónicos, un equipo de ensamblaje maneja todos los aspectos del pedido de un cliente: lo recibe; prepara los componentes; ensambla y suelda las placas de circuitos; las prueba y envía; monitorea los niveles de inventario, y procesa todo el papeleo.
- En una compañía de seguros (la Aid Association for Lutherans), el trabajo estaba originalmente organizado en tres áreas: seguro de vida, seguro médico y servicios de apoyo como la facturación. Con el nuevo diseño organizacional, equipos de 20 a 30 empleados realizan las 167 tareas que antiguamente se dividían entre las tres secciones funcionales. Ahora los agentes de campo tratan solamente con un grupo. El resultado es un tiempo de procesamiento de casos más corto.

Fishman (1999) describe los equipos autodirigidos de unas instalaciones de motores de aviones: cómo el equipo decide quién hace qué trabajo; cómo equilibran la capacitación, las vacaciones y el tiempo extra con el flujo laboral; cómo hacen más eficiente el proceso; cómo manejan a los miembros del equipo que no trabajan. Hahn (1995) describe cómo las actividades de equipo crecen desde los pasos básicos (por ejemplo, la administración del flujo de trabajo), pasando por los intermedios (verbigracia, el desarrollo de los miembros del equipo) hasta los avanzados (por ejemplo, la evaluación del desempeño).

Se ha aplicado el concepto de equipos autodirigidos a muchas actividades, como la fabricación, contabilidad, servicio al cliente, compras y ventas.

En la tabla 7.7 se muestran las características contrastantes de la fuerza de trabajo de la organización tradicional y de los equipos autodirigidos. La diferencia es revolucionaria. A los trabajadores se les otorgan las facultades (*empowerment*) de tomar ciertas decisiones que antiguamente se reservaban para el supervisor.

Las ventajas de estos equipos incluyen mejoras en la productividad, calidad, satisfacción del cliente y costo, así como el compromiso del personal. Por ejemplo, ahora se reporta una reducción del 30 por ciento en los costos totales de producción, mientras que las tasas de rotación y ausentismo son sólo de 1/2 por ciento al año. Además, con frecuencia, un nivel de la dirección puede eliminarse y así proporcionar recursos para la mejora de la calidad y los proyectos de planeación de ésta.

Lawler (1986) proporciona una buena perspectiva en términos de beneficios y problemas (véase una adaptación en la tabla 7.8).

Evidentemente, la implementación de tan fascinante pero radical enfoque, será como caminar por un campo de minas. Algunos pasos clave son:

1. Compromiso por parte de la alta dirección de llevar a cabo el enfoque y aceptar algunos riesgos desconocidos.
2. Orientación y participación en profundidad de la alta dirección, gerencia media, especialistas, fuerza de trabajo y oficiales del sindicato.
3. Análisis del flujo de trabajo de la producción para definir segmentos lógicos para los equipos.
4. Definición de las habilidades requeridas, niveles de las mismas y requerimientos para la certificación.
5. Formación de equipos y capacitación para éstos y para los individuos.
6. Desarrollo de objetivos de producción para los equipos y precauciones para la retroalimentación continua de información a éstos. Dicha retroalimentación debe tener el contenido y la oportunidad que se necesitan para controlar el proceso.
7. Cambios en el sistema de compensaciones para reflejar las habilidades adicionales adquiridas por los individuos.

TABLA 7.7
Comparación de las formas organizacionales

Característica	Organización tradicional	Equipo autodirigido
Alcance del trabajo	Cada individuo es responsable de un corto alcance	El equipo es responsable de un gran alcance
Categorías de puestos para el personal	Muchas categorías pequeñas	Unas pocas categorías grandes
Organizar, programar y asignar el trabajo	Principalmente por el supervisor o cuerpo administrativo	Principalmente por el equipo
Medir y tomar medidas correctivas	Principalmente por el supervisor o cuerpo administrativo	Principalmente por el equipo
Proporcionar capacitación	Capacitación para tareas asignadas al individuo	Capacitación intensiva para tareas múltiples además de capacitación de habilidades interpersonales
Oportunidad de rotación de puestos	Mínima	Alta por la amplia capacitación
Sistema de recompensas	Relacionada con el trabajo, desempeño individual y antigüedad	Relacionado con el desempeño del equipo y el alcance de las habilidades adquiridas por el individuo
Manejo de asuntos personales	Principalmente por personal de supervisión o del cuerpo administrativo	Muchos temas son manejados por el equipo
Compartir información de negocios	Limitada a información no confidencial	Se comparte abiertamente toda la información

TABLA 7.8
Equipos autodirigidos

Beneficios	Problemas
Métodos de trabajo mejorados	Los costos por sueldos aumentan
Útil al reclutar	Los costos de capacitación aumentan
Flexibilidad del cuerpo administrativo	Se necesita personal para la capacitación
Calidad mejorada	Pueden no cumplirse las expectativas
El resultado puede mejorar	Resistencia de la gerencia media
Se reduce el apoyo del cuerpo administrativo	Resistencia de los grupos del cuerpo administrativo
Se reduce la supervisión	Conflicto entre participantes y no participantes
Mejora de la toma de decisiones	Se pierde tiempo en las reuniones de equipo

Fuente: Adaptada de Lawler (1986).

8. Acciones para desarrollar la confianza entre la dirección y la fuerza de trabajo, por ejemplo, compartir información financiera y otro tipo de datos delicados acerca del desempeño de la empresa.
9. Un plan de implementación que abarque tres años de duración y comience despacio, con unos cuantos equipos piloto.

El tema más importante (y más difícil) es cómo guiar a la gerencia media durante la transición a este concepto de equipo. Algunos niveles de la dirección ya no se necesitarán, pues los equipos planearán y controlarán su trabajo y realizarán mucha más de su supervisión. Como ejemplo, una actividad de trabajo en la organización tradicional requería de 25 empleados directos, 16 descripciones de trabajo individual, tres supervisores y un gerente de producción. Esto cambió a tres equipos de trabajo (y siete niveles de habilidades para los individuos) que reportaban directamente al gerente de producción, sin supervisores.

Por consiguiente, algunos gerentes medios tendrán un nuevo puesto. Esa nueva colocación puede consistir en trabajar con un equipo autodirigido, pero ahora quizá como miembro, facilitador o asesor técnico en lugar de supervisor jerárquico. Un cambio de papel de ese tipo afecta el poder; el conocimiento; las recompensas y el estatus, y, por consiguiente, será amenazador. La organización tiene la responsabilidad de explicar claramente los nuevos papeles de los gerentes y proporcionar la capacitación, comprensión y paciencia para lograr el éxito.

Los equipos autodirigidos no siempre tienen éxito. Para algunos gerentes, supervisores y trabajadores, las exigencias del concepto son más de lo que están dispuestos a aceptar. Pero los equipos autodirigidos pueden ser muy efectivos si se adaptan a la tecnología, se implementan de manera cuidadosa y las personas de la organización se sienten cómodas con el concepto.

Aunque los términos se utilizan en su mayoría de forma intercambiable, algunas organizaciones marcan la diferencia entre los equipos autodirigidos y los de autodirección. Estos últimos a menudo incluyen a un gerente como entrenador, y el equipo que se autodirige supone un equipo autónomo. Otros nombres pueden ser equipos autorregulados, grupos naturales de trabajo y equipos de alto rendimiento.

Para más información acerca de los equipos autodirigidos (y otros tipos de equipos), véase *JQH5*, sección 15. Piczak y Hauser (1996) proporcionan una guía para la implementación, que incluye temas tradicionales como el compromiso de la dirección y otros asuntos, como la participación de los datos de negocios de la empresa y la obtención de la cooperación del sindicato. El *Quality Management Journal*, 1997, vol. 4, núm. 2, es una edición especial acerca de la investigación de equipos e incluye un artículo sobre los equipos autodirigidos en la función de ventas.

7.11

SELECCIÓN, CAPACITACIÓN Y RETENCIÓN DE PERSONAL

Los principios de selección, capacitación y retención de personal se conocen, pero no siempre se practican con la suficiente intensidad en muchas funciones.

Selección de personal

Norrell, una empresa de recursos humanos, proporciona a las empresas cliente ayuda tradicional temporal, personal dirigido y servicios de subcontratación. Una encuesta entre más de 1 000 de sus clientes aclaró la definición de *calidad* del cliente como “excelencia del personal”. La *excelencia* se definió en términos de ocho criterios para puestos de oficina y nueve para puestos técnico-industriales. Estos criterios se emplean para seleccionar y capacitar al personal asignado a las empresas cliente. En otro ejemplo basado en una encuesta de cinco organizaciones de servicio y nueve

manufactureras, Jeffrey (1995) identificó 15 competencias que tales organizaciones y sus clientes consideraron importantes en sus actividades de servicio al cliente por parte de los empleados de primera línea. Muchas de estas competencias aplican tanto a ese personal como al de funciones administrativas.

Una empresa de recursos humanos que proporciona personal temporal a clientes realizó una investigación para seleccionar una serie de preguntas para empleados prospecto. Se desarrolló una lista de cuestiones que se dio a todos los empleados. Los que fueron clasificados por el cliente como superiores (según los estudios de investigación de mercado) respondieron a ciertas preguntas de diferente manera que los empleados que no eran superiores. (Otras preguntas tuvieron las mismas respuestas por parte de la mayoría de los empleados.) Las respuestas a estas “preguntas diferenciales” ayudaron a seleccionar a los nuevos empleados.

La personalidad es un atributo importante para muchos (pero no para todos) de los puestos en la función de operaciones. Este atributo cobra mayor importancia a medida que la organización por equipos se vuelve más frecuente. Un fabricante de productos químicos incluso coloca a los solicitantes de empleo en un equipo para resolución de problemas como parte del proceso de selección. Larry Silver de Raymond James Financial Services Inc. expuso el caso muy bien: “Necesitamos reclutar a gente que juegue bien en el arenero con los demás, es decir, que no arroje arena a la cara de nadie y que trabaje en equipo para construir castillos.”

Una herramienta para evaluar el tipo de personalidad es el Indicador de Tipo de Myers-Briggs. Esta prueba de personalidad describe 16 tipos de temperamentos que se basan en cuatro escalas de preferencia: extroversión o introversión; sentido o intuición; pensamiento o sentimiento, y juicio o percepción. Por consiguiente, un tipo de personalidad es, por ejemplo, una persona extrovertida, sensitiva, pensante y juiciosa. Analizar las respuestas que los empleados prospecto o actuales dan a las preguntas de la prueba ayuda a determinar el tipo de personalidad de los individuos. Las organizaciones necesitan muchos tipos de personalidad y el enfoque Myers-Briggs describe las contribuciones de cada uno de los 16 a la organización. Al comprender los tipos y realizar asignaciones de puestos de acuerdo con éstos, una organización puede aprovechar todas las clases de personalidad para lograr un alto desempeño en el lugar de trabajo. McDermott (1994) explica los 16 tipos y cómo la herramienta puede ayudar a reclutar nuevo personal y asignar al actual. Anderson y Anderson (1997) describen una herramienta de evaluación de candidatos que utiliza cuatro áreas de capacidades; tres áreas de motivación e intereses, y 13 de personalidad.

Capacitación

Un ingrediente imprescindible de un programa de calidad amplio es la extensa capacitación. La tabla 7.9 identifica los participantes y el tema.

La experiencia en la capacitación ha identificado las razones por las que fallan algunos programas de capacitación:

- *Fracaso al proporcionar capacitación que no se usará.* En demasiados casos, se da capacitación a empleados que tienen muy poca o ninguna oportunidad de utilizarla sino hasta muchos meses después (si es que lo hacen). Un enfoque mucho mejor programa la capacitación para cada grupo cuando se necesita: la capacitación “justo a tiempo”.
- *Escasez de participación por parte de los gerentes de línea en el diseño de la capacitación.* Sin esta participación, la capacitación a menudo se orienta hacia la técnica en vez de hacia el problema y los resultados.

TABLA 7.9
Quién necesita ser capacitado en qué

Materia	Alta dirección	Gerentes de calidad	Otros gerentes medios	Especialistas	Facilitadores	Fuerza de trabajo
Percepción de la calidad	X		X	X	X	X
Conceptos básicos	X	X	X	X	X	X
Administración estratégica de calidad	X	X				
Papeles del personal	X	X	X	X	X	X
Tres procesos de calidad	X	X	X	X	X	
Métodos de resolución de problemas		X	X	X	X	X
Estadística básica	X	X	X	X	X	X
Estadística avanzada		X		X		
Calidad en áreas funcionales		X	X	X		
Motivación para calidad	X	X	X		X	

- *Confianza en el método del seminario de la capacitación.* Particularmente en el mundo industrial, la capacitación debe ser altamente interactiva, es decir, debe permitir que un aprendiz *aplique* los conceptos durante el proceso de capacitación.
- *Comunicación deficiente durante la capacitación.* La tecnología de calidad, particularmente la metodología estadística, puede ser confusa para algunas personas. Se pueden obtener muchos beneficios si se enfatizan el lenguaje sencillo y las técnicas gráficas.

Los programas de capacitación son un fracaso si no dan como resultado un cambio en la conducta. Aplicar estas lecciones puede ayudar a prevenir dichas fallas.

Para más información acerca de la capacitación, véase *JQH5*, sección 16.

Retención

El aumento de la inversión de recursos en la selección y la capacitación ayuda a retener a los empleados con habilidades. Por supuesto, la compensación también contribuye de forma imprescindible en la retención de los empleados. Sin embargo, otros factores también son esenciales, incluyendo:

1. Proporcionar planeación y desarrollo de carrera profesional.
2. Diseñar puestos para el autocontrol (véanse los capítulos 13 y 14).
3. Otorgar el suficiente *empowerment* y otros medios para que el personal se supere.
4. Eliminar las fuentes de estrés y desgaste en el puesto.
5. Proporcionar entrenamiento continuo al personal.

6. Facilitar la participación en la planeación departamental.
7. Proporcionar la oportunidad de interactuar con los clientes (tanto externos como internos).
8. Proporcionar varios tipos de recompensas y reconocimiento.

La evaluación del desempeño se ha vuelto un tema de intenso debate (y confusión). El autor cree que, cuando se lleva a cabo de manera correcta, la evaluación del desempeño es una herramienta útil. Para más información, véase la sección 9.7.

La retención de empleados clave depende de muchas cuestiones. Una empresa de servicios de tecnología de la información llevó a cabo una encuesta entre más de 200 empleados para determinar las razones por las cuales se iban y obtuvo algunos resultados sorprendentes. En orden de categorías (basadas en la frecuencia e intensidad de sus sentimientos), los empleados dieron las siguientes razones para marcharse: “comunicarse más conmigo”, “capacitar a mi jefe”, “capacitarme más”, “ayudarme a establecer metas y darme retroalimentación”, “proporcionarme un sueldo más alto” y “ofrecerme mejores beneficios”. Muchas de estas cuestiones se tratan en el capítulo 9 “Desarrollo de una cultura de calidad”.

Morgan y Smith (1996) son una referencia útil para la selección, capacitación y retención del personal.

7.12

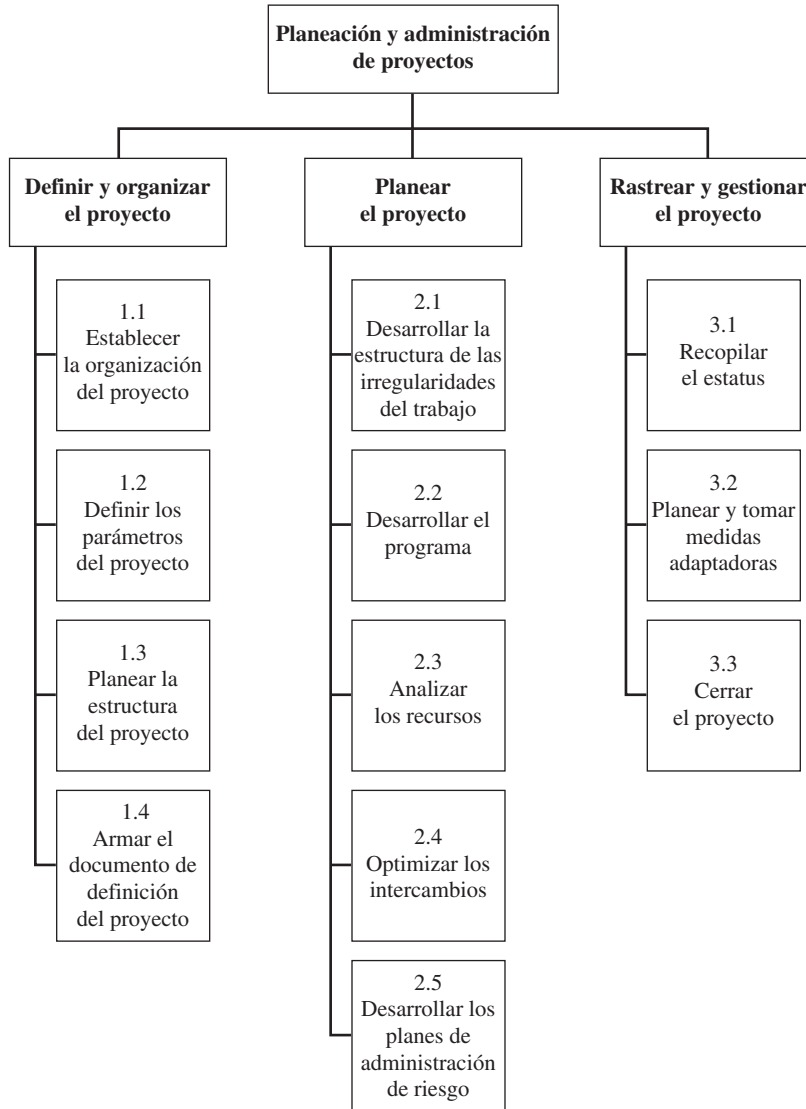
ADMINISTRACIÓN DE PROYECTO DE CALIDAD Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTO TRADICIONAL

En este capítulo ya se trató el equipo del proyecto de calidad, un equipo formado para manejar problemas específicos de calidad (mejora, planeación y control de calidad). El principal enfoque de un equipo así es la calidad en términos específicos, como, por ejemplo, un defecto recurrente en una producción actual. El término *administración de proyectos* tiene un significado diferente que data de la década de 1950. La administración de proyectos, por lo general, significa planeación y control de horarios y programaciones de costos y de calidad para un particular conjunto de actividades que producirán un resultado definido, como un servicio o producto complejo. Se aplicaron por primera vez en productos de defensa y en proyectos de construcción.

La Harvard Business School (1996) proporciona un modelo de administración de proyectos (figura 7.1) en términos de (1) definir y organizar el proyecto; (2) planear el proyecto, y (3) rastrear y gestionar su implementación. Observe cómo el modelo utiliza un esquema de planeación y control.

Los conceptos de administración tradicional de proyectos se pueden utilizar para planear y controlar una actividad compleja de calidad. En una primera aplicación (Gryna, 1960), el autor tradujo un concepto ambiguo de “programa de confiabilidad” en un documento de administración de proyectos con 66 actividades —cada una con una declaración de tareas, responsable de departamento, otros departamentos relacionados, procedimientos, programas y controles para asegurar la conclusión de la tarea (figura 7.2)—. Kerzner (2003) proporciona estudios de casos de administración de proyectos tanto grandes como pequeños.

Se concluye este tema sobre la organización para la calidad con un serio recordatorio: la superioridad de la calidad no se puede lograr sin el liderazgo activo de la alta dirección. Si no se encuentra presente dicho liderazgo, entonces la primera prioridad del director de calidad debe ser buscar la clave para obtener el liderazgo directivo. La alternativa es espantosa: esperar hasta que el problema de calidad sea tan malo que la dirección se vea obligada a intervenir.

**FIGURA 7.1**

Modelo de proceso de administración de proyectos.

(Reproducido con permiso de Harvard Business School Publishing.)

RESUMEN

- La coordinación de las actividades de calidad en una organización requiere dos esfuerzos: la coordinación para el control y la necesaria para crear el cambio.
- La coordinación para el control es a menudo la razón de ser de un departamento de calidad; la coordinación para crear el cambio frecuentemente involucra “organizaciones paralelas” como un consejo de calidad y equipos de proyectos de calidad.

Tarea	Responsabilidad primaria	Otras funciones involucradas	Procedimiento aprobado			Programa	
			Fecha	Por	Controles	Inicio	Final
Realizar pronósticos confiables basados en análisis de circuitos y componentes, y en el uso de un manual de confiabilidad. Comparar con los presupuestos de confiabilidad. Si se hace cualquier revisión de diseño, examinar el pronóstico de confiabilidad y revisar según se requiera.	Ingeniero de diseño	Calidad	Completado	Director técnico	<ol style="list-style-type: none"> 1. Predicciones de confiabilidad a ser incluidas en los programas. 2. Análisis para ser revisados por los grupos de ingenieros. 3. Todos los análisis deben ser remitidos al ingeniero de confiabilidad para su aprobación. 		
Revisar todos los diseños para determinar las partes componentes y las limitaciones del ensamble con respecto a los requerimientos de confiabilidad, usando procesos y procedimientos económicos.	Manufacturera eléctrica	Calidad		Gerente de manufactura	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todos los dibujos deben ser revisados por el representante de manufactura antes de enviarse a ingeniería. 		
Establecer los informes de fallas y el sistema de resolución de problemas desde las primeras pruebas de desarrollo hasta el uso de servicio. <ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer y mantener el reporte de fallas en las áreas de prueba y uso de servicio. 2. Establecer y mantener el reporte de fallas en las plantas de vendedores seleccionados. 	Calidad	Ingeniería, manufactura, adquisiciones, apoyo logístico		Gerente de calidad	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asignar a un ingeniero específico de confiabilidad y de aseguramiento, y a un equipo de acción correctiva para encontrar los problemas y garantizar la corrección. 2. Monitorar el reporte a través de personal asignado en las áreas. 		

FIGURA 7.2
Extracto del programa de administración de confiabilidad de Martin para el proyecto _____.

- Nuevas formas de organización ayudan a eliminar las barreras, o muros, entre los departamentos funcionales.
- Para alcanzar la excelencia en la calidad, la alta dirección debe liderar el esfuerzo por la calidad. Se pueden identificar los papeles de este liderazgo.
- Un consejo de calidad es un grupo de altos directivos que desarrollan estrategias de calidad, y guían y apoyan su implementación.
- La gerencia media ejecuta la estrategia de calidad mediante una variedad de papeles.
- Las aportaciones de la fuerza de trabajo son esenciales para identificar las causas de los problemas de calidad y para diseñar sistemas de trabajo para el autocontrol.
- Los equipos de calidad crean el cambio. Cuatro tipos importantes de equipos son los de proyectos de calidad, fuerza de trabajo, procesos y autodirección.
- La implementación de la estrategia de calidad debe darse mediante la organización lineal, en lugar de pasar a través del cuerpo administrativo del departamento de calidad.
- El director de calidad del futuro tendrá dos papeles: administrar el departamento de calidad y ayudar a la alta dirección en la administración estratégica de la calidad.

PROBLEMAS

- 7.1.** Realice un estudio de investigación e informe cómo estaba organizada para la calidad cualquiera de las siguientes instituciones:
- a)* La Florentine Arte Della Lana (gremio de la lana) de los siglos XII, XIII y XIV.
 - b)* La construcción de barcos en Venecia en el siglo XIV.
 - c)* La construcción de catedrales en la Europa medieval.
 - d)* La industria de la tapicería de los Gobelinos en los siglos XVI y XVII.
- 7.2.** Estudie el plan de organización para la calidad de cualquiera de las siguientes instituciones y reporte sus conclusiones:
- a)* Un hospital.
 - b)* Una universidad.
 - c)* Una cadena de supermercados.
 - d)* Una cadena de moteles.
 - e)* Un restaurante.
 - f)* Una empresa manufacturera.
- 7.3.** Para cualquier organización, haga una lista de las actividades asignadas al departamento de calidad. Compare su lista con la tabla 7.1 y explique por qué las dos listas pueden ser diferentes.
- 7.4.** Para cualquier organización, estudie los métodos que se usan para cumplir:
- a)* La coordinación para el control.
 - b)* La coordinación para el cambio.
- Reporte sus hallazgos.
- 7.5.** Repase los tres elementos del autocontrol del capítulo 5. Explique cómo cada uno de ellos puede ser útil al establecer un equipo de autodirección.
- 7.6.** Una cuestión que se plantea con frecuencia es quién es responsable de la calidad. Como se ha expresado, ésta es una pregunta muy ambigua. La interrogante debe ser replanteada en términos de las acciones y decisiones concernientes a la calidad. Elija un área funcional de una organización. Para ella, enumere

algunas acciones o decisiones clave en las filas de una tabla. Después establezca unas cuantas columnas que muestren las unidades organizacionales candidatas para la responsabilidad. Llene la tabla para mostrar qué unidad debe ser responsable de cada acción o decisión.

REFERENCIAS

- Anderson, D. N. y T. Anderson (1997). "Finding the Right People with the Right Tools", *IIE Solutions Conference Proceedings*, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA.
- Aubrey, C. A. II y D. S. Gryna (1991). "Revolution through Effective Improvement Projects", *ASQ Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 8-13.
- Baker, E. M. (1988). "Managing Human Performance", en *Juran's Quality Control Handbook*, 4a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, pp. 10.47, 10.48.
- Baker, E. M. (1999). *Scoring a Whole in One*, Crisp Publications, Menlo Park, CA.
- Becker, S., W. A. J. Golomski, y D. C. Lory (1994). "TQM and Organization of the Firm", *Quality Management Journal*, enero, pp. 18-24.
- Bock, W. (2003). "Some Rules for Virtual Teams", *Journal for Quality & Participation*, otoño, vol. 26, núm. 3, p. 43.
- Bourquin, C. R. (1995). "A Quality Department Surveys Its Customers (or, Shoes for the Cobler's Children)", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 970-976.
- Christie, P. M. J. y R. R. Levary (1998). "Virtual Corporations: Recipe for Success", *Industrial Management*, julio-agosto, pp. 7-11.
- Cinelli, D. L. y L. Schein (1994). *A Profile of the U.S. Senior Quality Executive*, The Conference Board, Nueva York.
- Dietch, R., S. Tashian y H. Green (1989). "Leadership Characteristics and Culture Change: An Exploratory Research Study", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 3C-21 a 3C-29.
- Fishman, C. (1999). "Engines of Democracy", *FAST COMPANY*, octubre, pp. 173-202.
- Garvin, D. A. (1995). "Leveraging Processes for Strategic Advantage", *Harvard Business Review*, septiembre-octubre, pp. 77-90.
- Grocock, J. M. (1994). "Organizing for Quality—Including a Study of Corporate-Level Quality Management in Large U.K.-Owned Companies", *Quality Management Journal*, enero, pp. 25-35.
- Gryna, F. M. (1993). "The Role of the Quality Director-Revisited", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 11.12-11.14.
- Gryna, F. M. (1981), *Quality Cycles*, Amacom, Nueva York.
- Gryna, F. M. (1960). "Total Quality Control through Reliability", *ASQ Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 746-754.
- Hahn, J. R. (1995). "Self-Managing Teams at Aid Association for Lutherans", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 7B.1-1 a 7B.1-24.
- Harvard Business School (1996). *Project Management Manual*, Boston.
- Henry, J. E. y M. Hartzler (1998). *Tools for Virtual Teams*, ASQ Quality Press, Milwaukee.
- Jeffrey, J. R. (1995). "Preparing the Front Line", *Quality Progress*, febrero, pp. 79-82.
- Kerzner, H. (2003). *Project Management Case Studies*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Lawler, E. E. III (1986). *Participative Strategies for Improving Organizational Performance*, capítulo 7, Jossey-Bass, San Francisco.
- Majchrozak, A. y Q. Wang (1996). "Breaking the Functional Mindset in Process Organizations", *Harvard Business Review*, septiembre-octubre, pp. 92-99.
- McCain, C. (1995). "Successfully Solving the Quality Puzzle in a Service Company", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 6A.1-1 a 6A.1-13.

- McDermott, R. (1994). "The Human Dynamics of Total Quality", *Quality Congress Transactions*, ASQ, Milwaukee, pp. 225-233.
- Morgan, R. B. y J. E. Smith (1996). *Staffing the New Workplace*, ASQ Quality Press, Milwaukee, y CCH Inc., Chicago.
- Piczak, M. W. y R. Z. Hauser (1996). "Self-Directed Work Teams: A Guide to Implementation", *Quality Progress*, mayo, pp. 81-87.
- Six Sigma Academy, Inc. (1998). *The Six Sigma Strategy for Breakthrough Performance*, Scottsdale, AZ.
- Skiba, K. D. L. (1996). "Accelerated Continuous Improvement Methodology", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc. Wilton, CT, pp. 4E-1 a 4E-7.
- Watson, G. H. (1998). "The Emancipation of Quality: Building Bridges and Closing Gaps", *Quality Progress*, agosto, pp. 110-114.
- Wilson, S. (2003). "Forming Virtual Teams", *Quality Congress*, 57:489-549.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Papel de la administración: Miller, L. M. (1984). *American Spirit: Visions of a New Corporate Culture*, William Morrow, Nueva York.
- Equipos: Katzenbach, J. R. y D. K. Smith (1993). *Wisdom of Teams*, Harvard Business School Press, Boston.
- Administración de proyectos: *JQH5*, sección 17.
- Administración del cambio: Kanter, R. M. (1983). *The Change Masters*, Simon and Schuster, Nueva York, capítulo 7.
- Administración de procesos: *JQH5*, sección 6.
- Rummler, G. A. y A. P. Brache (1995). *Improving Performance*, 2a. ed., Jossey-Bass, San Francisco.
- Director de calidad: Shepherd, N. A. (1998). "Quality Manager 2000—Competitive Advantage: Mapping Change and the Role of the Quality Manager of the Future", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 53-60.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Bock, W. (2003). "Some Rules for Virtual Teams", <i>Journal for Quality & Participation</i> , otoño, vol. 26, núm. 3, p. 43.	Ofrece pautas para equipos virtuales.
Hacker, M. y M. Washington (2004). "How Do We Measure the Implementation of Large Scale Change?" <i>Measuring Business Excellence</i> , 8(3):52-59.	Mide el éxito de proyectos a gran escala (por ejemplo, el gobierno).
Kerzner, H. (2003). <i>Project Management Case Studies</i> , John Wiley & Sons, Hoboken NJ.	Estudios de caso de proyectos tanto pequeños como grandes, organizados en 15 categorías.
Merrill, P. (2000). "Using ISO 9000:2000 to Make a Paper System into a People System", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 300-304.	Experiencia de una empresa de <i>Fortune</i> 500 al documentar su sistema de calidad.
Wilson, S. (2003). "Forming Virtual Teams", <i>Quality Congress</i> , 57:489-549.	Cubre temas y herramientas para equipos virtuales. Formato de tipo de una lectura instructiva.

ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE LA CALIDAD

8.1 ELEMENTOS DE LA ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA DE LA CALIDAD

Los capítulos previos presentaron algunos conceptos y técnicas específicos para lograr la excelencia en la calidad. Con ese conocimiento, ahora estamos listos para adquirir una visión de la calidad de mayor alcance, es decir, las estrategias para la calidad. Las estrategias proporcionan un plan de juego para el futuro.

La *administración estratégica de la calidad* es el proceso de establecer objetivos de largo alcance enfocados en los clientes, así como definir el enfoque para cumplir con esos objetivos. La administración estratégica de calidad llega a ser una parte integral del plan estratégico global de una organización y es la alta dirección la que la desarrolla, implementa y dirige. La administración estratégica de calidad (tratada en este capítulo) se realiza en el nivel más alto de la organización. La planeación operacional de calidad (capítulo 4) se enfoca en el nivel de productos y procesos con la administración media.

Se examinarán entonces los elementos básicos de la administración estratégica y luego se verá cómo se puede integrar el parámetro de la calidad. Los siguientes puntos proporcionan un esquema ampliamente aceptado:

- Definir la misión y los factores críticos para el éxito.
- Estudiar los ambientes internos y externos, e identificar las fuerzas, debilidades, oportunidades y amenazas de la organización.
- Definir un objetivo primordial de largo plazo (una “visión”).
- Desarrollar las estrategias clave para lograr la visión.
- Desarrollar objetivos estratégicos (a largo y corto plazos).
- Subdividir los objetivos y desarrollar los planes y proyectos operacionales (“desplegar los objetivos”) para lograr dichos objetivos.

- Proporcionar el liderazgo ejecutivo para implementar las estrategias.
- Revisar el progreso con mediciones, evaluaciones y auditorías.

Observe que estos elementos cubren tanto el desarrollo como el despliegue de las estrategias.

Por lo general, la estrategia cubre un lapso de cinco años en términos amplios, con el primer año de más detalle y con una actualización anual de la estrategia a cinco años.

Thomson y Strickland (1998) son una referencia útil que explica con más detalle el concepto general de la planeación estratégica. *JQH5*, en la sección 13 sobre despliegue estratégico, trata el desarrollo y despliegue de estrategias de calidad.

Los enfoques específicos para la administración estratégica de calidad todavía están en evolución, pero éstos son algunos ingredientes necesarios:

1. Un enfoque en las necesidades de los clientes.
2. Mejora continua para todos los procesos de la organización (gran C).
3. Entender al cliente, al mercado y a las condiciones operacionales clave como entrada para fijar una dirección estratégica. Este aspecto se conecta directamente con los cuatro componentes de la evaluación de la calidad descritos en el capítulo 2. Estos componentes identifican fuerzas, debilidades, oportunidades y amenazas, cuya detección, en el lenguaje de la administración estratégica, recibe el nombre de “análisis SWOT” (por sus siglas en inglés). Si existe una diferencia importante, entonces deben identificarse las estrategias, los objetivos y las acciones, y a eso se le llama un “análisis de brecha”.
4. Liderazgo de la alta administración. La calidad tiene que integrarse en los ocho elementos de la administración estratégica identificados anteriormente. Este ingrediente de la administración estratégica de calidad incluye acciones para fijar la maquinaria organizacional que lleve a cabo la mejora, otorgamiento de facultades (*empowerment*) a la fuerza de trabajo para hacer las mejoras, capacitación a todos los niveles para que ejecuten sus responsabilidades de calidad, establecimiento de medidas y revisión del progreso frente a los objetivos de mejora, concesiones de reconocimiento a favor del desempeño superior y ampliación del sistema de recompensas para reflejar los cambios en las responsabilidades del puesto.
5. Traducción y despliegue de las estrategias en los planes anuales de negocio. Este aspecto requiere un enfoque estructurado para alinear las actividades en tres niveles: nivel organizacional, nivel clave de procesos, nivel unidad de trabajo/individual. También deben enfatizarse las acciones por parte de los departamentos de línea en lugar de depender del departamento de calidad.
6. Recursos adecuados “donde las personas tengan los conocimientos, habilidades, autoridad y el deseo de decidir, actuar y asumir la responsabilidad de los resultados de sus acciones y para contribuir al éxito de la empresa” (la definición de Eastman Chemical de *empowerment*). También ciertas capacidades de recursos sirven como una fuente de ventaja competitiva sobre las empresas rivales (por ejemplo, desarrollo de productos, mercadotecnia). Estas “competencias principales” requieren una atención y un apoyo especial.

Los japoneses usan un enfoque parecido a la administración estratégica, llamado “planeación *hoshin*” (o “despliegue de políticas”), el cual se construye en torno al ciclo clásico de la administración de planear, ejecutar y auditar (o planear, hacer, comprobar, actuar). Los aspectos clave de la planeación *hoshin* incluyen un enfoque en el proceso de planeación, en los objetivos de la empresa conocidos por todos los empleados, en la iniciativa individual, en la auditoría interna y en la documentación y comunicación.

A continuación se presenta una visión general del proceso de administración estratégica de calidad mediante el uso de cuatro ejemplos, y luego se tratarán los elementos individuales del proceso.

8.2

INTEGRACIÓN DE LA CALIDAD EN LA ADMINISTRACIÓN ESTRATÉGICA

En un caso clásico, General Electric llevó a cabo un estudio completo de planeación estratégica para uno de sus productos. La calidad del producto fue un parámetro tratado en el estudio (Utzig, 1980).

En este ejemplo, General Electric era el productor de costo mínimo por unidad, pero la empresa estaba perdiendo participación de mercado. El estudio de planeación estratégica planteó varias preguntas:

1. ¿Cuáles son los objetivos financieros para el producto X?
El objetivo financiero de corto alcance era un retorno sobre la inversión de al menos 25 por ciento, el objetivo de cinco años para el ingreso neto acumulado era de \$120 millones.
2. ¿Cuál es nuestro objetivo actual de calidad con respecto a la competencia?
El objetivo era ser igual a los competidores A y B.
3. ¿Cuáles son los factores clave para la calidad que influyen en la decisión de compra de los clientes potenciales?
La investigación de mercado determinó que los factores para el producto X fueron la confiabilidad, el desempeño eficiente, la durabilidad, la facilidad de inspección y mantenimiento, la facilidad de conexión e instalación y el servicio al producto.
4. ¿Cómo nos comparamos con la competencia en cada uno de los factores clave?
Los sorprendentes resultados se muestran en la tabla 8.1. Observe que GE fue clasificado con la peor puntuación en los seis factores. Por supuesto, los resultados eran increíbles... hasta que el estudio se realizó tres veces. ¿Acaso no puede simplemente oír las críticas del estudio?
5. ¿Tiene alguien una única ventaja competitiva en calidad?
La tabla 8.1 muestra que el competidor A fue el mejor en los seis factores.
6. ¿Cuáles fueron los resultados internos de calidad?
Los costos por fallas eran bajos, así como las quejas. Por consiguiente, un estudio tradicional de costo por mala calidad *no* hubiera identificado la seriedad del problema.
7. ¿Cuáles son los objetivos alternativos de calidad con respecto a la competencia?
Se examinaron algunas alternativas mediante el estudio de los beneficios y los costos. Se decidió que tenía que mantenerse el objetivo actual (ser igual en calidad a los competidores A y B).
8. En el objetivo elegido, ¿qué objetivos departamentales se necesitan para alcanzar los cambios de nivel en los factores clave?

TABLA 8.1
Mediciones basadas en los clientes

Atributos del producto	Valoración promedio de importancia	Valoraciones de desempeño de los competidores		
		GE	A	B
Operación confiable	9.7	8.1	9.3	9.1
Desempeño eficiente	9.5	8.3	9.4	9.0
Durabilidad/vida	9.3	8.4	9.5	8.9
Fácil de inspeccionar y mantener	8.7	8.1	9.0	8.6
Fácil de conectar e instalar	8.8	8.3	9.2	8.8
Servicio al producto	8.8	8.9	9.4	9.2

Se necesitaron nuevos objetivos en cada uno de los departamentos de diseño, manufactura, servicio y aseguramiento de la calidad.

9. ¿Qué planes departamentales deben desarrollarse?

Los objetivos se tradujeron en detalles concretos como fortalecer la estructura magnética para mejorar la confiabilidad, proporcionar un tratamiento de calor más uniforme, instituir un programa especial de capacitación para los técnicos de servicio y realizar una prueba adicional de vida de producto.

10. ¿Qué recursos se requieren?

Después del usual intercambio de negociaciones, se asignaron los recursos apropiados.

Observe que la fuerza impulsora de este modelo (punto 1) fue un objetivo de beneficios, no uno de calidad. El análisis competitivo, al visualizarse a la luz del objetivo de los beneficios y recuperar la participación del mercado, fue decisivo a la hora de cambiar las prioridades y de asignar los recursos necesarios. La planeación de negocios, que involucra a los puntos 8, 9 y 10, colocó a la estrategia de calidad en su lugar. Esta acción llevó a un resultado exitoso.

Los gerentes medios de Carolina Power and Light fueron la fuente de entrada al momento de desarrollar una estrategia (Allen y Bailes, 1988). Se llevaron a cabo una serie de reuniones para identificar los temas críticos que eran obstáculos para la calidad. Se identificaron más de 100 de ellos, que se redujeron a 22; por ejemplo, mejora del liderazgo, dirección y control por parte de la administración senior y que hubiera más reuniones para desarrollar objetivos que dirigiesen los 22 temas. El resultado fueron 297 objetivos, por ejemplo, sentido de unidad del propósito, compromiso visible con la misión y el ideario corporativo. Finalmente, los objetivos se agruparon en cuatro “macroestrategias”: comunicación, cambio de cultura y de estilo de la administración, reconocimiento y recompensas, y educación y capacitación. Para cada una de estas estrategias, se empleó el *brainstorming* (*lluvia de ideas*) para identificar los temas de acción, los cuales, al proporcionar una estructura para cada estrategia, llevaron después al desarrollo de un plan de cinco años para la calidad.

Cada vez más, las organizaciones encuentran que, aunque el liderazgo de la alta dirección es esencial, el desarrollo de la estrategia debe involucrar los puntos de vista tanto de arriba abajo como de abajo hacia arriba.

En otro ejemplo de una industria de servicios, la figura 8.1 muestra el enfoque en Kelly Services, Inc. Observe cómo el vínculo entre la planeación estratégica y la administración del desempeño empieza con una entrada de los clientes internos y externos.

Un ejemplo final proviene de Xerox. La figura 8.2 representa los pasos principales para ir desde una estrategia de desarrollo en el nivel corporativo y el vínculo de la dirección corporativa hasta los objetivos anuales en el nivel de división y luego en el de operaciones.

En la siguiente sección se discutirá cómo las actividades relacionadas con la calidad pueden vincularse e integrarse en los ocho elementos de la planeación estratégica, dando como resultado un esquema de administración estratégica de la calidad.

8.3

MISIÓN, ANÁLISIS AMBIENTAL, VISIÓN

Una *misión* es una declaración del propósito y el alcance de las operaciones de una organización, es decir, “el negocio en el que estamos”.

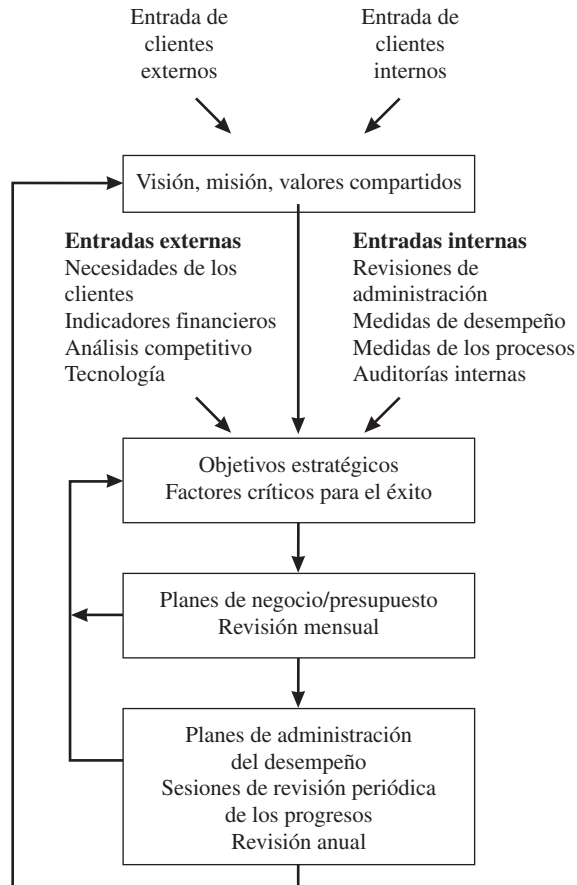


FIGURA 8.1

Proceso de planeación estratégica de Kelly Services. (De McCain, 1995.)

Algunos ejemplos:

Nuestra misión es proporcionar a cualquier cliente un medio de trasladar personas y objetos, hacia arriba, hacia abajo y a los lados en distancias cortas con mayor confiabilidad que cualquier empresa similar en el mundo (Elevadores Otis).

Nuestro negocio es rentar automóviles. Nuestra misión es la satisfacción total del cliente (Avis Rent-a-Car).

Existimos para crear, hacer y comercializar productos y servicios útiles para satisfacer las necesidades de nuestros clientes en todo el mundo (Texas Instruments).

La misión de la Cruz Roja estadounidense es mejorar la calidad de la vida humana; elevar la confianza en sí mismos y el cuidado a los demás, y ayudar a las personas a evitar las emergencias, a prepararse ante ellas y a saber manejarlas.

Observe cómo todas estas declaraciones de misión reconocen la calidad.

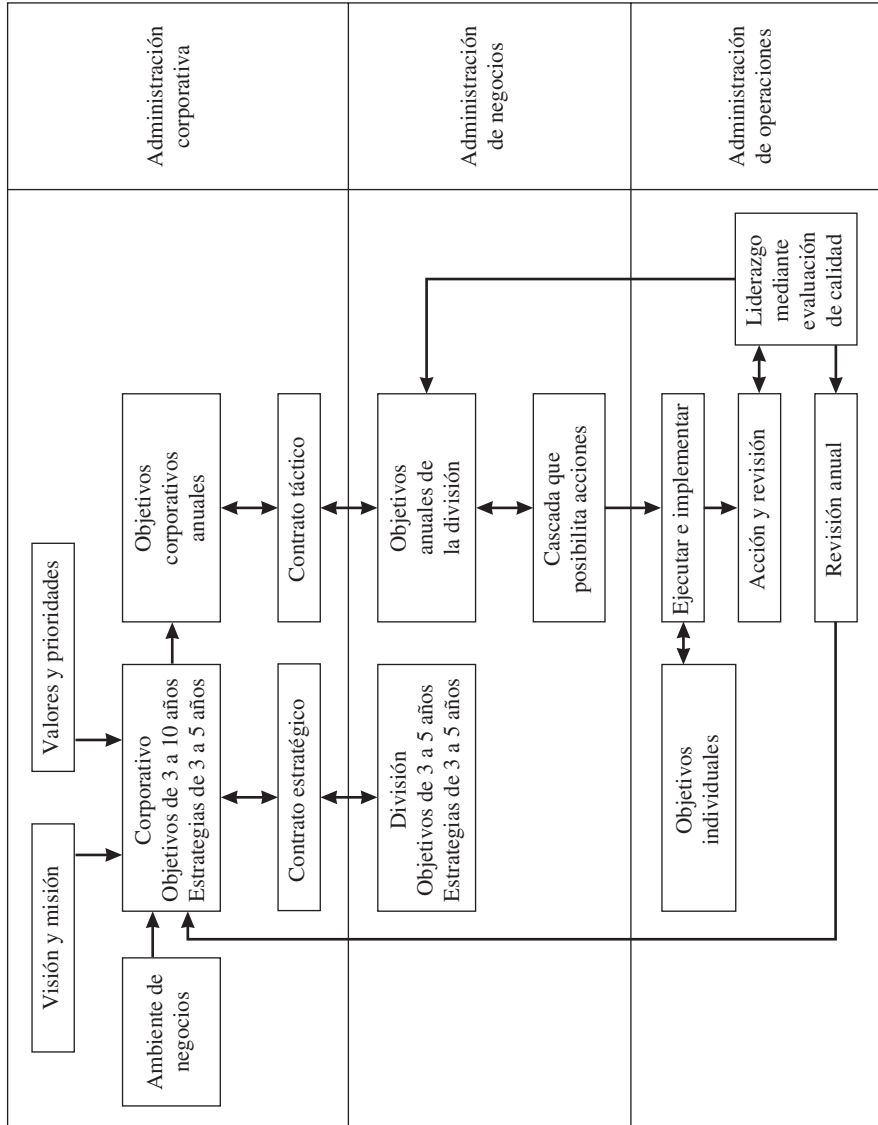


FIGURA 8.2
Proceso de administración por resultados de Xerox. (De Leo, 1994.)

La declaración de misión expone lo que una organización hace en la actualidad, pero luego se deben examinar los ambientes externos e internos y pensar estratégicamente sobre el futuro. Con respecto a la calidad, el análisis ambiental debe enfocarse en cuatro elementos: costo de la mala calidad, situación en el mercado de la calidad, la cultura y el sistema actuales de la calidad. Estos elementos, explicados en el capítulo 2, “Evaluación de la calidad en toda la empresa”, son esenciales porque identifican las fuerzas impulsoras que deben ser encauzadas para definir una visión y desarrollar y desplegar las estrategias.

Una *declaración de visión* define el estado futuro deseado de la organización. Una *visión* puede considerarse como el máximo objetivo y puede tomar cinco o más años en lograrse.

Algunos ejemplos:

Ser el proveedor líder de computadoras personales y de servidores de PC en todos los segmentos de clientes (Compaq Computers).

Seremos los líderes en proporcionar asistencia sanitaria de calidad y asequible que sobrepase las expectativas de servicio y valor de nuestros clientes (Kaiser-Permanente).

Diseñar, producir y comercializar los mejores automóviles del mundo (Cadillac Motor Car Division).

Ser la mejor cadena de restaurantes de servicio rápido de Estados Unidos. Ofreceremos a cada uno de nuestros huéspedes pescados, mariscos y pollo de excelente sazón, sanos y a precios razonables de una manera rápida y amigable en cada visita (Long John Silver’s).

Observe ahora cómo todas estas declaraciones de visión reconocen la calidad.

En la práctica, las declaraciones de misión se enfocan en “lo que nuestro negocio es ahora”; las declaraciones de la visión enfatizan “lo que nuestro negocio será después”. Algunas veces una declaración cubre tanto el presente como el futuro.

8.4 DESARROLLO DE ESTRATEGIAS

Una *estrategia* es una guía de cómo buscar la misión y la visión de la organización. Las estrategias fijan la dirección al identificar los temas o actividades clave que ayudan a desarrollar los objetivos y los planes específicos. Las estrategias deben contribuir de manera significativa a la visión. Al momento de desarrollar las estrategias y los objetivos, se necesita el liderazgo de la alta dirección y la participación de la gerencia media. Este radio de acción proporciona una fuente de ideas valiosas y también fomenta la pertinencia de la implementación.

Con respecto a la calidad, por lo general, hay un pequeño número de estrategias, digamos de tres a cinco. Por ejemplo, Cadillac Motor Car Division identificó tres estrategias: un cambio cultural donde el trabajo en equipo y la participación de los empleados son considerados una ventaja competitiva, un enfoque en el cliente con la satisfacción de éste en el plan maestro y un enfoque más disciplinado para la planeación que concentra a todos los empleados en los objetivos de la calidad.

Las estrategias pueden apuntar tanto a la efectividad operacional como al logro de una ventaja competitiva (Porter, 1996). La *efectividad operacional* significa realizar actividades similares mejor de lo que lo hace la competencia (por ejemplo, llevar a cabo operaciones con menos derroche); *lograr una ventaja competitiva* significa no ejecutar las mismas actividades que los competidores realizan o efectuar actividades similares de diferentes formas (por ejemplo, llevar a cabo un proceso formal e intensificado de desarrollo de producto para generar características únicas en éstos).

TABLA 8.2
Ejemplos de estrategias de calidad

Efectividad operacional	Ventaja competitiva
Reducir costos y tiempo de ciclo mediante la reducción del derroche usando el enfoque de six sigma.	Buscar la lealtad y la retención de los clientes.
Instituir la administración formal de los procesos interdisciplinarios.	Formalizar el proceso de desarrollo de productos.
Descentralizar la toma de decisiones mediante empleados capacitados en la resolución de problemas.	Tratar de conseguir el Premio Baldrige.
Realignar los sistemas de recompensas y reconocimientos para enfocarse en la calidad.	Enfocarse en la relación calidad/precio.
Enfatizar tanto el aumento de la mejora como la mejora revolucionaria importante.	Construir una organización de aprendizaje.
Buscar la certificación ISO.	
Trabajar conjuntamente con los proveedores para lograr la excelencia en la calidad.	

Esta distinción aplica a desarrollar las estrategias de calidad. La tabla 8.2 presenta ejemplos de algunas de éstas para la efectividad operacional y la ventaja competitiva.

La distinción nos recuerda que las actividades de calidad van más allá de reducir el derroche y el costo de la mala calidad. Las estrategias son el motor para el éxito de la calidad. Por lo tanto, estas estrategias deben ser apoyadas con objetivos, planes operativos y proyectos.

8.5 DESARROLLO DE OBJETIVOS; EVALUACIÓN COMPARATIVA COMPETITIVA

Un *objetivo* es un resultado deseado que se tiene que lograr en un tiempo determinado. (“Un objetivo es un sueño con una fecha límite.” Anónimo.) Los objetivos a menudo tienen diferentes nombres: el objetivo global de una organización a veces se llama “visión”; los objetivos de gran alcance de la empresa (digamos, cinco años) son llamados “objetivos estratégicos”; los objetivos de corto alcance (digamos, un año) son los “objetivos tácticos”; los objetivos en diversos niveles pueden llamarse “objetivos de negocios”, “objetivos” o “metas”. La terminología simplemente no está estandarizada.

Defeo (1995), en *JQH5*, identifica siete áreas en las cuales se requieren mínimamente objetivos:

- Desempeño de productos.
- Desempeño competitivo.
- Mejora de la calidad.
- Costo de la mala calidad.
- Desempeño de los procesos de negocios.
- Satisfacción de los clientes.
- Lealtad y retención de clientes.

Algunos ejemplos de objetivos corporativos de calidad preparados para una empresa de productos de salud para el año próximo son:

1. Reducir los costos de calidad para la empresa en _____ por ciento.
2. Mantener la pérdida de material de la empresa bajo _____.
3. Reducir la tasa promedio de fugas de productos de _____ a _____.
4. Emplear _____ ingenieros de calidad certificados.
5. Determinar los costos de calidad para al menos un producto.
6. Desarrollar e implementar una técnica específica de análisis de datos de la calidad en proceso para al menos un producto.
7. Definir los objetivos numéricos de la confiabilidad y de la posibilidad de mantenimiento para al menos un producto.
8. Implementar un procedimiento para asegurar que las plantas revisen todas las especificaciones corporativas del producto antes de que comience la planeación de producción en planta.
9. Implementar un procedimiento para asegurar que el proveedor esté de acuerdo con todas las especificaciones sobre proveedores antes de cerrar el contrato de compra.
10. Desarrollar un manual de procedimientos de calidad.
11. Requerir que el presidente o el vicepresidente senior realice al menos _____ visitas a los clientes para revisar la calidad del producto.

Otros ejemplos de los objetivos globales de calidad son:

- Crear el modelo de automóvil Taurus/Sable a un nivel de calidad que lo haga “el mejor de su clase”.
- Reducir en 50 por ciento el tiempo requerido para resolver las quejas de los clientes.
- Aumentar el porcentaje de los resultados de investigación que llegan a incorporarse a los productos en _____ por ciento.

Observe que estas declaraciones incluyen una cuantificación en términos de las características de un producto o de una fecha (el fin del calendario anual). Éstas cubren las características y las tareas en el programa global de la calidad de la empresa. Los objetivos de calidad también pueden ser creados por departamentos individuales.

Formulación de los objetivos de calidad

Los objetivos de calidad pueden identificarse a partir de algunas entradas. La fuente más importante es la colección de cuatro estudios descritos en el capítulo 2, “Evaluación de la calidad en toda la empresa”: costo de la mala calidad, situación en el mercado en la calidad y la cultura y el sistema de la calidad. Estos estudios identifican las fuerzas, debilidades, oportunidades y amenazas. Otras entradas para ayudar a formular objetivos incluyen:

- Análisis de Pareto (véase el capítulo 3) de señales externas repetitivas de alarma (fallas de campo, quejas, devoluciones, etcétera).
- Análisis de Pareto de señales internas repetitivas de alarma (derroche, trabajo repetido o de reelaboración, clasificación, prueba del 100 por ciento, etcétera).
- Propuestas por parte de los participantes internos clave (gerentes, supervisores, profesionales, enlaces sindicales).
- Propuestas que surgen de los planes de sugerencias.

- Estudios de campo de las necesidades de los usuarios y costos.
- Datos del desempeño de los productos *versus* los de la competencia (por parte de los usuarios y de pruebas de laboratorio).
- Comentarios de personas clave fuera de la empresa (clientes, vendedores, periodistas, críticos).
- Hallazgos y comentarios de legisladores gubernamentales, laboratorios independientes y reformadores.

Al igual que al formular las políticas, el análisis de estas entradas requiere un mecanismo que dé a los gerentes la oportunidad de participar en el establecimiento de los objetivos sin la carga de desempeñar el trabajo detallado del personal. A los ingenieros de calidad y a otros especialistas de personal se les asigna el trabajo de analizar las entradas disponibles y crear cualquier entrada esencial faltante. Estos análisis indican los proyectos potenciales que se proponen después. Los gerentes de los siguientes niveles de la organización revisan las propuestas. En cada nivel hay un resumen y una consolidación hasta que se llega al nivel corporativo. El proceso anterior es similar al usado para preparar el presupuesto financiero anual.

En la figura 8.3 se muestra el proceso empleado en una planta química de Union Carbide para fijar los objetivos anuales. Observe que este enfoque incluye una visión, una estrategia (largo alcance) y planes tácticos (corto alcance).

Pueden usarse algunos criterios alternativos para definir los objetivos de calidad: desempeño histórico, análisis de ingeniería, competencia (véase “Evaluación comparativa competitiva” a continuación), o algún valor absoluto (por ejemplo, six sigma). Las empresas que aspiran a la excelencia a menudo fijan objetivos más allá de los que son claramente alcanzables para animar a las personas a generar enfoques inusuales con el fin de lograr tal aspiración. Éstos son “objetivos de extensión”. A veces, los resultados pueden ser notables, de hecho, extraordinarios. Todos los objetivos (pero especialmente los objetivos de extensión) requieren un estrecho seguimiento de su despliegue y de la asignación de recursos.

Finalmente, la naturaleza de los objetivos de calidad cambia con la madurez de la iniciativa de calidad de una organización; por ejemplo, los primeros objetivos para establecer la infraestructura frente a los últimos objetivos que provienen de las evaluaciones de calidad y de la evaluación comparativa.

Evaluación comparativa competitiva

La *evaluación comparativa competitiva* es el “proceso continuo de medir productos, servicios y prácticas en relación con los competidores más fuertes de la empresa o con aquellas empresas reconocidas como líderes de una industria” (Camp, 1994).

Una evaluación comparativa es simplemente un punto de referencia que se utiliza como un estándar de comparación para el desempeño real. La tabla 8.3 enumera evaluaciones comparativas típicas.

Por desgracia, el apego a una especificación puede ser tristemente insuficiente para generar ventas. También observe que algunas de las evaluaciones comparativas enumeradas en la tabla 8.3 van más allá de la competencia. En este contexto, *competencia* hace referencia a otras organizaciones que contienen para vender, por ejemplo, equipo de reproducción de oficina. Pero una organización de referencia puede ser “la mejor de nuestra industria” o “la mejor de cualquier industria”. Por ejemplo, Xerox Corporation usó a IBM y a Kodak (competidores directos de algunos de sus productos) como organizaciones de referencia para evaluar muchas de sus operaciones. Pero para actividades de almacenamiento y distribución, Xerox eligió a L. L. Bean Company, un distribuidor de ventas de ropa y otros productos de consumo por catálogo, como organización de referencia. Las organizaciones

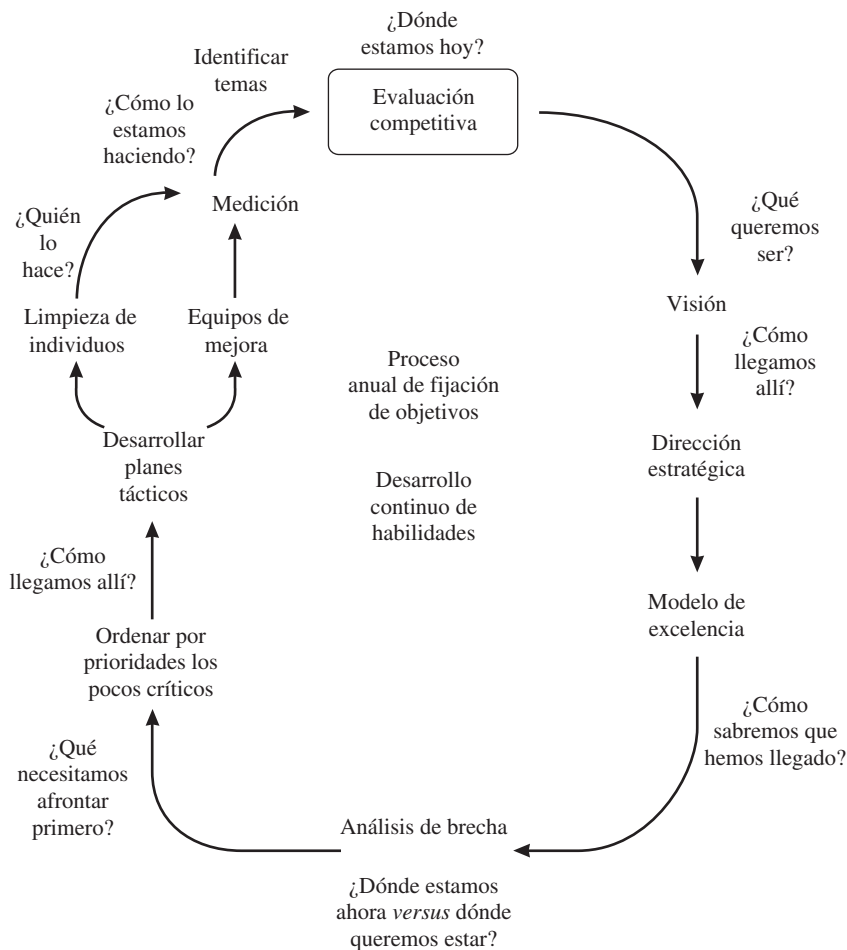


FIGURA 8.3
Proceso anual de fijación de objetivos. (De Perry, 1989.)

TABLA 8.3
Evaluaciones comparativas

La especificación
Los deseos de los clientes
La competencia
El mejor de nuestra industria
El mejor de cualquier industria

de referencia sirven no sólo como un estándar de comparación, sino también como un medio de autoevaluación y de mejora subsiguiente. El concepto de buscar el mejor ejecutante de *cualquier* industria es una contribución valiosa del enfoque de la evaluación comparativa.

El proceso de evaluación comparativa aplica a temas tales como productos, servicio al cliente y procesos internos. Sus pasos son:

1. Identificar los temas de evaluación comparativa.
2. Identificar los asociados de referencia (organizaciones que servirán de referencia).
3. Determinar el método de recopilación de datos y recopilarlos.
4. Determinar la brecha competitiva (comparando a nuestra empresa con las asociadas de referencia).
5. Proyectar el desempeño futuro de la industria y de nuestra empresa.
6. Comunicar los resultados.
7. Establecer objetivos funcionales.
8. Desarrollar planes de acción.
9. Implementar planes y monitorear los resultados.
10. Recalibrar las organizaciones de referencia (repetir el proceso de evaluación comparativa, por lo general entre tres y cinco años dependiendo del tema).

La evaluación comparativa competitiva es una entrada esencial para la formulación de objetivos. Pero también proporciona fuentes de ideas para la mejora junto con la evidencia de que no sólo existen mejores prácticas sino que también deben instituirse para ser competitivos. Para una exposición completa de evaluación comparativa véase *JQH5*, sección 12. Camp (1998) presenta estudios de caso de evaluación comparativa en los sectores de manufactura, servicios, no lucrativos, gubernamentales y educativos.

8.6 DESPLIEGUE DE OBJETIVOS

Los objetivos claros no llevan directamente a los resultados; primero deben ser “desplegados”. El *despliegue* significa subdividir (alinear) los objetivos y asignarlos a los niveles inferiores para su conversión en planes y proyectos operacionales (véase la figura 8.4). Por consiguiente, los objetivos deben ser desplegados desde el nivel organizacional hasta el de procesos y a los puestos individuales.

Por ejemplo, una organización tenía una estrategia para ser “conocida como el proveedor del servicio al cliente con respuesta más rápida”. Para apoyar esta estrategia, se fijaron cuatro objetivos (Juran Institute, 1992):

1. Reducción de los tiempos de entrega de pedidos a dos días para 1993.
2. Reducir en 50 por ciento el lapso de tiempo para contestar las quejas de los clientes.
3. Disminuir en 90 por ciento los tiempos de desarrollo de aplicaciones a clientes.
4. Reducir los tiempos de contrato de ofertas en 80 por ciento.

Observe que cada objetivo es específico, perceptible y mensurable. Luego se establecieron proyectos específicos para lograrlos.

Un hospital define sistemáticamente las conexiones que existen entre los elementos de su proceso de planeación estratégica. El hospital tiene cinco objetivos a largo plazo, por ejemplo, mejorar el éxito y la satisfacción de los clientes. Cada objetivo está conectado (en una matriz) con objetivos estratégicos específicos, medidas clave de desempeño, metas anuales y once procesos principales, por ejemplo, proporcionar servicio. El impacto de un objetivo en un proceso principal se concreta como alto, mediano o bajo. Los “campeones” de la administración trabajan luego con los dueños de los procesos para identificar y buscar proyectos que alcancen las metas de desempeño. Este proceso en cascada de despliegue de estrategias y objetivos a los niveles inferiores se llama el “hilo de oro”.

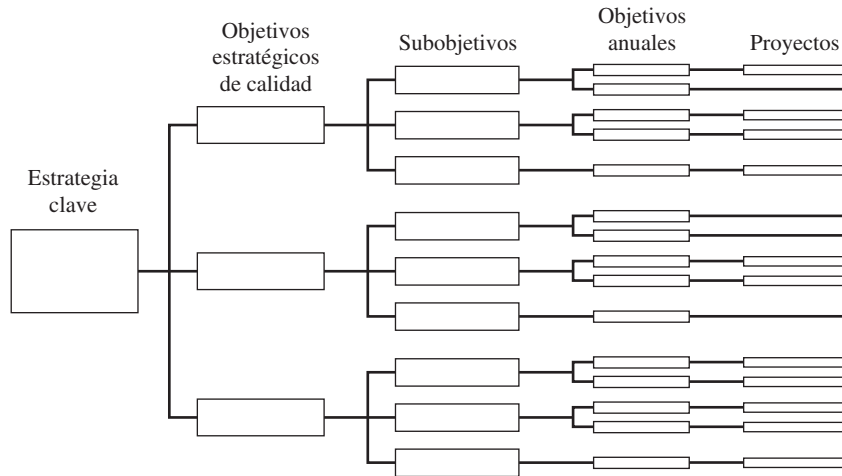


FIGURA 8.4
Despliegue de la visión. (*Juran Institute, Inc.*)

Éste es un punto clave: la visión, las estrategias y los objetivos proporcionan dirección, pero los proyectos específicos y otras formas de acción ofrecen los métodos para lograr los resultados. Algunas veces el número de proyectos puede ser impresionante, por ejemplo, para el objetivo de six sigma de General Electric el número de proyectos creció de 200 en 1995 a unos 47 000 en 1999 (Slater, 1999). Para el objetivo del Ford Taurus/Sable de llegar a ser el mejor en su clase, se definieron más de 400 submetas, las cuales llevaron a más de 1 500 equipos de proyecto.

8.7 FACILITAR EL LIDERAZGO EJECUTIVO PARA IMPLEMENTAR LAS ESTRATEGIAS

El factor más importante al momento de implementar las estrategias de calidad es el liderazgo personal de la alta dirección. El mecanismo organizacional usado es el consejo de calidad (véase el capítulo 7 bajo el rubro “El papel de la alta dirección”).

Aunque el liderazgo de la alta dirección es esencial, el desarrollo de las estrategias y de los planes debe involucrar puntos de vista de arriba abajo y de abajo hacia arriba. Este proceso requiere una comunicación de dos vías entre la alta dirección y los niveles inferiores; los japoneses llaman a este concepto “atrapar la bola”. Los elementos clave son:

- Comunicación de lo que la alta dirección propone como las áreas centrales clave para la planeación estratégica.
- Designaciones por parte de los gerentes de los niveles inferiores de áreas adicionales de atención.
- Decisiones de estrategias, objetivos y recursos para el despliegue.

En Fannie Mae, una empresa de servicios financieros, los ejecutivos senior esbozaron la visión, misión y estrategias clave originales. Luego, los directores y los gerentes de nivel medio ofrecieron comentarios, los cuales llevaban a un esbozo de los objetivos estratégicos. A continuación más de 600 gerentes y supervisores contribuyeron con ideas para desplegar los objetivos a submetas y proyectos.

Entonces la administración senior creó la versión final de las estrategias y objetivos clave. Observe la similitud con el enfoque empleado en Carolina Power and Light (véase la sección 8.2).

Implementar con éxito las estrategias requiere que la alta dirección proporcione una infraestructura para la calidad. Por ejemplo:

- Desarrollar una organización con las competencias necesarias y asignar suficientes recursos para las actividades que sean fundamentales para las estrategias.
- Enfatizar la mejora continua.
- Instalar sistemas de operación y de información para apoyar al personal, incluyendo políticas y procedimientos de calidad.
- Crear una cultura positiva de calidad, incluyendo recompensas y reconocimientos por los logros de un desempeño superior.
- Ejercer un liderazgo personal para impulsar la implementación de las estrategias.

Este libro explica estos elementos. Un instrumento a la hora de proporcionar dirección es el concepto de políticas de calidad.

Políticas de calidad

Una *política* es una guía amplia para la acción. Es una declaración de principios o valores. Una política es diferente de un procedimiento, el cual detalla cómo se va a lograr una actividad determinada. Por consiguiente, una política de calidad pudiera enunciar que se van a medir los costos de calidad. El procedimiento correspondiente describe cómo se medirán dichos costos.

Las políticas no tienen que ser ambiguas. Pueden ser lo suficientemente específicas como para proporcionar una guía útil. Éstos son dos impresionantes ejemplos de diferentes fabricantes de computadoras:

Un nuevo producto tiene que desempeñarse mejor que el producto que reemplaza y mejor que el de la competencia, y éste debe ser el caso en el momento del primer envío regular al cliente.

A la hora de seleccionar a los proveedores, quienes toman las decisiones son los responsables de elegir la mejor fuente, incluso si esto significa que no se seleccionan las fuentes internas. (Esta política anuló una anterior que daba prioridad a comprar a las “divisiones hermanas”.)

Las siguientes políticas corporativas de calidad fueron preparadas para su discusión en una empresa de productos de salud.

1. En los niveles corporativos y de planta, el departamento de control de calidad será independiente de la función de producción.
2. La empresa colocará un nuevo producto en el mercado sólo si la calidad global es superior a la de la competencia.
3. Se llevarán a cabo todas las tareas necesarias para lograr la calidad superior, pero cada tarea será evaluada para asegurar que la inversión tiene un efecto tangible en la calidad.
4. Se definirán por escrito las responsabilidades específicas de calidad para todas las áreas de la empresa, incluyendo a la alta dirección.
5. Las actividades de calidad harán énfasis en la prevención de los problemas de calidad en lugar de hacerlo sólo en su detección y corrección.
6. La calidad y la confiabilidad se definirán y medirán en términos cuantitativos.

7. Todos los parámetros y pruebas de calidad reflejarán las necesidades de los clientes, condiciones de uso y requerimientos legales.
8. Se medirán periódicamente los costos totales de la empresa para lograr los objetivos de calidad.
9. Se proporcionará asistencia técnica a los proveedores para mejorar sus programas de control de calidad.
10. Todas las responsabilidades de tareas de calidad definidas para un departamento funcional tendrán un procedimiento escrito que describa cómo desempeñar la tarea.
11. La empresa propondrá a las agencias reguladoras u otras organizaciones cualquier adición o cambio a la práctica de la industria que asegure una calidad mínima aceptable de los productos.
12. Cada año se definirán los objetivos de calidad para las actividades corporativas, de división y de planta, y se incluirán en los programas de calidad de la empresa tanto objetivos de productos como de tareas.
13. Todos los niveles de dirección tendrán programas definidos de motivación de calidad para los empleados de su departamento.

Estas políticas fueron preparadas para proporcionar pautas con el fin de (1) planear el programa global de calidad y (2) definir la acción que se va a tomar cuando el personal requiera orientación.

Las políticas también pueden ser necesarias dentro de un departamento funcional. Aquéllas para el uso dentro de un departamento de calidad podrían incluir las siguientes declaraciones:

1. La cantidad de inspección de partes y materiales que entran se basará en los análisis crítico y cuantitativo de los antecedentes del proveedor.
2. La evaluación de nuevos productos para liberar a producción incluirán un análisis de datos para conformidad con los requerimientos de desempeño, y también una evaluación de la adaptabilidad global para uso, implicando confiabilidad, capacidad de mantenimiento y comodidad de operación para el usuario.
3. La evaluación de nuevos productos para conformidad con los requerimientos de desempeño se hará para los límites numéricos definidos de desempeño.
4. Se dará a los proveedores una declaración escrita de todos los requerimientos de calidad antes de firmar el contrato.
5. La prueba *burn-in* no es un método rentable para eliminar fallas y será usado sólo en las primeras unidades de un tipo de producto nuevo (o de una modificación importante de un producto existente) con el fin de obtener un rápido conocimiento de los problemas.

Observe que estos ejemplos de políticas establecen (1) un principio a seguir o (2) *lo que se tiene que hacer pero no cómo se debe hacer*. El cómo se describe en un procedimiento. A menudo es mejor tener una política en lugar de un procedimiento para ofrecer flexibilidad ante las diferentes situaciones.

Un asunto delicado de la política puede surgir como resultado de los proyectos de mejora que reducen el trabajo repetido o de reelaboración o el reprocesamiento para corregir los errores. Las personas que hacen el trabajo repetido se pueden preguntar: “¿Qué va a pasar conmigo si mi labor ya no es necesaria?” Este temor debe enfrentarse directamente y se debe formular una política. Son posibles algunas alternativas:

- La garantía de que ningún empleado perderá su puesto como resultado de un esfuerzo de calidad. Unas cuantas empresas han emitido una declaración de política de este tipo.
- Confiar en las renuncias y jubilaciones como una fuente de nuevos empleos para aquellos cuyos trabajos hayan sido eliminados. Volver a capacitar a los trabajadores afectados para calificarlos para los nuevos puestos.

- Reasignar a los empleados afectados a otras áreas. Este enfoque puede incluir crear puestos para un trabajo adicional de mejora de calidad.
- Ofrecer jubilación anticipada.
- Si todo lo demás falla, ofrecer asistencia de terminación para ayudar a los trabajadores a encontrar empleo en otras empresas.

Planear de antemano para esta situación a menudo puede llevar a soluciones creativas; pero el fracaso en esto conduce con frecuencia a un campo de minas de problemas, incluyendo graves interrupciones en las vidas de las personas. Un enfoque compasivo es claramente un sello del verdadero liderazgo.

8.8 REVISIÓN DEL PROGRESO CON MEDICIONES, EVALUACIONES Y AUDITORÍAS; ANOTADOR EQUILIBRADO

Una vez que se han fijado y desplegado los objetivos en submetas, planes de negocio y proyectos, entonces deben establecerse las mediciones clave. Aplican varios nombres, por ejemplo, indicadores clave de resultados o indicadores de desempeño. Se invita a los lectores a revisar los elementos básicos de la medición (véase el capítulo 5 bajo el rubro “Medición” y, particularmente, la figura 5.2).

En el nivel estratégico, las mediciones deben desarrollarse para cada objetivo estratégico definido en el plan estratégico. Por lo general las mediciones incluyen áreas tales como desempeño del producto, desempeño competitivo, mejora de calidad, costo de la mala calidad, desempeño de los procesos de negocios, satisfacción, lealtad y retención de los clientes (véase antes la sección 8.5, “Desarrollo de objetivos”). Luther (1993) describe cómo Corning Inc. usa más de 200 indicadores clave de resultados para integrar los objetivos de calidad y de negocios.

Algunas organizaciones combinan sus mediciones de los procesos internos, financieros y de clientes, así como de las áreas de aprendizaje y crecimiento en un “anotador equilibrado”. La figura 8.5 ilustra este concepto. El anotador equilibrado se usa en conjunción con cuatro procesos administrativos: traducción de la visión, comunicación y conexión de la estrategia con los objetivos departamentales e individuales, integración de los planes financieros y de negocios, y modificación de las estrategias para reflejar el aprendizaje en tiempo real.

Para un examen de amplias evaluaciones y auditorías, véase el capítulo 2, “Evaluación de la calidad en toda la empresa”.

8.9 LA ORGANIZACIÓN DE APRENDIZAJE (QUE APRENDE)

“Una organización de aprendizaje (organización que aprende) es una organización con habilidades para crear, adquirir y transferir conocimiento, y para modificar su conducta y reflejar nuevo conocimiento y perspectivas” (Garvin, 1993).

El concepto de la organización de aprendizaje exige que las organizaciones que están comprometidas con la mejora continua le presten mucha atención. Ejemplos son Xerox, GTE, Chaparral Steel, British Petroleum, General Electric y AT&T.

El concepto está basado en cinco “disciplinas de aprendizaje” que implican esfuerzos de estudio y práctica de por vida. Estas disciplinas tienen vínculos con la administración estratégica (véase la tabla 8.4).

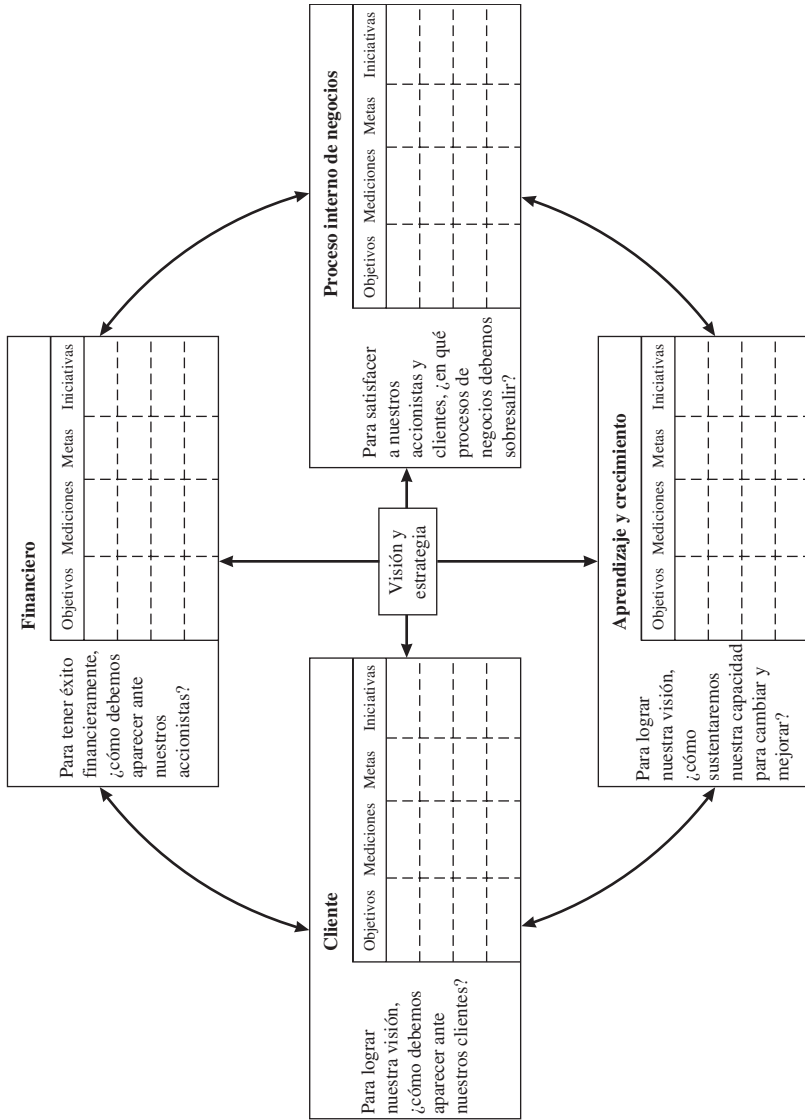


FIGURA 8.5
 Traducción de visión y estrategia: cuatro perspectivas. (De Kaplan y Norton, 1996.
 Reproducido con permiso de Harvard Business School Press.)

TABLA 8.4
Disciplinas de aprendizaje y administración estratégica

Disciplina de aprendizaje	Relación con la administración estratégica
dominio personal: crear un ambiente de aprendizaje.	Fomentar el pensamiento y las estrategias innovadoras.
Modelos mentales: aclarar situaciones para ayudar a dar forma a las acciones.	Desarrollar estrategias y objetivos estratégicos.
Visión compartida: construir imágenes compartidas del futuro y de cómo llegar allí.	Participar en el desarrollo de una visión y de las estrategias.
Aprendizaje en equipo: desarrollar inteligencia y capacidad mediante los equipos.	Uso de equipos de proyectos y equipos de procesos.
Pensamiento de sistemas: entender las fuerzas que dan forma a las actividades complejas.	Estudiar los ambientes externos e internos.

La organización de aprendizaje es un concepto en desarrollo. La referencia básica es Senge (1990). Senge *et al.* (1994) y Garvin (1993) ofrecen explicaciones útiles que incluyen ilustraciones prácticas de las cinco disciplinas.

Endres (2000) proporciona una detallada descripción, con ejemplos, de estas cinco fases.

8.10 OBSTÁCULOS PARA LOGRAR LOS OBJETIVOS DE CALIDAD

Las razones para el fracaso son muchas, pero destacan siete en importancia:

1. *Falta de liderazgo de la alta dirección.* Sin tal liderazgo, es probable que el éxito de la calidad esté condenado. Algunos en la alta dirección pueden estar “comprometidos”, pero la falta de *evidencia* de este compromiso tiene un resultado perjudicial en el resto de la organización. El capítulo 7, “Organización para la calidad”, trata el papel del liderazgo de la alta dirección.
2. *Falta de una infraestructura para la calidad.* Con otras actividades importantes, la administración ha delegado con éxito la responsabilidad pero sólo después de desarrollar mecanismos que incluyan objetivos, planes y mecanismos organizacionales claros para llevar a cabo planes, presupuestos y precauciones para reconocimientos y recompensas. En contraste, con respecto a la calidad estos elementos son, por lo general, ambiguos, o se pierden.
3. *Fracaso al entender el escepticismo sobre el “nuevo programa de calidad”.* Muchas personas han visto anteriores programas de calidad hundirse silenciosamente en el olvido. Desafortunadamente, el escepticismo no se comenta. El resultado es que la administración fracasa al presentar un caso convincente de *a)* una “prueba de la necesidad” para el esfuerzo de la calidad y *b)* su determinación para hacer del esfuerzo un éxito.
4. *Una suposición por parte de la administración de que el enfoque del exhorto funcionará.* Este enfoque implica una fuerte presentación de la prueba de la necesidad (es decir, convencer a todo el mundo de la seriedad del problema de calidad) aunado a depender principalmente de técnicas motivacionales para inspirar a todo el mundo a hacerlo mejor.

5. *El fracaso de “comenzar pequeño” y aprender de las actividades piloto.* Algunas veces, por la premura de alcanzar grandes resultados rápidamente, la pequeña fase piloto se omite; en lugar de ello, tiene lugar una capacitación masiva con la expectativa de que luego las tropas puedan avanzar en todos los frentes simultáneamente. Este enfoque no funciona. Una alternativa mucho mejor emplea un número pequeño de proyectos piloto, con el alcance de cada proyecto cuidadosamente definido para que se pueda completar en, aproximadamente, seis meses. Tal vez el error más común en los proyectos de calidad es el fracaso a limitar su alcance a un bocado de tamaño digerible. Las personas se cansan rápidamente de proyectos que parecen durar para siempre.
6. *Dependencia de técnicas específicas como el medio primario para alcanzar los objetivos de calidad.* Ejemplos de tales técnicas son el control estadístico de procesos, costo de calidad, círculos de calidad, despliegue de la función de calidad, etc. Estas técnicas son valiosas y a menudo necesarias, pero dirigen sólo partes específicas del problema.
7. *Subestimar el tiempo y los recursos requeridos.* Se necesita casi el 10 por ciento del tiempo de la alta y media direcciones y de los especialistas profesionales para alcanzar avances revolucionarios en la calidad. Por lo general, se debe hallar este tiempo sin añadir más personal. Por consiguiente, las prioridades deben cambiar, es decir, se deben retrasar o eliminar otras actividades.

Un buen consejo para las organizaciones que se embarcan en un esfuerzo significativo por la calidad es que busquen la asesoría de otras organizaciones, y particularmente, que aprendan de sus razones para el fracaso.

RESUMEN

- La administración estratégica de la calidad es el proceso de establecer objetivos de largo alcance enfocados en el cliente, así como de definir el enfoque para alcanzar esos objetivos.
- La alta dirección desarrolla e implementa la administración estratégica de la calidad.
- Los enfoques para la administración estratégica de la calidad tienen algunos elementos comunes: un enfoque en las necesidades de los clientes, el liderazgo de la alta dirección, la integración de las estrategias de calidad en los planes de negocio y la implementación por departamentos de línea.
- Una política es una guía amplia de acción.
- Un objetivo es la declaración de un resultado que se desea alcanzar en un tiempo determinado.
- La evaluación comparativa competitiva identifica las características clave de calidad y usa otras organizaciones líder como puntos de referencia para desarrollar objetivos y estrategias.
- Nosotros “desplegamos” los objetivos de calidad al dividirlos en acciones específicas, asignar responsabilidades y proporcionar los recursos.
- Implementar una estrategia de calidad implica cinco fases: decisión, preparación, comienzo, expansión e integración.

PROBLEMAS

- 8.1. Seleccione un programa de mejora que haya observado en una organización. El programa de mejora se puede enfocar en calidad, seguridad, ausentismo, costos u otros asuntos. Con respecto a la implementación del programa, ¿cuáles fueron sus fuerzas? ¿Cuáles las debilidades de la implementación? ¿Qué recomendaciones haría para implementar un programa de mejora en el futuro?

- 8.2. Proponga una lista de cinco políticas de calidad para una organización específica, por ejemplo, su empresa, o un supermercado.
- 8.3. Proponga una lista de cinco objetivos de calidad para una organización específica, por ejemplo, su empresa, o un supermercado.
- 8.4. Muchas organizaciones tienen una declaración general llamada “política de calidad”. Generalmente esta declaración es ambigua, por ejemplo, la organización ofrecerá al cliente “alta calidad”. Obtenga un ejemplo de una declaración así y explique cómo podría hacerla más específica.
- 8.5. Consulte la lista de 13 políticas de calidad bajo el título “Políticas de calidad” en la sección 8.7. Comente extensamente cómo cada política aplica a una organización específica.
- 8.6. Un banco requiere que sus sucursales desarrollen un plan anual de calidad que despliegue la estrategia corporativa en objetivos de calidad para cinco áreas específicas. Un área es la utilización de recursos humanos. Proponga cuatro objetivos para apoyar a dicha área.
- 8.7. Hace cuatro meses, una organización decidió que necesitaba un nuevo enfoque para la calidad. Uno de los pasos que tomó fue el establecimiento de objetivos de calidad. Como parte de un enfoque “50 por ciento en 5”, cada departamento tiene ahora el objetivo de reducir el costo de la mala calidad en un 50 por ciento en 5 años. Comente este enfoque.
- 8.8. Para una organización que le sea familiar, defina un objetivo estratégico de calidad. Para ese objetivo, proponga un proyecto específico de calidad (mejora, planeación o control). Para ese proyecto, prepare una breve declaración de misión y una lista de las funciones que deben incluirse en el equipo de proyecto.

REFERENCIAS

- Allen, R. L. y C. V. Bailes (1988). “Managing the Startup of a Corporate Quality Improvement Effort —Translating Corporate Strategies into Field Operations”, *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 6A-13 a 6A-18.
- Camp, R. C. (1994). *Business Process Benchmarking: Finding and Implementing Best Practices*, Quality Press, ASQ, Milwaukee; Quality Resources, White Plains, NY.
- Camp, R. C., ed. (1998). *Global Cases in Benchmarking: Best Practices from Organizations around the World*, ASQ Quality Press, Milwaukee.
- Defeo, J. A. y W. Barnard (2003). *Juran’s Six Sigma Breakthrough and Beyond*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Endres, A. (2000). *Implementing Juran’s Roadmap for Quality Leadership*, John Wiley and Sons, Nueva York.
- Garvin, D. A. (1993). “Building a Learning Organization”, *Harvard Business Review*, julio-agosto, pp. 78-91.
- Juran Institute, Inc. (1992). *Strategic Quality Planning*, Wilton, CT.
- Kaplan, R. S. y D. P. Norton (1996). *The Balanced Scorecard*, Harvard Business School Press, Boston.
- Leo, R. J. (1994). “A Corporate Business Excellence Process”, *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc. Wilton, CT, pp. 6A.1-1 a 6A.1-13.
- Luther, D. B. (1993). “Advanced TQM: Measurements, Missteps, and Progress through Key Result Indicators at Corning”, *National Productivity Review*, invierno, pp. 23-36.

- McCain, C. (1995). "Successfully Solving the Quality Puzzle in a Service Company", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 6A.1-1 a 6A.1-13.
- Perry, A. C. (1989). "From Teams to Total Quality", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 3A-7 a 3A-16.
- Porter, M. E. (1996). "What is Strategy?" *Harvard Business Review*, noviembre-diciembre, pp. 61-78.
- Senge, P. M., A. Kleiner, C. Roberts, R. B. Ross y B. J. Smith (1994). *The Fifth Discipline Fieldbook*, Currency Doubleday, Nueva York.
- Senge, P. M. (1990). *The Fifth Discipline Fieldbook*, Currency Doubleday, Nueva York.
- Slater, R. (1999). *Jack Welch and the GE Way*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Thompson, A. A. Jr. y A. J. Strickland III (1998). *Strategic Management*, 10a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Utzig, L. (1980). "Quality Reputation —A Precious Asset", *ASQ Technical Conference Transactions*, Milwaukee, pp. 145-154.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Evaluación comparativa: AT&T (1992). *Benchmarking: Focus on World-Class Practices*, AT&T Benchmarking Team, Indianápolis, IN.
- Burpo, T. R. (1998). "Benchmarking Start-Up: Pitfalls and Successes", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 277-286.
- Despliegue: AT&T (1992). *Policy Deployment*, AT&T Bell Laboratories Quest Partnership, Indianápolis, IN.
- Organización de aprendizaje: Watson, G. H. (1998). "Bring Quality to the Masses: The Miracle of Loaves and Fishes", *Quality Progress*, junio, pp. 29-32.
- Davenport, T. y L. Prusak (1998). *Working Knowledge*, Harvard Business School Press, Boston.
- Estrategia: Berry, R. W. (1996). *An Investigation of the Relationship between World-Class Quality System Components and Performance*, tesis doctoral, UMI Dissertation Services, Ann Arbor, MI.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Bigelow, M. (2002). "How to Achieve Operational Excellence", <i>Quality Progress</i> , 35(10):70-75.	Pasos para establecer y mantener un programa operacional de excelencia.
Breckline, J. (2003). "Balanced Scorecards and Project Filters: Aligment for Success", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , 57:219-236.	Estrategia. Estudio de caso del uso de un anotador equilibrado y de la selección del proyecto en Nokia.
Cobb, C. (2000). "Knowledge Management and Quality Systems", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 276-288.	Recopila y distribuye el conocimiento a partir de las experiencias, se citan empresas.
Crepin, D. (2002). "From Design to Action: Developing a Corporate Strategy", <i>Quality Progress</i> , 35(2):49-56.	Método para el desarrollo de la estrategia basado en conceptos físicos y de calidad.

Citas	Resumen
Grigg, N. y R. Mann (2004). "A Fast Track to Performance Excellence: Creating World Class Organizations Through a Benchmarking Initiative", <i>Quality Congress</i> , 58:103-114.	Síntesis de literatura actual de evaluación comparativa y autoevaluación, seguida por el estudio de un caso del club de referencia NZ que sustenta la presencia de correlación positiva en los criterios principales y secundarios del Baldrige. Las citas examinan clubes de evaluación comparativa por industria.
Hill, C. (2000). "Benchmarking and Best Practices", <i>Quality Congress</i> , pp. 715-717.	Mejores prácticas recomendadas del Centro de Calidad y Productividad de Estados Unidos (APQC, American Productivity & Quality Center) para evaluación comparativa. Falto de referencias.
Kanji, G. K. y P. M. e Sa. (2002). "Kanji's Business Scorecard", <i>Total Quality Management</i> , 13(1):13-27.	Una modificación al anotador equilibrado de Kaplan y Norton que intenta establecer la causalidad entre los cuatro factores principales y que incorpora mejor las perspectivas de los empleados y los proveedores.
Kodo, Y. (2001). "Managerial Role for Quality Improvement", <i>Quality Congress</i> , pp. 219-228.	Importancia del elemento humano y del liderazgo al implementar iniciativas de mejora de calidad.
Lawton, R. (2002). "Balance Your Balanced Scorecard", <i>Quality Progress</i> , 35(3):66-71.	Un anotador equilibrado para la calidad.
Morath, P. y D. L. Kelley (2000). "Benchmarking at TSF-Automotive", <i>Quality Congress</i> , pp. 751-754.	Estudio de caso del proceso de evaluación comparativa en una división de Textron, incluyendo los fundamentos del Equipo de Proceso de desarrollo que funciona para compartir las mejores prácticas entre las plantas.
Morling, P. y S. Tanner (2001). "Benchmarking a Business Management System", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 637-646.	Contribución de un Sistema de Administración de Negocios para lograr los objetivos organizacionales de una organización gubernamental de I&D del Reino Unido (se enfoca en la arquitectura, no en elementos específicos).
Shepherd, N.A. (2002). "Integrating Cost of Quality into Performance Improvement Plans: How to Align and Integrate with a Balanced Scorecard", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 342-347.	Anotador Equilibrado. Medio para integrar los beneficios y el retorno sobre la inversión (ROI, por sus siglas en inglés) en una métrica establecida mediante la combinación de costos de fallas de calidad en un anotador equilibrado.
Vandenbrand, W. (2000). "Make Love, Not War: Combining DOE and Taguchi", <i>Quality Congress</i> , pp. 450-456.	Aboga por combinar el mejor de los métodos clásicos DOE y Taguchi, en lugar de visualizarlos como opciones de "uno u otro". Identifica las fuerzas que se van a combinar, las debilidades que hay que evitar y ofrece dos ejemplos prácticos de uso.

SITIOS WEB

Evaluación comparativa:

Intercambio de evaluación comparativa: www.benchnet.com

Centro de Calidad y Productividad de Estados Unidos: www.apqc.org

Organización de aprendizaje: www.brint.com/OrgLmg.htm

DESARROLLO DE UNA CULTURA DE CALIDAD

9.1 TECNOLOGÍA Y CULTURA

Para alcanzar la superioridad en la calidad, se deben seguir dos cursos de acción:

1. *Desarrollar tecnologías que satisfagan las necesidades de los clientes.* Dichas tecnologías incluyen aquéllas para desarrollar nuevos y mejores productos, y aquéllas para los procesos y herramientas de calidad. Se tratarán estas tecnologías en todo este libro.
2. *Estimular una “cultura” en toda la organización que visualice continuamente la calidad como un objetivo primordial.* ¿No sería magnífico si se pudieran identificar técnicas para crear una cultura de calidad? La cultura no es un asunto tecnocrático. No obstante, ciertos enfoques ofrecen un camino hacia una cultura de calidad. Dichos enfoques se examinan en este capítulo.

La *cultura de calidad* es el patrón de hábitos, creencias, valores y conductas que tienen los seres humanos en lo referente a la calidad. La tecnología toca la cabeza; la cultura, el corazón.

Se recordará que los problemas de calidad son, en su mayor parte, controlables por la dirección. Así, los asuntos culturales aplican a todos los niveles: alta dirección, gerencia media, supervisores, especialistas técnicos, especialistas de negocio y fuerza de trabajo. Se examinarán primero algunas de las teorías clásicas de la motivación.

9.2 TEORÍAS DE LA MOTIVACIÓN

Los profesionales de este campo se llaman científicos conductuales. (Los gerentes son meramente aficionados con experiencia.) Los estudios de los científicos conductuales proporcionan teorías útiles que ayudan a entender cómo responde la conducta humana a los diversos estímulos.

TABLA 9.1
Jerarquía de las necesidades humanas y formas de motivación de calidad

Lista de Maslow de las necesidades humanas	Formas usuales de motivación de calidad
<i>Necesidades fisiológicas:</i> es decir, precisar de alimento, vivienda, supervivencia básica. En una economía industrial esto se traduce en un ingreso mínimo de subsistencia.	Oportunidad de aumentar los ingresos al recibir un bono por buen trabajo.
<i>Necesidades de seguridad:</i> es decir, una vez que se logra el nivel de subsistencia, la necesidad de permanecer empleado en ese nivel.	Seguridad en el trabajo: por ejemplo, la calidad produce ventas; las ventas producen trabajos.
<i>Necesidades de pertenencia y de amor:</i> por ejemplo, la necesidad de pertenecer a un grupo y de ser aceptado.	Apelar a los empleados como miembros de un equipo: él o ella no deben decepcionar al equipo.
<i>Necesidades de estima:</i> es decir, la necesidad de la autoestima y de lograr el respeto de los demás.	Apelar al orgullo de la tarea bien hecha para lograr una buena clasificación. Reconocimiento mediante recompensas, publicidad, etcétera.
<i>Necesidades de autoactualización:</i> por ejemplo, el impulso de la creatividad y la expresión propia.	Dar oportunidad de proponer ideas creativas, de participar en la planeación creativa.

Jerarquía de las necesidades humanas

Según la teoría (Maslow, 1987), las necesidades humanas entran en cinco categorías fundamentales en un orden predecible de prioridades. La tabla 9.1 muestra esta “jerarquía de las necesidades humanas” junto con las formas asociadas de motivación para la calidad.

Satisfacción e insatisfacción en el trabajo

Según esta teoría (Herzberg *et al.*, 1959), la insatisfacción y la satisfacción en el trabajo no son opuestas. La insatisfacción laboral es el resultado de disgustos específicos —la paga es baja, las condiciones de trabajo son malas (“factores higiénicos”). Es posible eliminar estos disgustos (elevar el sueldo, cambiar las condiciones de trabajo). Las empresas que pagan salarios más bajos que los de la competencia deben enfrentar la dura realidad de que no atraerán a las mejores personas y de que probablemente están condenadas a la calidad mediocre a menos que ocurra algún milagro, pero éstos no son fáciles. Se deben cumplir las necesidades básicas de los empleados (por ejemplo, salarios) antes de poder cubrir con éxito las necesidades de capacitación del empleado (por ejemplo, capacitación de calidad). Para encontrar más investigaciones sobre éste y otros temas sobre los empleados, véase Vass y Kincade (1999). Pero incluso cuando las condiciones higiénicas revisadas se acepten como normales, ellas no motivan la conducta.

Por el contrario, la satisfacción del trabajo depende de lo que el trabajador *hace*. La satisfacción surge de hacer (la motivación proviene de factores como desafíos en el puesto, oportunidades para la creatividad, identificación con los grupos y responsabilidad en la planeación). Para ejemplificar: al final del día, un operador de la línea de ensamble está contento al dejar ese trabajo monótono e irse a casa para hacer algo más atrayente. En la misma empresa, un investigador puede no irse precisamente a la hora de cerrar: el proyecto de investigación puede ser más fascinante que el pasatiempo que pueda tener fuera.

Teoría X y teoría Y

Dos teorías nos llevan a la polémica acerca de si los trabajadores han perdido su orgullo en su trabajo. ¿El cambio está en el trabajador o en el trabajo? Se les ha dado nombre a estas dos teorías, teoría X y teoría Y, respectivamente (McGregor, 1985).

En la teoría X, el trabajador moderno se ha vuelto perezoso, poco colaborador, etc. Los gerentes deben combatir este deterioro en la motivación del trabajador por medio de la hábil utilización de incentivos y castigos.

En la teoría Y, no ha habido cambio alguno en la conducta humana. Lo que ha cambiado es la manera en que se organiza el trabajo. La solución es crear nuevas condiciones laborales que permitan que las personas se hagan valer por sí solas.

Los gerentes no son unánimes al adherirse a una u otra de estas teorías. Incluso dentro de la misma empresa es común encontrar a algunos gerentes que apoyen la teoría X y otros que crean en la Y. Este respaldo no es solamente filosófico; se refleja en las condiciones de operación que predominan en los diferentes departamentos.

Tanto la teoría X como la Y tienen sus defensores. Sin embargo, no parece haber evidencia concluyente de que una teoría funcione mejor que la otra en términos económicos, es decir, de productividad, costos, etc. Pero alguna evidencia sugiere que el enfoque de la teoría Y crea mejores relaciones humanas. Algunos estudios han mostrado que ciertos trabajadores consideran el trabajo repetitivo y rutinario menos estresante que el trabajo más variado con sus exigencias de toma de decisiones y creatividad.

9.3

CULTURA CORPORATIVA

La cultura corporativa consiste en los hábitos, creencias, valores y conducta. La dirección necesita definir y crear la cultura necesaria para el éxito del negocio. En un libro clásico, Miller (1984) identifica ocho “valores primarios” que promueven la lealtad, productividad e innovación en los empleados. Sus ideas reflejan el pensamiento de muchos científicos conductuales y gerentes respecto a los papeles que enfrenta la dirección. Los ocho valores son:

1. *Propósito*. El propósito es la visión en términos del producto o servicio, y beneficio al cliente.
2. *Consenso*. Se deben emparejar tres estilos de toma de decisiones (impositiva, consultiva y de consenso) a situaciones particulares.
3. *Excelencia*. La dirección crea un ambiente en el que predomina la búsqueda del conocimiento para la mejora.
4. *Unidad*. Aquí el énfasis radica en la participación del empleado y en la propiedad del trabajo.
5. *Desempeño*. Las recompensas individuales y de equipo junto con las medidas del desempeño son el enfoque principal para decir a los individuos cómo están trabajando.
6. *Empirismo*. La administración por hechos y la utilización del método científico forman las bases de este valor.
7. *Intimidad*. La intimidad se relaciona con compartir las ideas, sentimientos y necesidades de manera abierta y confiable sin miedo a ser castigados.
8. *Integridad*. Aquí la norma es que los gerentes actúen como modelos a seguir para las prácticas éticas.

Hablar de la cultura se convierte rápidamente en un examen de las acciones necesarias para el *cambio*. Miletich (1997) describe cómo Honeywell Space Systems identificó siete “dimensiones de la cultura organizativa” y después desarrolló un proceso para cambiar la cultura. Las siete dimensiones de la cultura son: la orientación del riesgo, las relaciones (de las personas), la información, la motivación, el liderazgo, la estructura y el enfoque de la organización. Para cada una de estas dimensiones el equipo ejecutivo debatió y documentó una definición, determinó el estado actual de la dimensión, definió el estado deseado, desarrolló un plan de acción para cerrar la brecha e ideó un método para medir el progreso.

Mackin (1999) presenta una curva del cambio organizacional (figura 9.1) que muestra cómo se mueve el proceso del cambio en el transcurso del tiempo.

Esta curva se basa en las experiencias de Merrill Lynch Credit Corp. Cuando se hace que las personas tomen en cuenta esta curva ellas podrán afrontar individualmente los cambios con más éxito.

Wetlaufer (1999a) describe cómo Ford Motor Company está generando el cambio por medio de una iniciativa de enseñanzas dirigida a cada uno de sus empleados. Se hacen debates en pequeños grupos acerca de temas como estrategia y competencia; servicio a la comunidad, y retroalimentación de 360 grados (véase la sección 9.7). La iniciativa también abarca asuntos como ideas para el éxito de la organización, valores personales, formas de motivar a los demás y procesos de pensamiento para tomar decisiones difíciles.

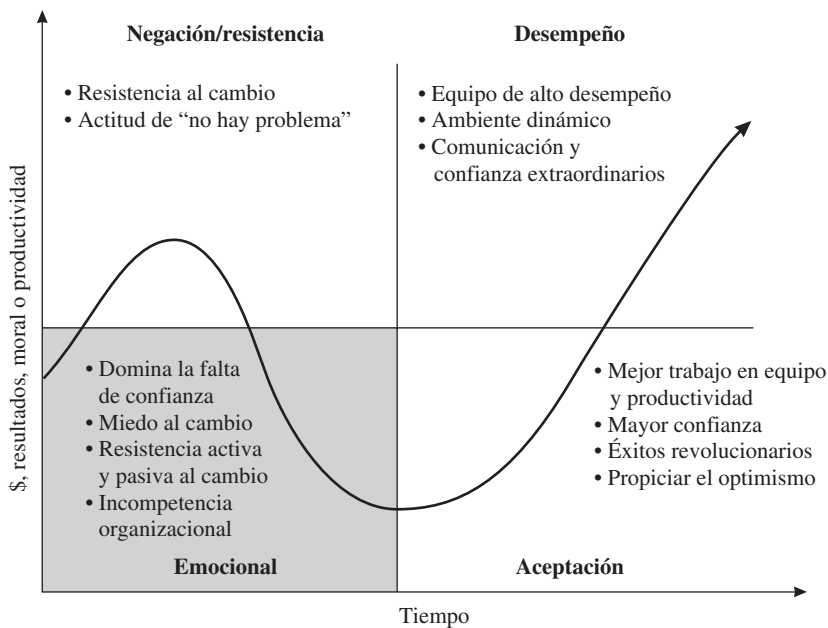


FIGURA 9.1
Curva del cambio organizacional.

En una aplicación inusual, Bunn (1995) describe cómo un laboratorio de servicios veterinarios midió la cultura organizacional y descubrió faltas de colaboración, compromiso y creatividad. También informa acerca de los resultados de las medidas que se tomaron.

Un enfoque innovador para la cultura organizacional es la “investigación apreciativa”. Aquí se llevan a cabo debates con los empleados para describir qué prácticas de la organización “liberan más el espíritu humano”. A medida que se identifican aquéllas, el enfoque se convierte entonces en planear y construir el futuro para sacar provecho de estas prácticas. Para más información, véase Hammond (1998) en las Lecturas complementarias.

Los temas de cultura corporativa y de administración del cambio son de gran importancia y han generado mucha bibliografía. Algunas referencias recomendables son: Kotter (1996), Baker (1999) y Covey (1989) en las Lecturas complementarias.

9.4 CULTURA DE CALIDAD

La cultura de calidad es una parte integral de la cultura corporativa. Nuestro debate se concentra en los aspectos de la cultura corporativa que se relacionan con la calidad de los productos y servicios.

Las diferencias en la cultura de calidad pueden tener ejemplos extremos, tanto negativos como positivos. Dos de ellos son:

- *Cultura de calidad negativa (escenario “en el que se esconden fragmentos”)*. La cultura en una planta fabricante de pintura presionaba a los supervisores para que evitaran reportar cualquier lote que no cumpliera con las especificaciones. Un supervisor decidió esconder alguno; le dijo a sus trabajadores que cavaran un agujero en el patio y lo enterraran. En las industrias de servicios, el informar acerca del procesamiento de transacciones (por ejemplo, reclamación de seguros, equipaje maltratado) a veces es objeto de la manipulación de los datos para generar buenos informes de desempeño.
- *Cultura de calidad positiva (escenario de “subir la escalera para deleite del cliente”)*. La cultura en un hotel dio como resultado dar un paso extraordinario para complacer al cliente en poco tiempo. Aproximadamente una hora antes de que comenzara un seminario, el líder de éste escuchó un tintineo. La causa eran los pequeños prismas de cristal en dos candelabros que chocaban debido a una corriente del sistema de aire acondicionado. Le mencionó esta distracción al gerente del hotel. La acción fue inmediata: se formaron dos equipos de trabajo, se pusieron escaleras y se quitaron los prismas de los candelabros que tropezaban con el de al lado (unos 100 en total).

Cameron y Sine (1999) hablan acerca de la investigación de cuatro diferentes culturas de calidad y sus herramientas asociadas con cada una. Las cuatro culturas son: ausencia del énfasis de calidad, detección de errores, prevención de errores y calidad creativa. El análisis de las respuestas dadas por gerentes de 68 organizaciones reveló que los niveles más avanzados de cultura de calidad se asocian con los planos más altos de la efectividad organizacional.

Un punto de partida importante es determinar la cultura de calidad actual. Este tema se trata en la sección 2.7. Watson y Gryna (1998) informan acerca de la evaluación de indagaciones sobre

la cultura de calidad en pequeñas organizaciones de manufactura y servicio. Conocer la cultura de calidad permite implementar una estrategia de manera que anime a las personas a adoptarla y hacerla exitosa.

Se puede cambiar la cultura. Se deben proporcionar objetivos y medidas; pruebas de liderazgo de la alta dirección; autodesarrollo y *empowerment*; participación y reconocimiento, así como recompensas: los factores de éxito críticos para lograr una cultura de calidad positiva. Estos caminos son los medios para conducir los cambios a acciones que lleven a modificaciones en la actitud y, finalmente, a transformaciones en la cultura de calidad. Antes que nada, debe haber un sentido de urgencia e iniciativa para la calidad en todos los niveles de la organización. Es más fácil sólo decir que se inculca este sentido que hacerlo en realidad, porque “hablar no cuesta nada”.

Se deben integrar los caminos para la cultura de calidad con las metodologías y la estructura para la calidad (véase la figura 9.2). Tres elementos de autocontrol son requisitos previos para lograr una cultura de calidad. Por eso, se debe proporcionar a las personas el conocimiento de lo que se supone que deben hacer: ofrecer retroalimentación sobre cómo están realizando su trabajo y facilitar los medios para regular un proceso capaz. Las acciones para “motivar” a las personas no tendrán éxito a menos que estos puntos básicos del autocontrol estén presentes. Se insta a los lectores a revisar la sección 5.3, “Autocontrol”. Para mayor información véanse los capítulos 13 y 14.

Se procederá ahora a examinar los cinco conductores clave para desarrollar una cultura de calidad.

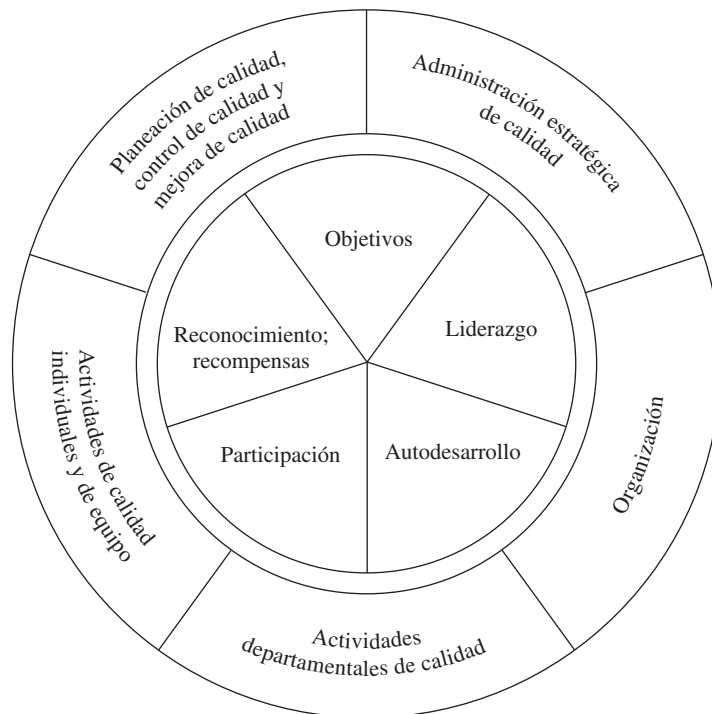


FIGURA 9.2
Tecnología y cultura.

9.5 PROPORCIONAR OBJETIVOS Y MEDIDAS DE CALIDAD EN TODOS LOS NIVELES

Para asegurar la acción en la calidad, el punto de partida es proporcionar objetivos y medidas de calidad en todos los niveles (véase la figura 9.3). En este proceso se desarrollan objetivos y medidas alineados con la misión, los factores críticos para el éxito y la estrategia de calidad de la organización (véase la sección 8.6).

Los objetivos de calidad que quedan claros a los individuos son estímulos importantes para motivar la superioridad en la calidad. Los seres humanos se comprometen de dos maneras diferentes: externa e internamente (Argyris, 1998). En el compromiso externo, la dirección define los objetivos para los empleados y también las tareas requeridas para lograr esos objetivos. En el interno, la dirección y los empleados definen los objetivos conjuntamente, y los segundos definen las tareas para lograrlos. La dirección debe fomentar un ambiente de compromiso interno.

Dos asuntos importantes para difundir la información sobre la calidad son el idioma utilizado y el contenido de la misma.

La información se tiene que presentar en diferentes “idiomas” para las diferentes poblaciones de una organización. La pirámide de la figura 9.4 representa estas poblaciones y los idiomas correspondientes. En la cima se encuentra la alta dirección, que generalmente se compone del gerente general y del equipo de dirección superior; en la base se localizan los supervisores de primera línea y la fuerza de trabajo; en medio se hallan los gerentes medios y los especialistas.

Estos segmentos de la organización utilizan diferentes idiomas en las operaciones diarias y crean una conciencia sobre la necesidad de que la calidad debe reflejar esto. Los gerentes medios deben comprender los dialectos locales y tener fluidez en los idiomas de los otros niveles (alta dirección, dirección inferior y fuerza de trabajo). Por esto, los gerentes medios deben ser “bilingües”.

En el nivel de la alta dirección se crea mejor una conciencia de calidad con el idioma del dinero. Destacar las amenazas al ingreso por ventas o las oportunidades de reducción de costos es importante. Cuando se puede relacionar la calidad con cualquiera de estos factores, se da un paso

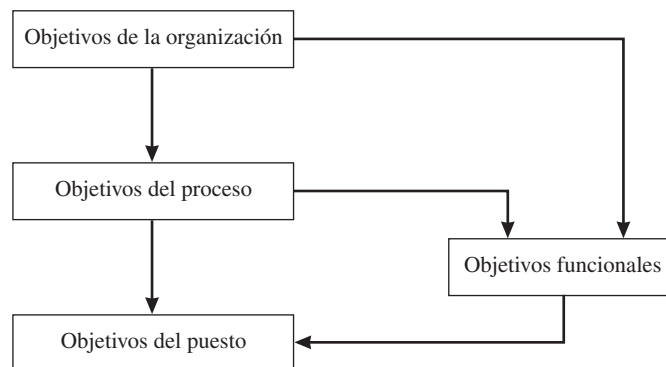


FIGURA 9.3

Alineación de objetivos. (Rummler y Brache, 1995. Reimpreso con permiso de Jossey-Bass, Inc., una subsidiaria de John Wiley & Sons, Inc.)



FIGURA 9.4
Idiomas comunes de una empresa.

esencial para inspirar a la alta dirección hacia la medida que debe tomarse. Se recomienda al lector revisar el capítulo 2, “Evaluación de la calidad en toda la empresa”, que describe tres estudios. Uno sobre la posición en el mercado identificará las amenazas a los ingresos por ventas; otro acerca del costo por mala calidad resaltaré las oportunidades para la reducción de costos; uno de la cultura de calidad ayudará a identificar algunos de los obstáculos para motivar la acción. Cada una de estas evaluaciones se puede hacer para toda la organización o para áreas individuales, como la de desarrollo de producto u operaciones. Observe también que a una presentación del estado actual de la empresa debe acompañarle una explicación de los *beneficios* que se pueden esperar de un nuevo enfoque para la calidad. Las demostraciones de estos beneficios son particularmente útiles (véase la sección 3.4, bajo el rubro “Usar un proyecto líder”). La tabla 2.3 presenta unidades de medidas para idiomas monetarios y otros para dramatizar la importancia de las pérdidas debidas a la mala calidad.

En los niveles de gerencia media e inferiores a veces se puede traducir directamente el impacto de la calidad al idioma de seguridad en el puesto. Cuando se puede fundamentar este paso en datos, el resultado puede ser dramático. Un fabricante de un artículo de consumo pudo recopilar datos de los clientes actuales que reemplazaron el artículo que fabricaba la empresa. En un año, unos 430 000 clientes sustituyeron el artículo al comprar una marca rival y, por ende, fueron clientes perdidos. Alrededor de un tercio de éstos declararon que la principal razón para cambiar a la otra marca fue la “deficiente calidad” (cuatro veces más importante que el precio y otros factores). La pérdida de ingresos por ventas debida a la mala calidad se calculó en 1.3 mil millones de dólares. Este ingreso por ventas hubiera generado casi 2 000 empleos —tantos como los que estaban generados en una de las plantas de la empresa—.

En Chase Manhattan Mortgage Corp. el vínculo entre estrategia y objetivos y medidas de desempeño se formaliza con base en los empleados como individuos. Como parte de la implementación de la planeación de calidad estratégica, cada empleado prepara una lista que incluye información sobre la función principal del puesto; los clientes internos o externos principales,

y (tanto para el departamento como para el individuo) los objetivos y medidas de desempeño de productividad y calidad. Esta información se utiliza después en el proceso de evaluación de desempeño y se alinea con la compensación de incentivos basada en equipos para lograr los objetivos.

Medidas de calidad como un enfoque continuo

El mensaje acerca de la calidad se debe mantener mediante el reforzamiento continuo. Una forma de reforzamiento es la medición de la calidad.

En este libro se propone la medición de la calidad para actividades funcionales principales, es decir, desarrollo de producto; compras; fabricación; mercadotecnia y servicio al cliente, y operaciones administrativas y de soporte. Estas medidas se convierten en los “signos vitales” que proporcionan a las personas los datos para realizar sus tareas y también para mantener la conciencia continua de la calidad. Se insta al lector a que revise los argumentos sobre medición y autocontrol del capítulo 5, “Control de calidad”. Además de la continua retroalimentación a los empleados, algunas empresas utilizan una “sala de gráficas” para mostrar las mediciones de calidad clave como una manera espectacular de señalar la historia global de calidad. Las luces en un piso de operaciones proporcionan un indicador de calidad muy visible (verde para buena, amarillo para marginal y rojo para mala calidad).

Las unidades de medición se deben definir cuidadosamente para inspirar una prioridad positiva de la calidad. Un ejemplo que haga lo contrario es una medida de productividad mal definida. Generalmente, las mediciones de productividad son una proporción de la producción del producto en relación con los recursos de inversión. Algunas empresas calculan la productividad utilizando la producción *total* (en lugar de la producción que cumple con las especificaciones) dividida entre los recursos de inversión. Aunque se debe medir la producción total, una medición sencilla de productividad basada sólo en aquélla manda un mensaje claro de que cumplir con los objetivos y especificaciones no es importante. Cambiar medidas tan letales para contar sólo con buena producción proporciona evidencia continua de que la administración da mucha prioridad a la calidad.

Los informes y marcadores de medidas de calidad pueden ser muy efectivos, pero hay que usarlos con precaución. Donde las medidas muestren un nivel desfavorable de calidad se debe reconocer la diferencia entre las causas controlables por la dirección y las controlables por el trabajador. Cuando el problema es en su mayoría controlable por la dirección (el caso típico), ésta debe ser la responsable de tomar medidas. De otra manera, la publicación de los datos implica que el nivel bajo de calidad es culpa de los trabajadores. Tal implicación se resentirá encarnizadamente y socavará una cultura positiva acerca de la calidad (incluso dará como resultado que las personas escondan la producción defectuosa). Para los problemas que son en su mayoría controlables por el trabajador, la publicación de los datos debe ir acompañada de una explicación a los trabajadores de los pasos exactos que deben tomar personalmente para mejorar su calidad de producción.

Los pasos que son “obvios” para la dirección tal vez no lo sean para los trabajadores.

Mantener una conciencia de calidad puede generar una serie de ideas y técnicas. Éstas incluyen boletines referentes a la calidad, temas de ésta en la agenda de todas las reuniones, avisos sobre la calidad por parte de los ejecutivos clave, conferencias acerca de ella y “artículos que despierten el interés” (por ejemplo, cartas de los clientes, acertijos de calidad en sobres de pago).

Algunas veces una acción sencilla estimula la conciencia de calidad. En una empresa privada de contabilidad, se mostró a los empleados un formato de investigación de mercadotecnia en blanco que empleaba una empresa rival para obtener retroalimentación acerca de la satisfacción del cliente. El formato contenía preguntas específicas sobre la calidad y a los empleados les sorprendió que la competencia estuviera tomando en cuenta esto de una forma tan rigurosa.

La ingenuidad humana proporciona una infinidad de posibilidades. Pero las ideas para mantener el enfoque en la calidad *nunca* pueden ser un sustituto de la acción real por parte de la dirección. Algunos grupos directivos esperan que los carteles ingeniosos y otros medios ataquen el problema aun cuando las causas controlables por la dirección de la mala calidad no se corrigen. Si la dirección tiene esta expectativa, los carteles deberían colocarse a gran distancia del piso; de otra manera pueden aparecer comentarios vulgares en ellos.

9.6

PROPORCIONAR EVIDENCIA DEL LIDERAZGO DE LA DIRECCIÓN

El compromiso de la dirección es necesario, pero no suficiente. Para motivar la acción dentro de una empresa, el elemento más importante es el liderazgo de la dirección en la calidad, con la *evidencia* para probarlo.

El papel del liderazgo de la alta dirección en la administración de calidad estratégica se trata en la sección 7.3. Este papel incluye establecer, alinear y desarrollar objetivos y estrategias de calidad, y después ser miembro de un consejo para dirigir el esfuerzo sobre esta materia.

Un ejemplo del papel de la alta dirección es el “proceso de despliegue de política de calidad” de Rank Xerox (RX) (figura 9.5), descrito por Zairi (1994). Observe cómo el proceso incluye el uso del ciclo de planear, hacer, comprobar y actuar (véase la sección 5.3) para planear, implementar y tomar las medidas necesarias.

Las actividades de la alta dirección relacionadas con la calidad ocuparán aproximadamente el 10 por ciento del tiempo de los gerentes; un precio muy alto a pagar para quienes tienen muchas otras exigencias en su labor. (Establecer una “prueba de la necesidad” es esencial para convencer a la alta dirección de que haga dicha inversión de tiempo.) Cuando la alta dirección ocupa su jornada en estas actividades, proporciona la evidencia de liderazgo que motiva a otros a hacer su parte.

Algunos grupos de alta dirección han elegido ser muy visibles en el proceso de calidad al dirigir la capacitación en él. En estos casos, los gerentes de varios niveles llevan a cabo personalmente parte de la capacitación para sus subordinados. Algunas veces, los conceptos que se presentan los enfatiza el gerente/instructor en la práctica diaria.

Otra forma de evidencia son los equipos de mejora de calidad de la alta dirección. Cada equipo, que consta únicamente de los miembros de la alta dirección, trata un problema que requiere atención a su nivel. Los ejemplos incluyen la efectividad del proceso de desarrollo de un producto, la calidad de la toma de decisiones al seleccionar nuevos gerentes de producto y los aspectos administrativos de los altos costos de garantía.

La visibilidad de la alta dirección al tomar tal capacitación y llevar a cabo dichos proyectos da un ejemplo a seguir para los otros niveles.

Ocasionalmente, la alta dirección tiene la oportunidad de tomar medidas dramáticas para demostrar su compromiso con la calidad. Éstos son algunos ejemplos:

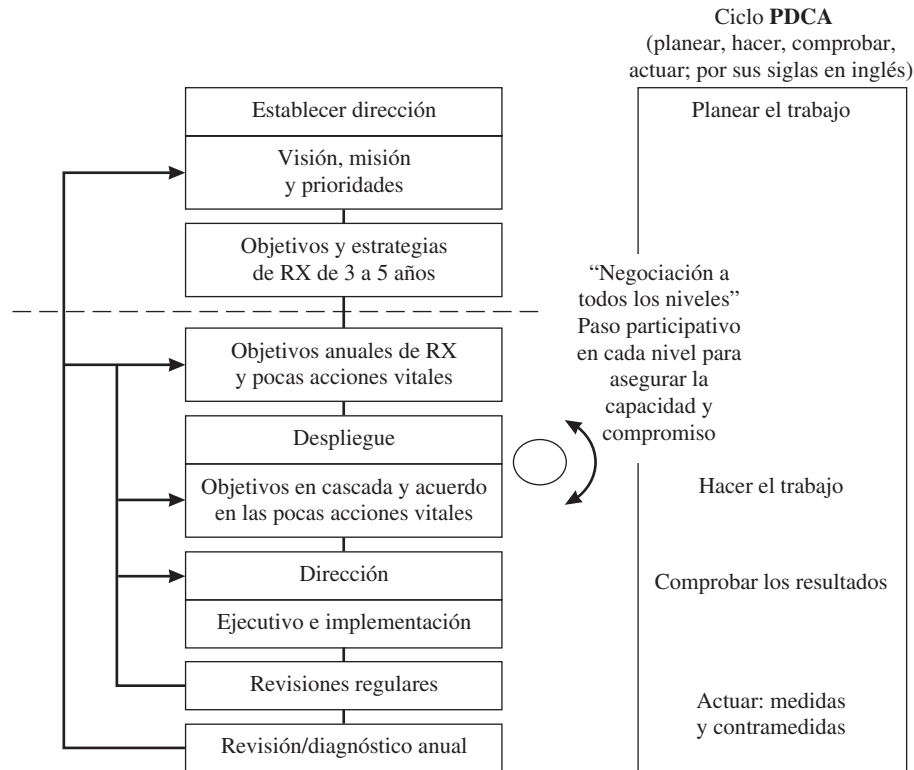


FIGURA 9.5
Despliegue de política de calidad en Rank Xerox Ltd. (Zairi, 1994.
Con permiso de Kluwer Academic Publishers.)

- Un fabricante de llantas vendía tradicionalmente, con descuento, neumáticos con imperfecciones. (Éstas no impactan en la seguridad.) El ingreso por ventas de tales llantas de “segunda” suponían una importante contribución a los ingresos totales por ventas. Se tomó una decisión y se instauró la política de discontinuar la venta de llantas con imperfecciones. Esa política, parte de un mayor énfasis de la empresa en la calidad, mandó un fuerte mensaje a todos los empleados de que la calidad era una prioridad importante.
- Un fabricante de un producto electrónico menor siempre había hecho énfasis en la calidad, pero observó que era necesario repetir el trabajo en el 8 por ciento de la producción. Un posible cliente no estuvo de acuerdo con el concepto de tal trabajo de reelaboración, argumentando que podría degradar la calidad total. (Ese cliente no estaba satisfecho con que se volviera a probar el producto después del trabajo de reelaboración.) El fabricante anunció que *no* se permitiría ningún trabajo repetido y que se desecharía cualquier producto que no cumpliera con las especificaciones. En este caso, el fuerte mensaje que dio tal política ayudó a descubrir muchas causas ocultas de defectos que previamente se habían tolerado y corregido en el trabajo de reelaboración.
- Una utilidad importante requiere que los gerentes de departamento pidan y obtengan la aprobación del presupuesto de su división cada año. Esta organización también requiere que cada gerente prepare un plan anual de calidad. Se debe aprobar cada *plan de calidad* antes de hacerlo con el presupuesto.

- Una agencia del gobierno tenía un sistema de informes sobre la producción en el trabajo. Se evaluaba a los gerentes de acuerdo con la cantidad de los resultados de producción en relación con los objetivos. A medida que la agencia adoptó una cultura orientada a la calidad, el director tomó medidas drásticas para mostrar cómo se sentía acerca de la prioridad de la calidad. Descontinuó los informes de producción (aunque aún tenía objetivos de producción de un nivel superior) y dijo a su gente que la calidad era la prioridad más importante. Explicó que la mejora de la calidad contribuiría a lograr los objetivos de producción al reducir el tiempo que se ocupaba en actividades de reprocesamiento debidas a la mala calidad.

Dichas acciones drásticas son inspiradoras, aunque poco frecuentes.

Un asunto particularmente sensible que tiene un impacto importante en la cultura de la calidad es la seguridad en el puesto. La confusión por las causas comprensibles de la reducción de personal y de la subcontratación provoca ansiedad importante entre los empleados. Ellos comprenden bien que mejorar la calidad para aumentar las ventas puede generar más empleos, pero les preocupa que la reducción de errores y otro tipo de pérdidas puedan eliminar empleos. (“¿Me estoy quedando sin trabajo por participar en este equipo de mejora de calidad?”) La manera en que la alta dirección maneja este asunto tiene un gran impacto en los empleados. La sección 8.7 trata tal tópico y presenta alternativas para la alta dirección.

Proporcionar evidencia de liderazgo puede incluir cambios en la manera en que la administración interactúa con los empleados, es decir, el “estilo de liderazgo”. Un requisito previo para tal cambio es comprender el estilo actual. Una división de la Rockwell Corporation decidió que entender el estilo era un elemento clave para ganar el apoyo de los empleados a favor de la calidad. Se hizo una encuesta para determinar el estilo de dirección del presidente, de sus subalternos inmediatos y de las personas que se reportaban con los subalternos (Warren, 1989). El equipo directivo mostró seis estilos de liderazgo: coactivo, autoritario, de afiliación, democrático, de establecimiento de ritmo y de entrenamiento. La figura 9.6 resume los resultados. El estilo predominante fue el de establecimiento de ritmo (“El gerente del tipo ‘lo hago yo mismo’, que lleva a cabo muchas tareas personalmente, espera que sus subordinados sigan su ejemplo y motiva mediante el establecimiento de altos estándares y el hecho de dejar que los subordinados trabajen por su cuenta”). Aunque este estilo tiene sus ventajas no se consideró adecuado para cambiar la organización o ganar el apoyo de los empleados. (Este tipo de personas a menudo hacen el trabajo ellas mismas, tienen problemas para delegar, no toleran las equivocaciones, etc.) Otros análisis revelaron que un mejor estilo de dirección es aquel en que la dirección se enorgullece de la visión, establece estándares y objetivos claros; muestra a los individuos lo que se espera de ellos; deja que los empleados hagan su trabajo, y da retroalimentación junto con recompensas. Se desarrolló un proceso de capacitación para ayudar a los gerentes a cambiar su estilo.

El asunto del liderazgo para la calidad aplica a todos los niveles de la dirección. La gerencia media y la supervisión deben tomar la iniciativa para actuar como líderes de calidad. En un enfoque innovador, la directora ejecutiva de SSM Health Care (un sistema que incluye 21 hospitales) pide a todos en su organización que sean líderes para la mejora continua. En particular, anima y espera que la gerencia media establezca un ambiente de trabajo para la mejora (Ryan, 1999). Algunas organizaciones le dicen al personal que tienen dos trabajos: uno es la descripción de su puesto y el otro es la mejora.

Kotter (1999) es una excelente referencia para distinguir entre gerentes y líderes.

Defeo y Barnard (2004) señalan que el logro de un desempeño revolucionario requiere de una cultura que apoye mucho. Algunas normas culturales parecen ser decisivas al momento de proporcionar el apoyo necesario. Algunas que más lo facilitan son:

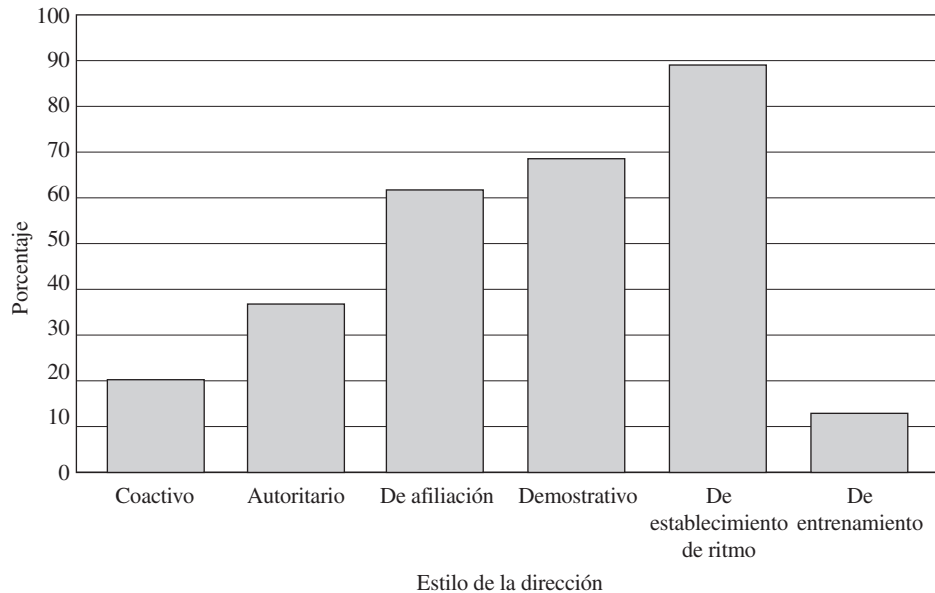


FIGURA 9.6
Composición de la alta dirección. (De Warren, 1989.)

- Una creencia de que la calidad de un producto o proceso es por lo menos de igual, o probablemente de mayor importancia que simplemente la cantidad producida.
- Un fanático compromiso por satisfacer las necesidades de los clientes.
- Un fanático compromiso por ampliar los objetivos y por la mejora continua.
- Una creencia de que no debe haber “vacas sagradas”.
- Un código de conducta y uno de ética orientados al cliente.
- Una creencia de que el cambio adaptable continuo no sólo es bueno, sino necesario.

Los patrones culturales que ayudan a lograr el progreso revolucionario del desempeño son:

- Un modo colaborador de realizar el trabajo en oposición a uno competitivo.
- Un estilo de dirección que sea más de participación en oposición a uno autoritario.
- Un alto nivel de confianza (sentirse seguro) en oposición a un alto nivel de miedo (sentirse desprotegido, no querer dar opiniones sinceras, correr riesgos o asumir posiciones). Por ejemplo: a los mensajeros que lleven “malas” noticias no se les debe disparar.

9.7 FACILITAR EL AUTODESARROLLO Y EL *EMPOWERMENT*

Motivar a las personas para que encaminen sus pasos positivamente en la calidad recibe mucha influencia de la naturaleza del trabajo que desempeñan éstas. Primero se proporcionará algo de historia y después se tratarán el contenido del empleo, el *empowerment* (u otorgamiento de poderes) y la evaluación del desempeño.

El sistema Taylor

Frederick W. Taylor fue un ingeniero mecánico que trabajó como maquinista, capataz y gerente de planta. De su experiencia, concluyó que los supervisores y trabajadores de su época (finales del siglo XIX y principios del XX) carecían de la educación para tomar varias decisiones fundamentales, por ejemplo, qué métodos de trabajo utilizar o qué constituye un día de trabajo.

El remedio de Taylor fue separar la planeación de la ejecución. Asignó a los ingenieros y a los especialistas para que hicieran la planeación y dejó a los supervisores y trabajadores la tarea de ejecutar los planes.

El sistema Taylor logró espectaculares aumentos de productividad. La publicidad resultante estimuló la aplicación de sus ideas. El resultado fue una adopción generalizada del concepto de separar la planeación de la ejecución. Por medio de esta adopción, el sistema Taylor (llamado después “dirección científica”) se utilizó ampliamente y quedó arraigado en Estados Unidos y, en menor grado, en los países industrializados occidentales.

Originalmente el sistema Taylor, que se aplicaba en las industrias de manufactura y servicio, dio como resultado una inflexible definición y especialización del trabajo para los individuos, especialmente en el nivel de la fuerza de trabajo. Mientras tanto, la premisa principal de Taylor (la falta de educación del trabajador) se ha vuelto obsoleta gracias al extraordinario aumento de la instrucción en todos los niveles, incluyendo la fuerza de trabajo. Como resultado, las organizaciones utilizan cada vez más la educación, la experiencia y la creatividad de la fuerza de trabajo. La contribución momentánea de Taylor fue decisiva para lograr un aumento de la opulencia en los países en vías de desarrollo en el siglo XX.

El sistema Taylor se basa en el análisis científico del trabajo utilizando el conocimiento y la experiencia. El diseño del trabajo se puede agrandar con el concepto de autocontrol.

Autocontrol y diseño del trabajo

Recuérdese el concepto de autocontrol (véase la sección 5.3). Las personas deben saber lo que se supone van a hacer, conocer la retroalimentación acerca de su desempeño y los medios para regular su trabajo si están fallando en cumplir con los objetivos. Los capítulos 13 y 14 proporcionan listas de control detalladas para evaluar el apego a estos tres elementos de autocontrol. La falta de uno o más de éstos significa que los problemas de calidad son controlables por la dirección. (Por lo general, al menos un 80 por ciento de los problemas de calidad son de esta índole.) Colocar a los trabajadores en un estado de autocontrol es un requisito previo para utilizar los enfoques de conducta con el fin de motivar a los empleados.

Algunas formas de diseño del trabajo colocan a los trabajadores en un mayor grado de autocontrol. Éstas se examinan a continuación.

Características del trabajo

En un libro clásico, Hackman y Oldham (1980) describen cinco características de los puestos que proporcionan empleos más significativos y satisfactorios (“enriquecedores”) a los trabajadores. Estas características y las acciones necesarias para enriquecer el empleo se muestran en la tabla 9.2. Los enfoques para rediseñar los empleos incluyen varias formas de ampliación de éstos. En

TABLA 9.2
Características del enriquecimiento del trabajo y acciones de la dirección

Característica	Definición	Acción
Variedad de habilidades	Grado al cual el empleo tiene una variedad suficiente de actividades como para requerir una diversidad de habilidades y talentos del empleado.	Combinar tareas secuenciales para producir módulos de trabajo más grandes (ampliación horizontal).
Identidad de las tareas	Grado al cual el empleo requiere que se haga un trabajo de principio a fin y que dé como resultado una unidad visible completa de producción.	Organizar el trabajo en grupos significativos, por ejemplo, por cliente o por producto.
Importancia de las tareas	Grado al cual el empleo afecta a los clientes internos y externos.	Proporcionar medios de comunicación directa y de contacto personal con el cliente.
Autonomía	Cantidad de autocontrol del empleado al planear y realizar el trabajo.	Proporcionar al empleado más autocontrol para la toma de decisiones (ampliación vertical).
Retroalimentación	Grado al cual se proporciona al empleado el conocimiento directo de los resultados.	Crear sistemas de retroalimentación para proporcionar a los empleados información directa del empleo.

Fuente: Adaptada de Hackman y Oldham (1980).

la ampliación horizontal, el alcance del empleo se incrementa al hacer que los trabajadores lleven a cabo una mayor variedad de tareas. Lo radical de la ampliación horizontal del empleo es que cada trabajador produzca una unidad de producto completa. En la ampliación vertical se amplía el empleo al hacer que los trabajadores sean responsables de las tareas que antes llevaban a cabo otros trabajadores de un nivel más alto en la organización (por ejemplo, un supervisor).

Hackman y Oldham recomiendan tener cuidado al rediseñar un empleo. Señalan que la mayoría de las personas (pero no todas) quieren trabajos más demandantes. Las oportunidades son interminables, pero se debe evitar colocar a los empleados en puestos para los que no estén receptivos o capacitados.

Equipos autodirigidos

Una forma especial de ampliación del empleo es la aplicada a un grupo de trabajadores, es decir, un grupo autodirigido. Se enfatizan dos elementos: (1) se capacita a cada trabajador para que tenga diversas aptitudes, lo que permite una rotación de tareas, y (2) el equipo recibe autoridad formal para ejecutar ciertas tareas de planeación y supervisión del empleo (véase la sección 7.10, “Equipos autodirigidos”).

Empowerment

El *empowerment* (u otorgamiento de poderes) es el proceso de delegar autoridad de toma de decisiones a niveles más bajos dentro de la organización. El *empowerment* a la fuerza de trabajo es

particularmente espectacular. Pero éste va más allá de delegar autoridad y ofrecer capacitación adicional. Significa animar a las personas a tomar la iniciativa y ampliar su alcance; también significa ser comprensivo si se cometen errores.

A medida que se otorga a los empleados más poder en su trabajo los sentimientos de posesión y responsabilidad se vuelven más significativos. Además, el acto de concesión de poder a los empleados proporciona un testimonio de la confianza de la dirección. Se dan pruebas adicionales cuando la dirección comparte información confidencial del negocio con los empleados. Para muchas organizaciones, estos pasos son un cambio claro en la cultura.

El concepto de *empowerment* aplica tanto a los individuos como a los grupos de trabajo. Los equipos autodirigidos (véase la sección 7.10, “Equipos autodirigidos”) proporcionan un ejemplo de *empowerment* a los grupos de trabajadores.

Con el *empowerment* llega la necesidad de redefinir los papeles básicos de la alta dirección, la gerencia media y la fuerza de trabajo. Un modelo en un banco se ve así:

La *alta dirección* debe actuar como formadora y entrenadora. Como formadora debe crear, comunicar y apoyar la misión de la organización. Como entrenadora debe ayudar cuando se lo pidan, pero evitar entrometerse en los problemas diarios de la gerencia media.

La *gerencia media* debe manejar su área de responsabilidad y también trabajar como grupo para integrar todas las partes de la organización. Además, debe apoyar a la fuerza de trabajo eliminando los obstáculos para el progreso.

La *fuerza de trabajo* es el principal productor del resultado para los clientes. Su cercanía y conocimiento acerca de su labor significa que debe utilizar su *empowerment* para determinar cómo puede hacerse mejor el trabajo.

Observe que en el *empowerment* es esencial que la dirección proporcione a los empleados la información, retroalimentación y medios para regular su trabajo, es decir, cumplir con los tres elementos de autocontrol es un requisito previo para el *empowerment* y la posterior motivación. El autocontrol incluye la capacitación necesaria para tomar buenas decisiones bajo el otorgamiento de poder. El *empowerment* requiere que los empleados tengan la capacidad, la autoridad y el deseo de actuar.

Wetlaufer (1999b) describe un ejemplo dramático de *empowerment* en una empresa de electricidad mundial. Las características incluyen la organización en torno a equipos para manejar las operaciones y mantenimiento; la eliminación de los departamentos funcionales; el hecho de que cada persona sea un generalista (un minidirector general), y que la alta dirección actúe como consejera.

Pero a pesar de todo lo que se habla en las empresas, “el *empowerment* todavía es en la mayoría de los casos una ilusión” según Argyris (1998). Él cree que las dificultades para lograr un ambiente de *empowerment* se deben a que la dirección no puede lograr un compromiso interno con los empleados mediante el establecimiento conjunto de los objetivos de calidad con aquéllos, en lugar de que ella establezca los objetivos unilateralmente (véase la sección 9.5).

Evaluación del desempeño

La evaluación del desempeño es el proceso mediante el cual una organización califica periódicamente la conducta y los logros de un empleado. La evaluación del desempeño se ha convertido en tema de intenso debate (y confusión). El autor cree que, cuando se lleva a cabo de manera

apropiada, es una herramienta útil. La evaluación que enseña a los empleados a lograr un mayor nivel de desempeño puede ser útil; la valoración que sólo se hace para categorizar a los empleados para propósitos de paga y progreso puede ser destructiva. Graber, Breisch y Breisch (1992) aclaran algunos malos entendidos acerca del tema y proporcionan sugerencias constructivas para evaluaciones beneficiosas. Eastman Chemical reemplazó su sistema tradicional de evaluación de desempeño con un “sistema de desarrollo de empleados” que se enfoca en el desarrollo y capacitación de éstos. Es claro que el proceso de evaluación debe restar importancia al desempeño previo y enfocarse en ayudar a los empleados en sus futuros esfuerzos de calidad relacionados con el trabajo.

Un enfoque asociado es el proceso de evaluación de 360 grados. En este enfoque, varios individuos que interactúan frecuentemente con el empleado participan en el proceso de evaluación. Se puede incluir a cualquiera que tenga contacto significativo o información útil acerca del desempeño del empleado. En el proceso de 360 grados ideal, los individuos participan tanto en el establecimiento de objetivos (al inicio de un periodo) como en la evaluación del desempeño (al final de un periodo). Milliman y McFadden (1997) hablan del punto de vista tradicional de la administración de recursos humanos frente al de la administración de calidad total, y después explican cómo el sistema de 360 grados puede contribuir a evaluaciones del desempeño más efectivas.

Selección y capacitación

Está claro que la selección y la capacitación del personal tienen una importante influencia en el desarrollo de las personas. Muchos de los principios son bien conocidos, pero no se practican con la suficiente intensidad. Mas tal situación está cambiando en Estados Unidos. Por ejemplo, algunas organizaciones efectúan ahora una inversión anual en capacitación de aproximadamente el 2 por ciento del ingreso por ventas.

Los japoneses han invertido mucho en selección y capacitación. Las entrevistas y los exámenes previos a la contratación aseguran la compatibilidad del candidato y del puesto. Luego hay tareas rotativas que ayudan a desarrollar una base más amplia de habilidades técnicas, facilitando así la cooperación entre los departamentos. En el nivel gerencial, las tareas rotativas ayudan a propiciar la preocupación del individuo por la empresa como un todo.

Para asuntos relacionados con el desarrollo del empleado, se insta a los lectores a revisar la sección 7.11, que versa acerca de la selección, capacitación y retención de empleados.

9.8 FACILITAR LA PARTICIPACIÓN PARA MOTIVAR LA ACCIÓN

Es tentador creer que, para motivar a la acción en lo referente a la calidad, se debe comenzar por cambiar la actitud de las personas. Entonces un cambio en las actitudes debería generar una transformación en la conducta. En realidad, ocurre lo contrario. Si primero se cambia la conducta de las personas, eso transformará sus actitudes. Los psicólogos llaman a este concepto “disonancia cognitiva”.

El concepto de participación es un principio antiguo que ayuda a cambiar la conducta. Al participar personalmente en actividades de calidad, las personas adquieren nuevos conocimientos, ven los beneficios de las disciplinas de calidad y obtienen un sentido de realización al resolver problemas. Esta participación genera cambios duraderos en la conducta.

Se describen varias formas de participación en este libro. La tabla 9.3 las resume para los diferentes niveles, desde la alta dirección hasta los supervisores de primera línea y la fuerza de trabajo.

La participación de *todos* los niveles es decisiva a la hora de motivar a la acción en la calidad. Sin embargo, a nivel de la fuerza de trabajo, la participación puede tener impactos que rocen lo espectacular. Al llevar a cabo investigaciones de equipos de fuerza de trabajo se observaron algunos eventos inolvidables (véase la sección 7.9, “Equipos de fuerza de trabajo”).

La participación debe incluir a los funcionarios de los sindicatos. Los retos económicos competitivos a los que se enfrentan la mayoría de las organizaciones requieren que la dirección y los sindicatos encuentren formas de trabajar juntos para su mutuo beneficio.

Para mayor información acerca de la manera en la que la profesión de calidad y los sindicatos se pueden beneficiar mediante una estrategia interactiva mutua, véase Rubinstein y Ryan (1996).

9.9

PROPORCIONAR RECONOCIMIENTO Y RECOMPENSAS

Se define *reconocimiento* como el agradecimiento público por un desempeño superior de las actividades específicas. Las *recompensas* son beneficios (como el aumento de sueldo, bonos y ascensos) que se otorgan por un desempeño superior general en relación con los objetivos.

Dichas expresiones de estima, de las cuales se hablará más adelante, desempeñan un papel esencial al momento de motivar a las personas en la calidad. Un recurso que ayuda aún más es el sentimiento positivo que tienen las personas internamente cuando (1) sus empleos han sido diseñados para enfocarse en el autodesarrollo y (2) se les dan oportunidades de participar en la planeación y toma de decisiones. Este ambiente dice a los empleados que se confía en sus habilidades, juicio e integridad. Imagine sus sentimientos cuando la inspección independiente se cambia a la autoinspección.

El reconocimiento público a la actividad superior se puede proporcionar en varios niveles: individual, en equipo y unidad de negocios. Al planear el reconocimiento, se deben tomar en cuenta estas preguntas:

- ¿Qué tipo de actividades recibirán reconocimiento formal? Por ejemplo, ¿la *participación* normal en una actividad como equipos de fuerza de trabajo, el *esfuerzo* superior o los *resultados* tangibles?
- ¿Se dará reconocimiento a los individuos, a los grupos o a ambos?
- ¿La selección de aquellos que recibirán reconocimiento se hará con una base competitiva o no competitiva?
- ¿Qué forma tomará el reconocimiento? Por ejemplo, ¿ceremonial, premios simbólicos u otros?
- ¿Quién decidirá la forma del reconocimiento? ¿Verbigracia, ¿un grupo de gerentes? ¿Podrá alguien más dar sugerencias?
- ¿Quién seleccionará a los receptores? Por ejemplo, ¿un comité directivo, compañeros del posible receptor o alguien más?

TABLA 9.3
Formas de participación

Forma	Descripción	Nivel			
		Alta dirección	Gerencia media	Especialistas	Supervisores/ trabajadores de primera línea
Consejo de calidad	Pertenecer al consejo	X			
Equipos de mejora de calidad	Ser líder o miembro de un equipo de mejora interdisciplinario	X	X	X	X
Equipos de comisiones de calidad	Ser líder o miembro de un equipo dentro de un departamento		X	X	X
Fuerzas de tareas de calidad	Formar parte de comisiones creadas por el consejo de calidad	X	X	X	X
Dueño del proceso	Participar como dueño de un proceso de negocios	X	X		
Revisión de diseño	Participar en reuniones de revisión de diseños		X	X	
Revisión de proceso	Participar en reuniones de revisión de procesos		X	X	X
Proporcionar planeación	Identificar los obstáculos para el autocontrol		X	X	X
Establecer objetivos de calidad	Dar sugerencias o establecer objetivos	X	X	X	X
Planear el trabajo propio	Hacerse cargo de todos los aspectos de la planeación	X	X	X	X
Visitas de clientes	Tener pláticas con los clientes acerca de la calidad	X	X	X	X
Visitas de proveedores	Tener pláticas con los proveedores acerca de la calidad	X	X	X	X
Reuniones con la dirección	Hacer presentaciones sobre las actividades de calidad		X	X	X
Visitas a otras empresas	Aprender acerca de las actividades de calidad	X	X	X	X
Rotación de puestos	Trabajar en el departamento de calidad u otros departamentos	X	X	X	X
Conferencias	Hacer presentaciones o sesiones	X	X	X	X

- ¿Qué tan seguido se dará reconocimiento? Muchos gerentes *sobreestiman* la frecuencia con que reconocen a los empleados.

Ya que estas preguntas también se aplican a otras actividades (por ejemplo, la seguridad), hay experiencia disponible a la hora de planear el reconocimiento.

Formas de reconocimiento

Las formas de reconocimiento varían desde un simple mensaje verbal por un trabajo bien hecho (que a menudo se pasa por alto por las prisas de las actividades diarias) a premios “simbólicos” o modestos. Los premios simbólicos pueden ser tangibles (por ejemplo, un bono de ahorro, tiempo libre, una cena) o intangibles (mandar una carta de alabanza; mandar a un empleado a un seminario o conferencia; dejar que un empleado sea jefe por un día).

El reconocimiento debe ser genuino y encajar en la cultura local. Desafortunadamente, los gerentes a veces son muy inocentes acerca de lo que encaja bien en la cultura. Por ejemplo, a cada miembro de un equipo de calidad se le dio una playera con el nombre de aquél. Sin embargo, algunos miembros se rehusaron a aceptarla (la veían como un “truco” que hacía burla de su participación). En otro caso, se llevó a cabo un banquete para los miembros de los equipos. El gerente de la planta hizo algunos breves comentarios agradeciendo a los empleados por su esfuerzo. Todos tuvieron una velada agradable. Los empleados lo apreciaron, pero algunos hicieron el comentario (constructivo) de que era la primera vez que veían al gerente de planta: “¿No sería agradable que de vez en cuando se pasara por el piso de producción y hablara con todos?” Al decidir sobre las formas de reconocimiento, los gerentes deben pedir sugerencias a los empleados que gocen de respeto y consideración. No solamente sus ideas encajarán mejor en la cultura, sino que el hecho de pedirles consejo muestra que se reconoce su juicio.

A menudo el reconocimiento puede darse en un ambiente de diversión. Weinstein (1996) describe 52 maneras (una para cada semana) para crear un ambiente de diversión y ayudar a instaurar una cultura corporativa positiva.

Algunas veces los programas de reconocimiento son más útiles que las recompensas monetarias. Una organización revisó los resultados de su sistema de sugerencias. Se recibían aproximadamente 800 cada año; se aceptaban un 25 por ciento y el personal recibía recompensas monetarias. Pero la mayoría de las personas no estaban satisfechas: los ganadores decían que las decisiones tardaban mucho tiempo y la recompensa monetaria era muy poca; los demás sintieron que debían haberse aceptado sus sugerencias. En un nuevo programa, se eliminaron las recompensas monetarias y se reemplazaron con un simple “gracias”. Además, las decisiones sobre las sugerencias se debían tomar en un intervalo corto. En el nuevo programa se reciben 7 700 sugerencias anualmente y se acepta el 60 por ciento.

Los sistemas de reconocimiento a nivel individual y de equipos deben reforzar las pequeñas y grandes victorias.

Formas de recompensas

Las recompensas por las actividades relacionadas con la calidad se vuelven, cada vez más, parte de la evaluación anual del desempeño de los gerentes superiores, gerentes medios, especialistas y

supervisores de primera línea. Las formas de recompensa pueden incluir cambios en el sueldo base, aumentos en mérito, incentivos, sueldo según habilidades, bonos y planes de compra de acciones.

El área más débil de motivación de calidad para los gerentes es la de *mejora* de calidad para avances revolucionarios en los niveles superiores de desempeño. Esta debilidad se presenta principalmente porque el problema del control (de cumplir los objetivos anuales) tiene una prioridad mucho más alta.

El control establece sus propias prioridades. Cuando suenan las alarmas, exigen acción correctiva de inmediato. Se debe hacer caso a las alarmas o los objetivos actuales no se cumplirán. El gerente quiere cumplirlos (el desempeño gerencial se juzga principalmente al medir los resultados en relación con los objetivos). Los bomberos obtienen las mejores recompensas; ellos son los héroes.

En contraste, la mejora de calidad no es necesaria para cumplir los objetivos anuales: se necesita conseguir liderazgo en un próximo año o por lo menos seguir siendo competitivos. Por esto se puede diferir el desempeño, mientras que el control no. Por consiguiente, la mejora puede diferirse, pero no así el control. Además, la mejora de nuevos niveles requiere de maquinaria organizacional especial, como las que se describen en el capítulo 3. No se necesita de tal maquinaria para mantener el control actual.

Una empresa ha incorporado el desempeño a las actividades de mejora como parte de la valoración anual de los gerentes. Una calificación de menos que adecuado significa que el gerente no recibirá un aumento de sueldo o un ascenso en un año.

Texas Instruments mide la contribución a la calidad de cada gerente que tiene una responsabilidad de ganancia y pérdida. Se evalúa anualmente a los gerentes utilizando cuatro mediciones: indicadores principales, concurrentes, de rezago y costo de calidad. Los primeros tres se refieren a la medición de calidad antes, durante y después de la creación de un producto o servicio. Verbigracia, el nivel de quejas de campo es un ejemplo de indicador de rezago.

La alta dirección debe cambiar el sistema de recompensas para motivar a la gerencia media a hacer adelantos revolucionarios en los niveles de calidad mejorados. Sin embargo, un requisito previo es que la alta dirección proporcione infraestructura, recursos y capacitación para lograr tales adelantos (véase el capítulo 3, “Mejoramiento de la calidad y reducción de costos”).

Una clara tendencia en la compensación de la dirección es el creciente uso de programas variables para aquélla, es decir, recompensas monetarias por encima del salario base. Estas recompensas incluyen varios planes de incentivos, ganancias compartidas, paga por llegar a dominar habilidades adicionales y reparto de utilidades. Berman (1997) proporciona una lista exhaustiva y muestra cómo las recompensas se relacionan con el desempeño basado en equipos. Con frecuencia estos conceptos se pueden aplicar a individuos o equipos, pero los programas basados en estos últimos se están volviendo cada vez más populares.

En la industria de servicios, GTE California relaciona la mejora de la calidad con la compensación por incentivos para individuos y equipos (Bowen, 1988). Los objetivos de los equipos que aplican a unidades de desempeño clave o a toda la empresa tienen objetivos de costo y calidad. Los valores que se asignan a los diferentes niveles, y al costo y calidad se muestran en la figura 9.7.

Kluge (1996) informa cómo Varian X-Ray Tube Products instaló un plan de compensación por incentivos para la calidad. Por cada tubo fabricado se agregaba o se quitaba dinero a un fondo de incentivos de calidad: se sumaban 125 dólares por cada buen tubo producido; se restaban 500 por cada tubo descartado y se retiraban 600 por cada tubo entregado con averías que fuera regresado por el cliente. Al final de cada trimestre, se dividía el dinero del fondo entre las personas que influyeron en la calidad del producto. Antes se adaptaba la cultura para cumplir con los números de producción al final de cada mes. El plan de incentivos “cambió radicalmente la ética de trabajo” y ahora los

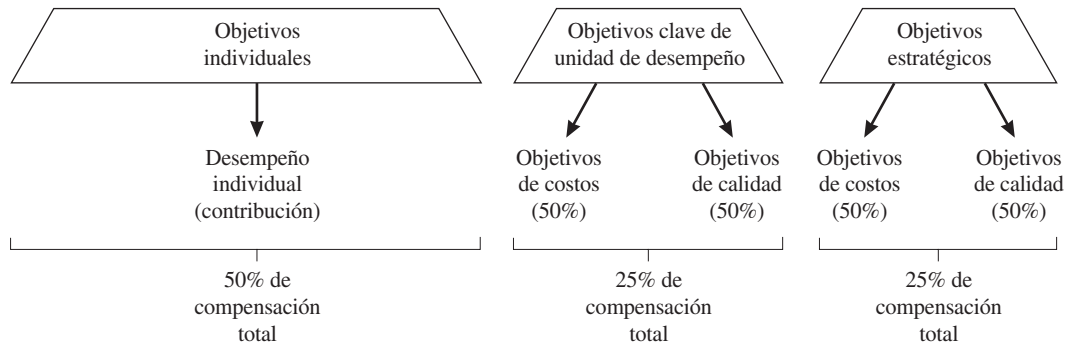


FIGURA 9.7

Compensación por incentivos. (De Bowen, 1988.)

empleados se enfocan en disminuir los costos de calidad. Basándose en un sueldo promedio, los empleados recibían un 13 por ciento de bono (y perdían el derecho a un aumento de mérito del 3 por ciento). Todo el dinero de los bonos lo aportó la reducción de los costos de calidad. Se hicieron mejoras significativas en el costo por desecho, en los tubos que se recibían con defectos, en el rendimiento y en la participación de mercado.

Algunas organizaciones, grandes y pequeñas, utilizan las “ganancias compartidas” para distribuir los ahorros de las actividades de mejora. Por lo general, una fórmula define la distribución a los clientes, los empleados y la empresa. Las ganancias compartidas son un tipo de plan incentivo de grupo. Stratton (1998) describe cómo el plan de ganancias compartidas de una pequeña empresa de manufacturas redujo los defectos del 3.7 al 1.0 por ciento y generó unas ganancias compartidas anuales de más de 2 500 dólares por empleado.

Encuesta tras encuesta se indica que la principal preocupación de los empleados es la falta de reconocimiento y participación en la toma de decisiones en el empleo. En el lado positivo, Lawler *et al.* (1995) muestran que las personas se motivan por los éxitos conseguidos al hacer mejoras y al lograr la satisfacción de los clientes. Estos motivadores intrínsecos también incluyen acciones que provocan que los puestos sean más estimulantes; desarrollen la competencia y el orgullo; promuevan el autocontrol, y den como resultado un sentido de realización a los empleados. Estos temas proporcionan el reforzamiento positivo de la conducta deseada, que es la base de una cultura de calidad fuerte. Para más información, véase *JQH5*, pp. 15.26-15.28.

RESUMEN

- Para ser superior en calidad, se necesita (1) desarrollar tecnologías para crear productos y procesos que cumplan con las necesidades del cliente y (2) estimular una cultura que continuamente considere a la calidad como su objetivo principal.
- Se *puede* cambiar la cultura para la calidad. Se tienen entonces que proporcionar:
 - Objetivos y medidas.
 - Evidencia de liderazgo de la alta dirección.
 - Autodesarrollo y *empowerment*.
 - Participación.
 - Reconocimiento y recompensas.

- Estos elementos deben integrarse con las metodologías y la estructura para la calidad.
- Para cambiar la cultura se requieren años, no meses; para cambiar la calidad se necesita confianza, no técnicas.

PROBLEMAS

- 9.1. Considere un deporte individual como el golf o el raquetbol. Aplique los tres principios de autocontrol a un deporte como éstos y decida si los individuos se hallan en un estado de autocontrol. ¿Cómo se relaciona su conclusión con el diseño de puestos de una organización?
- 9.2. Prepare dos listas para analizar las fuerzas que tienen un impacto sobre la implementación de equipos de mejora de calidad. Una lista debe contener las fuerzas restrictivas que obstaculizan la implementación de los equipos (por ejemplo, la falta de tiempo); la otra debe mostrar las fuerzas impulsoras que pueden ayudar (verbigracia, el apoyo de la alta dirección). (Este enfoque es parte de un “análisis de fuerzas de campo” o un “análisis de barreras y ayudas”).
- 9.3. Observe su comunidad para identificar algunas de las fuerzas impulsoras o campañas, como las de seguridad vial, recolección de fondos, elecciones políticas o para mantener su ciudad limpia. Para cualquier campaña, analice y reporte los métodos usados para asegurar:
 - a) la atención;
 - b) el interés y la identificación con el programa, y
 - c) la acción.
- 9.4. Para cualquier organización que conozca, estudie el programa continuo predominante de motivación para la calidad. Reporte sus hallazgos sobre (1) los ingredientes del programa y (2) la efectividad de la organización al momento de llevar a cabo los diversos aspectos de aquél.
- 9.5. Desarrolle tres indicadores de calidad para el desempeño de un adquisidor en un departamento de compras: uno de rezago, otro concurrente y otro más de liderazgo.
- 9.6. Tektronix, Inc. (1985) describe la “participación de las personas” como el hecho de moverse a través de nueve tipos de administración (un “continuo”): la administración autocrática autoritaria, el mandato directivo, la participación selectiva de información, la aportación de los empleados, los grupos de resolución de problemas, las fuerzas de tareas *ad hoc*, la toma participativa de decisiones, el rediseño de puestos, y el establecimiento de metas y los equipos semiautónomos. Para cada tipo, describa en unas cuantas oraciones los papeles respectivos de los directivos y de los no directivos.
- 9.7. Hable por lo menos con tres personas, preferentemente de diferentes organizaciones. Identifique tres situaciones específicas que contribuyan a una cultura negativa de la calidad y otras tres que lo hagan a una positiva.

REFERENCIAS

- Argyris, C. (1998). “Empowerment: The Emperor’s New Clothes”, *Harvard Business Review*, mayo-junio, pp. 98-105.
- Berman, S. J. (1997). “Using the Balanced Scorecard and Variable Compensation as a Catalyst for Team Based Performance”, *IIE Solutions Conference Proceedings*, Institute of Industrial Engineers, Norcross, GA.

- Bowen, M. D. (1988). "Quality Improvement through Incentive Compensation", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 3A-21 a 3A-24.
- Bunn, T. O. (1995). "Changing the Culture of the NVSL", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 2C.3-1 a 2C.3-10.
- Cameron, K. y W. Sine (1999). "A Framework for Organizational Quality Culture", *Quality Management Journal*, vol. 6, núm. 4, pp. 7-25.
- DeFeo, J. A. y W. Barnard (2004). *Juran's Six Sigma Breakthrough and Beyond*, McGraw-Hill, Nueva York, pp. 278-279.
- Graber, J. M., R. E. Breisch y W. E. Breisch (1992). "Performance Appraisals and Deming: A Misunderstanding", *Quality Progress*, junio, pp. 59-62.
- Graham, J. (2004). "Developing a Performance-Based Culture", *Journal for Quality & Participation*, primavera, vol. 27, núm. 1, pp. 4-8.
- Hackman, J. R. y G. R. Oldham (1980). *Work Redesign*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Herzberg, F., B. Mausman y B. Synderman (1959). *The Motivation to Work*, 2a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York.
- Kluge, R. H. (1996). "An Incentive Compensation Plan with an Eye on Quality", *Quality Progress*, diciembre, pp. 65-68.
- Kotter, J. P. (1999). *John P. Kotter on What Leaders Really Do*, Harvard Business School Press, Boston.
- Lawler, E. E. III, S. A. Mohrman y G. E. Ledford Jr. (1995). *Creating High Performance Organizations: Practices and Results of Employee Involvement and Total Quality Management in Fortune 1000 Companies*, Jossey-Bass, San Francisco.
- Mackin, T. (1999). "The Three Dimensions of Organizations of Quality", Florida Sterling Quality Conference, Orlando, FL.
- Maslow, A. H. (1987). *Motivation and Personality*, 3a. ed., Harper & Row, Nueva York.
- McGregor, D. (1985). *The Human Side of Enterprise*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Miletich, S. L. (1997). "Seven Cultural Dimensions of an Organization", Florida Sterling Quality Conference, Orlando, FL.
- Miller, L. M. (1984). *American Spirit: Visions of a New Corporate Culture*, William Morrow, Nueva York.
- Milliman, J. F. y F. R. McFadden (1997). "Toward Changing Performance Appraisal to Address TQM Concerns: The 360-Degree Feedback Process", *Quality Management Journal*, vol. 4, núm. 3, pp. 44-64.
- Rubinstein, S. P. y J. Ryan (1996). "Survival for Quality and Unions", *Quality Progress*, julio, pp. 50-53.
- Rummler, G. A. y A. P. Brache (1995). *Improving Performance*, 2a. ed., Jossey-Bass, San Francisco.
- Ryan, M. J. (1999). Keynote Address, Florida Sterling Conference, Orlando.
- Stratton, B. (1998). "Texas Nameplate Company: All You Need Is Trust", *Quality Progress*, octubre, pp. 29-32.
- Tektronix, Inc. (1985). "People Involvement: A Continuum", Tektronix, Inc. Beaverton, OR. Todos los derechos reservados. Reproducido con permiso.
- Vass, D. J. y D. H. Kincade (1999). "Relationship of TQM Implementation and Employee Opinion Survey: A Study of Three Manufacturers", *Quality Management Journal*, vol. 6, núm. 1, pp. 60-73.
- Warren, J. (1989). "We Have Found the Enemy. It Is Us", *Annual Quality Congress Transactions*, ASQ, Milwaukee, pp. 65-73.
- Watson, M. A. y F. M. Gryna (1998). "Assessment of Quality Culture in Small Business: Exploratory Research", Reporte núm. 905, Facultad de Negocios, Universidad de Tampa, Tampa, FL.
- Weinstein, M. (1996). *Managing to Have Fun*, Simon and Schuster, Nueva York.
- Wetlaufer, S. (1999a). "Driving Change: An Interview with Ford Motor Company's Jacques Nasser", *Harvard Business Review*, marzo-abril, pp. 76-88.

Wetlaufer, S. (1999b). "Organizing for Empowerment: An Interview with AES's Roger Sant and Dennis Bakke", *Harvard Business Review*, enero-febrero, pp. 110-123.

Zairi, M. (1994). *Measuring Performance for Business Results*, Chapman and Hall, Londres.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Hablar acerca del cambio: Kotter, J. P. (1996). *Leading Change*, Harvard Business School Press, Boston.

Covey, S. R. (1989). *The Habits of Highly Effective People*, Simon and Schuster, Nueva York.

Cultura Corporativa: Baker, E. M. (1999). *Scoring a Whole in One*, Crisp Publications, Menlo Park, CA.

Cameron, K. y W. Sine (1999). "A Framework for Organizational Quality Culture", *Quality Management Journal*, vol. 6, fascículo 4, pp. 7-25.

Collins, J. C. y J. I. Porras (1994). *Built to Last*, HarperBusiness, Nueva York.

French, M., J. Pittman, R. Stacy y J. Wetjen (1993). "Inova Quality Leadership-The Journey Continues", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT.

Hammond, S. A. (1998). *The Thin Book of Appreciative Inquiry*, The Thin Book Publishing Co., Plano, TX.

Administración del desempeño humano: *JQH5*, sección 15.

Herzberg, F. (1987). "One More Time-How Do You Motivate Employees?" *Harvard Business Review*, septiembre-octubre, pp. 109-120.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas

Sandholm, L. y L. Sorquist (2002). "12 Requirements for Six Sigma Success", *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, noviembre, 2002, pp. 17-22.

Fok, L. Y., S. J. Hartman, A. L. Patti y J. R. Rizek (2000). "Human Factors Affecting the Acceptance of Total Quality Management", *International Journal of Quality & Reliability Management*, junio-julio, vol. 17, núms. 6-7, p. 714.

Graham, J. (2004). "Developing a Performance-Based Culture", *Journal for Quality & Participation*, primavera, vol. 27, núm. 1, pp. 4-8.

Dew, J. (2003). "The Seven Deadly Sins of Quality Management", *Quality Progress*, 36(9):59-65.

Resumen

Visión general de cómo ejecutar mejor un programa six sigma.

Se examina la resistencia a la administración de calidad total en una corporación de Estados Unidos.

Argumenta que se necesita un sistema de administración del desempeño tanto a nivel individual como organizacional.

Siete categorías de sistemas de creencias como causas de raíz de los problemas en la administración de la calidad. Ofrece una taxonomía de la Radio Corporation of America (RCA).

Citas

- Shinn, G. S. (2002). "15 Waste Scenarios", *Quality Progress*, 35(12):67-73.
- Gardner, R. A. (2002). "10 Process Improvement Lessons for Leaders", *Quality Progress*, 35(11):56-61.
- Kelly, D. L. y P. Morath (2001). "How Do You Know the Change Worked?" *Quality Progress*, 34(7):68-74.
- Allen, R. S. y R. H. Kilmann (2001). "How Well Does Your Reward System Support TQM?", *Quality Progress*, 34(4):52-57.
- Watson, M.A y F. M. Gryna (2001). "Quality Culture in Small Business: Four Case Studies", *Quality Progress*, 34(1):41-48.
- Shockley III, W. (2000). "Planning for Knowledge Management", *Quality Progress*, 33(3):57-62.

Resumen

- Fallos en la administración del cambio (15 tipos diferentes de resultados, por ejemplo, confusión, *statu quo*, frustración).
- Errores en la mejora de procesos ante los cuales los líderes deben estar atentos (por ejemplo, la actividad no se traduce en resultados; empeorará antes mejorar).
- El método PDSA de Shewhart y el método DOE de Fisher aplicados a evaluar el éxito del cambio organizacional.
- Encuesta que busca prácticas de recompensas intrínsecas y extrínsecas y la relación con el desempeño de TQM.
- Cuatro estudios de caso que muestran cómo puede desarrollarse una cultura de la calidad dentro del contexto de las organizaciones pequeñas.
- Qué es la administración del conocimiento (KM, por sus siglas en inglés) y cómo puede beneficiar la administración estratégica de los procesos de KM al negocio.

ENTENDER LAS NECESIDADES DEL CLIENTE

10.1 CALIDAD Y VENTAJA COMPETITIVA

Los capítulos anteriores de este libro presentaron los conceptos clave al momento de entender las dimensiones de la calidad, determinar el estatus actual y comenzar a lograr la excelencia en la calidad. Todos los departamentos de una organización (véase la sección 1.4, “La función de calidad”) desempeñan papeles en el esfuerzo de la calidad. Se comenzará en el presente capítulo con el entendimiento de las necesidades de los clientes, mientras que el resto del libro versará sobre los papeles de estos diversos departamentos.

Al desarrollar nuevos productos o servicios (o al modificar los ya existentes) el proceso operacional de planeación de calidad proporciona una útil estructura. Los pasos siguientes están involucrados: establecimiento del proyecto, identificación de los clientes, descubrimiento de las necesidades de los clientes, desarrollo de productos, desarrollo de procesos, establecimiento de controles para los procesos y transferencia a operaciones. El capítulo 4 describe este proceso. Este capítulo explica con más detalle dos de los primeros pasos: identificar a los clientes y descubrir sus necesidades. Dos pasos que son parte del proceso de despliegue de la función de calidad (véase la sección 4.10 y, particularmente, la figura 4.5).

En el mundo en competencia, todas las organizaciones aspiran a tener una ventaja competitiva única. Dicha ventaja puede lograrse por el precio, por la capacidad de cumplir con las necesidades de los clientes con poca antelación y por la calidad. Este capítulo comienza el viaje para mostrar cómo la calidad (tanto de las características del producto como de la ausencia de deficiencias) puede llevar a una ventaja competitiva única. Al identificar a los clientes, analizar sus necesidades y entender nuestro estatus de calidad en relación con la competencia, se pueden establecer objetivos de calidad de nuevos productos que llevarán a una ventaja competitiva. Se empezará con los clientes.

10.2 IDENTIFICAR A LOS CLIENTES

Definimos *cliente* como cualquiera que se ve afectado por el producto o proceso. Por lo tanto, surgen tres categorías de éstos:

1. *Cientes externos, tanto actuales como potenciales.* Una multiplicidad de estos clientes ocasiona una variedad de influencias, dependiendo de si el cliente es económicamente poderoso y de su sofisticación tecnológica. Para las organizaciones de servicio, la lista de clientes externos puede ser muy amplia. Por ejemplo, los clientes del Servicio de Impuestos Internos incluyen a los contribuyentes y también el Departamento del Tesoro, la Oficina Presidencial, el Congreso, contadores, abogados, etc. Cada cliente tiene necesidades que primero deben determinarse y luego tratarse al momento de planear un producto.
2. *Cientes internos.* Estos clientes incluyen todas las funciones afectadas por el producto a nivel de la dirección y de la fuerza de trabajo. Los proveedores internos a menudo ven a sus clientes internos como “cautivos”. No es así. Los clientes internos pueden tener una fuente alternativa o comprar el producto de un proveedor externo. Por ejemplo, un departamento de ingeniería consigue los servicios de investigación del departamento de investigación de la empresa. El departamento de ingeniería es un cliente interno que puede decidir usar un consultor externo para recibir los servicios. Una planta de ensamble compra componentes de una planta hermana dentro de la empresa. Ese departamento de ensamble debe verse como un cliente externo que, para cumplir con sus propios objetivos, podría decidir buscar fuera de la familia de empresas para obtener la calidad requerida en sus componentes.
3. *Proveedores como clientes.* Los proveedores pueden considerarse como extensiones de los departamentos de clientes internos, tales como manufactura. Por consiguiente, sus necesidades deben entenderse y tratarse durante la planeación de calidad.

Al identificar a los clientes algunos son obvios y otros no. Una herramienta importante para identificar a todos aquellos que se ven afectados (es decir, los clientes) es el diagrama de flujo. A menudo, ningún individuo o departamento puede describir el proceso total; en cambio, un equipo interdisciplinario puede crear el diagrama de flujo. Éste también ayuda a entender los vínculos que pueden revelar las necesidades ocultas de los clientes. Estos vínculos son los flujos de información y de trabajo, y otras interdependencias entre operaciones.

Para los clientes externos, un “reparto” es a menudo el “cliente”. Por consiguiente, al momento de vender productos y servicios a un hospital, un proveedor debe entender las necesidades del gerente de compras y el de aseguramiento de calidad, de los jefes de departamentos del hospital, de los doctores, enfermeras y (de gran trascendencia) del paciente. Un fabricante conoce las necesidades de los cuatro niveles de clientes: los que aprueban la compra, los que influyen en la decisión, los que firman la orden de compra y los usuarios finales.

En la práctica, se debe reconocer que algunos clientes son más importantes que otros. Por lo general casi el 80 por ciento del volumen total de ventas proviene del 20 por ciento de los clientes; éstos son los “poco vitales” que exigen prioridad. Dentro de estas organizaciones de clientes clave hay clientes individuales que también pueden tener una jerarquía de importancia; por ejemplo, un cirujano de un hospital es un cliente clave para agujas quirúrgicas.

Observe que los clientes incluyen tanto a los clientes potenciales como a los actuales, y que a menudo es útil identificar los segmentos de clientes (para un ejemplo de segmentación de clientes, véase la sección 4.10, “Espectro de clientes”). Finalmente, una decisión difícil pero importante

implica qué clientes potenciales *no* buscar. Restringir los segmentos de clientes posibilita que una organización concentre sus recursos en los pocos clientes vitales y desempeñe aquellas actividades que implicarán la lealtad del cliente.

10.3 CONDUCTA DEL CLIENTE

Se definirán primero algunos términos referentes a la conducta del cliente. Éstos son: *necesidades, expectativas, satisfacción y percepción*.

Las necesidades de los clientes son los requerimientos y deseos básicos, fisiológicos y psicológicos para la supervivencia y el bienestar. A. H. Maslow es una fuente principal de información sobre las necesidades fisiológicas y psicológicas, e identifica una jerarquía de tales necesidades como fisiológicas, de seguridad, sociales, de ego y de autorrealización (para más detalle, véase la sección 9.2).

Las expectativas de los clientes son las características y el desempeño anticipados de los bienes o servicios. Kano y Gitlow (1995) sugieren tres niveles de expectativas de los clientes que están relacionados con los atributos de los productos. El nivel “esperado” de calidad representa los atributos “mínimos” o que “deben ser”. No se puede hacer subir la satisfacción con estos atributos porque se consideran garantizados, pero si el desempeño de los atributos básicos es malo provocará una fuerte insatisfacción. En el nivel “unitario” (o deseado) un mejor desempeño lleva a una mayor satisfacción, pero (en un periodo limitado) generalmente en aumentos pequeños. Para el nivel “atractivo” (o sorprendente) el mejor desempeño da como resultado clientes encantados, porque los atributos o el nivel de desempeño son una sorpresa agradable para ellos. (Para una aplicación a hospitales, véase la sección 10.4.) Es necesario descubrir y entender las necesidades y expectativas de los clientes con el fin de definir los atributos específicos de los productos para la investigación de mercados y el desarrollo del producto.

La satisfacción de los clientes es el grado al cual el cliente cree que las expectativas se cumplen o se sobrepasan por los beneficios recibidos. La expectativa de los clientes tiene una fuerte influencia en la satisfacción. Así, un cliente que se queda en un hotel de lujo espera la perfección, e incluso el menor inconveniente dará como resultado una baja satisfacción. Un hotel económico puede tener malas características, pero si los clientes pueden descansar razonablemente una noche tendrán alta satisfacción, porque sus expectativas son bajas.

La percepción del cliente es la impresión que deja el producto. La percepción ocurre después de que un cliente selecciona, organiza e interpreta la información sobre el producto. Las percepciones de los clientes están muy basadas en la experiencia previa. Pero otros factores influyen en la percepción y pueden ocurrir antes de la compra, en el punto de adquisición y después de la compra. Para mayor información, véase Onkvisit y Shaw (1994).

10.4 ALCANCE DE LAS NECESIDADES Y EXPECTATIVAS HUMANAS

Al planear para recopilar información sobre las necesidades de los clientes se debe ir más allá de la búsqueda de las necesidades obvias, hasta encontrar las más sutiles que presentan oportunidades para lograr diseños innovadores de nuevos productos.

Primero, hay que enfocarse en la distinción entre necesidades establecidas y necesidades reales. Un consumidor establece una necesidad para un “secador de ropa”, pero la necesidad real es “quitar la humedad”; un consumidor quiere un “cortacésped”, pero la necesidad real es “mantener la altura del césped”. En ambos casos, expresar la necesidad en términos básicos de un verbo y un sustantivo puede engendrar nuevas ideas. Un ejemplo histórico es el reemplazo de las redecillas para el cabello por fijador de pelo para satisfacer la necesidad de “cabello sujeto”. Cuando un cliente declara: “necesito un X”, quizás nos deberíamos preguntar: “¿Para qué va a usar el X?”

El cliente puede disimular o incluso desconocer algunas necesidades en el momento de la compra. Dichas necesidades a menudo llevan al cliente a usar el producto de una forma diferente de la que tenía prevista el proveedor: un número de teléfono pensado para emergencias se marca para cuestiones de rutina, un secador de cabello se emplea en invierno para descongelar una cerradura, un tractor se usa en condiciones de suelo poco comunes. Los diseñadores ven esos empleos como un mal uso del producto, pero mejor deberían considerarlos como nuevas aplicaciones para sus productos.

Algunas de estas aplicaciones son consideradas de mal uso, pero dichas necesidades deben ser entendidas y, en algunos casos, se tiene que pensar en conceptos alternativos de diseño. Luego, hay otras necesidades que van más allá de lo utilitario. Algunas pueden ser perceptivas (verbigracia, el ahora clásico ejemplo de los clientes del supermercado de Stew Leonard, que creen que sólo el pescado sin envolver puede ser fresco); otras pueden ser culturales (por ejemplo, un proceso como un diseño asistido por computadora que amenaza reducir la necesidad de la experiencia humana y, por eso, los ingenieros de diseño se resisten a él).

La Corporación de Hospitales de Estados Unidos (Hospital Corporation of America) identifica varios niveles de expectativas de los clientes. En el nivel 1, un cliente *supone* que se cumplirá con una necesidad básica; en el nivel 2, estará *satisfecho*; en el nivel 3, se encontrará *encantado* con el servicio. Por ejemplo, suponga que un paciente debe recibir 33 tratamientos de radiación. El tiempo de espera en el área de terapia es un atributo de este servicio de pacientes externos. En el nivel 1, el paciente *supone* que el equipo de radiación funcionará cada día. En el nivel 2, estará *satisfecho* si el tiempo de espera en el área es moderado, digamos, 15 minutos. En el nivel 3, se encontrará *encantado* si el tiempo de espera es breve, digamos, un minuto. Para lograr una ventaja competitiva única, hay que enfocarse en el nivel 3.

Las necesidades de los clientes pueden ser claras o disimuladas; racionales o menos que racionales. Para crear clientes, debemos descubrir y servir a sus necesidades.

Anderson y Narus (1998) consideran las necesidades en términos del valor, en unidades monetarias, de los beneficios técnicos, económicos, de servicio y sociales que un cliente recibe a cambio del precio pagado.

10.5

FUENTES DE INFORMACIÓN DE LA CALIDAD DEL MERCADO

La información de la calidad del mercado incluye señales de alarma de calidad que surgen a partir de un declive de las ventas y también de informes de fallas de campo, quejas de los clientes, reclamaciones, demandas, etcétera.

La mayoría de las señales de alarma son malas mediciones de calidad; de hecho, son mediciones de la insatisfacción expresada por un producto. Un bajo nivel de señales de alarma no significa necesariamente un alto nivel de calidad. Particularmente para los productos baratos, las tasas de reclamaciones son un mal indicador de la satisfacción de los clientes. Si éstos no están satisfechos,

simplemente cambian de marca, sin emitir ninguna queja. Tampoco la ausencia de insatisfacción por el producto significa que hay satisfacción por el mismo, dado que estos dos términos no son opuestos. Un producto puede estar libre de fallas y aún así no venderse, porque el diseño de la competencia es superior o tiene un precio inferior.

Una segunda fuente de información de la calidad del mercado es la gran cantidad disponible de datos publicados relativos a la calidad. Alguna de esta información es interna a la empresa, pero mucha es publicada de manera externa a ella. Dicha “inteligencia de campo” incluye bases de datos sobre el volumen de ventas; cambios en los precios; tasa de éxito en las cotizaciones; quejas; uso de partes de recambio; informes del personal de ventas; clasificaciones en las revistas de clientes y consumidores; informes del gobierno, etcétera.

Estas dos fuentes principales de información de la calidad del mercado, aunque necesarias, no son suficientes. Se pierde una buena cantidad de información y los datos se pueden proporcionar sólo mediante estudios especiales de investigación de mercados.

10.6 INVESTIGACIÓN DE MERCADOS EN LA CALIDAD (“LA VOZ DEL CLIENTE”)

La Asociación Estadounidense de Mercadotecnia define *investigación de mercadotecnia* (aquí se usa el término *investigación de mercados*) como “la función que conecta al consumidor, al cliente y al público con el comercializador mediante la información; información usada para identificar y definir las oportunidades y problemas de mercadotecnia; generar, depurar y evaluar las acciones de ésta; monitorear el desempeño de la mercadotecnia, y mejorar el entendimiento de ésta como un proceso”.

Aunque la investigación de mercados incluye la recopilación y el análisis de la información existente (informes de fracasos de campo, quejas de los clientes, reportes del gobierno), el aspecto emocionante se refiere a la información que todavía no existe, es decir, a la voz del cliente (VOC, por sus siglas en inglés). La VOC es un proceso continuo de recopilar los puntos de vista de los clientes sobre la calidad, y puede incluir las necesidades de éstos, así como sus expectativas, satisfacción y percepción. El énfasis radica en observar, escuchar y aprender a profundidad. Este proceso trata los tres principales propósitos de la investigación de mercados para la calidad.

Propósitos de la investigación de mercados en la calidad

Sus amplios propósitos se orientan principalmente en:

- Determinar las necesidades de los clientes.
- Desarrollar nuevas características.
- Medir la satisfacción actual de los clientes.
- Analizar los temas de retención y lealtad de los clientes.

La determinación de las necesidades de los clientes tiene diversas facetas. Éstas incluyen tanto necesidades de corto plazo para realizar una cirugía de los productos actuales como de más largo plazo para integrar la calidad en el desarrollo del nuevo producto. Se pregunta directamente a los clientes cuáles son sus necesidades y también se estudia metódicamente cómo usan actualmente el producto; luego se analiza su sistema total de uso para identificar las necesidades ocultas. Este proceso ofrece ideas específicas para modificar los productos actuales y ayuda a descubrir oportu-

nidades para los nuevos. Las necesidades deben evaluarse periódicamente, porque aquéllas nuevas de hoy se convertirán en las expectativas de rutina del mañana.

La medición de la satisfacción actual del cliente también implica algunos elementos. Primero, el término *calidad* debe ser traducido en los atributos específicos que los clientes dicen que son importantes. Estos atributos no deben restringirse a los de los productos esenciales y auxiliares ofrecidos a los clientes, también deben incluir los atributos de calidad para el ciclo de vida total, desde el contacto inicial con un vendedor hasta el servicio al cliente después de la venta. Asimismo se necesita conocer la importancia relativa de estos atributos para el cliente y cómo se compara nuestro producto con el de la competencia (véase la sección 2.6 para un ejemplo). Finalmente, se debe preguntar a los clientes si nos comprarían otra vez o si nos recomendarían a sus amigos.

Emplear investigación de mercados para la retención y la lealtad del cliente comienza con la distinción entre satisfacción y lealtad de aquél; dos conceptos diferentes (véase la sección 4.4). Algunos niveles de satisfacción del cliente no logran un alto nivel de lealtad de éste. La investigación debe incluir el hallazgo de las razones para la pérdida de los clientes, es decir, las defecciones de los clientes. En la sección 4.5 se presenta un marco para lograr una alta retención y lealtad del cliente.

Por consiguiente, la investigación de mercados en la calidad busca respuestas a algunas preguntas fundamentales:

- ¿Cuál es la importancia relativa de las diversas características del producto, considerada desde el punto de vista del usuario? Las respuestas ofrecidas por la investigación de mercados por lo general difieren de las primeras creencias del fabricante. Algunas veces la diferencia es dramática.
- Para las características más importantes, ¿cómo se compara nuestro producto con los de los competidores, desde el punto de vista del usuario?
- ¿Cuál es el efecto de estas características de la competencia (incluyendo el de las nuestras) en los costos y bienestar del usuario, así como en otros aspectos de la adaptabilidad de uso?
- ¿Cuáles son los problemas de los que no se quejan los usuarios pero que, sin embargo, pudiéramos remediar?
- ¿Tienen los usuarios ideas que nosotros pudiésemos emplear para su beneficio?

Al realizar un estudio de mercados, son básicos algunos principios:

1. Los puntos de vista de los clientes sobre la calidad son más útiles cuando incluyen apreciaciones de los productos de los competidores.
2. La investigación de mercados debe también capturar los puntos de vista de los “no clientes”, es decir, clientes potenciales y clientes perdidos.
3. Al momento de diseñar una investigación de mercados, se debe preguntar a los gerentes de operación dentro de la organización qué cuestiones necesitan ser contestadas para mejorar sus operaciones.
4. Una encuesta ocasional es mejor que nada, pero las encuestas periódicas proporcionan datos para el análisis de tendencias y otros asuntos.
5. El concepto del muestreo es importante. Encuestar a profundidad a una muestra de clientes cuidadosamente escogida es más útil que hacerlo superficialmente con una gran muestra de clientes.
6. El cliente desea desempeño de producto durante toda la vida de éste, no sólo durante el periodo de garantía. La investigación de mercado debe ir más allá de tal periodo.

Una referencia útil para la investigación de mercados es Churchill (1991). Goodman *et al.* (1996) tratan ocho obstáculos comunes que socavan la integridad y el valor de la retroalimentación de los clientes.

Técnica del incidente crítico

Esta técnica (CIT, por sus siglas en inglés) fue desarrollada por J. C. Flanagan durante la Segunda Guerra Mundial para mejorar el desempeño de los pilotos de combate.

Un “incidente” es pensado como “cualquier actividad humana observable que es lo suficientemente completa en sí misma como para permitir que se hagan inferencias y predicciones acerca de la persona que realiza el acto”. Para que el incidente se considere “crítico”, “debe ocurrir en una situación donde el propósito o el intento del acto parezca bastante claro al observador y donde sus consecuencias sean lo suficientemente evidentes como para dejar poca duda en lo que se refiere a los efectos” (Flanagan, 1954).

Desde entonces, se han usado las encuestas acerca de incidentes críticos para establecer una educación basada en la competencia en diversas profesiones (como medicina, odontología, farmacia, enseñanza y aplicación de la ley).

A los usuarios finales (clientes o clientes potenciales) se les pide identificar incidentes específicos que hayan experimentado personalmente y que tuvieron un efecto importante en el resultado final. Se pone énfasis en los incidentes en lugar de en opiniones vagas. También se puede obtener el contexto del incidente. Se recopila y analiza la información proveniente de una gran cantidad de usuarios.

Un incidente crítico nos permite determinar las competencias que estaban presentes, o la falta de ellas, en una situación particular. Al recopilar una cantidad suficiente de dichos incidentes críticos es posible construir un perfil de competencias que se requieren para el desempeño satisfactorio. Uno de los coautores de este libro (Chua) ha adaptado y aplicado la técnica del incidente crítico a la determinación de las necesidades de los clientes en varios proyectos de Diseño para six sigma (DFSS, por sus siglas en inglés).

La CIT es un método abierto de retrospectiva para averiguar lo que los usuarios creen que son las características críticas del producto o servicio que se está estudiando. Se centra en el comportamiento del usuario. Es más flexible que un cuestionario o encuesta y se recomienda cuando la única alternativa es desarrollar uno de aquéllos desde el principio.

En el siguiente tema, la investigación de mercados se dirigirá a las necesidades de los clientes para ambos componentes de calidad: las características del producto y la ausencia de deficiencias.

10.7 NECESIDADES RELACIONADAS CON LAS CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

Para empezar, se necesita identificar los atributos que los clientes dicen que son importantes en su decisión de compra. La tabla 10.1 muestra los resultados de una investigación en la que se pidió a los clientes (y clientes potenciales) de disquetes que eligieran atributos relevantes. La importancia relativa se midió como el porcentaje de clientes que seleccionaron cada atributo. Observe que la lista de atributos se enfoca en los disquetes y en los aspectos generales y específicos del servicio.

Un siguiente paso importante es conocer cómo se compara nuestro producto con el de la competencia. Esta tarea se puede llevar a cabo al utilizar un estudio de multiatributos. Se pide a los clientes que consideren varios atributos del producto y que establezcan, para cada uno, la importancia relativa y una clasificación de nuestro producto y del de la competencia. La sección 2.6 presenta tres modelos para ilustrar el papel de los clientes en la evaluación. A continuación se dan ejemplos adicionales de la investigación de mercados.

TABLA 10.1
Importancia relativa de atributos para disquetes

Atributo	Importancia relativa, %
Calidad de los productos entregados	98
Cumplimiento en los programas de entrega	95
Confiabilidad en campo	95
Precio	72
Disponibilidad de asistencia técnica	66
Manejo de pedidos grandes	64
Sofisticación del producto	62
Satisfacción de las necesidades cambiantes del cliente	51
Rapidez en la entrega	48
Capacidad del servicio de campo	45
Accesibilidad de la administración de proveedores	44
Especialización de los productos del <i>drive</i> para disquetes	34

En otro enfoque para determinar la importancia relativa de los atributos del servicio, un banco pide a sus clientes que seleccionen los cinco servicios más importantes de una lista de 12 (por ejemplo, procesar transacciones sin errores, saludar con una sonrisa, conocimiento de los productos y servicios del banco).

Algunas veces, la lista de atributos es muy larga y la identificación de los poco vitales puede ser extremadamente útil (Mitsch, 1998). Así, en Unigroup (United Van Lines y Mayflower Transit), de una lista de 71 atributos al mudar enseres domésticos, los clientes eligieron 14 como los más importantes, por ejemplo, la capacidad del vendedor y el manejo de las mercancías con cuidado (personal de carga, cumplimiento de promesas).

La importancia relativa de los atributos de los productos puede determinarse mediante diversos métodos. El más sencillo es presentar una lista a los clientes y pedirles que seleccionen los más relevantes. En otro método, se pide a los clientes que repartan 100 puntos entre varios atributos. En uno más complicado (“medida conjunta”), se presentan a los clientes combinaciones de los atributos del producto y se les pide indicar sus preferencias. Entonces, se puede calcular la importancia de la puntuación. Churchill (1991), apéndice 9B, describe este método. Peña (1999) presenta un método similar para calcular la importancia relativa de los atributos de la calidad de servicio con aplicaciones a la medida de calidad en una universidad y al sistema ferroviario español.

El caso del sistema de afeitarse

Un fabricante líder de rasuradoras y de hojas de rasurar se enfrentó a un nuevo modelo de la competencia que incorporaba un mecanismo ingenioso y mejorado para el cambio de la navaja. Cuando el competidor promocionó el nuevo modelo de forma agresiva, los gerentes de mercadotecnia de la empresa se asustaron. Después, tuvieron éxito al iniciar el desarrollo costoso de un nuevo producto para conseguir un modelo que pudiera encarar al de la competencia. Sin embargo, la alta dirección también autorizó un estudio de campo de investigación de mercados para descubrir la reacción de los clientes frente al nuevo desarrollo.

Los planeadores de este clásico estudio de investigación identificaron las siete características de calidad más importantes del sistema de afeitar. Después (a través de una empresa intermediaria de investigación de mercados), la empresa proporcionó a cada uno de los varios cientos de clientes los tres principales sistemas de afeitar que existían en el mercado. A estos clientes se les pidió usar cada uno durante un mes e informar:

- La clasificación de las siete características en orden de importancia según el usuario.
- La clasificación del desempeño de cada uno de los tres sistemas para las siete características de calidad.

La tabla 10.2 muestra el plan del estudio de investigación de mercados. Los datos resultantes mostraron, según los usuarios, que:

1. La facilidad con la que se cambia la hoja fue la característica menos importante.
2. El nuevo mecanismo del cambio de hoja de la competencia no había logrado crear una preferencia del usuario sobre las formas de la competencia de cambiar la navaja.

Estos descubrimientos negaron las creencias de los gerentes de mercadotecnia de la empresa y llegaron como una agradable sorpresa. Permitieron a la empresa terminar con el desarrollo costoso del nuevo producto que ya estaba en progreso.

3. En una de las características de calidad más importantes (la seguridad del producto), el sistema de afeitar de la empresa era inferior a los dos sistemas de la competencia. Estas noticias fueron una sorpresa desagradable y estimularon a que la empresa tomara medidas para eliminar esta debilidad. Observe que *esta inferioridad no podría haberse encontrado en las quejas de campo*, porque ningún usuario normal realizaría un estudio comparativo de este tipo por su propia iniciativa. Esto era “una situación preocupante ante la cual nuestras señales de alarma actuales estaban silenciosas”.

Descubrir las necesidades de los clientes y las oportunidades de mercadotecnia

La investigación de mercados en campo proporciona un acceso a las realidades que no pueden descubrirse en el laboratorio. Las condiciones de uso pueden implicar ambientes, cargas, niveles de capacitación del usuario, mala aplicación, etc., y todas ellas pueden ser diferentes de las condiciones prevalentes en el laboratorio. Este último proporciona una simulación relativamente rápida y económica, que es la más útil para tomar muchas decisiones. Sin embargo, tal simulacro no puede suministrar completamente las necesidades de adaptabilidad conforme a las condiciones reales de uso.

TABLA 10.2
Estudio de investigación de mercados: el caso del sistema de afeitar

Características de calidad	Clasificaciones de los usuarios			Importancia
	Gillette	Gem	Schick	
1. Quita la barba				
2. Seguridad				
3. Facilidad de limpieza				
4. Facilidad en el cambio de la hoja				
5. . . .				
6. . . .				
7. . . .				

Los estudios de campo pueden dar acceso a las realidades de las condiciones de uso y también a los mismos usuarios. Mediante el acceso a éstos, es posible entender los problemas que no son una cuestión de la mala calidad, pero para los cuales el fabricante puede ser capaz de desarrollar una solución. Por ejemplo, la mayoría de los usuarios prefieren evitar las tareas desagradables y que consuman mucho tiempo. La industria de alimentos procesados ha transferido con éxito muchas de dichas tareas de la cocina familiar a la fábrica (por ejemplo, café soluble, alimentos precocidos) y, de paso, han aumentado mucho sus ventas.

El estudio de la operación del usuario puede recibir ayuda de la disección del proceso de uso. Este trabajo se hace al documentar todos los pasos, analizarlos e identificar las oportunidades para el desarrollo de nuevos productos. Dicha información es una aportación valiosa para la función de tal desarrollo cuando el grupo se embarca en un proyecto de nuevo diseño.

EJEMPLO 10.1. Para un cierto producto de asistencia sanitaria, una llave controlaba la cantidad de flujo de una solución de una fuente externa para un paciente durante la diálisis. Un análisis, usando un diagrama de flujo, mostró que la llave propuesta era excelente para controlar la fluidez de la solución, pero que era inconveniente en un paso posterior que requería que el paciente llevara el producto bajo la ropa. El enfoque original estaba en el desempeño del producto, pero el diagrama de flujo reveló un problema posterior de molestias para el paciente. Véase la sección 11.4 para un mayor análisis.

Este enfoque reúne información mediante la observación de los clientes en lugar de preguntar a éstos. El enfoque no es nuevo, pero Leonard y Rayport (1997) sugirieron un esquema útil de cinco pasos, empleando un equipo para hacer la investigación.

1. *Observación.* Se observa cómo los clientes llevan a cabo su rutina normal.
2. *Captura de datos.* Se recopilan relativamente pocos datos mediante preguntas. En su lugar, a menudo se usan fotografías y videos.
3. *Reflexión y análisis.* Después de reunir los datos, el equipo revisa la información visual y de otro tipo para identificar los posibles problemas y necesidades de los clientes.
4. *Lluvia de ideas para encontrar soluciones.* Las observaciones se transforman en representaciones visuales de soluciones posibles.
5. *Desarrollo de prototipos de posibles soluciones.* Los prototipos aclaran el concepto del nuevo producto o servicio y estimulan la discusión con colegas y clientes.

Algunos investigadores llaman a este enfoque “engraparnos al producto”.

Las oportunidades para la mejora amplían el alcance total del uso del cliente desde la recepción inicial hasta la operación. En la tabla 10.3 se dan las primeras etapas y ejemplos de ideas para mejorar la adaptabilidad de uso. (Véase también la tabla 4.10 para ejemplos de necesidades ocultas de los clientes que presentaron oportunidades para la mejora.) Estas oportunidades deben traducirse luego en objetivos específicos de calidad del producto, los cuales, a su vez, ayuden a crear una ventaja competitiva única.

En otro enfoque, Bovée y Thill (1992) sugieren cinco formas de añadir valor mediante el servicio mejorado al cliente con una aplicación a los servicios financieros y a la venta minorista de discos compactos (tabla 10.4).

Algunas veces la información sobre las necesidades de los clientes es demasiado extensa para traducirla en atributos y características específicas del producto. Para conseguir más precisión, se pueden dividir en términos generales las necesidades establecidas en necesidades secundarias y terciarias. Este proceso proporciona una matriz detallada de despliegue de la función de calidad, es

TABLA 10.3
Oportunidades para mejorar la adaptabilidad de uso de un producto industrial

Etapa	Oportunidades
Recibir inspección	Proporcionar datos de tal forma que pueda eliminarse la inspección de entrada.
Almacenamiento de material	Diseñar el producto y el empaque para que la identificación y el manejo sean cómodos.
Procesamiento	Preprocesar el material (por ejemplo, concreto ya mezclado); diseñar el producto para maximizar la productividad cuando se esté usando en la operación de manufactura del cliente.
Almacenamiento de bienes terminados, almacenaje y campo	Diseñar el producto y el empaque para que la identificación y el manejo sean cómodos.
Instalación, alineamiento e inspección	Usar conceptos modulares y otros medios para facilitar la organización por parte del cliente en lugar de por el fabricante.
Mantenimiento, preventivo	Incorporar mantenimiento preventivo en el producto (por ejemplo, cojinetes autolubricantes).
Mantenimiento, correctivo	Diseñar productos para permitir que el usuario haga el autodiagnóstico.

TABLA 10.4
Añadir valor mediante el servicio al cliente

Posibles formas para añadir valor (producto básico)	Ejemplo de servicios financieros (comprobar contabilidad)	Ejemplo de venta al por menor (CD)
Ser flexible	Permitir a los clientes que diseñen sus propios cheques	Permitir a los clientes que devuelvan los CD
Tolerar errores de los clientes	Cubrir los giros en descubierto sin cargar una tarifa	Ampliar el crédito cuando los clientes olvidan llevar dinero
Dar atención personalizada	Ayudar a los clientes con las preguntas individuales sobre impuestos	Aprender los gustos musicales de los clientes y sugerirles nuevos CD que pudieran disfrutar
Proporcionar información útil	Publicar un folleto sobre planeación financiera	Distribuir una hoja informativa que reseñe un nuevo equipo estéreo
Aumentar la conveniencia	Instalar cajeros automáticos	Permitir que los clientes hagan pedidos por teléfono

Fuente: Bovée y Thill (1992).

decir, una matriz de análisis de las necesidades de los clientes. En la tabla 10.5 aparece un ejemplo para programación de recursos médicos.

Los métodos para recopilar información sobre las necesidades de los clientes son muchos y variados. Algunos de los métodos comunes incluyen grupos de muestra (comentados a continuación), observaciones en los lugares de los clientes, interacciones ejecutivas con ellos, encuestas especiales para éstos, análisis de quejas, participación en ferias comerciales y comparación de

TABLA 10.5
Hoja de cálculo de análisis de necesidades

Necesidades primarias	Necesidades secundarias	Necesidades terciarias
Uso eficiente de los recursos clínicos	Sin tiempo perdido entre pacientes	La duración del procedimiento se ajusta al patrón de práctica del médico No se programan procedimientos incompatibles
	Número máximo de citas programadas	Se pueden encontrar fácilmente los registros de citas en las instalaciones Inventario preciso de los recursos disponibles: personas, equipos, suministros
Buen cuidado clínico	Dar el tratamiento indicado a los pacientes adecuados	Asociación correcta del paciente con las órdenes del médico Información de registro médico disponible
	Las necesidades de los pacientes son conocidas de antemano y atendidas	
	Todas las ubicaciones tienen información de médico y paciente	

Fuente: Juran Institute, Inc.

productos con los de los competidores. Un método reciente es monitorear los mensajes por Internet para encontrar lo que los clientes están diciendo sobre un producto (Finch, 1997).

JQH5, sección 3, proporciona una lista de trece métodos para recopilar información sobre las necesidades de los clientes. Plsek (1997) es una excelente referencia sobre la aplicación de los conceptos de creatividad al análisis de las necesidades de los clientes.

Grupos de muestra

Un grupo de muestra consiste en unos 8 a 14 clientes actuales o potenciales que se reúnen durante cerca de dos horas para discutir sobre un producto. Éstas son algunas de sus características clave:

1. La discusión tiene un enfoque, de ahí que a veces también se les llame grupos de enfoque.
2. La discusión puede enfocarse en productos actuales, propuestos o futuros.
3. Un moderador con habilidades en dinámica de grupos guía la discusión.
4. El moderador tiene un claro objetivo de la información que se necesita y un plan para guiar la discusión.
5. A menudo el personal de la empresa observa y escucha en una habitación contigua, escondido tras un espejo de una sola vista.

Los grupos de muestra pueden cubrir muchas facetas de un producto o pueden tratar sólo sobre la calidad. Una discusión puede ser amplia (por ejemplo, obtener puntos de vista sobre las necesidades de los clientes) o tener un alcance más estrecho (verbigracia, determinar la sensibilidad

de los clientes a varios grados de imperfecciones en una vajilla de plata). Los grupos pueden estar compuestos por clientes de varios segmentos de mercado, o representar segmentos de no clientes que la empresa quiera penetrar. Las sesiones pueden proporcionar profundidad de información sobre las necesidades, expectativas, percepciones, satisfacción, intenciones y reacciones a nuevos conceptos o ideas. Un enfoque útil es pedir a los clientes que se imaginen su producto ideal, por ejemplo, el que superaría todas sus frustraciones. Las respuestas proporcionan aportaciones para el desarrollo de nuevos productos. Por lo general, los miembros de un grupo de muestra son bastante espontáneos, ya que reciben el respaldo de otros de sus integrantes con pensamiento parecido.

Una clave para un grupo de muestra exitoso es la capacidad del moderador del grupo. Ser moderador no es una tarea para un aficionado de buena intención. Éste debe aprender rápido y ser un líder amistoso; tener conocimientos pero no saberlo todo; saber escuchar; ser un facilitador pero no un ejecutante; ser flexible, empático y un pensador que pueda imaginarse toda la escena, además de ser un buen escritor y poseer una memoria excelente. Para más detalle, véase Greenbaum (1988).

Las herramientas de apoyo para reuniones electrónicas (EMS, por sus siglas en inglés) pueden ayudar a registrar y resumir puntos de vista durante una reunión de un grupo de muestra. Por lo general, en ellas los participantes se reúnen en una habitación, con una computadora para cada uno. Usando las computadoras, los participantes (simultáneamente y de forma anónima) responden a las preguntas del moderador. La red de computadoras recopila y resume las respuestas para que todos las puedan ver y discutir.

Personalización masiva

Hay muchos ejemplos comerciales donde los productos se personalizan para el pedido de un cliente (por ejemplo, en la industria de la venta al por menor de las computadoras). Davis (1987) acuñó por primera vez el término y se refiere a la personalización masiva cuando “el mismo gran número de clientes puede alcanzarse como en los mercados masivos de la economía industrial y, simultáneamente, pueden ser tratados individualmente como en los mercados personalizados de las economías preindustriales”. Pine (1993) proporciona un buen tratamiento de la personalización masiva en su libro. En su definición, el objetivo es: primero detectar las necesidades de los clientes y luego cumplirlas con una eficiencia que casi iguale a la de la producción en masa. Tseng y Jiao (2001) proporcionan una definición que funciona, declarando que el objetivo de la personalización masiva es “entregar bienes y servicios que cumplan con las necesidades individuales de los clientes con la eficiencia cercana a la producción en masa”.

La personalización masiva se aplica sólo a aquellos productos para los cuales el valor de la personalización, hasta el punto en el que los clientes estén dispuestos a pagar por ella, sobrepase el costo de la misma (Piller, 2003; Tseng y Piller, 2003). Esto implica que aun cuando el precio de un producto que se va a personalizar puede aumentar, el mismo grupo de clientes que antes compraba uno estándar (masivo) se dirige ahora hacia los productos personalizados. Un indicador importante de la amplitud del valor que se está creando es el nivel de personalización. Un proyecto interesante en la personalización masiva comenzó recientemente en Europa. La Comisión Europea lanzó el proyecto EuroShoe, una propuesta europea de gran escala dedicada a la personalización masiva de la industria del calzado (para más detalles, véase www.euro-shoe.net). Los pies de cada cliente pueden ser escaneados biométricamente, y analizar y usar sus hábitos específicos para hacer una horma, una plantilla y una suela individual para cada cliente. Después los zapatos y las hormas se producen cuando el consumidor final coloca un pedido.

10.8 NECESIDADES RELACIONADAS CON LAS DEFICIENCIAS DEL PRODUCTO

Entender las necesidades de los clientes también debe incluir el lado de las deficiencias de la definición de calidad. Claramente, el énfasis durante la planeación debe estar en la *prevención* de las deficiencias (defectos, fallas, errores, etcétera).

Respecto a la prevención de las deficiencias, los siguientes capítulos tratan los conceptos y las herramientas necesarios en diversas áreas funcionales. Una aportación importante para dichos esfuerzos de prevención son los datos de las quejas de campo. La mayoría de las organizaciones tienen sistemas que recopilan y analizan la información sobre las quejas de los clientes. Un análisis de Pareto de fallas de campo, quejas, devoluciones de productos, etc., identifica los pocos problemas vitales de calidad que se tienen que tratar en el desarrollo del producto tanto presente como futuro. Este tipo de análisis se usa ampliamente. La tabla 10.6 muestra un análisis de Pareto de las quejas de campo en boquillas para combustible que usan algunas medidas diferentes. Un análisis convencional de Pareto clasificaría los diversos tipos de quejas según la frecuencia en que ocurren, pero cuando esas quejas se evalúan en una base económica, la clasificación cambia. Observe también que hay diversos índices económicos posibles, como los costos por garantía y el efecto en los costos del usuario. Las prioridades para el desarrollo futuro del producto pueden ser bastante diferentes, dependiendo de la medida usada en el análisis de Pareto. De manera similar, los datos sobre los defectos encontrados internamente deben analizarse con la base apropiada para ordenar por prioridades los esfuerzos de prevención, muchos de los cuales deben hacerse durante el desarrollo de productos.

Prevenir la recurrencia de las quejas específicas en los productos futuros requiere un análisis cuidadoso de las palabras y frases utilizadas para describir las reclamaciones.

EJEMPLO 10.2. Una encuesta anual realizada por correo entre clientes de automóviles reveló un número importante de quejas sobre “el cierre de las puertas”; dentro de la empresa este término se refiere al “margen” y a la “nivelación”. El margen es el espacio entre la puerta delantera y el guardafango, o entre las puertas de adelante y las de atrás. Algunas veces el margen no era uniforme, por ejemplo, un espacio más ancho en la parte superior de la puerta comparado con un espacio más estrecho en la parte de abajo. La nivelación se refiere a la suavidad de encaje de la puerta con el armazón del auto después de cerrarla. Se tomaron medidas (a un costo importante) durante el procesamiento y el ensamble para corregir los

TABLA 10.6
Análisis de Pareto de quejas sobre las boquillas de combustible

Modo de falla	Frecuencia	Clasificación basada en diversas medidas	
		Cargos de garantía	Efecto en los costos de los usuarios
G	1	4	3
A	2	1	6
D	3	2	1
F	4	5	4
N	5	7	8
L	6	3	2
P	7	6	5
R	8	8	7

problemas del margen y nivelado. Pero unas encuestas subsiguientes volvieron a reportar quejas sobre el ajuste de las puertas.

Afortunadamente, se pudo disponer de otra aportación de una encuesta de mercado. La empresa realizaba periódicamente reuniones de grupos de muestra en los que los clientes contestaban un cuestionario y discutían asuntos seleccionados con más detalle. Una vez más el ajuste de las puertas parecía ser el gran problema entre los clientes. En el acto se les preguntó: “¿Qué quieren decir con el ajuste de las puertas?” Su respuesta *no* fue ni el margen ni la nivelación. Primero, ajuste quería decir la cantidad de esfuerzo requerido para cerrar la puerta. Los clientes se quejaban de que tenían que “azotar fuertemente la puerta para lograr que se cerrara completamente a la primera”. Segundo, *ajuste* significaba “ruido”. Cuando se bajaban del coche y cerraban la puerta, querían oír un sólido sonido “eficaz” en lugar de uno “metálico y suelto” (eso les decía que la puerta no estaba cerrada). La investigación de mercado proporcionó un correcto entendimiento de la queja, la cual después requirió cambios en el diseño del producto y en el proceso de fabricación. Antes, la empresa había actuado sobre la queja, pero había resuelto el problema equivocado. Fue un gasto de recursos como rociar los desechos con perfume.

Cuando se determinan las necesidades de los clientes, éstas se deben relacionar con los procesos internos del negocio, con el fin de definir las métricas para cada necesidad. Como ejemplo, véase la figura 14.3.

Al analizar las necesidades de los clientes relacionadas con las características y las deficiencias de los productos, una entrada esencial es la información en el nivel actual de satisfacción del cliente.

10.9 MEDICIÓN DE LA SATISFACCIÓN DEL CLIENTE

Al medir la *satisfacción del cliente*, términos como éste y el de *calidad* son demasiado nebulosos. En lugar de eso, se deben identificar los atributos del producto que definan colectivamente la satisfacción. Ejemplos de ellos son la precisión de las transacciones en un banco o los atributos específicos de la realización en una casa residencial. Se debe preguntar a una muestra de clientes (en investigación preliminar) qué atributos consideran que constituyen la alta calidad. Entradas de los gerentes de la empresa; periódicos y revistas comerciales, y otras fuentes, también deben ser incluidas. Con estas entradas, se termina luego la lista de atributos para la investigación entre la muestra más grande de clientes. Tal lista debe abarcar un ciclo entero de contacto con el cliente, desde el inicial con el vendedor hasta el uso y servicio del producto y el manejo de las quejas. En la sección 2.6 se presentan ejemplos de estudios de satisfacción del cliente de industrias manufactureras y de servicios.

Es posible usar un patrón genérico de atributos. Por ejemplo, en el área de servicio al cliente, el modelo SERVQUAL (Zeithaml *et al.*, 1990) identifica cinco dimensiones: tangibles, confiabilidad, grado de respuesta, aseguramiento y empatía. Estos términos tan amplios tienen que ser definidos. Se lleva a cabo una investigación de mercados para las cinco áreas al presentar a los clientes 22 declaraciones que examinan las diferencias entre sus expectativas y percepciones. Estas declaraciones pueden ser personalizadas para cada empresa.

La medición de la satisfacción del cliente también debe incluir preguntas a los clientes sobre la importancia relativa de los diversos atributos (véase atrás). Cuando esta información se combina con la de satisfacción del cliente, el resultante diagrama de cuadrante ayuda a dirigir la acción futura de la modificación de un producto para satisfacer las necesidades de los clientes. Véase la figura 2.4 para un ejemplo.

La información acerca de la satisfacción del cliente relativa a la competencia puede ser seria: los datos pueden incitar a la acción necesaria sobre un producto. Los referentes a la calidad de un

competidor pueden obtenerse de una prueba de laboratorio, de preguntas directas a los consumidores, de compradores misteriosos, de grupos de muestra y de evaluación comparativa. Cuando un no cliente compra a un competidor es útil plantearle una pregunta abierta, por ejemplo, “¿cuáles son las razones principales por las que usted compra a la empresa X?”

Otra pregunta esencial que hacer a los clientes es: “¿nos compraría otra vez o nos recomendaría con sus amigos?” En la tabla 10.7 se muestra un ejemplo de este enfoque junto con resultados numéricos en United Van Lines.

Las fuentes de evaluación comparativa reportan que las empresas de clase mundial ganan puntuaciones del tipo “definitivamente la recomendaría” entre 60 y 65 por ciento del tiempo. Para la superioridad de la calidad, las organizaciones tienen que puntuar en la categoría máxima de respuesta (no en la segunda máxima).

Pueden recopilarse datos sobre la satisfacción al cliente por diversos métodos, incluyendo encuestas de mercado; entrevistas postransaccionales; grupos de muestra; compradores misteriosos; informes de los empleados; encuestas y entrevistas; centros de asistencia telefónica para quejas y otros comentarios; grupos de consejo de clientes, y encuestas de segmentos de clientes. Para mayor discusión, véase *JQH5*, sección 18. Vavra (1997) y Churchill (1991) son también referencias útiles.

También puede usarse la web para recopilar información sobre la satisfacción de los clientes mediante encuestas en línea a éstos. Los proveedores que se especializan en encuestas electrónicas tienen paneles ensamblados de respondedores preparados (véanse los sitios web al final del capítulo). La investigación en línea es más rápida que las encuestas por teléfono o por correo y puede tener tasas más altas de respuesta porque es más conveniente y menos invasiva que otros métodos. La desventaja es que la votación en línea puede no ser representativa porque muchos consumidores no utilizan Internet regularmente.

Los datos de la satisfacción y las necesidades del cliente que surgen de varias fuentes pueden integrarse en una base de datos, y el software de administración de relaciones con los clientes puede usarse luego para analizarla y hacer que queden disponibles inmediatamente los resultados para todas las funciones de una organización. El potencial del comercio electrónico es emocionante; por ejemplo, los datos pueden ser organizados por códigos postales para descubrir las necesidades locales.

Los datos de satisfacción del cliente deben vincularse con el análisis de lealtad del cliente.

Recopilar información sobre los clientes y sus necesidades proporciona la entrada para la matriz de despliegue de función de calidad acerca de los clientes y de sus necesidades (véase la sección 4.12). Los datos pueden ayudar a traducir las necesidades de los clientes en características de los productos (como se comenta en el capítulo 11).

Rhey y Gryna (2001) discuten la aplicación de la investigación de mercados a la calidad para pequeñas empresas de negocio.

TABLA 10.7
Resultados de una encuesta de lealtad

Disposición a recomendar UVL	4 meses actuales	
	Respuestas	Porcentaje
Definitivamente sí la recomendaría	37	55.2
La recomendaría	14	20.9
Podría recomendarla o no recomendarla	9	13.4
No la recomendaría	4	6.0
Definitivamente no la recomendaría	3	4.5

Fuente: United Van Lines, Inc., encuesta de servicio al cliente.

10.10 INVESTIGACIÓN DE MERCADOS PARA LOS CLIENTES INTERNOS

Los conceptos de la investigación de mercados se aplican tanto a los clientes internos como a los externos. En el sector de servicios, un departamento de apoyo de AT&T Bell Laboratories realizó una encuesta sobre las necesidades de los clientes internos (Weimer, 1995). El resultado fue una jerarquía de necesidades. La calidad del servicio se definió como una de las necesidades primarias. Los clientes definieron la calidad del servicio con 10 necesidades secundarias (tácticas), tales como “sin cinta roja” y “acceso a la información del servicio”. Éstas fueron posteriormente definidas en términos de 42 necesidades terciarias (operacionales), tales como “tratar directamente con la persona que proporciona el servicio” y “conocer quién proporciona un servicio o es dueño de un proceso”.

Para una aplicación del uso de las herramientas EMS con un grupo de muestra de gerentes financieros, véase la sección 14.2.

En otro ejemplo, el personal administrativo de ingeniería central de un gran fabricante de automóviles aplicó conceptos de investigación de mercados a los clientes internos (Stevens, 1987). Primero, un cuestionario de la encuesta enviado a los clientes internos requería información sobre la frecuencia del contacto con cada una de las siete áreas del personal administrativo. Luego se solicitó a los encuestados que establecieran su grado de satisfacción respecto a ocho atributos de servicio: servicios que cumplían los requerimientos, seguimiento requerido, asistencia disponible, personas competentes, cooperación, entradas requeridas, notificación de problemas y ayuda al buscar contactos. También se les pidió una calificación global de satisfacción. Finalmente, se les pidieron detalles de las bajas calificaciones para los ocho atributos y sugerencias de cómo ingeniería podría mejorar su servicio para ayudar a lograr los objetivos de calidad de los clientes.

Gastar tiempo y esfuerzo para entender las necesidades de los clientes proporciona claramente la base para planear y ejecutar todo el trabajo de la organización (desarrollo de producto, relaciones con los proveedores, operaciones, mercadotecnia, servicio de campo y funciones de apoyo). Ése será el escenario del resto de este libro.

RESUMEN

- Un cliente es cualquiera que se vea afectado por un producto o proceso.
- Los clientes entran en tres categorías: externos, internos y proveedores.
- Las necesidades del cliente pueden ser claras o disfrazadas; racionales o menos que racionales. Pero estas necesidades deben ser descubiertas y atendidas.
- Un bajo nivel de insatisfacción de los clientes (por ejemplo, quejas) *no* significa necesariamente que están satisfechos.
- La investigación de mercado para la calidad analiza aspectos de ésta que son afectados por las fuerzas del mercado.
- La satisfacción del cliente debe ser medida en relación con la competencia y tratar tanto las características del producto como la ausencia de deficiencias.
- La investigación de mercados puede ayudar a descubrir oportunidades para alcanzar una ventaja competitiva única.

PROBLEMAS

- 10.1. Para un resultado específico de su departamento dentro de una organización, bosqueje un diagrama de flujo sencillo sobre el trayecto del resultado a través de la organización. Luego prepare una lista de los clientes internos y externos.
- 10.2. Identifique sus propios clientes y proveedores para un día representativo de 24 horas.
- 10.3. Para uno de sus clientes importantes, defina los pasos que usted debería seguir para descubrir sus necesidades primarias. Enfatique el descubrimiento de las necesidades reales en lugar de las establecidas.
- 10.4. Para cualquier producto de *consumo*, prepare un plan de investigación de mercados dirigido a:
 - a) Identificar las principales características del producto.
 - b) Clasificar estas cualidades por orden de importancia para los usuarios.
 - c) Descubrir el desempeño relativo de las empresas de la competencia con respecto a las principales cualidades del producto.
- 10.5. Para cualquier producto *industrial*, prepare un plan de investigación de mercados dirigido a confirmar datos similares a los expuestos en el problema 10.4.
- 10.6. Camine por un supermercado e identifique algunos productos para los cuales el trabajo ha sido transferido desde las cocinas de las casas a las fábricas procesadoras de alimentos. Además, ubique algunos productos que potencialmente puedan sufrir dicha transformación. Informe de sus hallazgos con énfasis en los problemas de calidad involucrados.
- 10.7. Usted está participando en la preparación de una licitación para un sistema óptico militar usado para localización de rango. Las especificaciones militares requieren que los subsistemas sean intercambiables (para que, en caso de daño, aquel defectuoso pueda ser desconectado y reemplazado con un repuesto). Usted sabe por experiencia que esta previsión es inteligente. Sin embargo, le incomoda el otro requerimiento de que los elementos ópticos (lentes, prismas, etc.) dentro de cada subsistema también sean intercambiables. De acuerdo con su conocimiento, este requerimiento es una tontería, porque los militares nunca han tenido las instalaciones especiales para reparaciones y pruebas necesarias para reensamblar los elementos ópticos en el campo. También según sus conocimientos, los militares carecen de los medios para probar estos intercambios.

Hay disponible un procedimiento para proponer un cambio en esas especificaciones no realistas, pero una vez que usted entra en ese proceso se descubre que es sumamente largo y complicado. Además, su empresa ha tenido poco éxito para asegurar negocios militares porque sus competidores la han superado en las licitaciones al ofrecer precios más bajos.

Usted sospecha desde hace tiempo que una razón para esta falta de éxito es que su empresa hace sus licitaciones basada en el cumplimiento de todas las especificaciones requeridas (tengan sentido o no), mientras que sus competidores pueden estarlas haciendo sólo basados en cumplir las especificaciones que tienen sentido.

Usted se enfrenta ahora a hacer una recomendación sobre cómo estructurar la licitación con respecto al requerimiento de los intercambios innecesarios. ¿Qué propone usted? ¿Por qué? Si propone licitar basándose en no cumplir con el “tonto” requerimiento, ¿qué recomienda hacer si los militares descubren después qué es lo que ha pasado?

REFERENCIAS

- Anderson, J. C. y J. A. Narus (1998). "Business Marketing: Understand What Customers Value", *Harvard Business Review*, noviembre-diciembre, pp. 53-65.
- Bovée, C. L. y J. V. Thill (1992). *Marketing*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Churchill, G. A. Jr. (1991). *Marketing Research Methodological Foundations*, Dryden Press, Chicago.
- Davis, S. (1987). *Future Perfect*, Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- Finch, B. J. (1997). "A New Way to Listen to the Customer", *Quality Progress*, mayo, pp. 73-76.
- Flanagan, J. C. (1954). "The Critical Incident Technique", *Psychological Bulletin*, 51.4, 327-359.
- Goodman, J., D. DePalma, y S. Broetzmann (1996). "Maximizing the Value of Customer Feedback", *Quality Progress*, diciembre, pp. 35-39.
- Greenbaum, T. L. (1988). *The Practical Handbook and Guide to Focus Group Research*, Lexington Books, D.C. Heath, Lexington, MA, pp. 50-54.
- Kano, N. y H. Gitlow (1995). "The Kano Program", notas del seminario del 4 y 5 de mayo, Universidad de Miami.
- Leonard, D. y J. F. Rayport (1997). "Spark Innovation through Empathic Design", *Harvard Business Review*, noviembre-diciembre, pp. 102-113. Reproducido con permiso de *Harvard Business Review*.
- Mitsch, G. J. (1998). "Moving Experiences: How System-Wide and Singular Customer Satisfaction Measurement Drives Quality at United and Mayflower", Conferencia de medición de calidad y satisfacción del cliente, American Marketing Association y American Society for Quality, Atlanta.
- Onkvisit, S. y J. J. Shaw (1994). *Consumer Behavior*, McMillan, Nueva York.
- Peña, D. (1999). "A Methodology for Building Service Quality Indices", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 550-558.
- Piller, F. (2003). *Mass Customization*, 3a. ed., Gabler, Wiesbaden.
- Pine, B. J. (1993). *Mass Customization*, Harvard Business School Press, Boston.
- Rhey, W. L. y F. M. Gryna (2001). *Market Research for Quality in Small Business*, *Quality Progress*, enero.
- Stevens, E. R. (1987). *Implementing an Internal-Customer Satisfaction Improvement Process*, Juran Report núm. 8, pp. 140-145.
- Tseng, M. M. y J. Jiao (2001). Mass Customization, en G. Salvendy (ed.). *Handbook of Industrial Engineering*, 3a. ed., Wiley, Nueva York, pp. 684-709.
- Tseng, M. M. y F. Piller (2003). "Towards the Customer Centric Enterprise", en M. Tseng y F. Piller (eds.). *The Customer Centric Enterprise: Advances in Mass Customization and Personalization*, Springer, Nueva York, pp. 1-27.
- Vavra, T. G. (1997). *Improving Your Measurement of Customer Satisfaction*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- Weimer, C. K. (1995). "Translating R & D Needs into Support Measures", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 113-119.
- Yang, K. y B. El-Haik (2003). *Design for Six Sigma: A Roadmap for Product Development*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Zeithaml, V. A., A. Parasuraman y L. L. Berry (1990). *Delivering Quality Service*, Free Press, Nueva York.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Investigación de mercados para la calidad: *JQH5*, sección 18.
- Análisis de las necesidades del cliente: Plsek, P. E. (1997). *Creativity, Innovation, and Quality*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- Satisfacción del cliente y manejo de quejas: American Productivity and Quality Center (1999). "White Paper on Complaint Management and Problem Resolution Consortium Benchmarking Study", Houston.

- Carlisle, K. E. (1986). *Analyzing Jobs and Tasks*, Educational Technology Publications, Englewood Cliffs, NJ.
- Creveling, C. M., J. L. Slitsky y D. Antis, Jr. (2003). *Design for Six Sigma in Technology and Product Development*, Prentice-Hall, Nueva York.
- Fivars, G. (ed.) (1980). *Critical Incident Technique*, American Institutes for Research, Nueva York.
- Gremler, D. D. (2004). "The Critical Incident Technique in Service Research", *Journal of Service Research*, agosto, 7(1):65-89.
- Pine, B. J. (1993). *Mass Customization*, Harvard Business School Press, Boston.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas

- Bastian, K. (2001). "Title: Numbers Don't Tell the Whole Story", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 203-208.
- Boselie, P. y T. van der Wiele (2002). "Employee Perceptions of HRM and TQM, and the Effects on Satisfaction and Intention to Leave", *Managing Service Quality*, 12(3):165-172.
- Brandt, D. R. (2002). "Linking Measures of Customer Satisfaction, Value and Loyalty to Market and Financial Performance: Basic Methods and Key Considerations", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 113-122.
- Cole, J. S. y M. Walker (2001). "Getting the Most from Your Customer Survey Process", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 687-695.
- Goodman, J. A., D. Ward y S. Broetzmann (2002). "It Might Not Be Your Product", *Quality Progress*, 35(40):73-78.
- Hartman, M. G. (2001). "Taking Control of Patient Perceptions", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 251-259.
- Jeffries, R. D. y P. R. Sells (2000). "Customer Satisfaction Measurement Instruments", *Quality Progress*, 33(2):118-123.
- Little, C. (2004). "Improving Quality in Healthcare", *Annual Quality Congress Proceedings*, 58:331-340.
- McColl, E. et al. (2002). "Design and Use of Questionnaires: A Review of Best Practice Applicable to Surveys of Health Service Staff and Patients", *British Journal of Clinical Governance*, 7(3):206-212.

Resumen

- Métodos de entrada y salida para obtener información del desempeño y la necesidad de asegurar un seguimiento de la investigación de mercados.
- Relación entre la administración de recursos humanos, TQM y el desempeño del negocio.
- Dos enfoques para vincular la satisfacción, lealtad y valor del cliente con el desempeño financiero y de mercado.
- Estudio de caso y ocho prácticas específicas para ayudar a asegurar que los resultados de las encuestas a los clientes se usen realmente.
- Cuatro causas no relacionadas con defectos de la insatisfacción de los clientes (uso y mercadotecnia del cliente).
- Servicio/salud. Impacto de las evaluaciones, tiempos de espera, expectativas y ambiente de servicio en la calidad de éste y la satisfacción del cliente (paciente).
- Desarrollo de cuestionarios para medir la satisfacción del cliente en la asistencia sanitaria.
- Buen papel en la asesoría de los logros de los médicos.
- Principios de diseño y administración, y de cómo mejorar las tasas de respuesta de las encuestas de asistencia sanitaria.

Citas

- Reiley, T. T. (2000). "Health Care Regulations and Standards: Unmet Expectations", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 335-341.
- Rhey, W. L. y F. M. Gryna (2001). "Market Research for Quality in Small Business", *Quality Progress*, 34(1):31-38.
- Swadding, D. C. y C. Miller (2002). "Don't Measure Customer Satisfaction", *Quality Progress*, 35(5):62-67.
- Thomas, B. (2003). "Making Quality Customer Experience Real: How We Achieved New Heights in Our Customer-Suppliers Relationships", *Annual Quality Congress Proceedings*, 57:617-623.
- Tontini, G. (2000). "Identification of Customer-Attractive and Must-Be Requirements Using a Modified Kano's Method: Guidelines and Case Study", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 728-734.
- Trojniak, D. J. (2003). "Ways to Evaluate Voice of the Customer Information for Meaningful Improvement", *Quality Congress*, 57:243-256.
- Vinson, L. R. (2001). "How to Make Surveys Simpler and More Focused", *Quality Progress*, 34(5):58-63.
- Wirtz, J. (2001). "Improving the Measurement of Customer Satisfaction: A Test of Three Methods to Reduce Halo", *Managing Service Quality*, 11(2):99-111.

Resumen

- Presenta sistemas insuficientes en la asistencia sanitaria; se necesitan sistemas de administración de calidad como el ISO.
- Recomendaciones para realizar investigaciones de mercados rentables basadas en los hallazgos de cuatro pequeñas empresas.
- Los autores argumentan el valor percibido por el cliente (CPV, por sus siglas en inglés) como una alternativa a las medidas tradicionales de medición de satisfacción de cliente.
- Entender las necesidades de los clientes. CSM & CRM + ir más allá de las métricas y datos, y establecer la lealtad del cliente. Involucrarlo en el detalle. El ejemplo de Coopers & Lybrand.
- Modificación del modelo de Kano.
- Discute las complejidades de las percepciones de los clientes en lo referente a la calidad y revisa las herramientas analíticas para ayudar en la interpretación significativa.
- Diseño de encuestas basado en modelos estadísticos multivariantes.
- Los efectos de halo de la medición de atributos de productos o servicios pueden crear un error en la estimación de la satisfacción del cliente; se examinan tres factores que podrían reducir potencialmente el efecto halo.

SITIOS WEB

- Sociedad de Profesionales de Asuntos con el Cliente (Society Of Customer Affaire Professionals, SOCAP): www.socap.org
- Encuestas en línea sobre la satisfacción del cliente (Guidestar Communications): www.guidestarco.com

DISEÑAR PARA LA CALIDAD

11.1

OPORTUNIDADES PARA MEJORAR EL DISEÑO DE LOS PRODUCTOS

Este paso en la espiral de la calidad traduce las necesidades del usuario a un conjunto de requerimientos de diseño de los productos para su fabricación (o la función de operaciones en una organización de servicios). Este proceso se llama desarrollo de productos; investigación y desarrollo; ingeniería, o diseño de productos.

Muchos problemas con los que se tropiezan los clientes externos e internos pueden rastrearse hasta el diseño del producto.

EJEMPLO 11.1. En un estudio clásico de 850 fallas de campo de equipo electrónico relativamente sencillo, el 43 por ciento de las mismas se debieron a defectos en el diseño de ingeniería.

EJEMPLO 11.2. En una empresa de productos químicos, un alarmante 50 por ciento del producto enviado estaba fuera de las especificaciones. Afortunadamente, el producto era apto para su uso. Una revisión concluyó que muchas de las especificaciones eran obsoletas y tenían que cambiarse.

EJEMPLO 11.3. Un estudio de productos para la asistencia sanitaria reveló que el 34 por ciento de los retiros de éstos eran causadas por fallos del diseño del software o del producto.

EJEMPLO 11.4. Un fabricante de terminales, módems y otros productos para computadoras analizó las razones para los cambios de diseño. La sabiduría “local” dijo que (1) casi el 10 por ciento de los cambios se debían a errores en el diseño y (2) los restantes estaban relacionados con proyectos de reducción de costos, solicitudes de fabricación y requerimientos de cambios por parte de los clientes. Pero en un análisis a profundidad de los cambios de diseño de cuatro líneas de productos se llegó a una conclusión sorprendente: el 78 por ciento de los cambios se debían a errores de diseño.

Para productos mecánicos y electrónicos, de complejidad por lo menos moderada, los errores durante su desarrollo causan casi el 40 por ciento de los problemas de aptitud para uso. Cuando el

desarrollo del producto es responsable de crear la formulación (diseño) del producto y desarrollar el proceso de manufactura (como en los productos químicos), casi el 50 por ciento de los problemas se deben a él.

El personal de diseño de productos está muy preparado y es muy competente, en particular en las habilidades cuantitativas. Con respecto a la calidad, un diseño de producto debe proporcionar las características necesarias para cumplir con las necesidades de los clientes, y éstas deben estar libres de defectos. Los malos diseños no son falla de los diseñadores individuales; la causa es el *proceso* de diseño y desarrollo. Entonces, se tienen que identificar algunos temas clave de ese proceso.

11.2 DISEÑO Y DESARROLLO COMO UN PROCESO

Un *proceso* es un conjunto de actividades que producen una salida o resultado. Este concepto contrasta con la visualización del diseño y desarrollo como el trabajo de un departamento funcional, a menudo llamado “Diseño y desarrollo”. Cuando el diseño y desarrollo se contemplan como un proceso, surgen algunos temas clave:

1. Diseño y desarrollo posee “clientes” (es decir, cualquiera que se vea afectado por el diseño). Los departamentos de diseño y desarrollo funcionan frecuentemente como los asesores “cerebrales” para las nuevas ideas de productos, con un énfasis en “hacer que surja uno nuevo y que otros departamentos lo fabriquen y vendan”. Este pensamiento está llegando a ser obsoleto, pero existen algunos remanentes que deben ser reconocidos. Claramente, diseño y desarrollo posee clientes (externos que compran el producto y también internos que hacen, venden y dan servicio al producto). Por consiguiente, el diseño de un producto debe usar conceptos modernos para satisfacer las necesidades de los clientes, como sea que éstos las definan.
2. Para los clientes externos, las necesidades deben estudiarse en detalle y traducirse de una manera estructurada a características de producto y parámetros de diseño (el objetivo es bajar al competidor de su pedestal). Estas necesidades son definidas por los clientes, no por el personal de desarrollo de productos. Las fuerzas competitivas dictan ahora que las necesidades de los clientes deben analizarse con más detalle que en el pasado (véase el capítulo 10, “Entender las necesidades del cliente”). Un ejemplo de una nueva necesidad es la de los productos diseñados únicamente para un cliente (en grandes o pequeños volúmenes) y, por consiguiente, la aparición de la “personalización masiva”. Esta personalización se asocia a menudo con un cumplimiento más rápido de los pedidos. Feitzinger y Lee (1997) analizan el impacto de la personalización masiva en el diseño del producto y del proceso.
3. Para los clientes internos, el proceso de desarrollo debe reconocer que el diseño se convierte en una determinante importante de costos en áreas como fabricación, compras y servicio al cliente. Por consiguiente, la función de desarrollo debe compartir algunas de las responsabilidades de estos costos (al menos hasta el grado de incluir estas otras funciones como parte del proceso de desarrollo). Un concepto útil a este respecto es el despliegue de la función de calidad (que se comentará después).

4. Los diseñadores deben reconocer que el desarrollo de producto es un proceso interdisciplinario (con subprocesos) que involucra el departamento de diseño y otros departamentos internos. Un diagrama de flujo del proceso de desarrollo (y de los subprocesos clave) puede ser un útil punto de partida al momento de identificar y entender los papeles de estos departamentos. El papel de liderazgo del departamento de diseño en el desarrollo de los productos requiere que su personal llegue a enterarse muy bien del impacto del diseño en estas otras actividades y que las visualice activamente como parte del proceso de desarrollo. También significa que la función de diseño debe reunir y documentar información sobre las lecciones aprendidas durante el desarrollo para su uso en futuros diseños.
5. Los proveedores deben llegar a formar parte del equipo de desarrollo. En esta era de especialización, los proveedores pueden proporcionar constantemente experiencia actualizada al momento de diseñar ciertos subsistemas de un sistema.
6. El proceso de desarrollo de productos debe analizar el tema de minimizar la variación de éstos en torno a los valores nominales de los parámetros del diseño. Generalmente, el análisis del diseño fija el valor nominal (o promedio deseado) de un parámetro de diseño, y luego asigna (con menos de un enfoque científico) límites inferiores y superiores a las especificaciones en torno a tal valor nominal. La implicación es que todos los valores dentro de estos límites son aceptables para el desempeño. En la práctica, hay ventajas significativas en minimizar la variación en torno a un valor nominal (véase la sección 20.2). El diseño de experimentos y otras técnicas pueden determinar los valores óptimos de los parámetros de productos y procesos para minimizar la variación. Dichos enfoques pueden ayudar a lograr un objetivo de defectos de six sigma de 3.4 partes por millón. Esto se elabora bajo el rubro “Aplicación de diseño de experimentos (DOE, por sus siglas en inglés) al diseño de productos y procesos”.
7. El proceso de desarrollo de productos (para productos físicos, así como para aquellos de servicio) puede beneficiarse de la aplicación de los conceptos de administración de calidad. Los pasos de la planeación de calidad (capítulo 4) pueden proporcionar una hoja de ruta para desarrollar un producto nuevo o modificado; el control de calidad (capítulo 5) puede aportar las mediciones y la retroalimentación para los diversos pasos en el desarrollo de productos; la mejora de la calidad (capítulo 3) puede ofrecer la metodología para la mejora continua del proceso de desarrollo. Véase la sección 11.14 para más detalles.

Esta visión integrada del proceso de desarrollo de productos se llama a veces “desarrollo integrado de productos y procesos” (IPPD, por sus siglas en inglés). Para más detalle sobre el desarrollo de productos, véase *JQH5*, sección 17 (“Administración de proyectos y desarrollo de productos”) y sección 19 (“Calidad en la investigación y el desarrollo”). Endres (1997) explica el uso del enfoque Juran para mejorar la investigación y el desarrollo. Sobek *et al.* (1998) explican cómo Toyota integra el desarrollo de productos usando: (1) “procesos sociales” entre los ingenieros para fomentar el conocimiento técnico a profundidad y la comunicación eficiente, y (2) estándares de diseño para acelerar el desarrollo, permitir la flexibilidad y construir la base del conocimiento de la empresa. Brocato y Potocki (1998) explican un modelo de sistemas para la administración de calidad en el Laboratorio de Física Aplicada Johns Hopkins (Johns Hopkins Applied Physics Laboratory). *JQH5*, pp. 19.3-19.5, analiza el desarrollo de productos como un proceso en las industrias de servicio.

Se procederá a continuación a examinar las fases del desarrollo de productos y luego las técnicas específicas para la efectividad en el diseño.

TABLA 11.1
Formas de advertencia temprana de problemas de productos nuevos

Fases de la progresión de nuevos productos	Formas de advertencia temprana de problemas de productos nuevos
Concepto y estudio de factibilidad	Revisión de conceptos
Diseño del prototipo	Revisión del diseño; confiabilidad y predicción de la capacidad de mantenimiento; modo de falla, efecto y análisis crítico; análisis de seguridad, e ingeniería de valor
Construcción del prototipo	Prueba de prototipo, prueba medioambiental, pruebas de carga
Producción preliminar	Lotes de producción piloto, evaluación de especificaciones
Primera producción a gran escala	Pruebas en casa (por ejemplo, cocina, carretera), paneles de consumidores que lo usan, área limitada de mercadotecnia
Producción a gran escala, mercadotecnia y uso	Empleados como paneles de prueba, precauciones especiales para rápida retroalimentación
Todas las fases	Análisis de fallas, recopilación y análisis de datos

11.3

FASES DEL DESARROLLO DE PRODUCTOS Y CONCEPTO DE ADVERTENCIA TEMPRANA

El proceso de desarrollar productos modernos implica una evolución mediante distintas fases de desarrollo (véase la tabla 11.1 para un ejemplo de fases).

La frecuencia y severidad de los problemas causados por el diseño han estimulado a las empresas a desarrollar más y mejores formas de advertencia temprana para problemas inminentes. Estas advertencias tempranas están disponibles en diversas formas (tabla 11.1). Las herramientas especiales orientadas a la calidad descritas en este capítulo, ayudan a evaluar los diseños y a mejorar el proceso de diseño en sí mismo. Conjuntamente, estas advertencias tempranas y las herramientas orientadas a la calidad ofrecen una garantía añadida de que los nuevos diseños no crearán problemas indebidos a medida que progresen por la espiral. Los especialistas en confiabilidad, capacidad de mantenimiento y otros campos gestionan muchas formas de advertencia temprana. Lo oportuno de sus aportaciones es esencial, y cuando éstas se ofrecen de manera temprana pueden proporcionar una ayuda constructiva; en caso contrario, si se ofrecen tardíamente, provocan resistencia a las advertencias y a menudo crean una atmósfera de culpa. El costo de los cambios en un diseño puede ser enorme; por ejemplo, un *cambio* de diseño durante la producción piloto de un producto electrónico grande puede costar más de un millón de dólares.

A continuación, se examinarán algunas técnicas que ayudan a asegurar la efectividad global del diseño. Estas técnicas de garantía del diseño analizan el desempeño funcional, la confiabilidad, la capacidad de mantenimiento, la seguridad, la manufacturabilidad y otros atributos.

11.4

DISEÑAR PARA LOS REQUERIMIENTOS FUNCIONALES BÁSICOS; DESPLIEGUE DE LA FUNCIÓN DE CALIDAD

El desarrollo de productos traduce las expectativas de los clientes sobre los requerimientos funcionales a características específicas de ingeniería y calidad. Para los productos tradicionales,

este proceso no es complicado, e ingenieros de diseño experimentados pueden lograrlo sin usar ninguna técnica especial. Para los productos modernos, es útil documentar y analizar la lógica del diseño. Esto significa comenzar con los atributos deseados del producto y luego identificar las características necesarias de las materias primas, piezas, ensambles y pasos del proceso. Un enfoque así recibe una variedad de nombres, tales como ingeniería de sistemas; técnica de sistemas de análisis funcional; análisis estructurado de procesos y productos, y despliegue de la función de calidad.

Despliegue de la función de calidad

Una técnica para documentar la lógica global del diseño es el despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés). El QFD es un “proceso estructurado y disciplinado que ofrece un medio para identificar y llevar la Voz del Cliente a través de cada etapa del desarrollo e implementación de un producto o servicio. Este proceso puede desplegarse horizontalmente mediante la mercadotecnia, planeación de productos, ingeniería, manufactura, servicio y otros departamentos de una organización que estén involucrados en el desarrollo del producto o servicio” (ReVelle *et al.*, 1998). El QFD utiliza una serie de matrices entrelazadas que traduce las necesidades de los clientes a características de procesos y productos. (Véase la figura 11.1; es idéntica a la figura 4.6, pero se repite aquí para su comodidad.)

Algunas veces una matriz incorpora información adicional o la integra de una forma poco común y útil. Por ejemplo, la figura 11.2 es una matriz de las necesidades de los clientes (“requerimientos de los clientes”) y de las características de los productos (“requerimientos técnicos”) para el papel suministrado a un impresor comercial (Ernst y Young, 1990). Observe la información adicional sobre la importancia, ponderación, correlaciones entre los requerimientos, unidades de valores objetivo (por ejemplo, milímetros para ancho y grosor) y evaluaciones competitivas. El “techo” del diagrama que muestra las correlaciones nos indica un nombre para el diagrama, es decir, la “casa de calidad”.

Sánchez *et al.* (1993) ofrecen una útil explicación genérica de seis pasos para construir una casa de calidad (figura 11.3).

Gran parte de la información para estas matrices se reúne usando las herramientas de investigación de mercados descritas en el capítulo 10. A veces, incluso con productos sencillos, la cantidad de requerimientos de los clientes y del diseño llega a ser grande, y entonces el número de relaciones a investigar se vuelve inmanejable. Para esos casos, Shin y Kim (1997) proponen el uso de análisis de factores. El *análisis de factores* es una técnica estadística que simplifica un gran número de relaciones entre las variables a un uno más pequeño de parámetros con una pérdida mínima de información.

En la tabla 11.2 se muestra un ejemplo de una matriz QFD para el despliegue de los productos de un banco. Esta “matriz de diseño de productos” traduce las necesidades de los clientes a características y objetivos de características de productos para el servicio ofrecido por un cajero automático.

ReVelle *et al.* (1998) ofrecen una explicación detallada de QFD (incluyendo el importante uso del software de apoyo) para los sectores manufacturero y de servicios. Comstock y Dooley (1998) examinan detalladamente la aplicación de QFD en dos organizaciones (una comercial y otra de productos de defensa) e identifica las lecciones aprendidas para su efectividad. Vonderembse *et al.* (1997) informan sobre los resultados de una encuesta de 40 organizaciones que usan QFD. En

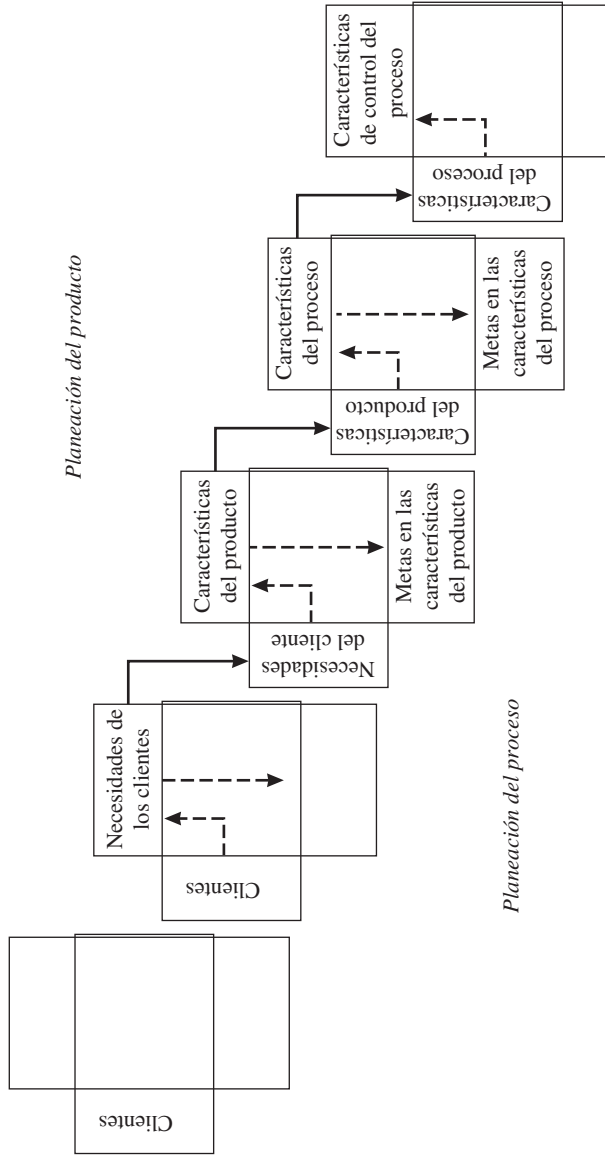


FIGURA 11.1
 Hojas de cálculo de QFD en la planeación de calidad. (Juran Institute, Inc. Copyright 1994. Usado con su permiso.)

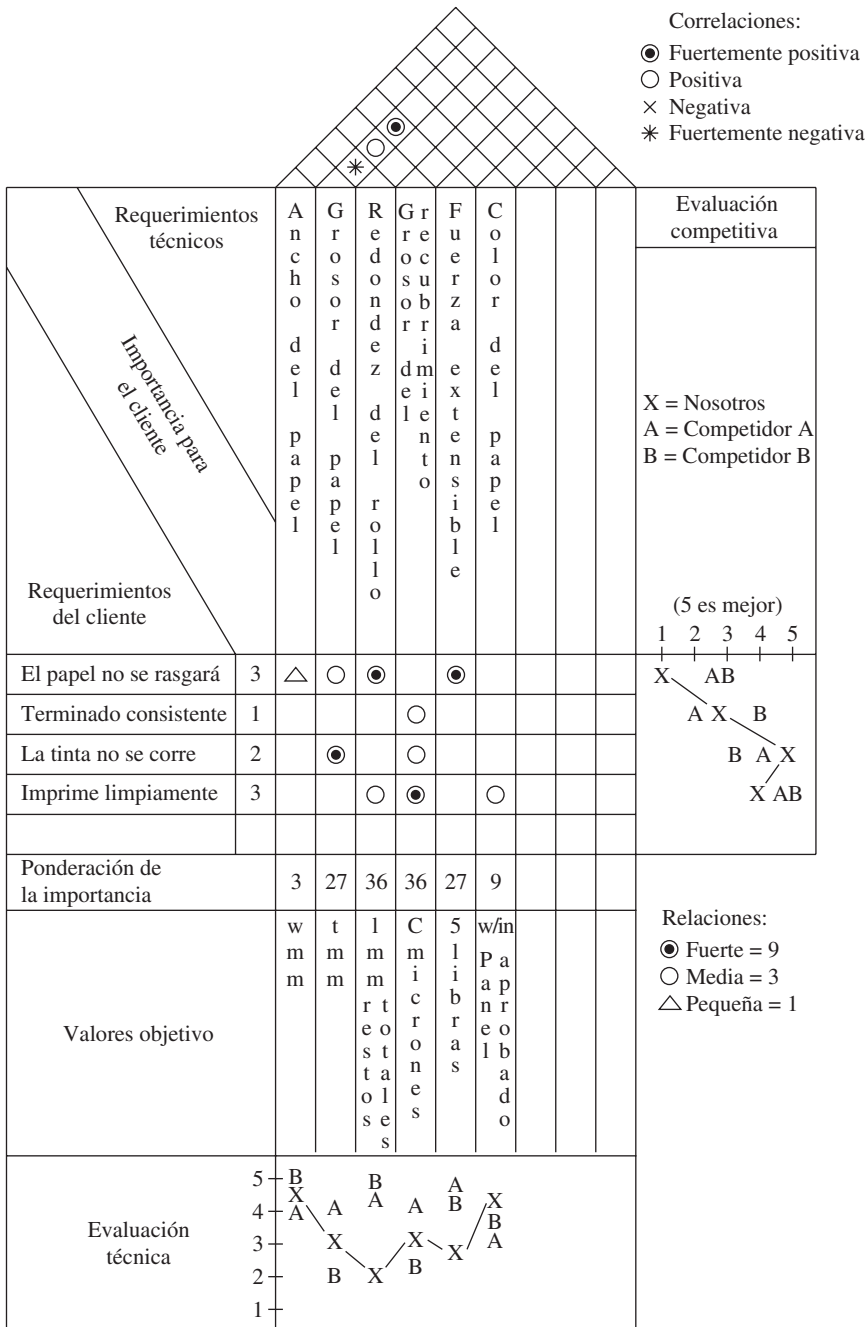


FIGURA 11.2
 Casa de calidad. (De Ernst y Young, 1990.)

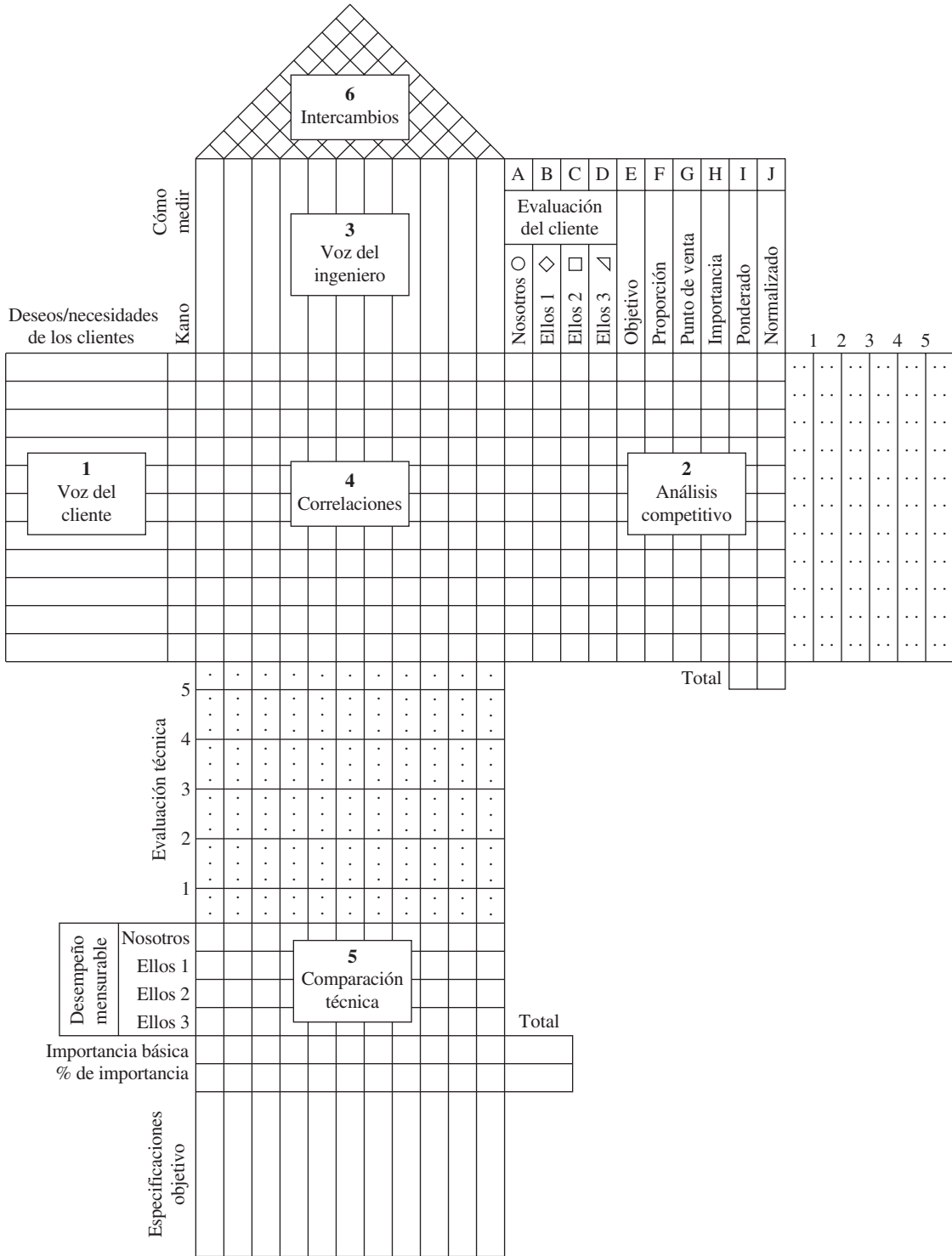


FIGURA 11.3

Seis pasos para construir una casa de calidad. (Reproducido con permiso de John Wiley & Sons, Inc.)

TABLA 11.2
Matriz de diseño de productos para cajeros automáticos

Necesidades de los clientes	Características del producto	Objetivos de las características de los productos
Conveniencia	Horas de uso	Disponibles 24 horas al día, 99% del tiempo
Uso por personas de habla no inglesa	Disponible en varios idiomas	Los clientes pueden elegir entre cuatro idiomas: inglés, español, japonés y francés
Fácil acceso	Acceso a todas las cuentas	Capaz de acceder a cuentas y desempeñar las siguientes funciones: retiro de efectivo, hacer depósitos, dar información, transferir dinero entre cuentas
Velocidad/sin líneas	Múltiples ubicaciones/cajeros disponibles	Localizados en las 300 sucursales con al menos dos cajeros disponibles en todo momento
Sentido de control	Los clientes pueden dirigir todas las transacciones por sí mismos	Se puedan seguir las instrucciones por cualquiera que tenga una educación superior a sexto grado el 90% del tiempo
Privacidad y seguridad	Ubicación de los cajeros; bien iluminados y seguros	Los cajeros se ubican en el interior de manera segura y se necesita tarjeta de acceso

Fuente: Juran Institute, Inc.

general, las organizaciones concluyeron que el QFD ayuda a lograr diseños de productos significativamente mejores que las prácticas tradicionales y crea una atmósfera intensiva de información, en la que la comunicación aumenta y las ideas se intercambian libremente. Beneficios menores aparecen en lo que se refiere a la disminución de los costos de los productos y a la reducción del tiempo necesario para que éstos lleguen al mercado.

Diseño de parámetros y diseño robusto

La característica básica de un producto es el desempeño, es decir, el resultado (la densidad de color de un aparato de televisión, el radio de giro de un automóvil). Para crear dicho resultado, los ingenieros usan principios para combinar las entradas de materiales, partes, componentes, ensambles, líquidos, etc. Para cada entrada, el ingeniero identifica parámetros y especifica valores numéricos con el fin de lograr el resultado requerido del producto final. Para cada parámetro, las especificaciones establecen un valor objetivo (o nominal) y un rango de tolerancia en torno a dicho objetivo. El proceso se llama “diseño de parámetros y tolerancia”.

A la hora de seleccionar estos valores objetivo, es útil fijarlos de tal forma que el desempeño del producto en el campo no se vea afectado por la variabilidad en las condiciones de la manufactura o el campo. Se dice entonces que el diseño es “robusto”. Los diseños robustos ofrecen un desempeño óptimo de manera simultánea a la variación de las condiciones de campo y manufactura.

Los diseñadores siempre han intentado crear diseños robustos. Pero a medida que los productos se vuelven más complejos, con muchos factores afectando a su desempeño, llega a ser difícil conocer: (1) qué factores afectan al desempeño y (2) qué valores nominales fijar para cada factor. Además, algunos factores afectan el valor medio del parámetro de un resultado, mientras que otros la variación en torno a la media. Un propósito de la prueba de desarrollo es investigar estos puntos. Una ayuda poderosa para planear tal prueba es el diseño estadístico de experimentos (véase la sección 18.11, “Diseño de experimentos”).

Aplicación del diseño de experimentos (DOE) al diseño de productos y procesos

G. Taguchi ha desarrollado un método para determinar los valores objetivo óptimos de los parámetros de productos y procesos que minimizarán la variación, a la vez que se sigue cumpliendo el objetivo. Este método es conocido como “diseño de parámetros”; la fijación de límites en torno a un valor objetivo se conoce como “diseño de tolerancia”. El énfasis en fijar los valores objetivo en los parámetros de diseño para minimizar la variación es una contribución importante de este enfoque. En el enfoque Taguchi se emplea el diseño de experimentos para investigar los factores de control en la presencia de factores ruidosos. Los *factores de control* son aquellos que pueden controlarse en el diseño de un producto o proceso. Durante el diseño se deben fijar sus valores para el desempeño óptimo del producto y su variación mínima. Los *factores de ruido* son los que no pueden controlarse fácilmente (por ejemplo, temperatura ambiente, variación y deterioro de los materiales) pero que se deben minimizar. Taguchi recomienda usar experimentos factoriales fraccionarios (véase la sección 18.15) para identificar los factores críticos de control y fijar sus niveles para minimizar la variación.

Phadke *et al.* (1983) describen una aplicación de este enfoque para circuitos integrados en Bell System. El ejemplo se ocupa de las dimensiones de la ventana de contacto de un chip integrado a gran escala. Las ventanas que no estén abiertas o que son demasiado pequeñas provocan una pérdida de contacto con los dispositivos, mientras que las excesivamente grandes llevan a características escasas del dispositivo. Los pasos en la formación de las ventanas y los factores críticos para cada paso se muestran en la tabla 11.3.

Se seleccionaron los niveles de cada uno de los nueve factores críticos. Seis de los factores tienen tres niveles cada uno; tres de ellos tienen sólo dos niveles cada uno. Un experimento totalmente factorial para explorar todas las combinaciones posibles de los niveles de los factores requerirían $3^6 \times 2^3$ (o 5 832) observaciones. (Originalmente se planearon doce experimentos.) En cambio, se eligió un diseño factorial fraccionario para investigar 18 combinaciones con un total de 34 medi-

TABLA 11.3
Pasos de la fabricación y factores críticos en la formación de ventanas

Paso de fabricación	Factores críticos
Aplicar material fotoprotector	Viscosidad del material fotoprotector (<i>B</i>) y velocidad de giro (<i>C</i>)
Hornear	Temperatura de horneado (<i>D</i>) y tiempo de horneado (<i>E</i>)
Exponer	Dimensiones de la máscara (<i>A</i>), apertura (<i>F</i>) y tiempo de exposición (<i>G</i>)
Desarrollar	Tiempo de desarrollo (<i>H</i>)
Grabar al aguafuerte de plasma	Tiempo de grabación al aguafuerte (<i>I</i>)
Quitar el material fotoprotector	No afecta al tamaño de la ventana

ciones. Se hicieron tres dimensiones de cada ventana. En el análisis de datos se usaron variables transformadas en lugar de valores absolutos. Las variables que se seleccionaron fueron la media y la relación señal/ruido (S/R). La proporción señal/ruido se define como

$$S/R = \log_{10} \left(\frac{\text{media}}{\text{desviación estándar}} \right)$$

El problema era determinar los niveles de factores que dieran una S/R máxima mientras se mantenía la media en el objetivo. Se necesitaron dos pasos:

1. Determinar los factores que tienen un efecto significativo en la S/R. Éstos son los que controlan la variabilidad del proceso y los llamados factores de control. Para cada factor de control, el nivel elegido es el que tiene la mayor S/R, maximizando así la proporción general.
2. Seleccionar el factor de control que tenga el mínimo efecto en la S/R. Éste es llamado un “factor de señal”. Los niveles de los factores que no son ni de control ni de señal, se fijan en niveles nominales antes del experimento. Finalmente, el nivel del factor de señal se fija de tal manera que la respuesta media está en el objetivo.

El análisis de la varianza reveló que los factores de control fueron *A*, *B*, *C*, *F*, *G* y *H*. Basado en un análisis de los datos y en el juicio de la ingeniería, se eligió el tiempo de exposición como el factor de señal.

En la tabla 11.4 se muestran los niveles seleccionados para cada factor. Usando estos niveles, se fabricó una muestra de chips. Los beneficios resultantes fueron los siguientes:

	Condiciones antiguas	Condiciones óptimas
Desviación estándar	0.29	0.14
Defectos visuales (ventana por chip)	0.12	0.04

Después de observar estas mejoras, los ingenieros del proceso eliminaron una serie de comprobaciones en él, reduciendo de ese modo, en un factor de 2, el tiempo total pasado por las obleas en la fotolitografía.

TABLA 11.4
Niveles óptimos de factores

Etiqueta	Factor	Nivel estándar	Nivel óptimo
<i>A</i>	Dimensión de la máscara, μm	2.0	2.5
<i>B</i>	Viscosidad	204	204
<i>C</i>	Velocidad de giro, r/min	3 000	4 000
<i>D</i>	Temperatura del horno, °C	105	105
<i>E</i>	Tiempo de horneado, min	30	30
<i>F</i>	Apertura	2	2
<i>G</i>	Exposición, fijación del PEP	Normal	Normal
<i>H</i>	Tiempo de desarrollo, s	45	60
<i>I</i>	Tiempo de grabación al aguafuerte del plasma, min	13.2	13.2

Fuente: Phadke *et al.* (1983, p. 1303).

Ross (1996) ofrece un análisis completo del enfoque Taguchi. La metodología Taguchi ha engendrado cierta controversia. Para un informe riguroso y práctico de los “triumfos y tragedias” de la metodología, véase Pignatiello y Ramberg (1992). Montgomery (1997) y otros están de acuerdo con que el concepto de diseño robusto de parámetros es bueno, pero son críticos con los métodos de los diseños experimentales y de análisis de datos (por ejemplo, la relación señal/ruido) usados en el enfoque Taguchi.

11.5 DISEÑO PARA EL DESEMPEÑO ORIENTADO EN EL TIEMPO (CONFIABILIDAD)

Los ingenieros de diseño se dan cuenta de que un producto debe tener una larga vida de servicio con pocas fallas. A medida que los productos se hacen cada vez más complejos, las fallas aumentan con el tiempo de operación. Los esfuerzos tradicionales del diseño, aunque necesarios, a menudo no son suficientes para lograr unos requerimientos de desempeño funcional y un índice bajo de fallas en el tiempo. Para evitar tales fallas, los especialistas han creado una colección de herramientas llamadas ingeniería de confiabilidad. La confiabilidad es calidad en el tiempo.

La confiabilidad es la capacidad de un producto para desempeñar una función requerida bajo condiciones determinadas durante un periodo establecido. (Más sencillamente, la confiabilidad es la posibilidad de que un producto funcione durante el tiempo requerido.) Si se analiza minuciosamente esta definición, se hacen aparentes cuatro implicaciones:

1. La cuantificación de la confiabilidad en términos de una probabilidad.
2. Un enunciado que define el desempeño exitoso del producto.
3. Un enunciado que define el ambiente en el cual debe operar el equipo.
4. Un enunciado del tiempo requerido de operación entre fallas. (De otra manera, la probabilidad es un número sin sentido para los productos orientados a perdurar en el tiempo.)

Para lograr una alta confiabilidad, es necesario definir las tareas específicas requeridas. Esta definición de tareas se llama *programa de confiabilidad*. El primer desarrollo de los programas de confiabilidad enfatizaba la fase de *diseño* del ciclo de vida del producto. Sin embargo, pronto se hizo claro que las fases de fabricación y de uso en campo no podían manejarse por separado. Como resultado surgieron programas de confiabilidad que abarcaban el ciclo total de vida del producto, es decir, “desde el principio hasta el final”.

Por lo general, un programa de confiabilidad incluye las siguientes actividades: establecimiento de los objetivos globales de confiabilidad; distribución de los objetivos de confiabilidad; análisis de estrés; identificación de partes críticas; modo de fallas y análisis de efectos; predicción de la confiabilidad; revisión del diseño; selección de proveedores (véase el capítulo 12); control de confiabilidad durante la fabricación (véase los capítulos 3 y 20); pruebas de confiabilidad, y sistemas de informes de fallas y de acciones correctivas. Excepto cuando se indica, estas actividades se analizan en este capítulo y en el 19.

Algunos elementos de un programa de confiabilidad son antiguos (por ejemplo, el análisis de tensión, la selección de partes). El nuevo aspecto significativo es la *cuantificación* de la confiabilidad. El hecho de la cuantificación hace de la confiabilidad un parámetro de diseño, como el peso y la fuerza tensora. Por consiguiente, la confiabilidad puede someterse a especificación y

verificación. La cuantificación también ayuda a refinar ciertas tareas tradicionales de diseño como el análisis de tensión y la selección de partes.

Antes de embarcarse en una discusión de las tareas de confiabilidad, se hará un comentario sobre la aplicación de éstas.

- Está claro que estas tareas no están garantizadas para los productos sencillos. Sin embargo, muchos productos que originalmente fueron sencillos ahora se están volviendo más complejos. En este caso, se deben examinar las diversas tareas de la confiabilidad para ver cuáles, si es que hay algunas, pudieran estar justificadas.
- Las técnicas de confiabilidad fueron desarrolladas originalmente para productos electrónicos y espaciales, pero su adaptación a los productos mecánicos ha logrado ahora tener éxito.
- Estas técnicas aplican a productos que comercializa una empresa y también al equipo primordial que ésta compra, por ejemplo, las máquinas controladas numéricamente. Una aplicación menos obvia es el equipo de procesamiento de sustancias químicas.

Para una visión general de las actividades clave de confiabilidad, véase la figura 11.4.

Establecimiento de los objetivos globales de confiabilidad

El desarrollo original de la cuantificación de la confiabilidad consistía en una probabilidad y en un tiempo de misión junto con una definición de desempeño y de las condiciones de uso. Esta definición demostró ser confusa para muchas personas, así que el índice fue abreviado (usando una relación matemática) a tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés). Muchas personas creen que el MTBF es el único índice de confiabilidad, pero ningún índice sencillo aplica a la mayoría de los productos. En la tabla 11.5 se presenta un resumen de los índices comunes (a menudo llamados *factores de control*).

A medida que se gana experiencia al momento de cuantificar la confiabilidad, muchas empresas están aprendiendo que es mejor crear un índice que cumpla únicamente con las necesidades de aquellos que lo usarán. Los usuarios del índice incluyen al personal técnico interno, al de mercadotecnia y a los usuarios del producto. He aquí dos ejemplos de índices y objetivos de confiabilidad:

- *Para un sistema telefónico.* El máximo tiempo de indisponibilidad de cada centro de conmutación debe ser de 24 horas cada 40 años.
- *Para un fabricante de motores.* El 60 por ciento de los motores producidos deben pasar por el periodo de garantía sin generar una queja. El número de fallas por motor defectuoso no debe exceder a una.

Observe que ambos ejemplos cuantifican la confiabilidad.

Fijar los objetivos globales de confiabilidad requiere una reunión de los juicios sobre: (1) la confiabilidad como un número, (2) las condiciones ambientales a las cuales aplican los números y (3) una definición de desempeño exitoso del producto. Esta tarea no se logra fácilmente. Sin embargo, el acto de requerir diseñadores para definir con precisión tanto las condiciones ambientales como el desempeño exitoso del producto obliga a aquéllos a entender a fondo el diseño.

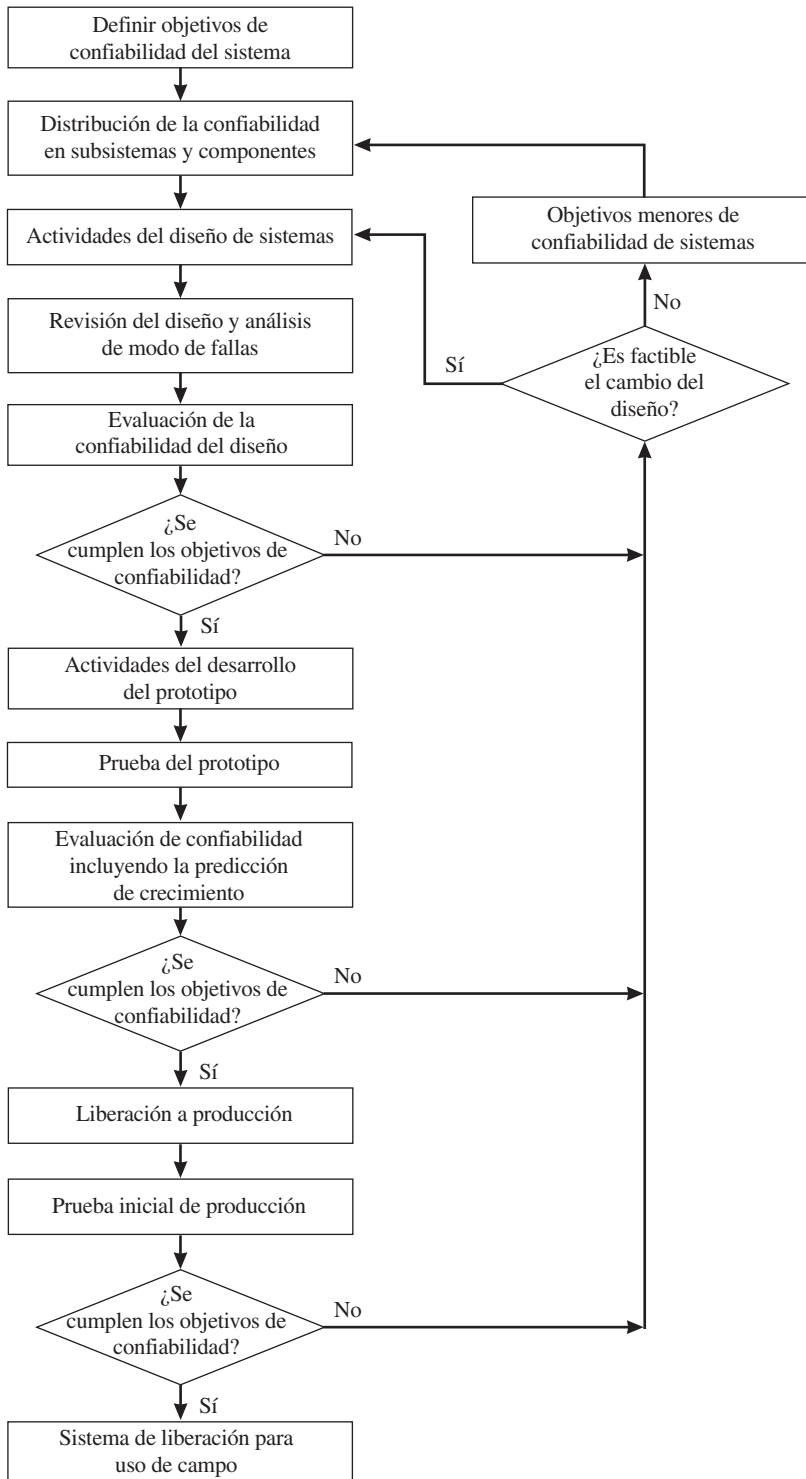


FIGURA 11.4
 Algunas actividades clave de confiabilidad. (De Ireson et al., p. 24.18.)

TABLA 11.5
Factores de control de la confiabilidad

Factor de control	Significado
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Tiempo medio entre las fallas sucesivas de un producto reparable
Tasa de fallas	Número de fallas por unidad de tiempo
Tiempo medio para fallas (MTTF)	Tiempo medio para fallas de un producto no reparable o para la primera falla de un producto reparable
Vida media	Valor medio de vida (“vida” puede relacionarse con los gastos generales principales, tiempo de desgaste, etcétera)
Tiempo medio para el primer fracaso (MTFF)	Tiempo medio para primera falla de un producto reparable
Tiempo medio entre mantenimientos (MTBM)	Tiempo medio entre un tipo especificado de acción de mantenimiento
Longevidad	Tiempo de desgaste para un producto
Disponibilidad	Tiempo de operación expresado como un porcentaje de tiempo de operación y reparación
Efectividad del sistema	Grado al cual un producto logra los requerimientos del usuario
Probabilidad de éxito	Lo mismo que confiabilidad (pero a menudo se usa para productos “de una vez” o no orientados a perdurar en el tiempo)
Vida b_{10}	Vida durante la cual el 10% de la población habría fallado
Vida b_{50}	Vida media, o vida durante la cual el 50% de la población habría fallado
Reparaciones/100	Número de reparaciones por 100 horas de operación

Distribución, predicción y análisis de la confiabilidad

Este proceso de cuantificación de confiabilidad implica tres fases:

1. *Distribución (o presupuestación)*. El proceso de asignar (alinear) los objetivos de confiabilidad entre varios elementos que conforman colectivamente un producto de mayor nivel.
2. *Predicción*. El uso de datos anteriores de desempeño más la teoría de la probabilidad para calcular las tasas esperadas de fallas para varios circuitos, configuraciones, etcétera.
3. *Análisis*. La identificación de las partes fuertes y débiles del diseño para servir como base a las mejoras, intercambios y acciones similares.

Estas fases se ilustran en la tabla 11.6, uno de los primeros ejemplos publicados.

En la sección superior de la tabla, un requerimiento global de confiabilidad del 95 por ciento para 1.45 horas es distribuido a los seis subsistemas de un misil. La segunda sección de la tabla distribuye el presupuesto del subsistema explosivo a las tres unidades dentro de él. La asignación para el sistema de circuitos eléctricos de fusibles es 0.998 o, en términos de MTBF, 725 horas. En la sección final de la tabla se analiza el diseño propuesto para el sistema de circuitos y se hace una predicción de confiabilidad, usando el método de añadir las tasas de fallas. A medida que la predicción indica un MTBF de 1 398 horas cuando se compara con un presupuesto de 725 horas, el diseño propuesto es aceptable. La técnica de predicción ofrece una evaluación cuantitativa de un diseño o de un cambio de éste y también puede identificar las áreas de diseño que tienen el mayor potencial para la mejora de la confiabilidad. Por consiguiente, los pocos vitales se harán evidentes al observar los componentes

TABLA 11.6
Establecimiento de objetivos de confiabilidad*

Falla del sistema					
Subsistema	Tipo de operación	Confiabilidad	Falta de confiabilidad	Índice de fallas por hora	Objetivo de confiabilidad*
Marco de ventilación	Continua	0.997	0.003	0.0021	483
Motor del cohete	De una vez	0.995	0.005		1/200 operaciones
Transmisor	Continua	0.982	0.018	0.0126	80.5 h
Receptor	Continua	0.988	0.012	0.0084	121 h
Sistema de control	Continua	0.993	0.007	0.0049	207 h
Sistema de explosivos	De una vez	0.995	0.005		1/200 operaciones
Sistema		0.95	0.05		
Falla del subsistema de explosivos					
Unidad	Modo de operación	Confiabilidad	Falta de confiabilidad	Objetivo de confiabilidad	
Sistema de circuitos electrónicos de fusibles	Continuo	0.998	0.002	0.002	725 h
Mecanismo de seguridad y armamento	De una vez	0.999	0.001	0.001	1/1 000 operaciones
Cabeza nuclear	De una vez	0.998	0.002	0.002	2/1 000 operaciones
Subsistema de explosivos		0.995	0.005	0.005	
Falla de la unidad					
Clasificación de las partes de los componentes del sistema de circuitos electrónicos de fusibles	Número usado, n	Índice de fallas por partes, λ (%/1 000 h)	Índice total de fallas de partes, $n \lambda$ (%/1 000 h)		
Transistores	93	0.30	27.90		
Diodos	87	0.15	13.05		
Resistencias de las películas	112	0.04	4.48		
Resistencias de los bobinados	29	0.20	5.80		
Condensadores de papel	63	0.04	2.52		
Condensadores de bases metálicas químicas	17	0.05	8.50		
Transformadores	13	0.20	2.60		
Inductores	11	0.14	1.54		
Ensamblajes de soldadura y cables	512	0.01	5.12		
			71.51		
$MTBF = \frac{1}{\text{Índice de fallas}} = \frac{1}{\sum n\lambda} = \frac{1}{0.0007151} = 1398 \text{ h}$					

Fuente: Adaptado por F.M. Gryna, Jr., de Beaton (1959, p. 65).

* Para un tiempo de misión de 1:45 horas.

con los mayores índices de fallas. En este ejemplo, los transistores, diodos y condensadores de bases metálicas químicas representan el 70 por ciento de las faltas de confiabilidad.

El enfoque de añadir índices de fallas para predecir la confiabilidad del sistema es análogo al control del peso en las estructuras aéreas, donde se mantiene un archivo corriente del peso según se van añadiendo diversas partes al diseño.

La predicción de la confiabilidad es un proceso continuo que empieza con las *predicciones* de papel basadas en el análisis de diseño, más la información histórica de los índices de fallas (véase

la sección 11.5). La evaluación termina con la *medición* de la confiabilidad basada en los datos que provienen del uso que los clientes hacen del producto. La tabla 11.7 enumera algunas características de las diversas fases.

Aunque el resultado visible del procedimiento de predicción es cuantificar las cifras de confiabilidad, el *proceso* de predicción es, por lo general, tan importante como las cifras resultantes, porque la predicción no puede hacerse sin obtener bastante información detallada sobre las misiones del producto, sus ambientes, historias de los componentes críticos, etc. Adquirir esta información a menudo da al diseñador un conocimiento que no estaba disponible previamente. Incluso cuando el diseñador no pueda asegurar la información necesaria, esta incapacidad identificará las áreas de ignorancia en las cuales él está obligado a trabajar.

El uso de software de cómputo mejora la efectividad de las predicciones y de los análisis de confiabilidad. Dicho software maneja los cálculos detallados y también hace factible identificar y evaluar muchas alternativas antes de finalizar un diseño. El “Directorio de Software” que publica periódicamente *Quality Progress* incluye una descripción del software para confiabilidad.

Control y selección de partes

La tabla 11.6 muestra cómo la confiabilidad del sistema descansa a su vez en la de las partes componentes.

El papel vital desempeñado por la confiabilidad de las partes ha dado como resultado programas para la selección, evaluación y control minucioso de las partes. Estos programas incluyen estudios de aplicación de partes, listas de partes aprobadas, identificación de componentes críticos y uso de alteraciones.

Lista de componentes críticos

Un parte componente es considerada “crítica” si se encuentra en cualquiera de las siguientes condiciones:

- Tiene una alta población en el equipo.
- Tiene una única fuente de suministro.
- Debe funcionar para límites especiales y ajustados.
- No ha sido probada para la confiabilidad estándar, es decir, no hay disponible ningún dato de pruebas, o los datos de uso son insuficientes.

La lista de componentes críticos debe prepararse al principio del esfuerzo de diseño. Es una práctica común formalizar estas listas mostrando, para cada componente crítico, la naturaleza de las características críticas; el plan para cuantificar la confiabilidad y mejorar la confiabilidad, etc. La lista se convierte en el documento básico de planeación para: (1) probar programas para las partes que califican; (2) orientar el diseño en estudios y técnicas de aplicación, y (3) guiar el diseño para la aplicación de partes redundantes, circuitos o subsistemas.

Práctica de alteraciones

La *alteración* es la asignación de un producto para operar a niveles de tensión por debajo de su clasificación normal; por ejemplo, una capacidad clasificada en 300 V se usa en una aplicación de 220 V. Hay disponibles datos para muchos componentes que muestran el índice de fallas como una

TABLA 11.7
Etapas de predicción y medición de la confiabilidad

	1. Comienzo del diseño	2. Durante el diseño detallado	3. En el diseño final	4. De las pruebas de los sistemas	5. Del uso de los clientes
Bases	Predicción basada en informes aproximados de partes e índices de fallas de partes del uso anterior del producto; poco conocimiento de los niveles de tensión, redundancia, etcétera	Predicción basada en las cantidades y tipos de partes, redundancias, niveles de tensión, etcétera	Predicción basada en tipos y cantidades de índices de fallas de partes para niveles esperados de tensión, redundancias, ambientes externos, prácticas especiales de mantenimiento, efectos especiales de la complejidad del sistema, efectos cíclicos, etcétera	Medición basada en los resultados de las pruebas de los sistemas completos: los índices de confiabilidad apropiada se calculan a partir del número de fallas y del tiempo de operación	Igual que en el paso 4, excepto que los cálculos se basen en los datos del uso que hacen los clientes
Usos primarios	Evaluar la factibilidad de cumplir un requerimiento numérico propuesto Ayudar a establecer un objetivo de confiabilidad para el diseño	Evaluar la confiabilidad global Definir las áreas problemáticas	Evaluar la confiabilidad global Definir las áreas problemáticas	Evaluar la confiabilidad global Definir las áreas problemáticas	Medir la confiabilidad lograda Definir las áreas problemáticas Obtener datos para diseños futuros

Nota: Las pruebas de los sistemas de los pasos 4 o 5 pueden revelar problemas que provoquen una revisión del diseño "final". Dichos cambios pueden evaluarse al repetir los pasos 3, 4 y 5.

función de los niveles de tensión. El diseñador conservador empleará esos datos para alcanzar la confiabilidad utilizando las piezas en proporciones de baja potencia y bajas temperaturas de ambiente.

Algunas empresas han establecido políticas internas con respecto a las alteraciones. Alterar es también una forma de cuantificar el factor de seguridad y, por lo tanto, se presta para fijar las pautas en cuanto a los márgenes del diseño que se utilizarán. La alteración puede considerarse un método para determinar más científicamente el factor de seguridad que los ingenieros habían proporcionado empíricamente durante mucho tiempo. Por ejemplo, si la carga calculada de una estructura es de 20 toneladas, los ingenieros podrían diseñar la estructura para soportar 100 toneladas como una protección contra las cargas inesperadas, uso incorrecto, defectos ocultos, deterioro, etcétera.

Modo de fallas, efecto y análisis crítico

Dos técnicas proporcionan una forma metódica de examinar un diseño para las posibles maneras en las que pueden ocurrir las fallas. En el *modo de fallas, efecto y análisis crítico* (FMECA, por sus siglas en inglés), un producto se examina en el sistema o en los niveles inferiores para todas las formas en las que pueda ocurrir una falla. Para cada falla potencial se hace una estimación de su efecto en el sistema total y de su gravedad. Además, se hace una revisión de la acción que se toma (o que se planea tomar) para minimizar la probabilidad de fallas o el efecto de la misma. La figura 11.5 muestra una parte de un FMECA para un aspersor de césped móvil. Cada elemento del hardware se enumera en una línea separada. Observe que el “modo” de falla es el síntoma de la falla, a diferencia de la causa de la falla, que consiste en las razones demostradas de la existencia de los síntomas. El análisis se puede elaborar para incluir temas como:

- *Seguridad.* El accidente es el más serio de todos los efectos de la falla. En consecuencia, la seguridad se maneja a través de programas especiales.
- *Efecto en el tiempo de indisponibilidad.* ¿Debe detenerse el sistema hasta que se hagan las reparaciones, o se pueden hacer durante el tiempo en que está fuera de servicio?
- *Acceso.* ¿Qué artículos del hardware deben quitarse para llegar al componente estropeado?
- *Planeación de la reparación.* ¿Cuál es el tiempo previsto de reparación? ¿Qué herramientas especiales se necesitan?
- *Recomendaciones.* ¿Qué cambios deben hacerse en los diseños o en las especificaciones? ¿Qué pruebas se deben agregar? ¿Qué instrucciones se deben incluir en los manuales de inspección, operación o mantenimiento?

En la figura 11.5 se ha aplicado un procedimiento de clasificación con el fin de asignar las prioridades a los modos de fallas para un estudio más detallado. La clasificación es doble: (1) la probabilidad de acontecimiento del modo de fallas y (2) la gravedad del efecto. Para cada uno de éstos, se utilizará una escala del 1 al 5. Si se desea, se puede calcular un número de prioridad de riesgo como el producto de las clasificaciones. Entonces, se asigna la prioridad para investigar los modos de fallas con los números de prioridad de alto riesgo.

En este ejemplo, el análisis reveló que casi el 30 por ciento de las fallas esperadas estaban en el área de los contenedores de tornillos sinfín y de los cojinetes, y que se podría justificar fácilmente un rediseño.

Para la mayoría de los productos, no es económico llevar a cabo el análisis de modo de fallas y del efecto de fallas para cada componente. En cambio, el criterio de ingeniería se utiliza para seleccionar los asuntos que son esenciales para la operación del producto. A medida que el FMECA

1 = Muy bajo (< 1 en 1 000)
 2 = Bajo (3 en 1 000)
 3 = Medio (5 en 1 000)
 4 = Alto (7 en 1 000)
 5 = Muy alto (>9 en 1 000)

T = Tipo de falla
 P = Probabilidad del acontecimiento
 G = Gravedad de la falla para el sistema
 H = Falla hidráulica
 M = Falla mecánica
 W = Falla de desgaste
 C = Abuso del cliente

Producto HRC-1
 Fecha 14 de enero de 2000
 Por S.M.

Número de parte componente	Posible falla	Causa de la falla	T	P	G	Efecto del error en el producto	Alternativas
Cojinete de arandela 4224	Arandela del cojinete	No alineado con la cubierta inferior	M	1	4	La cabeza del aerosol tiembla o disminuye la velocidad	Mejorar la inspección
Zytel 101		Movimiento excesivo de la cabeza del aspersor	M	1	3	La cabeza del aerosol tiembla o disminuye la velocidad	Cambiar el material del contenedor
Contenedor de cojinetes 4225	Desgaste excesivo	Mala combinación cojinete/material	M	5	4	La cabeza del aerosol tiembla y pierde potencia	Mejorar el área de sello de la arandela
Latón		Agua sucia en la sección del cojinete	M	5	4	La cabeza del aerosol tiembla y pierde potencia	Mejorar el cojinete
		Movimiento excesivo en la cabeza del aspersor	M	2	3	La cabeza del aerosol tiembla y pierde potencia	Mejorar las instrucciones de funcionamiento
Arandela de empuje 4226	Desgaste excesivo	Alta presión del agua	M	2	5	La cabeza del aerosol se atascará hacia fuera	Informar al cliente de las instrucciones
Fulton 404		Agua sucia en las arandelas	M	5	5	La cabeza del aerosol se atascará hacia fuera	Mejorar el diseño de la arandela selladora
Arandela 4527	Desgaste excesivo en el área del cojinete	Mala combinación cojinete/material	M	5	4	La cabeza del aerosol tiembla y pierde potencia	Cambiar el material del contenedor del cojinete
Latón		Agua sucia en la sección de cojinetes	M	5	4	La cabeza del aerosol tiembla y pierde potencia	Mejorar el diseño de la arandela selladora
		Movimiento excesivo en la cabeza del aspersor	M	2	3	La cabeza del aerosol tiembla y pierde potencia	Mejorar las instrucciones de funcionamiento

FIGURA 11.5
 Modo de fallas, efecto y análisis crítico

procede para estos artículos seleccionados, el diseñador descubrirá que se carece de respuestas preparadas para algunos de los modos de fallas y que es necesario un mayor análisis.

Generalmente, la FMECA en un artículo es útil para los diseñadores de otros artículos en el sistema. Además, los análisis son de provecho en la planeación de la inspección, ensamble, capacidad del mantenimiento y seguridad.

Aunque el FMECA se desarrolló originalmente para analizar el diseño de productos físicos, el concepto también aplica al sector de servicios. La figura 11.6 muestra una aplicación en un banco

Producto: Nueva cuenta de cheques

Componentes: Impresión de nuevos cheques

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Modo de falla	Causa de la falla	Efecto de la falla	Frecuencia del acontecimiento (1-10)	Grado de severidad (1-10)	Oportunidad de la detección (1-10)	Prioridad de riesgos (1-1 000) $[4] \times [5] \times [6]$	Acción de diseño	Validación del diseño
Los cheques no se imprimen bien	Información incorrecta en el formato de solicitud	Los cheques tienen que emitirse de nuevo	4	6	8	192	El empleado revisa la información con el cliente	
	Error al introducir los datos	Los cheques tienen que emitirse de nuevo	8	6	5	240	Revisión del paso en el software	
	Información introducida en el campo equivocado del formato de aplicación	Los cheques tienen que emitirse de nuevo	5	6	2	60	—	
Número de cuenta incorrecto								

FIGURA 11.6
Modo de fallas y análisis de los efectos: cuenta de cheques. (Del Juran Institute, Inc.)

en el cual el “producto” es una nueva cuenta de cheques y el “componente” es la impresión de los nuevos cheques.

El análisis del árbol de fallas (FTA, por sus siglas en inglés) es otro método para estudiar las fallas potenciales de un producto. Considerando que el FMECA normalmente estudia todos los modos potenciales de fallas, los estudios del FTA se aplican normalmente a las fallas consideradas lo suficientemente graves como para garantizar el análisis detallado. Para un ejemplo, véase la sección “Análisis del árbol de fallas”.

El FMECA no debe ser desarrollado por un solo diseñador, sino por un equipo de éstos, por personal de operaciones, de calidad y demás que examinen el diseño propuesto desde las distintas perspectivas necesarias para la satisfacción de los clientes externos e internos. Perkins (1996) analiza este enfoque de equipo en una comunidad de diseño de recursos limitados. Hatty y Owens (1994) explican cómo la capacitación y un equipo multidisciplinario son los requisitos previos importantes para un análisis efectivo. El FMECA también se puede aplicar para analizar los procesos propuestos (en lugar de los productos). Véase la sección 13.6.

Hoyland y Rausand (1994) enumeran varios programas de software diseñados para facilitar el FMECA. Ireson *et al.* (1996), capítulo 6, proporcionan detalles excelentes sobre el FMECA y las técnicas asociadas.

Evaluación de diseños mediante pruebas

Aunque la predicción de la confiabilidad, la revisión del diseño, el FMECA y otras técnicas son valiosos como dispositivos de advertencia temprana, no pueden ser un sustituto para la última prueba, es decir, el uso del producto por parte del cliente. Sin embargo, la experiencia de campo llega demasiado tarde y debe ser precedida por algo que la supla: varias formas de probar los productos para simular el uso de campo.

Mucho antes de que se desarrollara la tecnología de la confiabilidad, se hacían varios tipos de pruebas (desempeño, medioambiental, tensión, vida) para evaluar un diseño. La llegada de la confiabilidad, de la capacidad de mantenimiento y de otros parámetros dio como resultado tipos adicionales de pruebas.

En la tabla 11.8 se da un resumen de los tipos de pruebas para evaluar un diseño. Los programas de pruebas a menudo utilizan un tipo de éstas para más de un propósito, por ejemplo, evaluar el desempeño y las capacidades ambientales.

Todas las pruebas proporcionan algún grado de aseguramiento del diseño. También implican el riesgo de ir por mal camino. Las fuentes principales de riesgo son:

Uso pretendido frente a uso real. Por lo general, el diseñador apunta a lograr la aptitud para el uso pretendido. Sin embargo, el uso real puede diferir del concepto del diseñador debido a las variaciones en el ambiente y a otras condiciones de uso. Además, algunos usuarios usarán o emplearán mal el producto.

Construcción del modelo frente a producción subsiguiente. Generalmente, los especialistas experimentados construyen los modelos bajo la supervisión de los diseñadores. La producción subsiguiente se realiza por los trabajadores de la fábrica menos experimentados, bajo supervisores que deben cumplir los estándares de productividad, así como de calidad. Además, los procesos de las fábricas rara vez poseen la flexibilidad de adaptación de la que dispone la tienda modelo.

Variabilidad debida a números pequeños. Normalmente el número de modelos construidos es pequeño. (A menudo solamente hay uno.) Sin embargo, las pruebas en estos números

TABLA 11.8
Resumen de las pruebas utilizadas para evaluar un diseño

Tipo de prueba	Propósito
Desempeño	Determina la capacidad del producto para cumplir los requerimientos básicos de desempeño
Medioambiental	Evalúa la capacidad del producto para resistir niveles ambientales definidos; determina los ambientes de intervalos generados por la operación del producto; verifica los niveles ambientales especificados
Tensión	Determina los niveles de tensión que un producto puede resistir para fijar el margen de seguridad inherente al diseño; establece los modos de fallas que no están asociados al tiempo
Confiabilidad	Determina la confiabilidad del producto y compara los requerimientos; monitorea las tendencias
Capacidad de mantenimiento	Determina el tiempo requerido para hacer las reparaciones y comparar con los requerimientos
Vida	Determina el tiempo de desgaste para un producto y los modos de fallas asociados con el tiempo
Corrida piloto	Determina si los procesos de aplicación y ensamble son capaces de cumplir con los requerimientos del diseño; establece si se degradará la confiabilidad
Cliente (“beta”)	Determina si el producto funciona adecuadamente bajo las condiciones de uso de los clientes

pequeños se utilizan para juzgar la adecuación del diseño y hacer muchas unidades de producción, ejecutando algunas veces miles e incluso millones.

Evaluación de los resultados de las pruebas. Las presiones para liberar un diseño para producción pueden dar como resultado planes y evaluaciones de prueba que no califiquen objetivamente la conformidad con los requerimientos de desempeño ni, mucho menos, la aptitud completa de uso. Una organización estudió el proceso de cualificar un nuevo diseño mediante un equipo independiente de revisión que analizó una muestra de los resultados de la “prueba de calificación” en diseños que habían sido aprobados para su liberación. Dos conclusiones fueron que:

- Las presiones para liberar los diseños causaron aprobaciones que más tarde dieron como resultado problemas de campo. La situación fue rastreada hasta: (1) prueba inadecuada inicial o (2) falta de verificación de los cambios hechos al diseño para corregir las fallas que surgieron en la prueba inicial.
- Más del 50 por ciento de los resultados aprobados de la prueba fueron rechazados porque el procedimiento de ésta no pudo evaluar los requerimientos establecidos por el equipo de desarrollo de productos.

Como problema de tarea se pide a los lectores que recomienden una acción a seguir para evitar estos riesgos.

Métodos para mejorar la confiabilidad durante el diseño

El enfoque general para la mejora de la calidad (véase el capítulo 3) es ampliamente aplicable a la mejora de la confiabilidad en lo que al análisis económico y las herramientas gerenciales se refiere. Las diferencias radican en las herramientas tecnológicas usadas para el diagnóstico y el

remedio. Los proyectos pueden identificarse mediante la predicción de la confiabilidad, la revisión del diseño, FMECA u otras técnicas de evaluación de la confiabilidad. Es mejor que el diseñador tome las acciones para mejorar la confiabilidad durante la fase de diseño. Él entiende mejor los principios de ingeniería involucrados en el diseño. El ingeniero de confiabilidad puede ayudar al definir las áreas que necesitan la mejora y auxiliar en el desarrollo de alternativas. Las siguientes acciones indican algunos enfoques para mejorar un diseño:

1. *Revisar las necesidades de los usuarios* para ver si la *función* de las piezas poco fiables es realmente necesaria para ellos. Si no es así, se deben eliminar esas piezas del diseño. O bien, determinar si el índice de confiabilidad (factor de control) refleja correctamente las verdaderas necesidades del usuario. Por ejemplo, la disponibilidad (analizada en detalle en la sección siguiente) es a veces más significativa que la confiabilidad. Si es así, un buen programa de mantenimiento puede mejorar la disponibilidad y, por lo tanto, aliviar el problema de la confiabilidad.
2. *Considerar el intercambio* de la confiabilidad por otros parámetros, por ejemplo, el desempeño funcional, el peso. Una vez más, se puede encontrar que las necesidades verdaderas de los clientes se pueden atender mejor con dicho intercambio.
3. *Utilizar la redundancia* para proporcionar más de un medio de lograr una tarea determinada, de tal forma que deban fallar todos los medios antes de que el sistema falle. Esta técnica se analiza en la sección 19.4, “Relación entre parte y confiabilidad del sistema”.
4. *Revisar la selección de cualquiera de las partes* que sea relativamente nueva y no se haya probado. Utilizar partes estándar cuya confiabilidad haya sido probada por el uso real de campo. (Sin embargo, hay que asegurarse de que las condiciones del uso anterior sean aplicables al producto nuevo.)
5. *Utilizar la alteración* para asegurarse de que las tensiones aplicadas a las piezas sean inferiores a las que éstas puedan soportar normalmente.
6. *Utilizar los métodos de diseño “robustos”* que permitan que un producto maneje ambientes inesperados.
7. *Controlar el ambiente de funcionamiento* para proporcionar las condiciones que produzcan índices de fallas más bajos. Los ejemplos comunes son: resguardar los componentes electrónicos para protegerlos del clima y de golpes, y el uso de sistemas de enfriamiento para mantener bajas las temperaturas ambientales.
8. *Especificar los programas de reemplazo* para retirar y sustituir las partes de baja confiabilidad antes de que alcancen la etapa de desgaste. En muchos casos, el reemplazo está sujeto a comprobaciones o pruebas que determinan si la disminución ha alcanzado el límite prescrito.
9. *Prescribir la proyección de pruebas* para detectar fallas “de mortalidad infantil” y para eliminar los componentes de estándares inferiores. Las pruebas toman varias formas, por ejemplo, exámenes de referencia, “burn-in” y pruebas aceleradas de vida.
10. *Llevar a cabo investigación y desarrollo* para mejorar la confiabilidad básica de los componentes que contribuyen a la mayor parte de la falta de confiabilidad. Aunque dichas mejoras evitan la necesidad de intercambios subsiguientes, pueden requerir anticiparse a la tecnología de vanguardia y, por consiguiente, hacer una inversión de tamaño imprevisible.

Aunque ninguna de las acciones precedentes proporciona una solución perfecta, el rango de opciones es amplio. En algunos casos, el diseñador puede llegar independientemente a una solución. Lo más común es que sea necesaria la colaboración con otros especialistas de la empresa. Aun en otros casos, el cliente o la administración de la empresa tendrán que adaptarse debido a las consideraciones más amplias involucradas.

11.6 DISPONIBILIDAD

Un parámetro importante de aptitud para el uso es la disponibilidad. La *disponibilidad* es la capacidad de un producto, cuando se usa bajo condiciones determinadas, para desempeñarse satisfactoriamente cuando se apela a él. El tiempo total en el estado operativo (también llamado tiempo de operación) es la suma del tiempo consumido en el uso activo y en el estado de espera. El tiempo total en el estado no operativo (también llamado tiempo de indisponibilidad) es la suma del tiempo gastado bajo la reparación activa y la espera por las piezas de repuesto, el papeleo, etc. La cuantificación de la disponibilidad y de la falta de disponibilidad dramatiza la magnitud de los problemas y de las áreas para las mejoras potenciales. En la sección 19.9, “Disponibilidad”, se presentan fórmulas para cuantificarla.

La proporción del tiempo que un producto está disponible para el uso depende de: (1) la ausencia de fallas, es decir, de la confiabilidad, y (2) la facilidad con la cual el servicio puede restaurarse después de una falla. El último factor lleva hacia el tema de la capacidad de mantenimiento.

Diseñar para la capacidad de mantenimiento

Las herramientas para asegurar la capacidad de mantenimiento siguen el mismo modelo básico que aquéllas para asegurar la confiabilidad, es decir, hay herramientas para especificar, predecir, analizar y medir la capacidad de mantenimiento. Tales herramientas aplican al mantenimiento preventivo (para reducir el número de fallas) y al correctivo (para restituir un producto a la condición operable). A continuación se analizan algunas de esas herramientas básicas.

La capacidad de mantenimiento a menudo se especifica de manera cuantitativa, como el tiempo promedio de reparación (MTTR, por sus siglas en inglés). El MTTR es el tiempo promedio necesario para realizar el trabajo de reparación suponiendo que hay disponibles piezas de recambio y un técnico; por ejemplo, un conjunto de pruebas puede tener un MTTR especificado de 2.5. Al igual que con la confiabilidad, no hay ningún índice de la capacidad de mantenimiento que aplique a la mayoría de los productos. Otros ejemplos de índices son el porcentaje del tiempo de indisponibilidad debido a las fallas del hardware, el que se debe a los errores del software y el tiempo promedio entre los mantenimientos preventivos.

Siguiendo el enfoque utilizado en la confiabilidad, un objetivo de la capacidad de mantenimiento para un producto puede distribuirse en los diversos componentes de éste. La capacidad de mantenimiento se puede predecir basándose en un análisis del diseño. Para más detalle, véase Ireson *et al.* (1996), capítulo 19.

Los enfoques para mejorar la capacidad de mantenimiento de un diseño son generales y específicos. Los enfoques generales incluyen:

- *Confiabilidad frente a capacidad de mantenimiento.* Por ejemplo, dado un requisito de disponibilidad, ¿debería ser la respuesta una mejora en la confiabilidad o en la capacidad de mantenimiento?
- *Construcción modular frente a no modular.* El diseño modular requiere agregar el esfuerzo del diseño, pero reduce el tiempo requerido para el diagnóstico y el remedio en el campo. Solamente necesita localizarse la falla en el nivel del módulo, después de lo cual el módulo defectuoso simplemente se desconecta y reemplaza. Este concepto también se aplica a los productos de consumo como los aparatos de televisión.

- *Reparaciones frente a desechables.* Para algunos productos o módulos, el costo de la reparación de campo supera el de producir nuevas unidades en la fábrica. En casos así, el diseño desechable es una mejora económica en la capacidad de mantenimiento.
- *Equipo de prueba incluido vs. externo.* Las características de la prueba incluida reducen el tiempo de diagnóstico, pero generalmente a cambio de una inversión extra.
- *Persona vs. máquina.* Por ejemplo, ¿debe ser la función de operación/mantenimiento del todo dirigida con instrumentación especial e instalaciones para reparaciones, o debe dejarse a técnicos expertos con un equipo de uso general?

Los enfoques específicos se basan en listas de control detalladas usadas como guías para el buen diseño de la capacidad de mantenimiento.

La capacidad de mantenimiento también puede demostrarse al probarla. La demostración consiste en medir el tiempo necesario para localizar y reparar funcionamientos defectuosos o para realizar tareas de mantenimiento seleccionadas.

11.7 DISEÑAR PARA LA SEGURIDAD

Las herramientas del análisis de seguridad incluyen la cuantificación del riesgo; la designación de las características y los componentes orientados a la seguridad; el análisis del árbol de fallas; los conceptos a prueba de errores; las pruebas de campo e internas, y la publicación de las clasificaciones del producto.

Cuantificación de la seguridad

Generalmente, la cuantificación de la seguridad se ha relacionado con el tiempo. La proporción de accidentes industriales se cuantifican sobre la base de los accidentes de pérdida de tiempo por millón de horas de trabajo de exposición. (Observe que este valor expresa la frecuencia del acontecimiento, pero no indica la gravedad de los accidentes.) La proporción de accidentes por vehículo a motor está sobre la base de accidentes por cada 100 millones de millas. La proporción de los accidentes escolares está sobre la base de accidentes por cada 100 000 días estudiantiles.

Los diseñadores de los productos tienden a cuantificar la seguridad de dos maneras:

1. *Frecuencia del riesgo.* Un riesgo es cualquier combinación de partes, componentes o condiciones, o el conjunto cambiante de circunstancias que presentan un potencial de accidente. La frecuencia del riesgo toma la forma de la frecuencia del acontecimiento de un evento inseguro o de los accidentes por unidad de tiempo, por ejemplo, por millón de horas de exposición. La norma estadounidense MIL-STD-882D ha establecido categorías de niveles de probabilidad para riesgos que oscilan de frecuente a improbable. A dichas probabilidades se les conoce a veces como “riesgo”.
2. *Severidad del accidente.* La norma MIL-STD-882D reconoce cuatro niveles de severidad:
 - *Categoría I, catastrófica:* puede causar la muerte o la pérdida del sistema.
 - *Categoría II, crítica:* puede ocasionar accidentes severos, enfermedad laboral grave o daño importante al sistema.
 - *Categoría III, marginal:* puede causar accidentes menores, enfermedad laboral leve o daño sin importancia al sistema.

- *Categoría IV, insignificante*: no dará lugar a ningún accidente, enfermedad laboral ni cambio de sistema.

La norma MIL-STD-882C de Estados Unidos identifica 22 tareas para eliminar riesgos.

Análisis de riesgos

El análisis de riesgos es similar al FMECA, pero el acontecimiento de la falla es uno que causa un accidente. Se pueden preparar tres formas de análisis de riesgos: concepto de diseño, procedimientos de operación y fallas de hardware.

Análisis del árbol de fallas

Este enfoque a todos los niveles comienza con la suposición de que ocurre un accidente. Luego considera las posibles causas directas que pudieron llevar a éste. Después, busca los orígenes de esas causas. Finalmente, busca maneras de evitar ambos. La bifurcación de los orígenes y las causas es lo que da el nombre de análisis del “árbol de fallas” a la técnica. El enfoque es lo contrario del FMECA, que comienza con los orígenes y las causas y busca cualquier efecto negativo resultante.

Hammer (1980) presenta un análisis del árbol de fallas para un circuito de seguridad de interbloqueo (figura 11.7).

De acuerdo con la experiencia de campo con productos específicos, a menudo se desarrollan listas de control detalladas para proporcionar al diseñador la información sobre los riesgos potenciales, los accidentes que pueden resultar y los tipos específicos de acciones de diseño que pueden tomarse para minimizar el riesgo.

A medida que los productos se han vuelto más complejos, su interacción con los seres humanos que los operan tiene más importancia. A la evaluación del diseño de un producto para asegurar la compatibilidad con las capacidades de los usuarios se denomina “ergonomía” o “diseño centrado en las personas”. Para más detalle, véase Ireson *et al.* (1996).

11.8 DISEÑAR PARA LA MANUFACTURABILIDAD

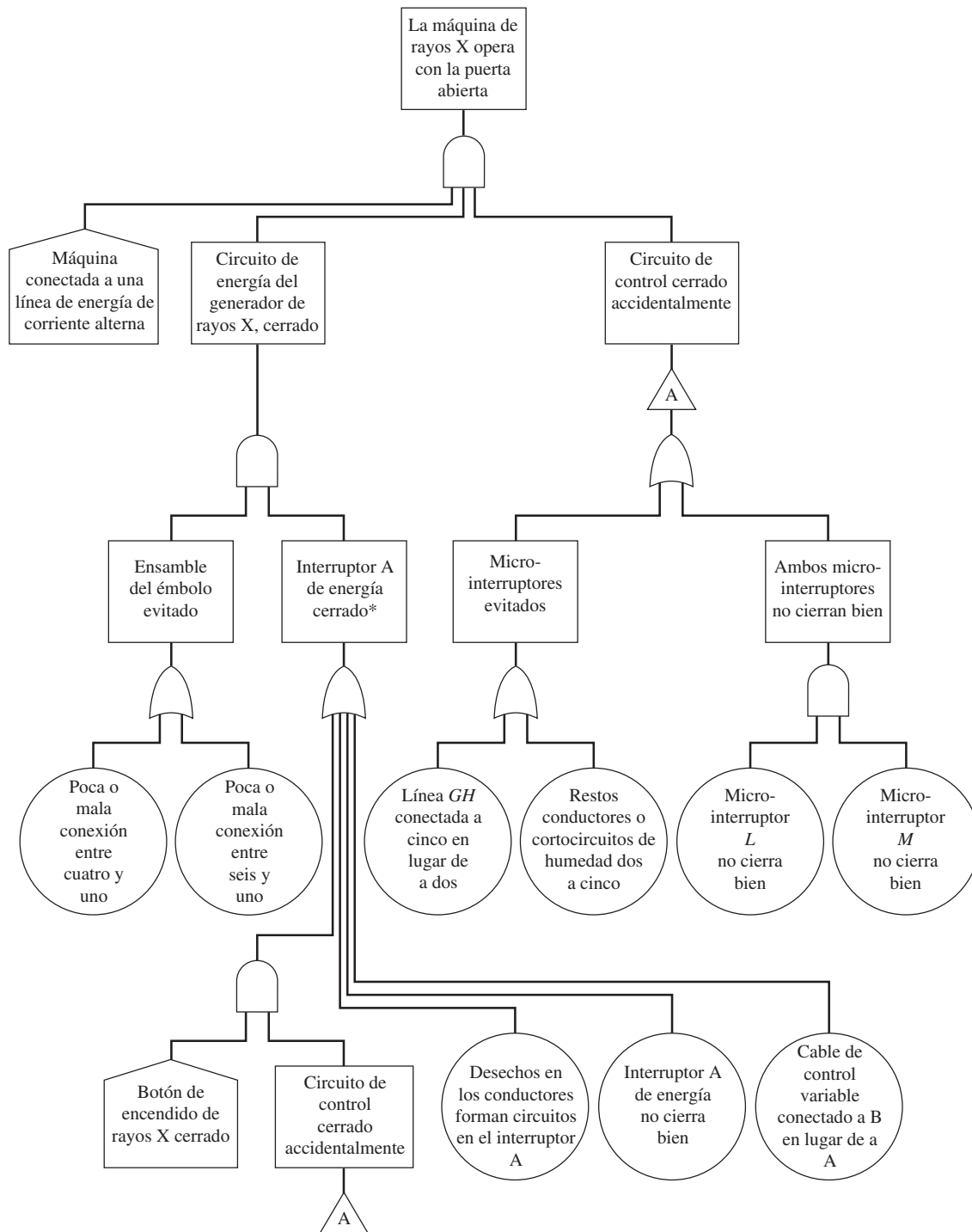
Las decisiones tomadas durante el diseño tienen la mayor influencia en los costos del producto, en la capacidad de cumplir con las especificaciones y en el tiempo requerido para llevar un nuevo producto al mercado. Además, una vez que se toman estas decisiones (en el hardware o en el software), el costo de los cambios en el diseño puede ser enorme, por ejemplo, un *cambio* de diseño durante la producción piloto de un producto electrónico grande puede costar más de un millón de dólares.

Un grupo importante de decisiones es la selección de especificaciones para las características del producto que se controlarán durante la producción. Los *límites de la especificación* concretan los límites permitidos de variabilidad por encima y por debajo del valor nominal establecido por el diseñador.

La selección de los límites tiene un efecto doble en la economía de la calidad. Los límites afectan:

- La aptitud para el uso y, por lo tanto, la venta del producto.
- Los costos de fabricación (instalaciones, herramientas, productividad) y de calidad (equipo, inspección, desechos, trabajo repetido o de reelaboración, revisión de material, etcétera).

El capítulo 19 explica algunas técnicas cuantitativas para fijar los límites de las especificaciones.



* La lámpara indicadora de fallas se iluminará siempre que se dé esta condición.

FIGURA 11.7
Análisis del árbol de fallas de un circuito de seguridad de interbloqueo. (De Hammer, 1980.)

Una técnica llamada diseño para la manufacturabilidad se enfoca en la simplificación del diseño para hacerlo más productivo. El énfasis está en la reducción del número total de partes, el número de partes diferentes y el número total de operaciones de manufactura. Este tipo de análisis no es nuevo: las herramientas de la “ingeniería de valor” han servido para la simplificación del diseño (véase la sección 11.9). Sin embargo, lo que es nuevo es el software de cómputo disponible para analizar un diseño e identificar las oportunidades para simplificar los productos de ensamblaje. Dicho software analiza minuciosamente el ensamblaje paso a paso; plantea preguntas referentes a las partes y a los subensamblajes, y proporciona un resumen del número de partes, del tiempo de ensamblaje y del número teórico mínimo de partes o de subensamblajes. El uso de tal software permite a los diseñadores conocer los principios para la facilidad de fabricar análogos a los de la confiabilidad, capacidad de mantenimiento y análisis de seguridad. En un ejemplo, el diseño propuesto de una nueva caja registradora electrónica fue analizado con el software de diseño de manufacturabilidad (DFM, por sus siglas en inglés). Como resultado, el número de partes se redujo en 65 por ciento. Una persona que no use ningún tornillo o perno puede ensamblar el registro en menos de dos minutos... con los ojos vendados. Esta terminal simplificada se puso en el mercado en 24 meses, un récord. Dicha simplificación del diseño reduce errores de ensamblaje y otras fuentes de problemas de calidad durante la fabricación.

En las organizaciones que utilizan el enfoque de six sigma, los niveles extremadamente bajos deseados de defectos (3.4 defectos por millón) tienen un impacto en el desarrollo del producto. Los diseñadores del producto deben entender y estudiar la capacidad del proceso industrial antes de lanzar el diseño. Los diseñadores de Kodak utilizan un enfoque que comienza con la identificación de las partes y las características críticas. Luego definen el proceso de medición, incluyendo el establecimiento de la capacidad de la medición. Después, estudian el proceso industrial, primero para la estabilidad y luego para la capacidad del proceso. Para más información de cómo proceder así, véase Turmel y Gartz (1997). La estabilidad y capacidad del proceso se tratan en el capítulo 20, “Control estadístico del proceso”.

11.9 COSTO Y DESEMPEÑO DEL PRODUCTO

Se debe diseñar para la confiabilidad, la capacidad de mantenimiento, la seguridad y otros parámetros con el objetivo simultáneo de minimizar el costo. Las técnicas formales para lograr un equilibrio óptimo entre el desempeño y el costo incluyen enfoques cuantitativos y cualitativos.

El enfoque cuantitativo utiliza una proporción que relaciona el desempeño y el costo. Dicha proporción dice “lo que se consigue por cada dólar que se gasta”. La proporción es particularmente útil en comparación con los enfoques de diseños alternativos para lograr una función deseada.

En la tabla 11.9 se muestra una comparación de rentabilidad (costo-efectividad) de cuatro diseños alternativos. Observe que el diseño 3 es el óptimo, aun cuando el diseño 4 tiene la mayor disponibilidad.

En la tabla 11.10 se muestra otro enfoque para comparar varios diseños diferentes sobre un número de atributos. Un diseño para un triturador de desechos alimenticios se compara con los de dos modelos de la competencia en 10 atributos que describen la aptitud para el uso. Para cada combinación de atributo y diseño, se calcula una proporción del costo de efectividad. Por ejemplo, para el diseño G y la característica de tiempo de trituración, la proporción es $6/2.14$ o 2.8. El valor de 6 es el producto de un factor de ponderación de 3 para el tiempo de trituración y un puntaje de 2 para el diseño G de tiempo de trituración. El valor de \$2.14 es el costo estimado de lograr el

TABLA 11.9
Comparación costo-efectividad de diseños alternativos

	Diseño			
	1	2	3	4
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	100	200	500	500
Tiempo medio de indisponibilidad (MDT)	18	18	15	6
Disponibilidad*	0.847	0.917	0.971	0.988
Costo de ciclo de vida (†)	51 000	49 000	50 000	52 000
Número de horas efectivas †	8 470	9 170	9 710	9 880
Hora costo/efectiva (\$)	6.02	5.34	5.15	5.26

$$*\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MDT}}$$

† Número de horas efectivas = 10 000 h de vida × disponibilidad.

TABLA 11.10
Comparación de valor de los trituradores de basura de desechos alimenticios

	Diseño de la empresa	Diseños de los competidores	
		B	G
Tiempo de trituración	9/1.73 = 5.2	9/0.87 = 10.3	6/2.14 = 2.8
Fineza de la trituración	4/9.18 = 0.4	4/7.82 = 0.5	4/11.88 = 0.3
Frecuencia de atascos	9/2.25 = 4.0	9/1.98 = 4.6	9/2.46 = 3.7
Ruido	4/0.40 = 10.0	4/0.45 = 8.9	4/0.52 = 7.7
Capacidad de autolimpieza	4/0.62 = 6.5	2/0.49 = 4.1	4/0.58 = 6.9
Seguridad eléctrica	16/0.58 = 27.6	16/0.52 = 30.8	16/0.43 = 37.2
Protección de partículas	6/0.29 = 20.7	6/0.30 = 20.0	2/0.37 = 5.4
Facilidad de servicio	6/0.70 = 8.6	4/0.52 = 7.7	6/0.98 = 6.1
Vida de los cortadores	9/0.96 = 9.4	9/0.83 = 10.8	9/1.32 = 6.8
Facilidad de instalación	9/0.54 = 16.7	9/0.33 = 27.3	9/0.70 = 11.8
Total	76/17.25 = 4.4	72/14.11 = 5.1	69/21.44 = 3.2

$$\text{Nota: Valor} = \frac{\text{Puntaje de diseño}}{\text{Costo de lograr}}$$

tiempo de trituración del diseño G usando el concepto de tal diseño en la producción. El total de las proporciones para cada empresa ofrece un tipo de índice de costo-efectividad.

Se han desarrollado algunos enfoques para lograr un equilibrio entre desempeño y costo. La ingeniería del valor es una técnica para evaluar el diseño de un producto con el fin de asegurar que las funciones esenciales sean ofrecidas a un costo global mínimo para el fabricante o el usuario. Una referencia útil es Park (1999). Una técnica complementaria es el enfoque “diseño para los costos”. Comienza con una definición de: (1) un objetivo de costos para el producto y (2) la función deseada. Luego se desarrollan y evalúan los conceptos de diseños alternativos.

Durante el ciclo de desarrollo, el producto sufre varias inspecciones. Una forma es una revisión de negocios en la cual se resumen los resultados actuales del esfuerzo de desarrollo y, si procede, se toma una decisión. Otro tipo de inspección es técnica y generalmente se llama “revisión del diseño”.

11.10 REVISIÓN DEL DISEÑO

La *revisión del diseño* es un examen formal, documentado, exhaustivo y sistemático de un diseño para evaluar sus requerimientos y capacidad para cumplir con esos requisitos, identificar los problemas y proponer soluciones.

La revisión del diseño no es nueva. Sin embargo, en el pasado, el término se refería a una evaluación informal del diseño. Los productos modernos a menudo requieren un programa más formal. Una revisión de diseño formal reconoce que muchos diseñadores individuales no tienen el conocimiento especializado en confiabilidad, capacidad de mantenimiento, seguridad, productibilidad y en otros parámetros que son importantes para lograr un diseño óptimo. La revisión del diseño pretende proporcionar dicho conocimiento.

Para los productos modernos, las revisiones del diseño se basan en los siguientes conceptos:

1. Las revisiones del diseño se hacen obligatorias debido a exigencias de los clientes o a una declaración de política de la alta dirección.
2. Las revisiones de diseño son dirigidas por un equipo compuesto principalmente de especialistas que no están directamente asociados con el desarrollo del mismo. Éstos deben tener mucha experiencia y poseer una reputación de objetividad. La combinación de aptitud, experiencia y objetividad está presente en algunas personas, pero éstas se encuentran muy solicitadas. El éxito de las revisiones del diseño depende en gran parte del grado al cual la administración apoye el programa al insistir que los mejores especialistas estén disponibles para el trabajo de la revisión. El programa se deteriora hasta llegar a una actividad superficial si: (1) se asigna a gente inexperta a las revisiones del diseño o (2) no se da suficiente tiempo a los miembros del equipo de la revisión para estudiar la información del producto antes de las reuniones de revisión del diseño.
3. Las revisiones del diseño son formales. Se planean y programan como cualquier otra actividad legitimada. Las reuniones se establecen en torno a agendas preparadas y documentación enviada de antemano. Se alistan y se hacen circular las actas de las reuniones. Asimismo se formalizan los seguimientos para la acción.
4. Las revisiones del diseño cubren todos los parámetros relacionados con la calidad y también otros, los cuales pueden incluir confiabilidad, capacidad de mantenimiento, seguridad, productibilidad, peso, empaque, apariencia, costo, etcétera.
5. Tanto como sea posible, las revisiones del diseño se basarán en criterios definidos. Dichos criterios pueden incluir los requerimientos de los clientes, los objetivos internos y la experiencia con los productos anteriores.
6. Las revisiones del diseño se llevan a cabo en varias fases en el curso de éste, tal como el concepto del diseño; diseño y prueba del prototipo, y diseño final. Las revisiones se hacen en varios niveles de la jerarquía del producto, tales como el sistema y subsistema.
7. La última decisión sobre las aportaciones a la revisión del diseño descansa en el diseñador. Él es quien debe escuchar las contribuciones, pero en cuestiones de la integridad estructural y otros aspectos creativos del diseño, él conserva el monopolio de las decisiones. El control y la publicación de las especificaciones permanecen con el diseñador.

Un obstáculo universal para la revisión del diseño es la resistencia del departamento de diseño. La práctica común ha sido que este departamento retenga un monopolio virtual de las decisiones del diseño, es decir, estas determinaciones han sido históricamente inmunes al desafío a menos

que se encuentre el problema real del producto. Con un antecedente así, no es sorprendente que los diseñadores se hayan resistido al uso de las revisiones del diseño que desafían sus trabajos. Los diseñadores han sostenido que dichos cambios se basan solamente en la teoría y el análisis (en el cual se consideran los mayores expertos) en lugar de en los argumentos tradicionales de “el hardware falló”. Esta resistencia se agrava más en empresas que permiten que los ingenieros de confiabilidad propongan diseños competentes. Los diseñadores han sido aún más reacios a la idea de tener competidores que a la revisión de diseño. Un concepto emocionante que puede superar algunos de estos obstáculos culturales es la ingeniería concurrente.

11.11 INGENIERÍA CONCURRENTE

La *ingeniería concurrente*, también llamada ingeniería simultánea, es el proceso de diseñar un producto utilizando todas las entradas y evaluaciones *al principio* y *simultáneamente* durante el diseño para asegurar que se cumplan las necesidades de los clientes internos y externos. La finalidad es reducir el tiempo desde el concepto del producto hasta su llegada al mercado; prevenir los problemas de calidad y confiabilidad, y reducir los costos. Un ejemplo es el enfoque utilizado en el automóvil Taurus (véase la sección 4.11).

Tradicionalmente, las actividades durante el desarrollo del producto se manejan secuencialmente, no de manera concurrente. Así, un departamento de mercadotecnia o de investigación identifica la idea de un producto; después, ingeniería del diseño crea y construye unas cuantas unidades del prototipo; entonces el departamento de compras pide cotizaciones a los proveedores, después de lo cual, el de manufactura produce las unidades, etc. En cada paso, el resultado de un departamento “pasa” al próximo, es decir, hay poca aportación durante el diseño de las funciones que son afectadas por él (figura 11.8).

En la tabla 11.11 se muestra otro contraste de la ingeniería tradicional y concurrente. La ingeniería concurrente no es un conjunto de técnicas; es un concepto que permite que todos los que se ven afectados por un diseño: (1) tengan un *acceso desde el principio* a la información del diseño y (2) posean la capacidad de influir en el diseño final para identificar y prevenir futuros problemas. Todos los parámetros del diseño analizados en este capítulo (requerimientos funcionales básicos,

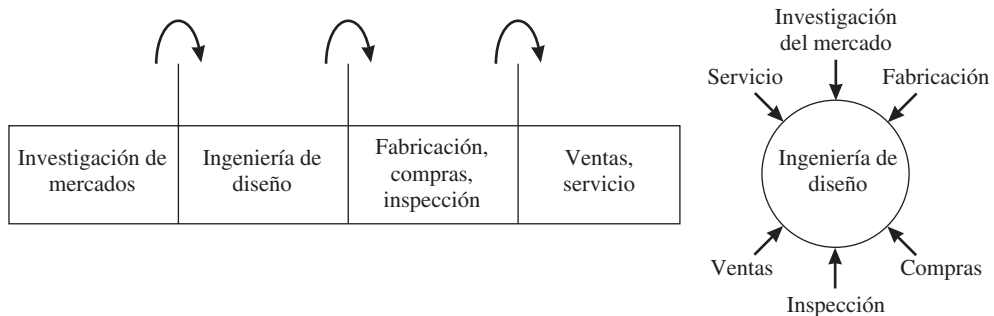


FIGURA 11.8
Muros de los departamentos funcionales vs. trabajo en equipo

TABLA 11.11
Ingeniería de diseño: contraste entre la tradicional y la concurrente

	Tradicional	Concurrente
Organización	La ingeniería está separada de la manufactura y de otras funciones: el énfasis se pone en los objetivos funcionales	Equipo multifuncional con énfasis en el objetivo del equipo
Registro del tiempo de entradas de otras funciones y proveedores	Ingeniería finaliza la mayor parte posterior al diseño	Simultáneo a la creación de características del desempeño del diseño
Frecuencia y tiempos de los cambios de diseño	Gran número de cambios, muchos de los cuales ocurren después de las pruebas o durante la producción	Menor número de cambios, la mayoría de los cuales ocurre al principio, antes de que se termine el diseño
Sistemas de información	Transferencia de conocimiento entre las funciones; los cambios de diseño están sujetos a retrasos de los sistemas de papeleo	Los sistemas de cómputo interactúan de tal forma que todas las funciones tienen acceso inmediato a los cambios del diseño y a otra información
Ubicación física de las funciones	Generalmente en ubicaciones separadas	A menudo localizado en una zona

confiabilidad, capacidad de mantenimiento, seguridad, factores humanos, manufacturabilidad, inspección, empaque, transporte y almacenamiento) pueden analizarse durante la ingeniería concurrente.

Se reportan beneficios espectaculares de la ingeniería concurrente, por ejemplo, 75 por ciento menos cambios de ingeniería, 55 por ciento menos tiempo desde el concepto del producto al mercado. Fleischer y Liker (1997) ofrecen estudios de casos en siete organizaciones manufactureras.

11.12 DESARROLLO DEL SOFTWARE

El ciclo de vida del desarrollo del software se puede dividir en seis fases:

1. Análisis de requerimientos.
2. Diseño preliminar.
3. Diseño detallado.
4. Codificación (programación).
5. Prueba e instalación.
6. Mantenimiento.

Para la elaboración de estos pasos, véase *JQH5*, sección 20.

La experiencia con el desarrollo de software ofrece algunas estadísticas sorprendentes (tabla 11.12). Observe que el 67 por ciento del esfuerzo total se gasta en mantenimiento que implica modificaciones del software debido a: (1) cambios en los requerimientos iniciales y (2) errores no detectados previamente. Por consiguiente, se tiene una oportunidad para la mejora.

TABLA 11.12
Requerimientos típicos de recursos para las fases
de un ciclo de vida del desarrollo de un software

	Esfuerzo total, %	Esfuerzo de desarrollo, %
Definición de requerimientos	3	9
Diseño preliminar	3	9
Diseño detallado	5	15
Codificación	7	21
Prueba e instalación	15	46
Mantenimiento	67	—

Fuente: JQH4, p. 14.7.

Se observa también que el 46 por ciento del esfuerzo básico de desarrollo se dedica a probar e instalar. Algunas veces la extensión de la prueba (y la revisión) durante el desarrollo del software es grande.

EJEMPLO 11.5. En una organización de desarrollo de software, el número de errores por mil líneas de código (KLOC, por sus siglas en inglés) medidos en la etapa *final* fue de 2/KLOC. En la *primera* etapa de revisión/inspección durante el desarrollo, el número fue de 50/KLOC. Las etapas intermedias incluían varias formas de inspección, revisión y prueba para eliminar los errores. Había una oportunidad para la mejora.

De acuerdo con el Pentágono y el Instituto de Ingeniería de Software (*Software Engineering Institute*) de la Carnegie Mellon University, cada 1 000 líneas de código tienen de 5 a 15 errores, y cuesta más de 30 000 dólares corregirlos (*Business Week*, 6 de diciembre de 1999, p. 108).

Para una descripción del diagnóstico que implica errores de software, véase Levenson y Turner (1993) en las Lecturas complementarias. Al probar un software para usarlo con equipos médicos que emiten radiación a pacientes con cáncer, se dejaron involuntariamente en el software algunas líneas del código (usadas sólo para la prueba). Este error dio como resultado una radiación excesiva y llevó a 13 muertes.

Pero los errores en el software son sólo una parte de la dimensión de la calidad. Como con todos los productos, la calidad debe dirigirse tanto a las características del producto como a la ausencia de deficiencias (errores). Prahalad y Krishnan (1999) explican la necesidad de considerar estos aspectos de la calidad en la tecnología de información.

11.13 MEDICIÓN DE LA CALIDAD EN EL DISEÑO

La administración de las actividades de diseño relacionadas con la calidad (como en todas las actividades funcionales) debe incluir un inciso para la medición. Un dicho popular dice: “Lo que se mide se hace.” Se insta a los lectores a que revisen los 10 principios básicos de la medición de la calidad de la sección 5.2.

La tabla 11.13 muestra las unidades de medida para varias áreas del tema de diseño de productos.

Endres (1997), capítulos 3 y 4, ofrece un amplio análisis sobre la medición de la calidad en el diseño, la investigación y el desarrollo.

TABLA 11.13
Ejemplos de medición de la calidad en el diseño

Tema	Unidad de medición
Proceso global del diseño	Costo de la mala calidad Número de meses desde la primera unidad piloto hasta los productos en “estado estacionario”
Cambios de diseño	Número de cambios en el diseño: (1) en la revisión del diseño, (2) al probar el desarrollo, (3) después de la liberación del diseño para la producción en “estado estacionario” Número de cambios en el diseño: (1) para cumplir con los requerimientos, (2) para mejorar el desempeño, (3) para facilitar la fabricación Número de cambios en el diseño solicitados por el cliente Número de renunciaciones a las especificaciones Número de errores de dibujo encontrados por los revisores en la primera revisión
Confiabilidad, capacidad de mantenimiento	Índice de confiabilidad predicha frente a confiabilidad real Índice de confiabilidad real con el requerimiento de confiabilidad Índice de capacidad de mantenimiento comparado con el diseño previo
Software	Número de errores de software por KLOC, primera revisión interna Número de errores de software por KLOC, revisión interna final Número de errores de software por KLOC, descubiertos por los clientes Puntaje promedio dado por los clientes con respecto a la calidad general del software
Facilidad de fabricación	Índice del número de partes con respecto al número teórico mínimo Tiempo total de ensamblaje Número total de operaciones

11.14

MEJORA DE LA EFECTIVIDAD DEL DESARROLLO DE PRODUCTOS

El capítulo 2, “Evaluación de la calidad en toda la empresa”, presenta cuatro estudios que ofrecen una imagen minuciosa del estado actual de la calidad en una organización. Estos estudios versan sobre el costo de la mala calidad, la posición en el mercado, la cultura de la calidad y la evaluación de las actividades actuales de calidad (sistema de calidad). Dichos estudios pueden también aplicarse para evaluar el estado actual del proceso de desarrollo del producto con respecto a la calidad. Endres (1997), capítulos 3 y 4, presenta ejemplos de tales estudios en el desarrollo de productos por parte de empresas que incluyen a Alcoa, Allied Signal, AT&T, Corning, Duracell, Eastman Chemical, IBM y Olin. Estas evaluaciones ayudan a definir las acciones necesarias para aumentar la efectividad (pegar más fuerte) del desarrollo del producto.

La trilogía de los procesos de calidad ofrece un modelo útil para el desarrollo de productos. Por consiguiente, el proceso de planeación de calidad (capítulo 4) proporciona los pasos para desarrollar nuevos productos de manera efectiva:

- Establecer el proyecto.
- Identificar a los clientes.
- Descubrir las necesidades de los clientes.
- Desarrollar el producto.
- Desarrollar el proceso.
- Establecer controles de procesos: transferir a operaciones.

El proceso de control de calidad (capítulo 5) mide el desempeño de la función de desarrollo de productos. Los pasos son:

- Elegir temas de control.
- Establecer la medición.
- Fijar los estándares.
- Medir el desempeño.
- Comparar con los estándares.
- Tomar medidas con respecto a la diferencia.

El proceso de mejora de la calidad (capítulo 3) identifica y resuelve problemas crónicos del desarrollo de productos. Los pasos son:

- Demostrar la necesidad.
- Identificar los proyectos.
- Organizar los equipos de proyectos.
- Verificar la necesidad y la misión del proyecto.
- Diagnosticar las causas.
- Proporcionar una solución.
- Tratar la resistencia al cambio.
- Instituir controles para mantener las ganancias.

Aplicar la planeación y el control de calidad, así como los procesos de mejora de la calidad al proceso de desarrollo de productos, es un cometido importante que es probable que ocurra sólo si uno o más de los cuatro componentes de la evaluación establecen claramente la necesidad de la acción (véase la sección 11.1). Usando la trilogía de los procesos de calidad, Bailey *et al.* (1999) examinan los procesos de investigación en la industria de los semiconductores.

Una revisión histórica de los cambios en el diseño de productos anteriores puede ser un útil punto de partida para la mejora. Un estudio de 24 cambios en el diseño reveló lo siguiente:

- Once de los cambios se hicieron para corregir el desempeño, la confiabilidad o las debilidades en la seguridad; ocho para rectificar errores de papeleo o administrativos, y cinco fueron necesarios para facilitar la fabricación del producto.
- De los problemas asociados con estos cambios de diseño, 23 fueron encontrados por primera vez durante el proceso de producción y uno fue hallado durante las pruebas de campo.
- En los 24 casos, la notificación de los cambios sólo se dio al diseñador original.

Del estudio surgen dos conclusiones: el proceso de desarrollo de productos encontraba los problemas demasiado tarde y la retroalimentación sobre los problemas no se compartía con todos los diseñadores.

El concepto de autocontrol proporciona un marco de referencia para analizar el trabajo de los diseñadores. Universal en su aplicación, el concepto sostiene que deben cubrirse tres criterios (véase la sección 5.3, “Autocontrol”) antes de que una persona se responsabilice de controlar la calidad de sus actividades. Se dice que el diseñador está en un estado de autocontrol sólo si se cumplen totalmente los tres criterios. Una debilidad en cualquiera de ellos requiere analizar y corregir el *proceso de desarrollo del producto*, en lugar de buscar al diseñador individual para la mejora. El problema 11.14 pide a los lectores identificar interrogantes para cada uno de los criterios del autocontrol.

RESUMEN

- Para productos complejos, los errores durante su desarrollo causan cerca del 50 por ciento de los problemas de “aptitud para uso”.
- El desarrollo de productos es un proceso con fases distintas que puede incorporar formas de advertencia temprana de los problemas en el nuevo producto.
- El despliegue de la función de calidad es una técnica que consiste en entrelazar matrices que traducen las necesidades de los clientes a características de productos y procesos.
- Los diseños robustos proporcionan un desempeño óptimo sin importar la variación en las condiciones de fabricación y campo.
- Los métodos Taguchi determinan los valores óptimos de los parámetros de productos y procesos que minimizan la variación mientras mantienen la media dentro de los objetivos.
- El diseño de six sigma tiene cinco pasos: definición, medida, análisis, diseño y verificación.
- La confiabilidad es la capacidad de un artículo para desempeñar una función requerida bajo condiciones determinadas durante un periodo establecido.
- La cuantificación de la confiabilidad se compone de tres fases: distribución, predicción y análisis. La cuantificación de la capacidad de mantenimiento sigue un enfoque conocido.
- El modo de fallas, el efecto, el análisis crítico y el análisis del árbol de fallas son herramientas cualitativas útiles para el aseguramiento del diseño.
- La finalidad de la técnica del “diseño para la manufacturabilidad” es simplificar el diseño de un producto con el fin de facilitar su manufactura.
- La ingeniería de valor y las técnicas de diseño para los costos, analizan los diseños para lograr un equilibrio óptimo entre desempeño y costo.
- La revisión del diseño es un examen sistemático de los requerimientos y de la capacidad del diseño para cumplir con ellos.
- La ingeniería concurrente es el proceso de diseñar un producto usando simultánea y tempranamente durante el diseño todas las aportaciones y evaluaciones, para asegurarse de que se cumplen las necesidades tanto de los clientes internos como externos.
- El proceso de desarrollo del producto puede examinarse al usar los elementos de planeación, control y mejora de la calidad.
- En el desarrollo del software, el 67 por ciento del esfuerzo implica hacer cambios en el software inicial; por consiguiente hay una oportunidad de mejora.
- La administración de la calidad en el diseño debe incluir un inciso para la medición.

PROBLEMAS

11.1. Elabore un modo de fallas, efecto y análisis crítico de uno de los siguientes productos:

- a) Un producto aceptable para el instructor.
- b) Una linterna.
- c) Un tostador.
- d) Una aspiradora.

11.2. Elabore un análisis de árbol de fallas para uno de los productos mencionados en el problema 11.1.

- 11.3.** Visite una fábrica local y determine si hay algún objetivo formal o informal para la función de diseño que guíe al momento de diseñar nuevos productos.
- 11.4.** Obtenga un diagrama esquemático de un producto para el cual también pueda conseguir una lista de los componentes que fallen con más frecuencia. Muestre el diagrama a un grupo de estudiantes de ingeniería que estén más estrechamente asociados con el producto (por ejemplo, un ejemplar mecánico se mostrará a estudiantes de ingeniería mecánica). Pídales que escriban de manera *independiente* los tres componentes que es más probable que fallen y que den sus opiniones.
- Resuma los resultados y comente sobre el acuerdo, o desacuerdo, entre ellos.
 - Comente las opiniones de los estudiantes frente a la historia real del producto.
- 11.5.** El diseñador de un producto o un ingeniero del personal del departamento de confiabilidad, que pueda ser parte de la función de diseño, puede hacer una predicción de confiabilidad. Una ventaja para el diseñador que hace la predicción es que su conocimiento del diseño hará más probable un trabajo minucioso más rápido y directo.
- ¿Cuál es otra ventaja de que el diseñador haga la predicción?
 - ¿Hay alguna desventaja en que el diseñador la realice?
- 11.6.** Prepare una presentación formal para obtener la adopción de uno de los siguientes puntos:
- Cuantificación de los objetivos de confiabilidad, distribución y predicción.
 - Revisiones formales del diseño.
 - Modo de fallas, efecto y análisis crítico.
 - Programa de componentes críticos.
- Hará la presentación a una o más personas que el instructor invitará al aula. Estas personas pueden pertenecer a la industria o ser otros estudiantes o profesores. (El instructor anunciará el tiempo y otras limitaciones de su presentación.)
- 11.7.** Esboce una prueba de confiabilidad para uno de los siguientes productos:
- Un producto aceptable para el instructor.
 - Un secador doméstico de ropa.
 - Un motor para unos limpiaparabrisas.
 - Una batidora eléctrica de alimentos.
 - Una bujía para automóvil.

La prueba debe cubrir los aspectos de desempeño, ambientales y de tiempo.

- 11.8.** Hable con algunos ingenieros de diseño profesionales y conozca qué tan importante es para ellos la retroalimentación de la información de campo en su propio trabajo de diseño.
- 11.9.** Usted es el director de ingeniería del diseño de un refrigerador. La mayor parte de su día lo pasa en trabajo administrativo. No tiene tiempo de entrar en detalles sobre diseños nuevos o modificados. Sin embargo, usted debe aprobar (certificar) todos los nuevos diseños o cambios. En realidad, su certificación consiste en una breve revisión del diseño, pero usted confía básicamente en la capacidad de sus diseñadores individuales. No quiere instituir un programa formal de confiabilidad para diseñadores o establecer un grupo de confiabilidad en este momento. ¿Qué medida podría tomar para darse a usted mismo algún tipo de seguridad de que el diseño que le presenta ha sido examinado adecuadamente por el diseñador con respecto a la confiabilidad? No es posible aumentar la prueba, y cualquier acción que usted tome debe involucrar un mínimo de costos adicionales.

- 11.10.** Usted trabaja para una institución pública y su departamento emplea contratistas externos, quienes diseñan y construyen diversos equipos e instalaciones para edificios. Acaba de terminar un seminario de ingeniería de valor en una universidad y se pregunta si su utilidad debería abarcar el establecimiento de una función para evaluar los diseños de los contratistas. Alguien de su grupo directivo ha oído que esta ingeniería puede reducir los costos, pero “disminuyendo el desempeño o la confiabilidad de un diseño”. Comente.
- 11.11.** El capítulo analiza un número de conceptos (por ejemplo, predicción de la confiabilidad, revisión del diseño). Seleccione algunos y esboce una aplicación potencial del concepto a un problema real en un producto específico. El bosquejo debe incluir los siguientes temas:
- El nombre del concepto.
 - Un breve planteamiento del problema.
 - La aplicación del concepto al problema.
 - Las ventajas potenciales.
 - Los obstáculos para la implementación real.
 - Un enfoque que pueda usarse para vencer cada obstáculo.
- El esbozo de cada concepto debe ser de aproximadamente una página.
- 11.12.** La sección “Evaluación de diseños mediante pruebas” establece cuatro riesgos. Para cada riesgo, recomiende una o más acciones preventivas.
- 11.13.** Al diseñar el sistema de la cámara SX-70, Polaroid Corporation determinó primero las principales quejas de los clientes sobre los modelos anteriores. Por ejemplo, los clientes tenían problemas para enfocar correctamente, olvidaban cambiar las baterías, no les gustaba cambiar lentes, no estaban seguros de cuándo usar el flash. Proponga un diseño para prevenir cada queja.
- 11.14.** Revise el concepto del autocontrol del capítulo 5. Aplique el concepto a la ingeniería de diseño mediante la elaboración de tres preguntas para cada uno de los tres criterios del autocontrol.
- 11.15.** Para una organización que tenga un sistema de documentación de los cambios de diseños, haga una revisión histórica de la documentación que inició sobre 25 cambios de diseño. Saque algunas conclusiones iniciales acerca del *proceso* de desarrollo del producto.

REFERENCIAS

- Bailey, D.E., F.S. Settles y D. Sanrow (1999). “Applying Continuous Quality Improvement Techniques to a Research Environment”, *Quality Management Journal*, vol. 6, núm. 2, pp. 62-77.
- Beaton, G.N. (1959). “Putting the R&D Reliability Dollar to Work”, *Proceedings of the Fifth National Symposium on Reliability and Quality Control*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Nueva York, p. 65.
- Breyfogle, F.W. III (1992). *Statistical Methods for Testing, Development, and Manufacturing*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Brocato, R.C. y K. A. Potocki (1998). “A System Model for Quality Management Principles: Case Study Application to Technical Staff at an R&D Organization”, *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 190-198.

- Comstock, T.N. y K. Dooley (1998). "A Tale of Two QFD's", *Quality Management Journal*, vol. 5, núm. 4, pp. 32-45.
- Endres, A. (1997). *Improving R&D Performance the Juran Way*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Ernst and Young Quality Improvement Consulting Group (1990). *Total Quality*, Dow Jones-Irwin, Homewood, IL, p. 121.
- Feitzinger, E. y H.L. Lee (1997). "Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement", *Harvard Business Review*, enero-febrero, pp. 116-121.
- Fleischer, M. y J.K. Liker (1997). *Concurrent Engineering Effectiveness*, Hanser Publications, Cincinnati, OH.
- Hahn, G.J., N. Doganaksoy y R. Hoerl (2000). "The Evolution of Six Sigma", *Quality Engineering*, vol. 12, núm. 3, pp. 317-326.
- Hammer, W. (1980). *Product Safety Management and Engineering*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Hatty, M. y N. Owens (1994). "Potential Failure Models and Effects Analysis: A Business Perspective", *Quality Engineering*, vol. 7, núm. 1, pp. 169-186.
- Hoyland, A. y M. Rausad (1994). *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Ireson, W.G., C.F. Coombs Jr. y R.Y. Moss (1996). *Handbook of Reliability Engineering and Management*, 2a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Montgomery, D.C. (1997). *Introduction to Statistical Quality Control*, 3a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York.
- O'Connor, P.D.T. (1995). *Practical Reliability Engineering*, 3a. ed. rev., John Wiley & Sons, Nueva York.
- Park, R. (1999). *Value Engineering*, St. Lucie Press, Boca Raton, FL.
- Perkins, D. (1996). "FMEA for Real (Resource Limited) Design Community", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 435-442.
- Phadke, M.S., R.R. Kacker, D.V. Speeny y M.J. Grieco (1983). "Off-Line Quality Control in Integrated Circuit Fabrication Using Experimental Design", *The Bell System Technical Journal*, vol. 62, núm. 5, pp. 1273-1309.
- Pignatiello, J.J. y J.S. Ramberg (1992). "Top Ten Triumphs and Tragedies of Genichi Taguchi", *Quality Engineering*, vol. 4, núm. 2, pp. 211-225.
- Prahalad, C.K. y M.S. Krishnan (1999). "The New Meaning of Quality in the Information Age", *Harvard Business Review*, septiembre-octubre, pp. 109-118.
- ReVelle, J.B., J.W. Moran y C.A. Cox (1998). *The QFD Handbook*, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Ross, P.J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Sánchez, S.M., J.S. Ramberg, J. Fiero y J.J. Pignatiello, Jr. (1993). "Quality by Design", capítulo 10 en *Concurrent Engineering: Automation, Tools, and Techniques*, editado por A. Kusiak, John Wiley & Sons, Nueva York.
- Shin, J.S. y K.J. Kim (1997). "Restructuring a House of Quality Using Factor Analysis", *Quality Engineering*, vol. 9, núm. 4, pp. 739-746.
- Sobek, D.K. II, J.K. Liker y A.C. Ward (1998). "Another Look at How Toyota Integrates Product Development", *Harvard Business Review*, julio-agosto, pp. 36-49.
- Turmel, J. y L. Gartz (1997). "Designing in Quality Improvement: A Systematic Approach to Designing for Six Sigma", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 391-398.
- Vonderembse, M., T. Van Fossen y T.S. Raghunathan (1997). "Is Quality Function Deployment Good for Product Development? Forty Companies Say Yes", *Quality Management Journal*, vol. 4, núm. 3, pp. 65-79.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Desarrollo de productos: *JQH5*, secciones 17 y 19.

Bieda, J. (1997). *Practical Product Assurance Management*, ASQ Quality Press, Milwaukee.

Desarrollo de Software: *JQH5*, sección 20.

Levenson, N.G. y C.S. Turner (1993). "An Investigation of the Therac-25 Accidents", *Computer*, julio, pp. 18-41.

Historia de los problemas de diseño: Mundel, A.B. (1991). *Ethics in Quality*, ASQ Quality Press, Milwaukee, capítulo 6.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Balasubramanian, R. (2001). "Concurrent Engineering-A Powerful Enabler of Supply Chain Management", <i>Quality Progress</i> , 34(6):47-53.	Integración de la ingeniería concurrente y de la administración de la cadena de suministro para minimizar el riesgo de la introducción y manufactura del producto.
Bier, I.D. y R. Comesky (2001). "Using QFD to Construct a Higher Education Curriculum", <i>Quality Progress</i> , 34(4):64-68.	Desarrollo de matrices QFD e interpretación en una institución/universidad de salud.
Dijkstra, L. y H. van der Bij (2002). "Quality Function Deployment Healthcare", <i>International Journal of Quality & Reliability Management</i> , enero, vol. 19, núm. 1, pp. 67-90.	Aplicación de QFD en la industria de la asistencia sanitaria.
Doganaksoy, N., G.J. Hahn y W.Q. Meeker (2002). "Reliability Analysis by Failure Mode", <i>Quality Progress</i> , 35(6):47-52.	Análisis del modo de fallas para evaluar los datos de la vida del producto y la confiabilidad. Incluye ejemplos numéricos y puntos a considerar.
Endres, A. (2000). "Assessing the Quality Status of Research Organizations", <i>Quality Progress</i> , 33(4):51-56.	Desarrollo de indicadores de la investigación del estado de calidad para posibilitar una mejor medición y control del desempeño.
Harrington, H.J. y T. McNellis (2001). "Six Sigma for Internet Application Development", <i>Software Quality Professional</i> , 4(1):7-18.	Implementación de DMAIC al desarrollo de aplicaciones en Internet. Se enfoca en una reducción del trabajo repetido o de reelaboración (costos y tiempos del ciclo), la cual ha sido difícil pero necesaria, dado el rápido desarrollo de las aplicaciones basadas en la web que los clientes ven directamente.
Holmes, J.S. (2003). "Identifying Code-Inspection Improvements Using Statistical Black Belt Techniques", <i>Software Quality Professional</i> , 6(1):4-15.	Ejemplo de la aplicación de regresión, DOE y SPC para reducir los errores de software permitidos por un proceso de inspección.
Janiszewski, S. y E. George. (2004). "Integrating PSP, TSP and Six Sigma", <i>Software Quality Professional</i> , 6(4):4-13.	Se argumenta que los Procesos de Software personales (PSP) y de equipos (TSP) son sinérgicos. Lo anterior proporciona un marco de referencia para la medición, procesos de "alta madurez" y capacitación, mientras que six sigma proporciona herramientas estadísticas para analizar y controlar el desempeño, priorizar las mejoras y ayudar en la toma de decisiones basada en hechos.
Lowe, A.J. y K. Ridgway (2000). "Optimization Impossible?" <i>Quality Progress</i> 33(7):59-64.	El "teorema de la imposibilidad" de Hazelrigg (las utilidades no se pueden usar para expresar las preferencias de grupo) y sus implicaciones para la QFD.

Citas	Resumen
Mader, D.P. (2004). "Selecting Design for Six Sigma Projects", <i>Quality Progress</i> 37(7):65-70.	Método de doce pasos de selección de proyectos DFSS para crear un portafolio efectivo.
Rantanan, K. y E. Domb (2004). "Simplified TRIZ: New Problem-Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals, St. Lucie Press, Boca Raton, FL.	Libro. Los autores intentan practicar doctrinas y crear un modelo manejable de uso práctico.
Reiling, J.G., B.L. Knuizen y M. Stoecklein (2003). "FMEA-The Cure for Medical Errors", <i>Quality Progress</i> 36(8):67-71.	FMEA aplicados al diseño de una instalación para la asistencia sanitaria, con el intento de reducir errores y mejorar la satisfacción y seguridad del paciente.
Rooney, J.J. (2001). "Seven Steps to Improved Safety for Medical Devices", <i>Quality Progress</i> 34(9):33-41.	Recomendaciones para el análisis de riesgos (HACCP), con el fin de mejorar la seguridad de los equipos médicos.
Rooney, J.J. y J. Kilkelly (2002). "On Today's Menu: Quality", <i>Quality Progress</i> 35(2):25-32.	Seguridad en alimentos; aplicación de un sistema de administración de calidad de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en inglés).
Schnoll, L. "Corrective and Preventive Action in Medical Device Manufacturing", <i>Quality Progress</i> 34(11):75-82.	Revisión de los requerimientos, objetivos y procedimientos de la Acción Correctiva Y Preventiva (CAPA, por sus siglas en inglés) y para el cumplimiento de los requerimientos de la FDA.
Schnoll, L. (2003). "Ensure Medical Safety", <i>Quality Progress</i> 36(2):73-75.	Recomendación para la administración formal del riesgo para la seguridad en los aparatos médicos, incluyendo identificación y análisis de riesgos, evaluación y control.
Tan, K.C. y X.X. Shen (2000). "Integrating Kano's model in the Planning Matrix of Quality Function Deployment", <i>Total Quality Management</i> 11(8):1141-1151.	Aplica el análisis de Kano para ayudar a identificar la traducción apropiada del VOC a la mejora de la satisfacción del cliente (la QFD supone tradicionalmente una relación lineal entre el índice de mejora en la satisfacción del cliente y el índice del aumento de la importancia).
Tayntor, C.B. (2003). <i>Six Sigma Software Development</i> ", Auerbach Publishing, CRC Press, Boca Raton, FL.	La aplicación de six sigma al desarrollo del software. Muestra ampliamente cómo las herramientas se pueden aplicar en diferentes etapas; intenta alinear la DMAIC con el ciclo de vida del desarrollo del software. El artículo anexo es una revisión negativa de libros, pero puede usarse como referencia para citar que se están realizando dichos esfuerzos. Adicionalmente, se da una revisión más positiva por J. Dalal en el fascículo de junio de 2003 de <i>Software Quality Professional</i> 5(3):32.
Theisen, T.W. y C.J. Neill (2004). "FDA regulations and Auditing Practices for Software Suppliers at a Pharmaceutical Manufacturer", <i>Software Quality Professional</i> 6(4):14-24.	Investigación de las prácticas de auditoría de 17 proveedores de software en la industria farmacéutica durante diferentes eras. Las CGMP (Buenas Prácticas Actuales de la Manufactura, por sus siglas en inglés) de la FDA recogen sistemas validados y el impacto de los requerimientos de evaluación basados en el riesgo.
Thomke, S. (2003). "R&D Comes to Services: Bank of America's Pathbreaking Experiments", <i>Harvard Business Review</i> , abril, pp. 71-79.	Revisión de los experimentos formales del Bank of America (BOA) a la hora de crear nuevos conceptos de servicios (un novedoso enfoque para la industria de servicios).

Citas

- Treichler, D., R. Carmichael, A. Kusmanoff, J. Lewis y G. Berthiez (2002). "Design for Six Sigma: 15 Lessons Learned", *Quality Progress* 35(1):33-42.
- Watson, G.H. (2004). "An Approach to Software Design", *ASQ Six Sigma Forum*, mayo, pp. 23-26.

Resumen

Quince lecciones aprendidas de la implementación de DFSS en algunas grandes corporaciones. Incluye una breve introducción a six sigma y el DFSS, y los desafíos de una implementación exitosa.

Aplicación del DFSS al desarrollo de software.

SITIOS WEB

Diseño de ASQ y división de construcción: www.asq.org/perl/
División de confiabilidad de ASQ: www.asq-rd.org/
Instituto QFD: www.nauticom.net/www.qfdi
Instituto Altshuller para Estudios TRIZ: www.aitriz.org
Herramientas de innovación: www.innovationtools.com

ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO

12.1 RELACIONES CON LOS PROVEEDORES: UNA REVOLUCIÓN

Este paso de la espiral de calidad se ocupa de la compra de bienes o servicios a los proveedores o vendedores.

Para muchas empresas, las compras representan más del 60 por ciento de las ventas en dólares, y son la causa de más de la mitad de los problemas de calidad. La mala calidad de los artículos de los proveedores da como resultado costos extra para el comprador; por ejemplo, el 75 por ciento de todas las reclamaciones de garantía que recibió un fabricante de electrodomésticos fue rastreado hasta los componentes que se compraron para estos aparatos.

El énfasis actual en la reducción de inventarios proporciona un mayor enfoque en la calidad. Bajo el concepto de inventario justo a tiempo, los bienes de los proveedores se reciben sólo en la cantidad y en el momento en que se necesitan para la producción. El comprador no reserva inventarios. Si una parte del producto comprado está defectuoso, la producción en la planta del comprador se interrumpe porque hay escasez de inventario de respaldo. Con la compra convencional, los problemas de calidad del proveedor pueden ocultarse por un exceso de inventario; con el concepto de justo a tiempo, el producto comprado debe cumplir los requerimientos de calidad.

La interdependencia de compradores y proveedores ha aumentado de manera espectacular. Algunas veces, dicha interdependencia toma la forma de instalaciones integradas, por ejemplo, un fabricante de latas se ubica al lado de una fábrica de cerveza. Algunas veces están implicadas habilidades tecnológicas, por ejemplo, un fabricante de automóviles pide a un proveedor que proponga un diseño para un artículo comprado. El proveedor se convierte en una extensión de la organización del comprador: un departamento virtual.

Estas circunstancias han llevado a una revolución en la relación entre compradores y proveedores. En el pasado, las partes a menudo eran adversarias; algunos compradores veían a los proveedores como criminales en potencia que podrían intentar escamotear algún producto defectuoso en la inspección de entrada del comprador. Hoy en día, la frase clave es la *alianza comercial*, trabajando de cerca para el mutuo beneficio de ambas partes.

Este nuevo punto de vista en las relaciones con los proveedores requiere cambiar el proceso de compras desde un punto de vista tradicional hasta uno estratégico. En la tabla 12.1 se muestra una visión general de algunos cambios. Para su elaboración, véase *JQH5*, p. 21.6.

Parte de la revolución en las relaciones con los proveedores es la ampliación del concepto tradicional de proveedor hasta uno más amplio de la cadena de suministro (véase la figura 12.1). Donovan y Maresca (en *JQH5*) definen la cadena de suministro como las tareas, actividades, eventos, procesos e interacciones emprendidos por *todos* los proveedores y *todos* los usuarios finales en el desarrollo, adquisición, producción, entrega y consumo de un bien o servicio específico. Se observa que esta definición incluye a los usuarios finales; a los principales proveedores o distribuidores, y a múltiples hileras de proveedores para las principales organizaciones de manufactura o servicio. La administración de la cadena de suministro está reservada para artículos de importancia estratégica para una organización.

La función de compras tiene el papel principal de administrar la cadena de suministro para lograr alta calidad y valor en dicha cadena. La verdad es que este ideal es sublime, pero destaca un nuevo enfoque: *de administrar las transacciones de compras y resolver problemas, a administrar los procesos y las relaciones con los proveedores*. Bajo la administración de la cadena de suministro, se deben disponer los mecanismos para asegurar los vínculos adecuados entre las partes de la cadena. Dichos mecanismos incluyen requerimientos contractuales claros, y retroalimentación y comunicación continuas. Para mayor análisis del concepto de la cadena de suministro, véase *JQH5*, pp. 21.4-21.9. Por supuesto, administrar la cadena de suministro es difícil. Fisher (1997) describe algunas de esas dificultades y sugiere un marco de referencia para cadenas de suministro basado en la naturaleza de la demanda del producto y en si los productos son principalmente funcionales o innovadores. Las cadenas de suministro también aplican al sector servicios. Para un ejemplo que involucra a médicos de un hospital y el sistema de asistencia sanitaria, véase Zimmerli (1996). Este ejemplo también ilustra el uso de encuestas entre los clientes internos para los principales procesos de distribución, compra y procesamiento estéril.

TABLA 12.1
Puntos de vista tradicional vs. estratégico en el proceso de compra

Aspecto en el proceso de compra	Punto de vista tradicional	Punto de vista estratégico
Relación con el proveedor	De adversarios, competitiva, desconfiada	Cooperativa, de asociados, basada en la confianza
Duración de la relación	De corto plazo	De largo plazo; indefinida
Aseguramiento de la calidad	Inspección a la recepción	Sin necesidad de inspección entrante
Base de proveedores	Muchos proveedores administrados en conjunto	Pocos proveedores, cuidadosamente seleccionados y administrados
Planes de compra del negocio	Independencia de los planes de negocios de la organización usuaria final	Integrados con los planes de negocios de la organización usuaria final
Enfoque de las decisiones de compra	Precio	Costo total de propiedad

Fuente: Adaptado de *JQH5*, p. 21.6.

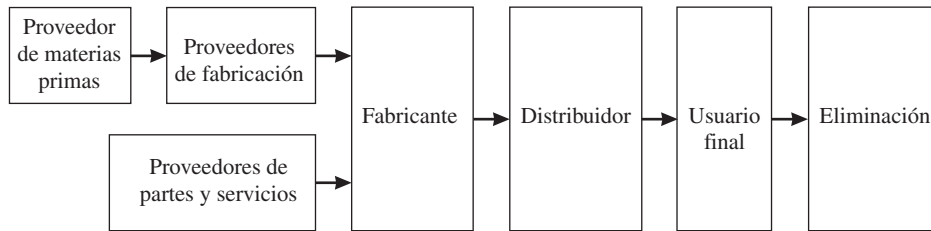


FIGURA 12.1

Elementos de la cadena de suministro. (Fuente: *JQH5*, p. 21.4.)

Mucho se ha escrito sobre la importancia de desarrollar la confianza para reemplazar las relaciones adversas del pasado. Se han logrado avances importantes, pero en la práctica los proveedores (tanto grandes como pequeños) todavía reportan la gran arrogancia que exhiben algunos compradores.

12.2

ALCANCE DE LAS ACTIVIDADES PARA LA CALIDAD DEL PROVEEDOR

Un sistema de compras incluye tres actividades clave: especificación de requerimientos, selección de un proveedor y administración de la cadena de suministro. El objetivo global de calidad es cumplir las necesidades del comprador (y del usuario final) con un mínimo de inspección entrante o de acción correctiva posterior; este objetivo lleva, a su vez, a minimizar los costos totales.

Para lograr este objetivo de calidad se deben identificar algunas actividades principales y asignar responsabilidades. La tabla 12.2 muestra una lista típica de las responsabilidades asignadas en una empresa. Estas actividades se analizan en este capítulo. Una elaboración más detallada se ofrece en *JQH5*, sección 21.

La matriz de responsabilidad de la tabla 12.2 muestra que el departamento de calidad tiene la responsabilidad principal para muchas de las actividades de calidad del proveedor. Bajo una política de alternativas, el departamento de compras tiene la principal responsabilidad de la calidad, mientras que otros (por ejemplo, desarrollo y calidad del producto) manejan una responsabilidad colateral. Dicho cambio en la responsabilidad da un fuerte enfoque en la calidad al momento de establecer las prioridades para el programa de entregas, precio y calidad. Para cumplir con esta responsabilidad, la mayoría de los departamentos de compras tendrían que complementar sus capacidades técnicas. Algunas organizaciones han satisfecho esa necesidad al transferir especialistas técnicos al departamento de compras.

Para reflejar un punto de vista amplio de los proveedores y del concepto de cadena de suministro, algunas empresas han pasado de ser una organización basada en las funciones para las transacciones de compra a ser una basada en procesos para administrar la cadena de suministro (véase *JQH5*, p. 21.10). La organización basada en procesos (véase el capítulo 6, “Administración de procesos”) emplea un equipo interdisciplinario y dueño del proceso para enfocarse en el costo total de la propiedad (en lugar de en el precio inicial de un artículo comprado), con el fin de identificar oportunidades para aumentar el valor y para lograr una ventaja competitiva.

TABLA 12.2
Matriz de responsabilidad: relaciones con los proveedores

Actividad	Departamentos participantes		
	Desarrollo de producto	Compras	Calidad
Definir los requerimientos del producto y del programa de calidad	××		×
Evaluar a los proveedores alternativos	×	×	××
Seleccionar a los proveedores		××	
Llevar a cabo una planeación conjunta de calidad	×		××
Cooperar con el proveedor durante la ejecución del contrato	×	×	××
Obtener pruebas de conformidad con los requerimientos	×		××
Certificar a los proveedores cualificados	×	×	××
Llevar a cabo programas de mejora de la calidad, según se necesiten	×	×	××
Crear y utilizar calificaciones de calidad para los proveedores		××	×

Nota: ××, responsabilidad principal; ×, responsabilidad colateral.

A continuación se examinará cómo se relaciona la calidad con las tres actividades clave de la administración de suministro: especificación de los requerimientos, selección de proveedores y administración de la cadena de suministro.

12.3

ESPECIFICACIONES DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALIDAD PARA LOS PROVEEDORES

Los objetivos y requerimientos para los proveedores deben estar alineados con aquéllos para cada eslabón de la cadena de suministro, particularmente el usuario final y la organización compradora. Estos objetivos y requerimientos incluyen los parámetros de calidad y los asuntos generales del negocio.

Para los productos modernos, la planeación de calidad comienza antes de que se firme el contrato. Dicha planeación debe reconocer dos asuntos:

1. El comprador debe transmitir al proveedor una comprensión total del uso que se va a hacer del producto. Comunicar los requerimientos de uso puede ser difícil incluso para un producto sencillo.
2. El comprador debe obtener la información para asegurarse de que el proveedor puede ofrecer un producto que cumpla todos los requerimientos de aptitud para uso.

La complejidad de muchos productos modernos dificulta comunicar las necesidades de uso a un proveedor en una especificación. A veces no sólo se conocen mal las condiciones de uso de campo de un producto complejo, sino que los ambientes internos que rodean un componente particular pueden no conocerse hasta que se ha diseñado y probado todo el producto. Por ejemplo, espe-

cificar los requerimientos precisos de temperatura y vibración a un proveedor de un componente eléctrico puede no ser factible hasta que se desarrolle el sistema completo. Dichos casos requieren, al menos, de una cooperación continua entre el proveedor y el comprador. En casos especiales, puede ser necesario adjudicar contratos separados de desarrollo y producción para descubrir cómo ultimar los requerimientos.

Las circunstancias pueden requerir dos tipos de especificaciones:

1. Especificaciones que definan los requerimientos del producto.
2. Especificaciones que establezcan las actividades relacionadas con la calidad que se esperan del proveedor, es decir, el sistema de calidad del proveedor.

Definición de los requerimientos numéricos de calidad y confiabilidad para lotes

Más allá de los requerimientos de calidad y confiabilidad impuestos en las unidades individuales o en los productos, usualmente hay una necesidad de añadir criterios numéricos para juzgar la conformidad de los *lotes* de productos.

Por lo general, estos criterios se necesitan al momento de aceptar los productos de muestra (véase el capítulo 15), los cuales hacen posible aceptar o rechazar un lote entero de productos basándose en la inspección y en el resultado de las pruebas de una muestra aleatoria del lote. La aplicación de los procedimientos de muestra se facilita si los requerimientos de calidad del lote se definen en términos numéricos. En la tabla 12.3 se muestran ejemplos de índices numéricos.

La selección de valores numéricos para estos criterios depende de varios factores y también de consideraciones de probabilidad. Estos temas se analizan en el capítulo 15. Estos criterios son

TABLA 12.3
Formas de criterios numéricos de muestreo

Índice de calidad	Significado	Valores típicos	Interpretación errónea común
Partes por millón (ppm)	Número de defectos por millón de artículos	5-1000	—
Nivel de calidad aceptable (AQL)*	Porcentaje de defectos que tienen una alta probabilidad (digamos $\geq .90$) de ser aceptados por el plan de muestreo	0.01-10.0	Todos los lotes aceptados están al menos tan bien como el AQL; todos los lotes rechazados están peor que el AQL
Porcentaje de tolerancia de lote defectuoso (LTPD)	Porcentaje de defectos que tienen una baja probabilidad (digamos $\leq .10$) de ser aceptados por el plan de muestreo	0.5-10.0	Todos los lotes que estén mejor que el LTPD se aceptarán; todos los lotes que estén peor que el LTPD se rechazarán
Límite de calidad promedio saliente (AOQL)	Peor porcentaje promedio de defectos sobre muchos lotes después de que la inspección de muestra haya sido realizada y se rechazaran lotes 100% inspeccionados	0.1-10.0	Todos los lotes aceptados están al menos igual de bien que el AOQL; todos los lotes rechazados están peor que el AOQL

*Algunas tablas de muestras y otras fuentes definen el AQL como el porcentaje máximo de defectos considerado satisfactorio como promedio de un proceso.

también un medio de indexar planes de muestra desarrollados a partir de conceptos estadísticos. Desafortunadamente, muchos proveedores no entienden tales conceptos y hacen interpretaciones erróneas del requerimiento de nivel de calidad y también de los resultados de la inspección de muestra (véase la tabla 12.3). Estos criterios también pueden ser una fuente de confusión en las discusiones sobre adeudos de producto. Los proveedores deben entender que se espera que *todo* el producto que entregan cumpla las especificaciones.

Para productos complejos o aquéllos orientados a perdurar en el tiempo, los requerimientos numéricos de confiabilidad pueden ser definidos en los documentos de compra del proveedor. Algunas veces dichos requerimientos se establecen en términos de tiempo medio entre fallas. Los requerimientos numéricos de confiabilidad pueden ayudar a aclarar lo que un cliente quiere decir con “alta confiabilidad”.

EJEMPLO 12.1. Un fabricante de condensadores solicitó cotizaciones para una unidad de un equipo de manufactura que estaba destinado a desempeñar diversas operaciones de fabricación. La confiabilidad del equipo era importante para mantener los programas de producción, de tal forma que se especificaba un requerimiento numérico de “tiempo medio entre atascos” (MTBJ, por sus siglas en inglés) a aquellos que cotizaban el prospecto. (Anteriormente, la confiabilidad no se había tratado cuantitativamente. Los fabricantes de equipos siempre habían prometido alta confiabilidad, pero los resultados habían sido decepcionantes.) Después de algunas rondas de discusiones con los que cotizaban, el fabricante concluyó que el nivel deseado de confiabilidad era poco realista si la máquina tenía que realizar diversas operaciones. El fabricante de condensadores finalmente decidió revisar el requerimiento para algunas operaciones y, por ese motivo, reducir su complejidad. El esfuerzo de especificar un requerimiento numérico en el documento de adquisición obligó a un claro entendimiento de la confiabilidad. A los proveedores también se les puede requerir que demuestren, con pruebas, niveles de confiabilidad determinados.

Definición del sistema de calidad del proveedor

El segundo tipo de especificaciones es una desviación de la práctica tradicional de no decir a un proveedor cómo administrar su planta. A veces es necesario definir las actividades requeridas dentro de la planta de un proveedor para asegurar que éste tenga la experiencia para llevar a cabo todo el programa necesario para un producto satisfactorio. Para algunos productos, las regulaciones gubernamentales requieren que un comprador imponga ciertos requerimientos de procesamiento a los proveedores (por ejemplo, condiciones sanitarias para la fabricación de productos farmacéuticos). Para otros, como un complejo subsistema mecánico o electrónico, los requerimientos globales del sistema pueden resultar en la necesidad de que un proveedor cumpla con un requerimiento numérico de confiabilidad o con uno de capacidad de mantenimiento, y de que lleve a cabo ciertas actividades que aseguren que dichos requerimientos se cumplan (véase el capítulo 11). Para los otros productos, se requiere que los proveedores usen técnicas estadísticas de control de procesos en las características seleccionadas de los productos o en los parámetros de los procesos. Como requerimientos en un contrato con un proveedor, se pueden citar documentos como las series ISO 9000 y TS-16949 (antiguamente QS 9000), las cuales definen los elementos de los programas de calidad.

EJEMPLO 12.2. Se pidió a algunos proveedores que presentaran cotizaciones para una batería necesaria en un programa espacial. Se les dio un objetivo numérico de confiabilidad y que incluyeran en su propuesta de cotización una descripción de las actividades de confiabilidad que llevarían a cabo para ayudar a cumplir el objetivo. La mayoría de los proveedores prospecto incluyeron un programa de confiabilidad que consistía en actividades apropiadas de confiabilidad para una batería. Sin embargo, aparentemente un proveedor no tenía experiencia en metodología formal de confiabilidad y envió un informe sorprendente.

Ese proveedor hizo una copia palabra por palabra de un programa de confiabilidad escrito previamente publicado para un sistema de misiles (la palabra *batería* sustituyó la palabra *misil*). Esto llevó a una sospecha, más tarde confirmada, de que el proveedor sabía poco de programas de confiabilidad.

En los productos complejos, para los cuales se pide a un proveedor diseñar y manufacturarlo, puede que se le solicite también incluir en la propuesta una predicción preliminar de confiabilidad; un modo de fallas, efecto y análisis crítico; un plan de prueba de confiabilidad, u otros análisis de confiabilidad (véase el capítulo 11). La respuesta del proveedor ofrece alguna seguridad al concepto del diseño y también muestra que tiene la experiencia en confiabilidad para llevar a cabo el programa, y que ha incluido los fondos y los tiempos de programa en la propuesta.

A continuación se procederá a la selección de los proveedores.

12.4

SELECCIÓN DE PROVEEDORES. *OUTSOURCING*

¿Se hace o se compra? Esta decisión requiere un análisis de factores tales como las habilidades e instalaciones necesarias, capacidad interna disponible, capacidad de cumplir los programas de entrega, costos esperados de hacer o comprar y otros asuntos. Esta cuestión nos lleva al tema de la subcontratación.

Subcontratación

La *subcontratación* (*outsourcing*) es el proceso de contratar a un proveedor externo a la organización, una actividad que es actualmente realizada internamente. La subcontratación se emprende para reducir los costos (el impulso principal) y el tiempo de ciclo o mejorar la calidad. Los cálculos sugieren que al menos el 85 por ciento de las corporaciones importantes subcontratan ahora al menos algunas actividades. Ahora existe en Estados Unidos una asociación comercial, el Outsourcing Institute.

Pero, ¿qué actividades se deben subcontratar? Un principio mantiene que la subcontratación se debe confinar a las actividades que son requeridas pero que no ofrecen una ventaja competitiva, por ejemplo, la seguridad, el mantenimiento de las instalaciones, la administración de los beneficios de salud. Las actividades que son estratégicas e impliquen competencias esenciales no se deben subcontratar. En la práctica, algunas organizaciones subcontratan actividades funcionales importantes (esenciales) como servicio al cliente, mercadotecnia, diseño de productos y tecnología de información.

Muchos temas importantes de negocios entran en las decisiones acerca de la subcontratación. Bettis *et al.* (1992) ofrecen importantes advertencias sobre subcontratar actividades esenciales como diseño y manufactura. Cuantos más conocimientos técnicos y de mercado obtenga un proveedor por causa de la subcontratación, mayores son los riesgos para la empresa que subcontrata.

La subcontratación aminora los costos internos al reducir el personal, porque las empresas que reciben el contrato (proveedor) tienen la tecnología y el conocimiento para desempeñar algunas tareas más eficientemente de lo que algunas empresas pueden hacerlo internamente. Pero puede haber un serio impacto en la calidad del producto si el proveedor no asigna una alta prioridad a la

calidad. La subcontratación puede también socavar la moral y lealtad de los empleados al generar miedo de que otras actividades también se subcontraten, resultando en más pérdidas de puestos. Algunas empresas de vanguardia, como Eastman Chemical, siguen una política en que, si una actividad se subcontrata, nadie pierde su trabajo, ya que la gente es capacitada de nuevo para ocupar las posiciones de aquellos que se retiran por cuestiones naturales. La subcontratación también supone que pueda encontrarse un proveedor capaz, y que el adecuado monitoreo del contrato asegurará alta calidad. Algunas veces estos temas se pasan por alto en el entusiasmo por reducir costos, y como consecuencia surgen importantes problemas de calidad en los artículos comprados. Peterson (1998) analiza algunos defectos potenciales cuando se trata con fabricantes por contrato. Bossert (1994) proporciona una lista de verificación de once elementos (por ejemplo, instrucciones de inspección, suficientes controles de manufactura) para comparar los servicios de manufactura por contrato.

Sharman (2002) analiza cómo Internet es un conductor de subcontratación y está acelerando las tendencias de la cadena de suministro. Ericson (2003) identifica seis factores para ayudar a decidir qué y cuándo subcontratar. Meseck (2004) proporciona estrategias de administración de riesgos para ayudar a identificar oportunidades apropiadas de subcontratación y calcular el impacto financiero de la subcontratación global. Weidenbaum (2004) analiza los pros y contras de alto nivel de subcontratar, incluyendo cuándo y por qué subcontratar, y cómo esto afecta a Estados Unidos. Hussey y Jenster (2003) ofrecen un análisis a profundidad de los tipos de subcontratación y de los temas de administración asociados con cada uno desde el punto de vista del proveedor. Ramachandran y Voleti (2004) analizan la subcontratación desde la perspectiva de los proveedores de la India, junto con los factores de éxito y la necesidad de que los proveedores administren tanto el crecimiento como la consolidación. Both Soliman (2003) y Weerakkody *et al.* (2003) analizan la subcontratación global de los Proveedores de Servicios de Aplicación (ASP, por sus siglas en inglés). Karmaker (2004) argumenta que el asunto de subcontratar en otro país debe ser uno de competitividad y no de pérdida de puestos de trabajo. Examina cambios actuales en la industria de servicios y recomienda estrategias para realinear, rediseñar y reestructurar. Clott (2004) proporciona hechos y cifras informativas sobre la subcontratación y su impacto en el trabajo con énfasis en la tecnología de información. También analiza puntos de vista a favor y en contra, y examina brevemente los factores laborales y éticos. Lee (2004) argumenta que las mejores cadenas de suministro no son sólo rápidas y rentables, sino ágiles y adaptables, y asegura que todos los intereses de las empresas permanezcan alineados.

Una vez que las habilidades se pierden por la subcontratación, es difícil revertir el proceso si eventos posteriores requieren que la actividad regrese a la organización. Esta situación podría ser devastadora para actividades como diseño de productos y operaciones seleccionadas.

Claramente, la subcontratación puede ser una decisión de negocios sensata y viable; después de todo, subcontratar actividades de manufactura seleccionadas ha sido una parte de la historia de la manufactura. Pero el deseo de reducción de costos puede estar llevando la subcontratación demasiado lejos. Quizás primero se deba estudiar toda la actividad que va a ser subcontratada como un proyecto de mejora de calidad usando la hoja de ruta ofrecida en el capítulo 3, “Mejoramiento de la calidad y reducción de costos”. Así, supongamos que el servicio al cliente es un candidato para la subcontratación. El *proceso* de servicio al cliente sería estudiado para efectividad y eficiencia, y se harían los cambios internos necesarios. El resultado (calidad y costos) podría compararse entonces a aquellos de los proveedores externos. Algunas organizaciones incluso establecen la actividad que se cuestiona como un centro de beneficios separados (para competir en contra de los proveedores externos) con el fin de estimular la mejora interna; la amenaza de pérdida de empleos es un acicate importante.

Para resumir un tema delicado: la subcontratación puede proporcionar calidad superior y costos menores para una actividad que una empresa no pueda desarrollar y mantener fácilmente por sí

misma, por ejemplo, la tecnología de la información. La subcontratación también puede posibilitar que una empresa concentre sus recursos en las competencias esenciales que son importantes para la ventaja competitiva, por ejemplo, diseño de productos, operaciones, mercadotecnia. Pero estas actividades esenciales varían dependiendo de la organización. Los autores creen que las competencias esenciales deben identificarse cuidadosamente dentro de cada organización y que, una vez localizadas, deben ser realizadas internamente y no subcontratarse.

Proveedores múltiples vs. único proveedor

Las múltiples fuentes de suministro tienen ventajas. La competencia puede resultar en mejor calidad, menores costos, mejor servicio y mínima interrupción de suministro por huelgas u otras catástrofes.

Una única fuente de suministro también tiene ventajas. El tamaño del contrato dado a una única fuente será mayor que el de múltiples fuentes, y el proveedor dará más importancia al contrato. Con una única fuente, las comunicaciones se simplifican y hay más tiempo disponible para trabajar de cerca con el proveedor. Los ejemplos más dramáticos de fuentes únicas son las empresas de múltiples divisiones en las cuales algunas divisiones son proveedores de otras.

Ha surgido una tendencia clara. Las organizaciones están reduciendo significativamente el número de múltiples proveedores. Desde 1980, aproximadamente, se han hecho comunes las reducciones de 50 a 70 por ciento en la base de proveedores. Esta tendencia *no* significa necesariamente que los negocios estén acudiendo a fuentes únicas para todas las compras; pero *sí* significa que hay una única fuente para algunas compras y menos proveedores múltiples para otras. Trabajar con un número más pequeño de proveedores ayuda a lograr asociaciones útiles al proporcionar el tiempo y las habilidades necesarias para facilitar la cooperación en profundidad. Las formas de cooperación se analizarán más tarde en este capítulo.

Tanto si se trata de una única fuente como de múltiples proveedores, la selección debe basarse en la reputación del proveedor, en las pruebas de calificación de sus diseños, en la encuesta de sus instalaciones de fabricación, y en la información de bancos de datos y de otras fuentes sobre su calidad.

12.5

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL PROVEEDOR

Evaluar la capacidad de calidad del proveedor implica una de las siguientes acciones o ambas:

1. Calificar el diseño del proveedor mediante la evaluación de las muestras de los productos.
2. Calificar la capacidad del proveedor para cumplir los requerimientos de calidad en lotes de producción, es decir, el sistema de calidad del proveedor.

Calificar el diseño del proveedor

En algunos casos, se pide al proveedor que cree un nuevo diseño que cumpla las funciones deseadas por el comprador. En estos casos, el proveedor hace muestras basadas en el diseño propuesto.

(Dichas muestras a menudo se hacen en un taller de modelos de ingeniería, porque todavía no se ha creado un proceso de manufactura para el nuevo diseño.) Las muestras las prueba el comprador o el proveedor (la “prueba de calificación”), que luego envía los resultados al comprador. Tales resultados a menudo son rechazados por dos razones comunes: (1) los resultados de las pruebas muestran que el diseño no proporciona las funciones deseadas del producto o (2) el procedimiento de la prueba no es adecuado para evaluar el desempeño del producto. Dichos rechazos (y los consiguientes retrasos en los envíos) pueden prevenirse al comenzar una definición rigurosa de los requerimientos del producto y al requerir una aprobación del procedimiento de prueba antes del comienzo de ésta.

Los resultados de las pruebas de calificación muestran si el proveedor ha creado un diseño que cumple los requerimientos de desempeño; dichos resultados *no* muestran si el proveedor es capaz de fabricar el artículo bajo condiciones de producción.

Se puede requerir a un proveedor que envíe un modo de fallas, efectos y análisis críticos como evidencia de análisis para evitar las fallas de productos o procesos. Cada vez más, este requerimiento es parte del enfoque de six sigma para la calidad durante el diseño.

Calificar el proceso de manufactura del proveedor

Puede evaluarse la capacidad de fabricación del proveedor mediante la revisión de datos anteriores en productos similares, la realización de análisis de capacidad de procesos o la evaluación del sistema de calidad del proveedor mediante una encuesta de calidad.

Los datos que muestran el desempeño pasado del proveedor en productos iguales o similares pueden estar disponibles dentro de la organización del comprador local, en otras divisiones de la misma corporación, y en bancos de datos del gobierno o de la industria.

Con el enfoque del análisis de capacidad de procesos, los datos sobre las características clave de los productos se extraen del proceso y se evalúan usando índices estadísticos para la capacidad del proceso (véase el capítulo 20). Toda la evaluación ocurre antes de que el proveedor sea autorizado a proceder con la producción total. Generalmente, el análisis de la capacidad de procesos aplicado al de un proveedor es reservado para las características significativas de los productos, artículos relacionados con la seguridad o productos que requieren conformidad con las regulaciones gubernamentales.

El tercer enfoque, una encuesta de calidad, se explica a continuación.

Cuando se pueden usar los tres enfoques, la información recopilada puede proporcionar una sensata predicción de la capacidad del proveedor.

Encuesta de calidad del proveedor (evaluación de calidad del proveedor)

Una encuesta de calidad del proveedor es una evaluación de su capacidad del sistema de calidad para cumplir con los requerimientos los lotes de producción, es decir, para prevenir, identificar y retirar cualquier producto que no se apegue a tales requerimientos. Los resultados de la encuesta se usan en el proceso de selección del proveedor o, si el proveedor ya ha sido elegido, la encuesta alerta al comprador de las áreas donde aquél puede necesitar ayuda para cumplir los requerimientos. La encuesta puede variar desde un cuestionario sencillo enviado por correo al proveedor hasta una visita a sus instalaciones.

El cuestionario plantea preguntas explícitas como éstas, enviadas a los proveedores de un fabricante de dispositivos médicos:

- ¿Ha recibido su empresa los requerimientos de calidad sobre el producto y acordado que puede cumplirlos todos en su totalidad?
- ¿Están documentados los resultados finales de su inspección?
- ¿Está usted de acuerdo en avisar de antemano al comprador de cualquier cambio en el diseño de su producto?
- ¿Qué prendas de protección llevan sus empleados para reducir la contaminación de los productos?
- Describa el sistema de filtración de aire en sus áreas de fabricación.

La encuesta de calidad más formal consiste en una visita a las instalaciones del proveedor por un equipo de observadores provenientes de departamentos como calidad, ingeniería, fabricación y compras. Una visita así puede ser parte de una encuesta más amplia al proveedor que cubra la capacidad financiera, gerencial y tecnológica. Dependiendo del producto implicado, de la siguiente lista se pueden elegir entre las actividades incluidas en la parte de calidad de la encuesta:

- *Administración*: filosofía, políticas de calidad, estructura de la organización, adoctrinamiento, compromiso con la calidad.
- *Diseño*: organización, sistemas en uso, calibre de las especificaciones, orientación a las técnicas modernas, atención a la confiabilidad, control de ingeniería del cambio, laboratorios de desarrollo.
- *Fabricación*: instalaciones físicas, mantenimiento, procesos especiales, capacidad de procesos y de producción, calibre de planeación, identificación y rastreo de lotes.
- *Compras*: especificaciones, relaciones con el proveedor, procedimientos.
- *Calidad*: estructura organizacional, disponibilidad de ingenieros de calidad y de confiabilidad, planeación de calidad (materiales, en proceso, bienes terminados, empaque, almacenamiento, envío, uso, servicio de campo), revisión de la adherencia al plan.
- *Inspección y prueba*: laboratorios, pruebas especiales, instrumentos, control de medición.
- *Coordinación de calidad*: organización para la coordinación, análisis de pedidos, control sobre los subcontratistas, análisis de costos de calidad, circuitos de acción correctiva, disposición de productos no conformes.
- *Sistemas de datos*: instalaciones, procedimientos, informes de uso efectivo.
- *Personal*: adoctrinamiento, motivar a la capacitación.
- *Resultados de calidad*: desempeño logrado, utilización propia del producto, clientes y subcontratistas prestigiosos.

Después de la encuesta, el equipo informa de sus descubrimientos. Éstos consisten en: (1) algunos hallazgos objetivos como las instalaciones del proveedor (o la falta de las mismas), (2) juicios subjetivos de la efectividad de las operaciones del proveedor, (3) un mayor juicio sobre el grado de ayuda que necesite el proveedor y (4) una predicción altamente subjetiva de si el proveedor entregará un buen producto si consigue un contrato.

La encuesta de calidad es una técnica para evaluar la capacidad del proveedor para cumplir los requerimientos de calidad en los lotes de producción. La evaluación de diversas actividades de calidad puede cuantificarse por un sistema de calificación.

En la tabla 12.4 se ilustra un sistema de calificación que incluye grados de importancia para las actividades y que es usado por un fabricante de ensamblajes electrónicos. En este caso, los grados

TABLA 12.4
Calificación de una encuesta de calidad de un proveedor

Actividad	Inspección que recibe			Fabricación			Inspección final		
	<i>C</i>	<i>G</i>	<i>C</i> × <i>G</i>	<i>C</i>	<i>G</i>	<i>C</i> × <i>G</i>	<i>C</i>	<i>G</i>	<i>C</i> × <i>G</i>
Administración de la calidad	8	3	24	8	3	24	8	3	24
Planeación de la calidad	8	4	32	8	4	32	10	4	40
Equipo de inspección	10	3	30	10	3	30	10	3	30
Calibración	0	3	0	10	3	30	0	3	0
Control de dibujos	0	3	0	10	2	20	10	2	20
Acción correctiva	10	3	30	8	3	24	8	3	24
Rechazos por manipulación	10	2	20	8	2	16	10	3	30
Almacenamiento y envío	10	1	10	10	1	10	10	1	10
Ambiente	8	1	8	8	1	8	8	1	8
Experiencia personal	10	2	<u>20</u>	10	3	<u>30</u>	10	2	<u>20</u>
Total del área			174			224			206

Nota: *C*, calificación; *G*, grado.

Interpretación de totales de áreas:

Totalmente aprobada: Cada uno de los tres totales de las áreas es 250.

Aprobada: Ninguno de los tres totales de las áreas es menor a 250.

Aprobada con condiciones: Ningún total es menor de 180.

No aprobada: Uno o más de los totales de las áreas es menor de 180.

de importancia (*G*) varían de 1 a 4 y deben totalizar 25 para cada una de las tres áreas encuestadas. Los grados muestran la importancia relativa de las diversas actividades en el índice global. Las calificaciones reales (*C*) de las actividades observadas se asignan de la siguiente manera:

10: La actividad específica es satisfactoria en todos los aspectos (o no aplica).

8: La actividad cumple los requerimientos mínimos pero pueden hacerse mejoras.

0: La actividad no es satisfactoria.

Las encuestas de calidad del proveedor tienen ventajas y limitaciones. En su parte positiva, dichas encuestas pueden identificar importantes debilidades, como una falta de equipos de pruebas especiales o una carencia de programas esenciales de capacitación. Aún más, la encuesta desarrolla líneas de comunicación y puede estimular la acción en la calidad por la alta dirección del proveedor. En su lado negativo, las encuestas que enfatizan la organización, los procedimientos y la documentación del proveedor, sólo han tenido un éxito limitado a la hora de predecir el desempeño futuro del producto.

Los proveedores de algunas industrias se han visto agobiados con encuestas de calidad de muchos compradores. Estas encuestas repetidas (llamadas “evaluaciones múltiples”) consumen el tiempo de los proveedores. En otro enfoque, se crea una especificación estándar de los elementos de un sistema de calidad (por ejemplo, las series ISO 9000) y se capacita a los evaluadores para usar la especificación con el fin de evaluar la capacidad del proveedor. Se publica una lista de proveedores que hayan pasado la evaluación, y se anima a otros compradores a que usen estos resultados en lugar de hacer su propia evaluación de un proveedor. Los evaluadores son independientes de la organización del proveedor y de la del comprador, de ahí el término *evaluación de terceros*. En algunos países, una organización nacional de estándares desempeña este papel.

Bossert (1998) describe cómo la evaluación del proveedor puede comenzar con una ISO 9000 y luego complementarse con una encuesta de calidad que incluya una visita al proveedor. Esta última cubre la revisión del contrato y de las especificaciones, la auditoría de procesos, el análisis de riesgos de procesos (usando un modo de fallas y análisis de efectos) y técnicas estadísticas (incluyendo el proceso de medición).

Entramos en la tercera fase de las relaciones del proveedor: la administración de la cadena de suministro mediante la planeación, el control y la mejora de la calidad.

12.6 PLANEACIÓN DE CALIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Donovan y Maresca (en *JQH5*) sugieren los siguientes pasos para un proceso de compra que implica a la organización compradora, los proveedores y los usuarios finales. Este enfoque a veces se llama “proceso de abastecimiento”.

1. Documentar la actividad histórica, actual y futura de adquisiciones de la organización.
2. Identificar un artículo de la actividad de adquisición que represente un gasto alto y que sea muy crítico para el negocio.
3. Para este artículo, montar un equipo interdisciplinario.
4. Determinar el abastecimiento de las necesidades del cliente mediante recopilación de datos, encuestas y otras actividades.
5. Analizar la estructura, capacidades y tendencias de la industria del proveedor.
6. Analizar los componentes del costo total de propiedad del artículo.
7. Traducir las necesidades de los clientes a un proceso de abastecimiento que los satisfaga y proporcione la oportunidad de administrar y optimizar el costo total de propiedad.
8. Obtener la aprobación de la administración para transferir la estrategia de abastecimiento a la operación. Implementarla. Para su elaboración, véase *JQH5*, pp. 21.18-21.20.

Al hacer la planeación detallada de calidad con los proveedores, surgen tres enfoques:

- *Inspección.* El enfoque está en varias formas de inspección de productos.
- *Prevención.* La premisa radica en que la calidad debe ser desarrollada por el proveedor con la ayuda del comprador. Pero todavía hay una relación de distancia entre ambos.
- *Asociación.* A los proveedores se les ofrece la seguridad financiera de una relación de largo plazo, a cambio de su compromiso con la calidad, el cual incluye una fuerte relación de trabajo en equipo con el comprador.

La asociación (que implica no sólo calidad, sino también otros asuntos de negocios) es claramente la tendencia del futuro. Las acciones del trabajo en equipo varían mucho, por ejemplo, capacitar al personal de un proveedor en técnicas de calidad, incluir a los proveedores en una junta de revisión del diseño para obtener ideas de cómo sus partes pueden usarse mejor, compartir proyecciones confidenciales de ventas con los proveedores para ayudar a sus programas de producción. Dichas asociaciones a menudo llevan a la formación de consejos de calidad de proveedores, cuya ayuda ofrece nuevos enfoques para los beneficios del comprador y los proveedores. A continuación se analizan diversas oportunidades para trabajar en equipo. Pero tal trabajo depende de una comunicación verdaderamente abierta entre compradores y proveedores.

Dicha cooperación puede lograrse mejor al establecer múltiples canales de comunicación. Los diseñadores deben comunicarse directamente con los diseñadores, los especialistas de calidad con los especialistas de calidad, etc. Estos canales múltiples son una desviación drástica del canal único, el cual es el método de uso común para la compra de productos tradicionales. En el enfoque del canal único, un especialista de la organización del comprador debe trabajar mediante el agente de compra, quien a su vez habla con la persona de ventas de la organización del proveedor para obtener información. Por supuesto, el concepto de canales múltiples parece sensato, pero ¿no sería útil determinar si tales canales dan mejores resultados en calidad? Carter y Miller (1989) hicieron justo eso.

EJEMPLO 12.3. En un innovador estudio de investigación, se compararon niveles de calidad para dos estructuras de comunicación: serial (canal único) y paralela (canal múltiple). En un fabricante de sellos mecánicos, una sección de una planta seguía el concepto de comunicación serial, mientras que una segunda área usaba la comunicación paralela. Durante un periodo de 19 meses, la sección que usaba la comunicación paralela mejoró el porcentaje promedio de artículos rechazados de 30.3 a 15.0 por ciento, una diferencia estadísticamente significativa; la sección con comunicación serial no tuvo esa mejora; de hecho, su porcentaje de rechazos aumentó ligeramente.

A continuación se tratará cómo se puede lograr la sociedad mediante la planeación económica y tecnológica conjuntas y la cooperación durante la ejecución del contrato.

Planeación económica conjunta

Los aspectos económicos de la planeación conjunta de calidad se concentran en dos enfoques importantes:

- *Valor en lugar de conformidad con la especificación.* La técnica usada es analizar el valor de lo que se está comprando e intentar efectuar una mejora. El enfoque organizado es conocido como ingeniería de valor (véase la sección 11.9, “Costo y desempeño del producto”). Aplicada a las relaciones de calidad con el proveedor, la ingeniería de valor busca los costos excesivos debidos a: (1) una sobreespecificación del uso para el cual será ocupado el producto, por ejemplo, pedir un producto especial cuando funcionaría uno estándar; (2) un énfasis en el precio original más que en el costo de uso sobre la vida del producto, y (3) un énfasis en la conformidad con la especificación y no en la aptitud para el uso. Se anima a los proveedores a que hagan recomendaciones sobre el diseño u otros requerimientos que mejorarán o mantendrán la calidad a un costo inferior.
- *Costo total de la propiedad.* El comprador debe añadir un conjunto completo de costos relacionados con la calidad para el precio de compra: inspección entrante, revisión de los materiales, retrasos de la producción, tiempo de indisponibilidad, inventarios extra, etc. Sin embargo, el proveedor también tiene un conjunto de costos que está intentando optimizar. El comprador debe reunir los datos necesarios para entender los costos de ciclo de vida o el costo de usar y luego presionar por un resultado que los optimizará.

EJEMPLO 12.4. Un fabricante de equipo pesado compró 11 000 piezas fundidas al año a diferentes proveedores. Se decidió calcular el costo total de las piezas fundidas compradas como el precio original de compra, más los costos de inspección entrantes, más los costos de los rechazos detectados más tarde durante el ensamblaje. El precio unitario de compra por contrato dado a la cotización más baja fue \$19.

Los costos de inspección y de rechazo contabilizaron \$2.11 adicionales. La variación entre los precios cotizados fue de \$2. Por consiguiente, la cotización más baja no siempre resulta en el mínimo costo total.

Planeación tecnológica conjunta

Los elementos estándar de dicha planeación incluyen:

1. Acuerdo sobre el significado de los requerimientos de desempeño en las especificaciones.
2. Cuantificación de los requerimientos de calidad, confiabilidad y capacidad de mantenimiento.

EJEMPLO 12.5. Un proveedor recibió un contrato para proporcionar un sistema de aire acondicionado con un tiempo medio entre fallas de al menos 2 000 horas. Como parte de una planeación conjunta, se requería que el proveedor entregara un detallado programa de confiabilidad a principios de la fase de diseño. Se presentó el programa escrito, que incluía una cláusula para imponer el mismo requerimiento de 2 000 horas en cada proveedor de las partes para el sistema. Esto reveló la completa falta de entendimiento que tenía el proveedor sobre la regla de la multiplicación (véase la sección 19.4, “Relación entre parte y confiabilidad del sistema”).

3. Definición de las tareas de confiabilidad y capacidad de mantenimiento que el proveedor tiene que llevar a cabo.
4. Preparación de un plan de control para el proceso de manufactura. Se puede pedir al proveedor que presente un plan que resuma las actividades específicas que se llevarán a cabo durante la fabricación del producto. Por lo general, el plan debe incluir técnicas estadísticas de control de procesos para prevenir defectos mediante la detección de problemas de manera temprana.
5. Definición de las tareas especiales requeridas del proveedor. Éstas pueden incluir actividades para asegurar que se cumplan las buenas prácticas de manufactura, que se preparan análisis especiales para artículos críticos, etcétera.
6. Clasificación de la seriedad de los defectos para ayudar al proveedor a entender dónde concentrar los esfuerzos.
7. Establecimiento de estándares sensoriales para calidades que requieren el uso de las personas como un instrumento.

EJEMPLO 12.6. El gobierno federal se enfrentaba con el problema de definir los límites de color de un uniforme militar. Finalmente decidió preparar pruebas físicas de los colores más claros y más oscuros aceptables. Dichos estándares se enviaron luego con la cláusula de que los estándares deberían ser reemplazados periódicamente debido a que el color se destiñe.

8. Estandarización de métodos y condiciones de prueba entre proveedor y comprador para asegurar su compatibilidad.

EJEMPLO 12.7. Un fabricante de alfombras se quejaba continuamente con un proveedor de estambre acerca del peso de este hilo. El proveedor visitó al cliente para verificar los métodos de prueba, que resultaron ser parecidos. A continuación, un laboratorio imparcial verificó las pruebas en la fábrica de alfombras. Finalmente, se resolvió el misterio. El proveedor estaba hilando (y midiendo) el estambre en condiciones totalmente secas, pero el fabricante de alfombras lo hacía en condiciones estándar. Durante este periodo, se gastaron \$62 000 más por estambre que si se hubiera comprado a peso estándar.

9. Establecimiento de planes de muestra y de otros criterios relativos a la inspección y la actividad de prueba. Desde el punto de vista del proveedor, el plan debería aceptar lotes que tengan el promedio usual del proceso. Para el comprador, el factor crítico es la cantidad de daño causado

por un defecto que pasa el análisis detallado del muestreo. Equilibrar el costo de clasificar frente al de muestreo puede ser una aportación útil al momento de diseñar un plan de muestreo (véase el capítulo 15). Además de los criterios de muestra, el error en la medición también puede ser un problema (véase la sección 15.8, “Errores de medición”).

10. Establecimiento de niveles de calidad. En el pasado, los proveedores a menudo recibían “niveles aceptables de calidad” (AQL, por sus siglas en inglés). El valor AQL era sólo un punto sobre la curva de “características de operación” que describía los riesgos de los planes de muestreo. Un valor típico AQL podría ser 2.0 por ciento. Muchos proveedores interpretaron esto para suponer que el producto que incluyera 2 por ciento de defectos era aceptable. Es mejor dejar claro al proveedor en el contrato que se espera que *todo* el producto que se presenta cumpla las especificaciones, y que ningún producto no conforme podrá ser reenviado para reemplazo. En muchas industrias, la unidad de medición es defectos por millón (DPM, por sus siglas en inglés).
11. Establecimiento de un sistema de identificación y rastreo de lotes. Este concepto siempre ha estado presente en algún grado, por ejemplo, números térmicos del acero o números de lote de productos farmacéuticos. Más recientemente, con la atención intensificada en la confiabilidad de los productos, este procedimiento se necesita mucho más para simplificar la ubicación del problema, reducir el volumen de los retiros del mercado de un producto y fijar la responsabilidad. Estos sistemas de rastreo, aunque exijan algún esfuerzo extra para mantener el orden de fabricación e identificar el producto, posibilitan una mayor precisión en la muestra.
12. Establecimiento de un sistema de respuesta oportuno ante las señales de alarma que resulten de los defectos. Bajo muchos contratos, el comprador y proveedor están unidos en un horario común para la terminación del producto final. Generalmente, un departamento separado (por ejemplo, administración de materiales) domina los aspectos principales del programa. Sin embargo, la alta dirección cuida de la gente asociada con la función de calidad para fijar las señales de alarma que detecten fallas de calidad y actuar positivamente sobre estas señales para evitar el deterioro, ya sea en calidad, costo o entrega.

Dicha intensidad de planeación tecnológica conjunta no tiene parecido con el viejo enfoque de enviar a un proveedor un anteproyecto con un diseño y un programa fijos.

12.7

CONTROL DE CALIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Donovan y Maresca (*JQH5*, sección 21) sugieren estos pasos para el control exitoso de los proveedores:

1. Crear un equipo interdisciplinario.
2. Determinar la métrica crítica de desempeño.
3. Determinar los estándares mínimos de desempeño.
4. Reducir la base de proveedores a aquéllos capaces de cumplir los requerimientos mínimos de desempeño.
5. Evaluar el desempeño de los proveedores:
 - a) Evaluación de los sistemas de calidad de los proveedores.
 - b) Administración de negocios de los proveedores.
 - c) Aptitud para uso de los productos de los proveedores.

Para su elaboración, véase *JQH5*, pp. 21.20-21.23.

Las actividades detalladas de control de calidad se concentran en la cooperación durante la ejecución del contrato, la certificación y clasificación del proveedor y la medición de calidad para las relaciones con los proveedores. Estas actividades enfatizan una retroalimentación continua para estos últimos.

Cooperación durante la ejecución del contrato

Esta cooperación se concentra por lo general en las siguientes actividades.

Evaluación de las muestras iniciales del producto

Bajo muchas circunstancias, el proveedor debe presentar resultados de las pruebas de una pequeña muestra inicial sacada de los instrumentos de producción y una muestra del primer envío de producción antes de que se haga todo el envío. La evaluación posterior puede lograrse al tener una visita de un representante del comprador a la planta del proveedor y observar la inspección de una muestra aleatoria seleccionada del primer lote de producción. También puede hacerse una revisión de la capacidad del proceso de los datos del tipo de control de procesos de ese lote.

Información y cambios del diseño

La iniciativa de los cambios del diseño la pueden tomar el comprador o el proveedor. De cualquier forma, el proveedor debe ser tratado como un departamento interno cuando se desarrollen los procedimientos para procesar los cambios del diseño. Esta necesidad es especialmente aguda para los productos modernos, en los cuales los cambios del diseño pueden afectar los productos, procesos, herramientas, instrumentos, material almacenado, procedimientos, etcétera. Algunos de estos efectos son obvios, pero otros son sutiles, requiriendo un análisis completo para identificarlos. El fracaso al proporcionar la información adecuada sobre el cambio en el diseño a los proveedores ha sido un obstáculo claro para las buenas relaciones con ellos.

Vigilancia de la calidad del proveedor

La vigilancia de la calidad es el monitoreo y verificación continuas del estatus de los procedimientos, métodos, condiciones, procesos, productos, servicios y análisis de los registros en relación con las referencias establecidas para asegurar que se cumplan los requerimientos especificados para la calidad (ISO 8402). La vigilancia por parte del comprador puede tomar diversas formas: inspección del producto, reuniones con los proveedores para revisar el estado de la calidad, revisión de los elementos del programa de calidad del proveedor, monitoreo de las prácticas de fabricación del proveedor, revisión de los datos estadísticos del control de procesos y testificación de las operaciones o pruebas específicas. Los contratos importantes o críticos requieren presencia en el sitio o repetición de las visitas.

Evaluación del producto entregado

La evaluación del producto de un proveedor puede lograrse al usar uno de los métodos enlistados en la tabla 12.5.

En décadas pasadas, la inspección entrante a menudo consumía una gran cantidad de tiempo y esfuerzo. Con la llegada de productos modernos complejos, muchas empresas han encontrado que no tienen las habilidades o el equipo necesarios para las inspecciones. Esta situación les ha obligado a depender más del sistema de calidad del proveedor o de los datos de inspección y pruebas, como se analiza más tarde en este capítulo.

TABLA 12.5
Métodos de evaluación del producto del proveedor

Método	Enfoque	Aplicación
Inspección al 100%	Cada artículo de un lote es evaluado para todas o algunas de las características de la especificación	Artículos críticos donde el costo de la inspección se justifica por el costo del riesgo de los defectos; también usada para establecer el nivel de calidad de los nuevos proveedores
Inspección de muestra	Se evalúa una muestra de cada lote por un plan de muestreo predefinido y se toma la decisión de aceptar o rechazar el lote	Artículos importantes donde el proveedor ha establecido un registro adecuado de calidad por la historia anterior de los lotes presentados
Inspección de identificación	Se examina el producto para asegurar que el proveedor envió el correcto; no se hace inspección de las características	Artículos de menor importancia donde la confiabilidad del laboratorio del proveedor ha sido establecida además del nivel de calidad del producto
Sin inspección	Se envía el lote directamente a un cuarto de almacenaje o departamento de procesamiento	Para la compra de materiales o bienes estándar no usados en el producto, por ejemplo, artículos de oficina
Uso de los datos del proveedor (certificación del proveedor)	Se usan los datos de la inspección del proveedor en lugar de la inspección entrante	Artículos para los cuales un proveedor ha establecido un sólido registro de calidad

La elección del método de evaluación depende de una variedad de factores:

- Historia anterior de calidad de la parte y del proveedor.
- Crítica de la parte en el desempeño global del sistema.
- Crítica de las operaciones posteriores de fabricación.
- Garantía o historia de uso.
- Información de la capacidad del proceso del proveedor.
- La naturaleza del proceso de manufactura. Por ejemplo, una operación de prensa depende principalmente de la adecuación del montaje. La información de las primeras y las últimas pocas piezas en una corrida de producción es generalmente suficiente para sacar conclusiones sobre toda la corrida.
- Homogeneidad del producto. Por ejemplo, los productos fluidos son homogéneos y, por consiguiente, la necesidad de grandes tamaños de muestra es menor.
- Disponibilidad de las habilidades de inspección y el equipo requeridos.

Una herramienta útil para aprender sobre el proceso de un proveedor y para comparar productos de manufactura de diversos proveedores para la misma especificación es el histograma (véase la sección 17.10, “El análisis de la curva normal y el histograma”). Se selecciona una muestra aleatoria de un lote y se hacen las mediciones sobre las características de calidad seleccionadas. Los datos se grafican como histogramas de frecuencia. El análisis consiste en comparar los histogramas con los límites de las especificaciones.

En la figura 12.2 se muestra una aplicación de histogramas para evaluar la capacidad de endurecimiento de un grado particular de acero de tres proveedores. La especificación fue una lectura

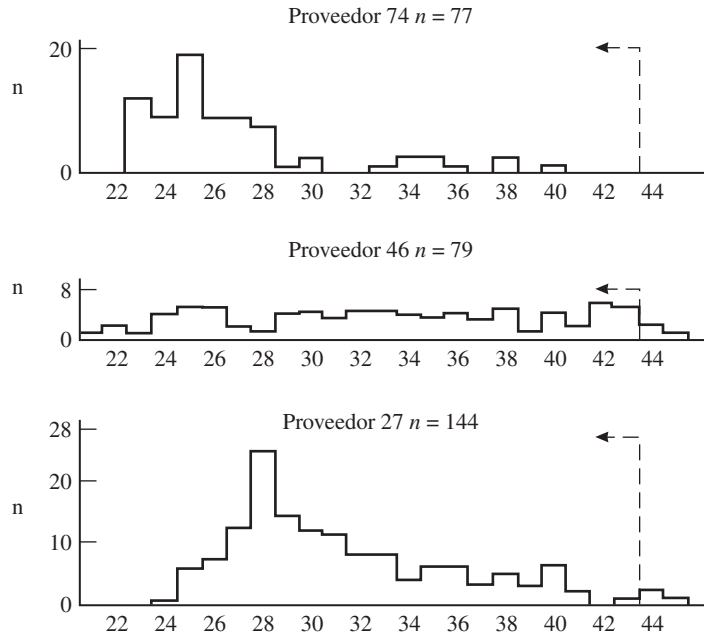


FIGURA 12.2
Histogramas de la capacidad de endurecimiento.

máxima de 43 Rockwell C, medida en la posición J8 de Jominy. Los histogramas también se prepararon para el contenido de carbón, manganeso, níquel y cromo. El análisis reveló:

- El proveedor 46 tuvo un proceso sin ninguna tendencia central sólida. El histograma de níquel para este proveedor fue también de forma rectangular, indicando una falta de control del contenido de níquel y dando como resultado diferentes temperaturas de acero con valores Rockwell excesivamente altos.
- El proveedor 27 presentó diferentes temperaturas por encima del máximo, aunque el proceso tuvo un valor central de 28 aproximadamente. Los histogramas para el manganeso, níquel y cromo mostraron algunos valores por encima del histograma principal y separados de él.
- El proveedor 74 mostró mucha menos variabilidad que los otros. El análisis de otros histogramas para este proveedor sugirió que casi la mitad de las temperaturas originales del acero habían sido eliminadas y usadas para otras aplicaciones.

Observe cómo estos análisis se pueden hacer sin visitar las plantas del proveedor, es decir, “el producto habla del proceso”. Los histogramas tienen limitaciones (véase el capítulo 17), pero son un instrumento efectivo para la inspección entrante.

Acción sobre un producto no conforme

Durante el desempeño del contrato, surgirán ejemplos de no conformidad. Éstos pueden ser del producto en sí mismo, de los requerimientos del proceso o de los del procedimiento. El esfuerzo prioritario debe dirigirse a los casos donde un producto no es apto para su uso.

Las comunicaciones con el proveedor sobre la no conformidad deben incluir una descripción precisa de los síntomas de los defectos. La mejor descripción es en forma de muestras, pero si esto no es posible, el proveedor debe tener la oportunidad de visitar el sitio del problema. Hay numerosas preguntas relacionadas: ¿Qué disposición se va a tomar con los artículos defectuosos? ¿Quién los clasificará o reparará? ¿Quién pagará los costos? ¿Cuáles fueron las causas? ¿Qué pasos se necesitan dar para evitar una reaparición? Estas preguntas están fuera del alcance de la pura detección de defectos; requieren una discusión entre departamentos dentro de cada empresa y mayores análisis entre el comprador y el proveedor.

Certificación del proveedor

Un proveedor “certificado” es uno cuyo registro de los datos de calidad establece que no es necesario desempeñar una inspección de rutina y probar cada lote o tanda recibida. Uno “preferido” produce mejor calidad del mínimo. Un proveedor “aprobado” cumple los requerimientos mínimos. Algunas organizaciones usan diferentes términos e incluso distintas clasificaciones, pero generalmente los proveedores certificados son los ideales. Por desgracia, éstos son la minoría. Spooner y Collins (1995) describen cómo se desarrollaron los criterios en Walker Manufacturing para definir estas categorías, por ejemplo, un proveedor certificado se ha desempeñado “en un nivel de conformidad global del 90 por ciento y cumplido los requerimientos individuales de clasificación de componentes durante cuatro trimestres consecutivos en los últimos dos años”.

La Sociedad Estadounidense para la Calidad (ASQ, por sus siglas en inglés) recomienda ocho criterios para la certificación. Éstos se resumen en la tabla 12.6.

La certificación del proveedor proporciona un modelo para los bajos niveles de DPM necesarios para la fabricación justo a tiempo, reduce drásticamente los costos de inspección del comprador e identifica a los proveedores para formar asociaciones. Los proveedores certificados tienen preferencia en la cotización competitiva y logran el reconocimiento de la industria por su estatus de certificación.

Schneider *et al.* (1995) explican cómo los índices de capacidad de procesos se usan como parte del proceso de certificación en Dow Chemical. El concepto de certificación del proveedor aplica

TABLA 12.6
Criterios para la certificación de proveedores

Criterios	Ejemplos
Ningún rechazo en el lote relacionado con productos durante, al menos, un año	Una alternativa está relacionada con el volumen, por ejemplo, ningún rechazo en 20 lotes consecutivos
Ningún rechazo no relacionado con los productos durante, al menos, seis meses	La marca en un contenedor o la oportunidad de un documento de análisis
Ningún incidente negativo relacionado con la producción durante al menos seis meses	Facilidad con la cual el producto del proveedor puede ser usado en el proceso o producto del comprador
Pasó una evaluación reciente del sistema de calidad en sitio	Una encuesta del proveedor sobre criterios definidos
Ha coincidido totalmente con las especificaciones	Sin frases ambiguas del tipo “olor característico” o “libre de contaminación”
Proceso y sistema de calidad totalmente documentados	El sistema debe incluir planes para la mejora continua.
Copias oportunas de datos de inspección y prueba	Disponibilidad de datos en tiempo real
El proceso está estable y en control	Estudios de control estadístico y capacidad de procesos

Fuente: Adaptado de Maass *et al.* (1990).

igualmente al sector de servicios. Brown (1998) describe el enfoque usado por una empresa de telecomunicaciones para proveedores de arrendamiento, mantenimiento, seguridad de edificios y servicios de alimentos.

Calificación de la calidad del proveedor

La calificación de la calidad del proveedor ofrece un resumen cuantitativo de ésta en un periodo. Este tipo de calificación es útil al momento de decidir cómo asignar las compras entre los proveedores. La calificación abastece tanto al proveedor como al comprador con información objetiva común, que se convierte en una aportación clave para la identificación y rastreo de los esfuerzos de mejora, y para asignar las compras futuras entre los proveedores.

Es difícil crear una calificación numérica única de la calidad porque hay diversas unidades de medida, tales como:

- La calidad de múltiples lotes expresada como lotes rechazados *versus* lotes inspeccionados.
- La calidad de múltiples partes expresada como porcentaje de inconformidad.
- La calidad de características específicas expresadas en multitud de unidades naturales, por ejemplo, la resistencia en ohmios, el porcentaje de ingrediente activo, el tiempo promedio entre fallas.
- Las consecuencias económicas de la mala calidad expresadas en dólares.

Debido a que estas unidades de medida varían en importancia entre las empresas, los esquemas de calificación publicados difieren considerablemente en el énfasis.

Medidas en uso

Los planes de calificación de la calidad de los proveedores se basan en una o más de las siguientes medidas:

Porcentaje de inconformidad del producto. Esta medida es la proporción de la cantidad de artículos defectuosos con respecto al número total de artículos recibidos. En una base de lote por lote, la fórmula es el número de lotes rechazados dividido entre el número de lotes recibidos; en una base de piezas individuales, la fórmula es el número de piezas individuales rechazadas dividido entre el número de piezas individuales recibidas.

Calidad general del producto. Este plan resume el desempeño del proveedor en la inspección entrante y en las fases posteriores de la aplicación del producto. Se asignan puntos en cada fase; el número máximo de puntos se obtiene cuando no se encuentran problemas. La tabla 12.7 muestra un ejemplo de AT&T. Observe que las fases son inspección de entrada, fallas de producción, respuesta del vendedor ante los problemas y las quejas de los clientes de AT&T. Cada elemento de calificación tiene más criterios detallados que se usan para asignar puntos para el elemento, por ejemplo, si el 3 por ciento de los lotes son rechazados por razones “visuales/mecánicas” en un periodo de calificación, se resta un punto de un máximo de cinco para ese elemento. Observe que la calificación general evalúa la respuesta del proveedor a los problemas, mientras que los criterios detallados incluyen tanto la puntualidad como lo adecuado de la respuesta.

Análisis económico. Este tipo de plan compara a los proveedores con respecto al costo total en dólares para compras específicas. El costo total en dólares incluye el precio cotizado más los costos de calidad por prevención, detección y corrección de defectos.

TABLA 12.7
Calificación del desempeño de calidad de AT&T

Puntos máximos	Elemento de calificación
Inspección entrante	
Partes por millón (PPM) visuales mecánicas	10
Visual/mecánica: porcentaje de rechazos de lote	5
Probar PPM	10
Probar: rechazos de lotes	5
Crédito para pase directo a almacén	—
Fallas de producción	
Quejas de tienda	20
Evaluación de calidad	10
Respuesta del vendedor	
Respuesta a los problemas	10
Respuesta de análisis de fallas	20
Quejas de los clientes de AT&T	<u>10</u>
Total	100

Fuente: Nocera *et al.* (1989).

TABLA 12.8
Informe de calificación del proveedor

Calificación global combinada	92.46
Calificación total de calidad	99.05
Calificación total de entrega	95.58
Calificación total de costos	79.22
Calificación total de respuesta	83.30
Lotes totales recibidos	18
Partes totales recibidas	398 351
Partes totales rechazadas	3 804

Fuente: Wind (1991).

Plan compuesto. El desempeño del proveedor no se limita a la calidad. Incluye la entrega frente al programa, precio y otras categorías de desempeño. Estas necesidades múltiples sugieren que la calificación del proveedor debe incluir su desempeño global en lugar de sólo el desempeño de calidad suministrado. El departamento de compras es un fuerte defensor de este principio y tiene fundamentos válidos para tal postura. La tabla 12.8 ilustra este enfoque con un ejemplo de Tecumseh Products Company. La calificación global de 92.46 se calcula al combinar las cuatro calificaciones usando pesos de 40 por ciento para calidad, 30 por ciento para entrega, 20 por ciento para costo y 10 por ciento para grado de respuesta a los problemas. Walker Manufacturing emplea categorías y pesos de 35 por ciento para calidad, 35 por ciento para entrega, 20 por ciento para precio y 10 por ciento para apoyo del proveedor (Spooner y Collins, 1995).

Algunas organizaciones usan una calificación periódica de proveedores para determinar la participación de las compras futuras dadas a cada proveedor. El sistema de calificación y su efecto en la participación de mercados se explica totalmente a todos los proveedores. El enfoque ha sido utilizado con éxito por fabricantes automotrices y de electrodomésticos para destacar la importancia de la calidad a sus proveedores.

TABLA 12.9
Ejemplos de mediciones de calidad en las relaciones con los proveedores

Temas	Unidades de medición
Calidad de los lotes enviados	Porcentaje de lotes rechazados Costo por mala calidad Porcentaje de lotes aceptados en renuncia Número de lotes rechazados clasificados como “usar como esté”
Programa de relaciones con el proveedor	Porcentaje de proveedores certificados Porcentaje de proveedores clasificados como aceptables como resultado de una encuesta de proveedores Porcentaje de los <i>procedimientos</i> de las pruebas de calificación aprobados en la primera remesa Porcentaje de los <i>resultados</i> de las pruebas de calificación aprobados en la primera remesa Porcentaje de las muestras iniciales del producto aprobadas en la primera remesa Porcentaje de envíos de la primera producción aprobados en la primera remesa Porcentaje de proveedores que presentan datos Tiempo promedio para resolver problemas
Relaciones de negocios	Número promedio de proveedores múltiples por artículo Porcentaje de compras como fuente única Porcentaje de compras a la cotización más baja Tiempo promedio para asegurar las cotizaciones Tiempo promedio para asegurar las respuestas a preguntas técnicas
Adecuación del inventario	Porcentaje de faltantes
Servicio a los proveedores	Número promedio de días para pagar la factura del proveedor Número de cuentas por pagar más allá de X días

Medición de la calidad en las relaciones con los proveedores

La administración de las actividades que tienen que ver con la calidad en las relaciones con los proveedores debe incluir cláusulas para la medición. Se insta a los lectores a que revisen los diez principios básicos de la medición de la calidad en la sección 5.2, “Medición”.

La tabla 12.9 muestra unidades de medida para varias áreas de las relaciones con los proveedores.

Klenz (2000) analiza el uso de un almacenamiento de datos para el análisis de calidad de los proveedores.

12.8

MEJORA DE LA CALIDAD EN LA CADENA DE SUMINISTRO

Donovan y Maresca (*JQH5*, sección 21) proponen una secuencia de cinco hileras de progresión para la mejora:

1. Crear un equipo conjunto entre el usuario final y el proveedor para alinear las metas, analizar el proceso de negocios de la cadena de suministro y trabajar en los problemas crónicos.
2. Enfocarse en la reducción de costos, incluyendo el costo por mala calidad.

3. Examinar el valor añadido para cada eslabón de la cadena de suministro.
4. Intercambiar ideas e información en forma rutinaria en toda la cadena.
5. Hacer trabajar a la cadena de suministro como un proceso único, con todas las partes colaborando rutinariamente en las oportunidades de mejora, con el fin de generar valor para los clientes y los proveedores.

Para su elaboración, véase *JQH5*, pp. 21.23-21.25.

El enfoque general para manejar los problemas crónicos de los proveedores sigue el método de paso a paso para la mejora que se explicó en el capítulo 3, “Mejoramiento de la calidad y reducción de costos”. Este proceso incluye los primeros pasos de establecer las pruebas que demuestren la necesidad de que el proveedor tome medidas y la aplicación del análisis de Pareto para identificar los pocos problemas vitales. La siguiente sección en el análisis de Pareto de los proveedores explica la forma de dichos análisis de los problemas de los proveedores.

La cooperación a menudo requiere que se proporcione asistencia técnica a los proveedores. Miller y Kegaris (1986) describen cómo pueden los negocios necesitar compartir información de secreto comercial, con base en una “necesidad de saber”. Con frecuencia, esto representa un avance importante en las comunicaciones.

Algunas veces la alta dirección debe ser el líder al momento de obtener la acción de los proveedores. Pueden lograrse resultados sorprendentes cuando el paso inicial en un programa de mejora es una reunión de los equipos de la alta dirección tanto del comprador como del proveedor, quienes planean juntos los pasos de acción para la mejora que se van a seguir. Tales discusiones tienen mucho más impacto que una reunión entre los dos gerentes de calidad.

EJEMPLO 12.8. Para un fabricante de electrodomésticos, el 75 por ciento de los costos de garantía se debieron a artículos de los proveedores. El presidente y su cuerpo administrativo tuvieron una reunión individualmente con su equipo contraparte de cada uno de sus diez proveedores clave. Se presentaron los datos de las garantías para establecer la “prueba de la necesidad”. Se estableció un objetivo para una reducción de un 50 por ciento en los costos de garantía en un periodo de cinco años. Cada proveedor recibió la petición de desarrollar un programa de mejora de la calidad. El comprador ofreció una sesión de capacitación de ocho horas para el presidente y los miembros del cuerpo administrativo de los proveedores clave. Se realizaron reuniones de seguimiento. Quedó establecido un sistema de premios de reconocimiento a los proveedores y se cambiaron las prácticas de compra para transferir el negocio a los mejores proveedores. El resultado: una reducción en las llamadas de servicio de 41 a 13 por cada 100 productos y un ahorro en costos por garantía de \$16 por unidad.

Análisis de Pareto de los proveedores

Los programas de mejora de los proveedores pueden fallar debido a que no se identifican ni atacan los pocos problemas vitales. En lugar de ello, los programas consisten en amplios intentos para afirmar todos los procedimientos. El análisis de Pareto (véase la sección 3.7 bajo el título “El principio de Pareto”) puede utilizarse de varias maneras para identificar el problema:

1. *Análisis de pérdidas (defectos, rechazos de lotes, etc.) por número de material o de parte.* Dicho análisis sirve a un propósito útil aplicado a los números de catálogo que involucran compras sustanciales o frecuentes.
2. *Análisis de las pérdidas por familia de producto.* Este proceso identifica las familias de los pocos productos vitales presentes en pequeñas pero numerosas compras de familias de productos comunes, por ejemplo, cierres, pinturas.

3. *Análisis de las pérdidas por procesos*, es decir, la clasificación de los defectos o lotes rechazados en términos de los procesos con los que están relacionados, por ejemplo, chapar, estampar, embobinar.
4. *Análisis por proveedor a lo largo de todo el espectro de compras*. Este proceso puede ayudar a identificar las debilidades en el enfoque gerencial del proveedor, cuando se contrasta con el enfoque tecnológico, que generalmente se correlaciona con productos y procesos. Una empresa tenía 222 proveedores en su lista activa. De ellos, 38 (o 17 por ciento) contabilizaban el 53 por ciento de los lotes rechazados y el 45 por ciento de las partes defectuosas.
5. *Análisis por costo total de las partes*. En una empresa, el 37 por ciento de los números de partes compradas contabilizaron para sólo el 5 por ciento del volumen total en dólares por compras, pero para un porcentaje mucho mayor del costo total por inspección entrante. La conclusión fue que estas “muchas partes útiles” deberían ser adquiridas de los mejores proveedores, incluso a altos precios. La alternativa de confiar en la inspección entrante sería aún más costosa.
6. *Análisis por modo de fallas*. Esta técnica se usa para descubrir defectos importantes en el sistema de administración. Por ejemplo, suponga que los estudios descubren múltiples ejemplos de que se está trabajando para el asunto equivocado de la especificación. En tales casos, el sistema usado para la revisión de las especificaciones debe ser reexaminado. Si el análisis de valor descubre múltiples ejemplos de sobreespecificación, los procedimientos de diseño para elegir los componentes deben ser reexaminados. Estos análisis por modo de fallas pueden revelar cómo está contribuyendo el comprador a sus propios problemas.

El enfoque de equipo interdisciplinario para la mejora de la calidad descrito en el capítulo 3 también aplica a la calidad del proveedor. Esto significa que deben existir equipos conjuntos cliente-proveedor y que también hay que animar a los proveedores a que establezcan una infraestructura interna (consejo de calidad, formación de equipos, identificación de proyectos, ejecución de proyectos) para tratar la calidad. Chen y Batson (1996) describen cómo Johnson & Johnson Consumer Products usa 17 pasos de este enfoque para la mejora de la calidad del proveedor. *JQH5*, sección 29, presenta la mejora de la calidad en la industria automotriz. En el sector servicios, Sun Health Alliance emplea un enfoque innovador para estimular la mejora (Nussman, 1993). Sun proporciona el financiamiento por becas para hospitales asociados y socios corporativos con el fin de apoyar los proyectos de demostración de mejora de la calidad. El proyecto incluye temas sobre la atención a los pacientes (por ejemplo, establecer caminos clínicos para diagnósticos específicos), temas no clínicos (verbigracia, reducir el tiempo de entrega de los resultados de laboratorio) y temas específicos para empleados (por ejemplo, reducir la rotación o los “piquetes de aguja” de los empleados).

Handfield *et al.* (2000) discuten los resultados de la investigación para identificar las “trampas” en el desarrollo de los proveedores. Ésta involucró 84 empresas en los campos de las telecomunicaciones, automóviles, electrónica, computadoras, servicios, químicas, y bienes de consumo no duraderos y aeroespacial. Las trampas estaban principalmente relacionadas con la identificación de proyectos clave; la definición de los detalles del acuerdo entre las organizaciones del comprador y el proveedor, y con el monitoreo del estado y modificación de las estrategias cuando era necesario.

Algunas de las trampas eran específicas para el proveedor; otras eran típicas del comprador y otras más eran específicas de la relación proveedor-comprador.

Las trampas específicas del proveedor se originaban primordialmente por su falta de recursos humanos o técnicos, así como por su ausencia de compromiso. Para evitar estos errores, las empresas tomaron estas medidas:

1. Mostrar a los proveedores en dónde están.
2. Vincular las relaciones de negocios con la mejora del desempeño.
3. Ilustrar claramente los beneficios de los proveedores.
4. Asegurar el seguimiento a través de un campeón del proveedor (un empleado del proveedor).
5. Mantener la sencillez de las mejoras iniciales.
6. Recurrir a los recursos de los compradores.
7. Ofrecer apoyo personal.
8. Construir centros de capacitación.

Las trampas específicas del comprador ocurren cuando éstos no ven los beneficios potenciales obvios de trabajar en el desarrollo de los proveedores. Para evitar esta situación, las empresas encontraron útiles estas tácticas:

1. Consolidar a menos proveedores.
2. Mantener un enfoque a largo plazo.
3. Determinar el costo total de la propiedad.
4. Establecer objetivos pequeños.
5. Hacer una prioridad del compromiso ejecutivo en la organización compradora.

Las trampas en la relación proveedor-comprador involucran una falta de confianza entre las organizaciones, mala alineación de las culturas e incentivos insuficientes para los proveedores. Las soluciones constructivas fueron:

1. Delegar un mediador de la organización compradora.
2. Incluir cláusulas para el manejo de información confidencial.
3. Expresar claramente una relación cooperativa de compras con unos objetivos bien definidos más allá del precio de compra.
4. Minimizar la participación legal.
5. Adaptarse a las culturas locales.
6. Crear una hoja de ruta que defina las responsabilidades y expectativas para ambas organizaciones.
7. Ofrecer incentivos financieros.
8. Enseñar a los proveedores cómo pueden llegar a estar “diseñados en” los productos del comprador y de esa manera tener un mayor potencial para negocios futuros.
9. Ofrecer la repetición de negocios como un incentivo.

La mejora de la calidad de los proveedores necesita que la alta dirección de todos los eslabones de la cadena de suministro proporcione un enfoque estructurado para la mejora (véase el capítulo 3). Animar y ondear la bandera no funcionará.

RESUMEN

- Ha surgido una revolución en las relaciones entre compradores y proveedores en forma de asociaciones de proveedores y de la cadena de suministro.
- Las especificaciones de calidad frecuentemente definen los requerimientos tanto para el producto como para el sistema de calidad.
- Las organizaciones han reducido significativamente el número de múltiples proveedores.
- La subcontratación tiene tanto beneficios como riesgos.
- Se deben identificar y desempeñar internamente las competencias esenciales.

- Evaluar la capacidad de calidad del proveedor implica calificar su diseño y proceso de manufactura.
- Las sociedades con los proveedores requieren planeación económica y tecnológica conjuntas, así como cooperación durante la ejecución del contrato.
- Un proveedor certificado es aquel que, después de una extensa investigación, suministra materiales de tal calidad que ya no es necesaria la prueba rutinaria de cada lote recibido.
- Las mediciones para las relaciones con los proveedores deben basarse en los datos obtenidos de los clientes; proporcionar tanto evaluación como retroalimentación, e incluir indicadores tempranos, concurrentes y de rezago del desempeño.
- Los requerimientos de calidad y confiabilidad deben establecerse en términos cuantitativos.
- Los proveedores deben entender que se espera que *todo* producto presentado cumpla con las especificaciones.
- Los resultados de las encuestas aplicadas a los proveedores pueden establecerse en términos cuantitativos.
- El análisis de histograma de los datos de los proveedores puede revelar mucha información acerca del proceso de los proveedores.
- Un análisis de Pareto de los datos del proveedor ayuda a establecer las prioridades para los esfuerzos de mejora.
- La calificación de calidad del proveedor ofrece un resumen cuantitativo de la calidad de éste en un periodo.
- La mejora de la calidad del proveedor requiere de la participación de la alta dirección en todos los eslabones de la cadena de suministro.

PROBLEMAS

- 12.1.** Visite a un agente de compras de alguna institución local para conocer su enfoque general en la selección de proveedores y el papel que desempeña la calidad del proveedor en este proceso de selección. Reporte sus hallazgos.
- 12.2.** Visite una muestra de proveedores locales (impresores, comerciantes, reparadoras de calzado, etc.) para conocer el papel que desempeña la calidad en la relación con sus clientes. Reporte sus hallazgos.
- 12.3.** Una agencia de gobierno contrató una empresa para diseñar y construir un sistema de satélites. Meses después de que el contrato fuera firmado, la empresa descubrió que el diseño no quedaría protegido contra ciertos tipos de interferencias de radares. La agencia reclamó que había descrito el desempeño deseado para los satélites. La empresa no estuvo de acuerdo (con respecto a la interferencia de los radares). Si esta necesidad hubiera sido imaginada al principio del proyecto, crear un diseño apropiado hubiera sido relativamente fácil. Los satélites se hallan en un estado avanzado de diseño y construcción, y los cambios necesarios costarían \$100 millones. Hubo más confusión. La empresa había elegido un proveedor para fabricar los satélites. Este proveedor tenía experiencia previa con tal tipo de productos, y algunas personas dijeron que el proveedor debía haber estado consciente del problema de las interferencias de los radares. Comente sobre las acciones que estas tres organizaciones deberían tomar para prevenir este tipo de situaciones en un proyecto futuro (*Business Week*, 1978).
- 12.4.** Durante la Segunda Guerra Mundial, muchos fabricantes hicieron productos que les resultaban totalmente nuevos. Por ejemplo, se solicitó a la Ford Motor Company que produjera secciones del fuselaje

para las aeronaves B-24. Para hacerlo, la Ford tuvo que trabajar estrechamente con la Consolidated Company, que era responsable de la fabricación de la aeronave completa. De esta manera la Ford era un proveedor para Consolidated. Hubo muchas fricciones entre las empresas. Lindbergh (1970, pp. 644-676) describe el trasfondo de este caso clásico:

En resumen, si los hombres de Consolidated cargaban una astilla en un hombro, los de Ford llevaban con una en cada hombro. En lugar de tomar la actitud de que habían venido a San Diego a aprender cómo construir los bombarderos de Consolidated (la empresa que los había diseñado) se comportaron como si ellos estuvieran allí sólo como un requisito para mostrar a Consolidated cómo construir mejor sus bombarderos, y cómo hacerlo en serie. El resultado inevitable fue un antagonismo profundamente enraizado que todavía existe.

El primer artículo entregado por la Ford era “no sólo tan malo como las personas de la aviación habían predicho que sería, sino mucho peor: faltaban remaches, había cubiertas mal formadas, tenían fisuras que *ya* habían comenzado, etc.”. Sin embargo, este artículo había sido aprobado tanto por la inspección de la Ford como por el inspector del Ejército ubicado en la Ford. Lindbergh concluyó:

Lo que había sucedido estaba lo suficientemente claro: bajo presión y animado por el deseo de llevar la producción en proceso en Wilow Run y un poco más debido a la falta de experiencia, tanto la inspección del Ejército como la de la Ford, aprobaron material que debía haber sido rechazado (y que fue desaprobado por los inspectores de Tulsa, más imparciales y experimentados).

Describa las acciones *específicas* que usted habría recomendado para corregir los problemas inmediatos y prevenir su reaparición en el futuro.

- 12.5. Aplique el plan compuesto de calificación de proveedores (sección 12.7) para comparar tres proveedores para uno de los siguientes: *a*) cualquier producto o servicio aceptable para el instructor; *b*) una lavadora automática; *c*) un automóvil nuevo; *d*) una podadora de césped.
- 12.6. ¿Puede pensar en una situación diferente a la inspección al 100 por ciento que resulte en el histograma mostrado en la figura 12.3?
- 12.7. ¿Puede describir que causó el trazado inusual del histograma de la figura 12.4?
- 12.8. Se le ha pedido que proponga un procedimiento específico de calificación de calidad para usarse en uno de los siguientes tipos de organización: *a*) una empresa aceptable para el instructor; *b*) un gobierno municipal grande; *c*) un fabricante de juguetes de plástico; *d*) un banco; *e*) un fabricante de whisky. Investigue en la bibliografía procedimientos específicos y elija (o invente) uno para la organización.
- 12.9. Visite una organización local y conozca cómo determina la calidad de los productos que compra. Defina los procedimientos específicos utilizados y qué uso hace de la información recopilada.
- 12.10. Esboce una aplicación potencial de varios conceptos de este capítulo. Siga las instrucciones dadas en el problema 12.11.
- 12.11. En una organización con la que esté familiarizado, identifique una actividad como candidata para la subcontratación. Analice los beneficios y las desventajas potenciales de la subcontratación para esa actividad. También examine cómo debe tratar las desventajas.

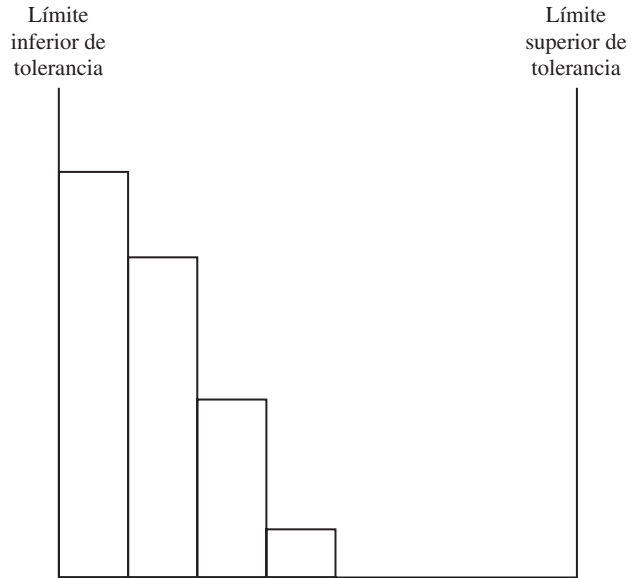


FIGURA 12.3
Ejemplo de histograma

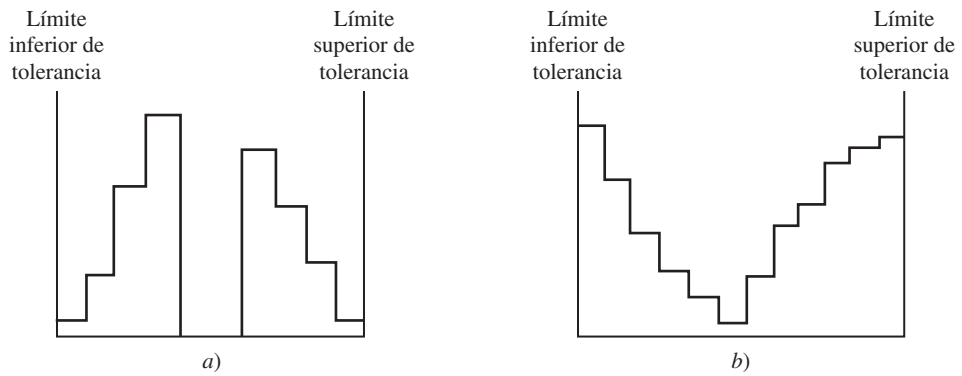


FIGURA 12.4
Ejemplos de histogramas

REFERENCIAS

Bettis, R.A., S.P. Bradley y G. Hamel (1992). "Outsourcing and Industrial Decline", *Academy of Management Executive*, vol. 6, núm. 1, pp. 7-22.
 Bossert, J.L. (1998). "Considerations for Global Supplier Quality", *Quality Progress*, enero, pp. 29-32.

- Bossert, J.L., ed. (1994). *Supplier Management Handbook*, ASQ Quality Press, Milwaukee, p. 212.
- Brown, J.O. (1998). "A Practical Approach to Service-Supplier Certification", *Quality Progress*, enero, pp. 35-39.
- Business Week* (1978). "A \$100 Million Satellite Error", 7 de agosto, p. 52.
- Carter, J.R. y J.G. Miller (1989). "The Impact of Alternative Vendor/Buyer Communication Structures on the Quality of Purchased Materials", *Decision Sciences*, otoño, pp. 759-776.
- Chen, B.A. y R.G. Batson (1996). "A Team Based Supplier Quality Improvement Process", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 537-544.
- Clott, C.B. (2004). "Perspectives on Global Outsourcing and the Changing Nature of Work", *Business and Society Review*, 109(2):153-170.
- Ericson, C. (2003). "A Global Look at e-Sourcing", *Supply Chain Management Review* 7(6):13.
- Fisher, M.L. (1997). "What Is the Right Supply Chain for Your Product?" *Harvard Business Review*, marzo-abril, pp. 105-116.
- Handfield, R.B., D.R. Krause, T.V. Scannell y R.M. Monczka (2000). "Avoid the Pitfalls in Supplier Development", *Sloan Management Review*, vol. 41, núm. 2, pp. 37-49. Con permiso del editor. Todos los derechos reservados.
- Hussey, D. y P. Jenster (2003). "Outsourcing: The Supplier Viewpoint", *Strategic Change* 12(1):7-20.
- Karmarker, U. (2004). "Will You Survive the Services Revolution?" *Harvard Business Review*, junio, pp. 101-107.
- Klenz, B.W. (2000). "Leveraging the Data Warehouse for Supplier Quality Analysis", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 519-528.
- Lee, H.L. (2004). "The Triple-A Supply Chain", *Harvard Business Review*, octubre, pp. 102-112.
- Lindbergh, C.A. (1970). *The Wartime Journals of Charles A. Lindbergh*, Harcourt Brace Jovanovich, Nueva York.
- Maass R.A., J.O. Brown y J.L. Bossert (1990). *Supplier Certification—A Continuous Improvement Strategy*, ASQ Quality Press, Milwaukee.
- Meseck, G. (2004). "Risky Business: How to Calculate the Financial Impact of Global Outsourcing", *Logistics Today*, 45(8):34.
- Miller, G.D. y R.J. Kegaris (1986). "An Alcoa-Kodak Joint Team", *Juran Report Number Six*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 29-34.
- Nocera, C.D., M.K. Foliano y R.E. Blalock (1989). "Vendor Rating and Certification", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 9A-29 a 9A-38.
- Nussman, H.B. (1993). "The Sun Health Alliance for Quality—A Unique Customer-Supplier Partnership", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 3A.1-1 a 3A.1-4.
- Peterson, Y.S. (1998). "Outsourcing: Opportunity or Burden", *Quality Progress*, junio, pp. 63-64.
- Ramachandran, K. y S. Voleti (2004). "Business Process Outsourcing (BPO): Emerging Scenario and Strategic Options for IT-Enabled Services", *Vikalpa*, 29(1):49-62.
- Schneider, H., J. Pruett y C. Lagrange (1995). "Uses of Process Capability Indices in the Supplier Certification Process", *Quality Engineering*, vol. 8, núm. 1, pp. 225-235.
- Sharman, G. (2002). "How the Internet Is Accelerating Supply Chain Trends", *Supply Chain Management Review*, 6(2):18.
- Soliman, K.S. (2003). "A Framework for Global IS Outsourcing by Application Service Providers", *Business Process Management Journal*, 9(60):375.
- Spooner, G.R. y D.W. Collins (1995). "A Cross Functional Approach to Supplier Evaluation", *Proceedings of the Annual Quality Congress*, ASQ, Milwaukee, pp. 825-832.

- Weerakkody, V., W.L. Currie y Y. Ekanayake (2003). "Re-Engineering Business Processes Through Application Service Providers: Challenges, Issues and Complexities", *Business Process Management Journal*, 9(6)776.
- Weidenbaum, M. (2004). "Outsourcing: Pros and Cons", *Executive Speeches* 19(1):31-35.
- Wind, J.F. (1991). "Revolutionize Supplier Rating by Computerization", *Quality Congress Transactions*, ASQ, Milwaukee, pp. 556-564.
- Zimmerli, B. (1996). "Re-Engineering the Supply Chain", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 4F-1 a 4F-18.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Compras y calidad: *JQH5*, secciones 21 y 29.

Johnson, R.H. y R.T. Weber (1985). *Buying Quality*, Watts Publications, Nueva York.

Pyzdek, T. y R.W. Berger (1992). *Quality Engineering Handbook*, Marcel Dekker, Nueva York; ASQ Quality Press, Milwaukee, capítulo 7.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Adler, P.S. (2003). "Making the HR Outsourcing Decision: Business-Process Outsourcing is a Key Trend Shaping the Future of Human Resources", <i>MIT Sloan Management Review</i> , 45(1):53.	Tendencias y asuntos de la subcontratación y discusión de cómo y cuándo llevarla a cabo (seis factores identificados).
Batson, R.G. (2002). "Getting Started in a Supplier Improvement Initiative", <i>ASQ Annual Quality Congress Proceedings</i> , p. 397.	Se discuten diferentes enfoques a las sociedades cliente-proveedor. Se representa un enfoque de sociedad conjunta en el estudio de un caso que involucra un OEM automotriz y sus proveedores, en donde los costos no son la fuerza impulsora, sino un resultado de la mejora en la calidad.
Batson, R.G. (2002). "Getting Started in a Supplier Improvement Initiative", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 397-409.	Proveedores. Resumen de los enfoques para las relaciones cliente-proveedor (calificaciones de los proveedores, costos de los proveedores, Costo Total de la Propiedad, etc.) y la presentación de un enfoque alternativo por medio de equipos conjuntos de cliente-proveedor. Basado en una OEM automotriz.
Bullington, K.E. (2003). "5S for Suppliers", <i>Quality Progress</i> , 36(1):56-59.	Visión general de 5S bases.
Chesbrough, H.W. y D. J. Teece (2002). "Organizing for Innovation: When Is Virtual Vituous?" <i>Harvard Business Review</i> , agosto, pp. 127-134.	Examina la relación entre subcontratación (enfoque virtual); innovación y capacidades, y la elección del grado apropiado de (des)centralización. IBM como ejemplo.
Clott, C.B. (2004). "Perspectives on Global Outsourcing and the Changing Nature of Work", <i>Business and Society Review</i> , 109(2): 153-170.	Hechos y cifras de fondo de la subcontratación; impacto en el trabajo con énfasis en la TI. Ofrece puntos de vista a favor y en contra, y una breve discusión sobre los factores laborales y éticos.

Citas

- Drejer, A. y S. Sorenson (2002). "Succeeding with Sourcing of Competencies in Technology-Intensive Industries", *Benchmarking* 9(4):388-408.
- Ericson, C. (2003). "A Global Look at e-Sourcing", *Supply Chain Management Review*, 7(6):13.
- Franceschini, F., M. Galetto, A. Pignatelli y M. Varetto (2003). "Outsourcing: Guidelines for a Structured Approach", *Benchmarking* 10(3):246-260.
- Gould, R.A. (2000). "Supplier Performance; New Measurement Metrics", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 681-683.
- Hussey, D. y P. Jenster (2003). "Outsourcing: The Supplier Viewpoint", *Strategic Change* 12(1):7-20.
- Karmaker, U. (2004). "Will You Survive the Services Revolution?" *Harvard Business Review*, junio, pp. 101-107.
- Klenz, B.W. (2000). "Leveraging the Data Warehouse for Supplier Quality Analysis", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 519-528.
- La Londe, P.C. (2000). "Surveys as a Customer Relationship Tool", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 684-686.
- León, R. (2003). "Supply Chain Management", *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, febrero, pp. 45-48.
- Lynn, K. (2004). "Strengthening Supplier Relationships: With Comprehensive Audit Planning [sic]", *Annual Quality Congress Proceedings*, 58:79-84.
- Meseck, G. (2004). "Risky Business: How to Calculate the Financial Impact of Global Outsourcing", *Logistics Today*, 45(8):34.
- Ramachandran, K. y S. Voleti (2004). "Business Process Outsourcing (BPO): Emerging Scenario and Strategic Options for IT-Enabled Services", *Vikalpa* 29(1):49-62.

Resumen

- Discusión sobre las dificultades al momento de decidir qué subcontratar, con la conclusión de que (debido al riesgo de fuga de información) sólo las competencias o subcompetencias que tengan poco valor estratégico deben subcontratarse. Se propone un modelo para ayudar a entender la competencia corporativa.
- Seis factores identificados que ayudan a decidir qué y cuándo subcontratar, con un buen ejemplo de BD-Exult.
- La evaluación comparativa como una herramienta analítica para ayudar en las decisiones de subcontratación.
- Ajustes de las métricas de los proveedores para asegurar la mejora continua.
- Discusión a profundidad de los tipos de subcontratación y la administración de asuntos asociados con cada uno.
- Argumenta que los asuntos fuera de las fronteras deben ser de competitividad, y no de pérdida de empleos. Examina los cambios actuales en la industria de servicios y recomienda estrategias para realinear, rediseñar y reestructurar.
- Construcción de un almacén de datos de proveedores con entradas de sistemas de manufactura.
- Uso de encuestas para encontrar entre los proveedores qué tan buen cliente es usted.
- Resumen muy breve de algunos libros sobre la administración de la cadena de suministro, desde una perspectiva de six sigma.
- Planeación de la auditoría de los proveedores; véase la figura 1 (Diagrama de flujo de referencia de la planeación de auditoría).
- Estrategias de administración de riesgos para ayudar a identificar las oportunidades apropiadas de subcontratación.
- La perspectiva de la subcontratación desde el punto de vista de los proveedores en la India. Discute los factores de éxito y la necesidad de proveedores para dirigir tanto el crecimiento como la consolidación.

Citas

- Serve, M., D.C. Yen, J.C. Wang y B. Lin (2002). "B2B-Enhanced Supply Chain Process: Toward Building Virtual Enterprises", *Business Process Management Journal*, 8(3):245-253.
- Sharman, G. (2002). "How the Internet Is Accelerating Supply Chain Trends", *Supply Chain Management Review* 6(2):18.
- Soliman, K.S. (2003). "A Framework for Global IS Outsourcing by Application Service Providers", *Business Process Management Journal* 9(6):375.
- Vokurka, R.J., G.M. Zank y C.M. Lund III (2002). "Improving Competitiveness Through Supply Chain Management: A Cumulative Improvement Approach", *Competitiveness Review* 12(1):14-25.
- Weerakkody, V., W.L. Currie y Y. Ekanayake (2003). "Re-Engineering Business Processes through Application Service Providers; Challenges, Issues and Complexities", *Business Process Management Journal* 9(6):776-785.
- Weidenbaum, M. (2004). "Outsourcing, Pros and Cons", *Executive Speeches* 19(1):31-35.

Resumen

- Discusión sobre las cadenas de suministro, B2B y la relación entre ellas, seguida de cómo puede integrarse el B2B para mejorar el éxito de la cadena de suministros.
- Discusión acerca de Internet como un conductor de la subcontratación y otras tendencias actuales.
- Describe el papel de las ASP y los factores que influyen en la subcontratación por las ASP. Analiza los diferentes tipos de subcontratación global.
- Ubica la administración de la cadena de suministro y la calidad en una perspectiva histórica teórica. Menciona la subcontratación. La referencia puede ser más apropiada en cualquier parte del capítulo 15 (no específicamente la subcontratación).
- Aplicación del modelo de negocios ASP para mejorar los procesos de negocios.
- Pros y contras de alto nivel de cuándo y por qué subcontratar y sus efectos en Estados Unidos.

SITIOS WEB

División de la ASQ de proveedores clientes: www.asqcd.org

OPERACIONES: SECTOR MANUFACTURERO

13.1

CALIDAD EN LA MANUFACTURA EN EL SIGLO XXI

Las operaciones son el centro neurálgico de una organización, donde se desarrolla la acción. Este capítulo cubre las operaciones en el sector manufacturero; el siguiente cubre las operaciones en el sector de servicios.

En las industrias de manufactura, las operaciones son actividades que normalmente se llevan a cabo en una fábrica que transforma material en un producto final. Antes de que consideremos la planeación, el control y la mejora de las actividades industriales, debemos reconocer cuatro temas importantes que transformarán la manufactura tradicional del siglo XX en una distinta en el siglo XXI. Estos temas se discuten a continuación.

Demanda de los consumidores para mayor calidad, inventarios reducidos y un tiempo de respuesta más rápido

A medida que los productos y procesos se vuelven más complejos, es común encontrar nuevos niveles de calidad de “clase mundial”. Para muchos productos, los niveles de calidad de 1 a 3 por ciento defectuosos se están reemplazando por otros de 1 a 10 defectos por millón de partes (o 3.4 defectos por millón, como en el enfoque de six sigma). La demanda de los consumidores redujo el nivel de inventarios basados en el sistema de producción “justo a tiempo” (JIT, por sus siglas en inglés). De acuerdo con el JIT, el concepto de lotes de gran tamaño es desafiado por la reducción del tiempo de ensamblaje, los procesos de rediseño y la estandarización de los trabajos. Como resultado tenemos lotes de menos tamaño e inventarios más bajos. Pero el JIT trabaja sólo si la calidad del producto es alta, porque hay inventarios escasos o nulos que reemplazan el producto definitivo. Finalmente, los clientes quieren una respuesta más rápida de los proveedores —para desarrollar y fabricar nuevos productos—. El tiempo más rápido de respuesta ejerce presión sobre el proceso de desarrollo de

los productos y puede dar como resultado una revisión inadecuada de los nuevos diseños para el desempeño del producto y su manufactura. En conjunto, estos tres parámetros (calidad, inventarios y tiempo de respuesta) se convierten en una fuerte carga para las operaciones.

Competencia ágil

Una organización ágil es capaz de responder a las oportunidades constantemente cambiantes de los clientes. Esta característica implica cambiar de un producto a otro rápidamente, al fabricar bienes para los clientes en lotes pequeños, adaptar los productos para clientes individuales, y usar la experiencia de la gente y las facilidades dentro de la compañía y entre los grupos de empresas que cooperan (aliadas). Goldman, Nagel y Preiss (1995) describen el concepto e incluyen ejemplos.

Este concepto incluye la organización “virtual”: un grupo de compañías vinculadas por una red electrónica que permite a los socios satisfacer un objetivo común del cliente. La organización virtual puede crearse parcialmente transfiriendo funciones completas a un proveedor (subcontratación). Véase la sección 12.4 para una discusión sobre los pros y los contras de la subcontratación.

Impacto de la tecnología

La tecnología (incluyendo los sistemas de información de computadoras) está mejorando de manera evidente la calidad al posibilitar una amplia variedad de producción y también una producción más consistente. La infusión de la tecnología hace algunos trabajos más complejos, de ahí que se requieran extensas habilidades laborales y planeación de calidad; la tecnología también hace otros trabajos menos complejos, pero puede contribuir a la monotonía laboral.

Estos cuatro temas sugieren que la calidad durante las operaciones ya no puede seguir enfocándose en la inspección y la revisión, sino que debe responder a las siempre crecientes demandas del cliente y a las cambiantes condiciones competitivas. Skrabec (1997) describe en las Lecturas complementarias el cambio principal en la manufactura como un “giro paradigmático”.

Procederemos ahora a examinar los métodos específicos para la planeación, el control y la mejora de la calidad durante las operaciones de manufactura.

13.2 MANUFACTURA LEAN Y ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE VALOR

La manufactura lean es el proceso de diseñar sistemas de manufactura para reducir los costos, eliminando el desperdicio de producto y proceso. El énfasis está en eliminar las actividades sin valor agregado tales como elaborar productos defectuosos; cargos por el exceso de inventario debidos al proceso de trabajo y al inventario de los bienes terminados; la transportación excesiva interna y externa de productos; la inspección excesiva, y el tiempo ocioso del equipo o los trabajadores debido al mal equilibrio de los pasos del trabajo en el proceso secuencial. El objetivo de la manufactura lean ha sido desde hace mucho una de las metas de la ingeniería industrial. Shuker (2000) presenta una útil introducción al tema de la manufactura lean con base en el sistema de producción de Toyota.

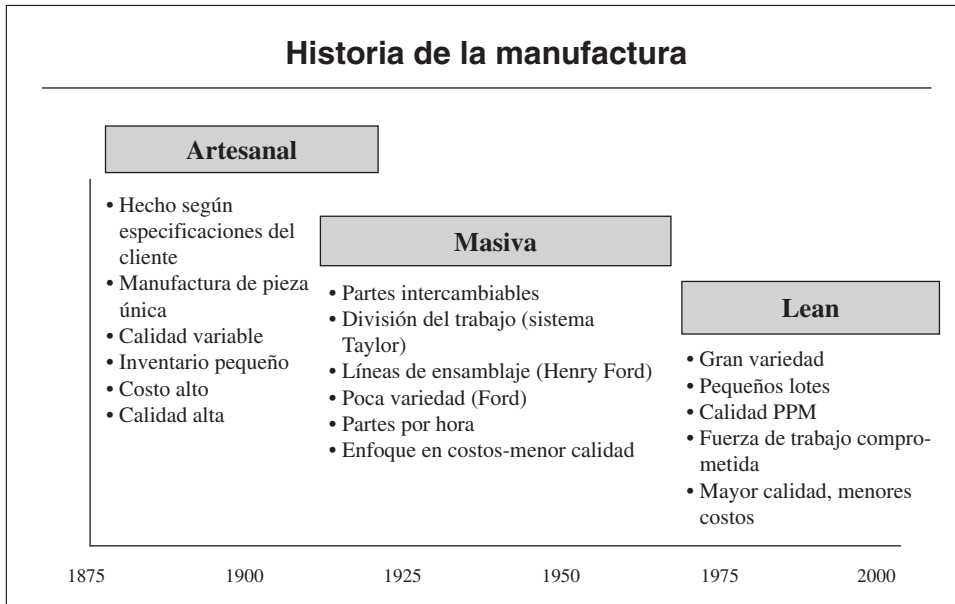


FIGURA 13.1

Manufactura lean

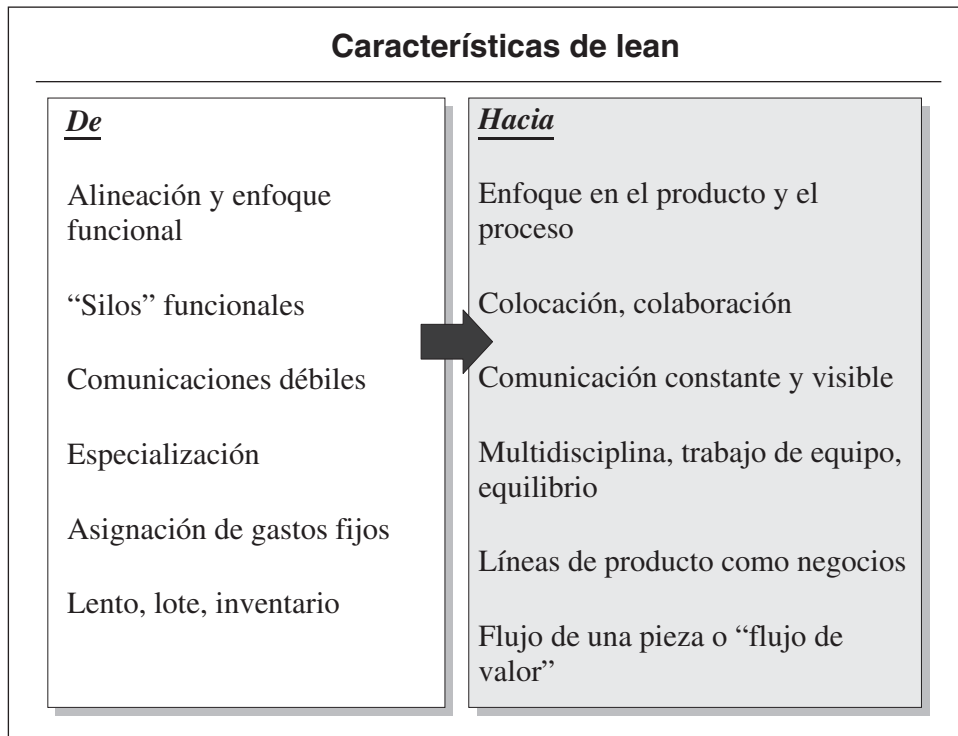
La historia de la manufactura se resume en la figura 13.1. La misión de lean es lograr:

- el menor tiempo posible de mando
- el nivel óptimo de inventario estratégico
- el mayor orden de servicio práctico para el cliente
- la mayor calidad posible (bajo índice de defectos)
- el menor desperdicio posible (bajo COPQ)

a lo largo de toda la cadena de abastecimiento, con tal de ganar un lugar en el mercado. Esto se logra sincronizando el flujo de trabajo (tanto interna como externamente en la compañía) con el “ritmo” de los requerimientos del cliente. Todos los desperdicios se retiran (tiempo, material, trabajo, espacio y movimiento). El objetivo general es reducir la variación y eliminar el desperdicio, dejando que los clientes recuperen el valor a través de toda la cadena de valor (o la cadena de abastecimiento).

Los principios clave de la manufactura esbelta son:

- Especificar el valor a los ojos del cliente
- Identificar la cadena de valor de cada producto
- Hacer que el valor fluya sin interrupciones

**FIGURA 13.2**

Características de las prácticas de manufactura tradicionales vs. las de lean.

- Reducir defectos en los productos y deficiencias en los procesos
- Dejar que los clientes tomen el valor
- Buscar la perfección: niveles de six sigma
- Desplazar la variación (en el corto y largo plazos)

El valor es creado por el cliente. Lean comienza intentando definir el valor en términos de los productos y capacidades que se brindan al cliente en el momento correcto y a un precio adecuado (véase figura 13.2).

La siguiente parte resume los conceptos clave utilizados en lean (tanto en el contexto de manufactura como en el de servicio lean).

Los ocho desperdicios

Taiichi Ohno (1988) identifica diferentes tipos de desperdicio. La siguiente es una lista adaptada:

1. **Sobreproducción:** fabricar o hacer más de lo que se requiere o antes de que fuera necesario.
2. **Esperar:** información, materiales, gente, mantenimiento, etcétera.
3. **Transporte:** mover a la gente o los bienes en un solo lugar o de un lugar a otro.
4. **Mal proceso de diseño:** demasiados o muy pocos pasos, no estandarizar el proceso, inspeccionar en lugar de prevenir, etcétera.

5. **Inventario:** materia prima, trabajo en progreso, artículos terminados, documentos, archivos electrónicos, etcétera.
6. **Movimiento:** disposición inadecuada en las estaciones de trabajo y en las oficinas; mala ergonomía.
7. **Defectos:** errores, desechos, reelaboración, no conformidad.
8. **Recursos de personal y creatividad subempleados:** ideas que no se escuchan, habilidades que no se utilizan.

Flujo y tiempo takt

El concepto de flujo requiere que se reacomoden los pensamientos relacionados con los procesos “típicos” de producción. Uno no debe pensar solamente en “funciones” y “departamentos”. Tenemos que redefinir cómo las funciones, los departamentos y las organizaciones trabajarán para contribuir de manera positiva a la cadena de valor. El flujo de producción requiere que produzcamos al ritmo de compra del cliente y, en caso necesario, que hagamos cada producto cada día para satisfacer los pedidos de los clientes, es decir, para seguir su compás o su “ritmo”. El compás o ritmo es determinado por el **tiempo takt**. El término takt proviene de la palabra alemana que significa medir, como en el caso de la música, donde establece el paso, o compás, de la música. El tiempo takt es el que refleja el ritmo al que los clientes compran una unidad.

$$\text{tiempo takt} = \frac{\text{tiempo disponible (en un día)}}{\text{demanda promedio diaria}}$$

Por ejemplo, en la figura 13.3, el compás o tiempo takt se calcula para la demanda que se presentó durante un periodo de 10 días.

Determinar el ritmo

Ejemplo de cálculo del tiempo takt:

Hasta 10 días	Demanda	
1	30	
2	40	
3	50	Por día:
4	60	$\frac{\text{Tiempo disponible en el periodo (840 min.)}}{\text{Demanda promedio (38)}} = 22.1 \text{ minutos}$
5	10	
6	30	
7	40	Basado en dos turnos de 7 horas
8	20	
9	60	
10	40	
10	380	

FIGURA 13.3

Para ser prácticos, el tiempo takt puede modificarse dependiendo de la variabilidad en el proceso. Cuando se modifica el tiempo takt más allá de la simple ecuación, se debe usar otro nombre, como Célula Takt o Máquina Takt. Si bien es posible planear algunos modificadores, éstos siguen siendo desperdicio o desperdicio planeado. Es posible determinar los requerimientos de personal de mano de obra:

$$\text{Personal mínimo requerido} = \frac{\text{Tiempo total de trabajo en el proceso}}{\text{Tiempo takt}}$$

Una vez que se ha calculado el tiempo takt, deben identificarse y manejarse (o eliminarse) las restricciones (como un mayor tiempo de organización) para permitir lotes más pequeños o, idealmente, el flujo de una pieza, con el fin de eliminar la sobreproducción y el exceso de inventario. Se usan técnicas para determinar los programas de producción con el objeto de que la demanda del cliente sea llevada a lo largo de la cadena de valor (desde el proveedor hasta la producción y el cliente). Al determinar la producción, los materiales se organizan en el punto de consumo. A medida que se agotan, se envía una señal hacia las estaciones previas del proceso de producción con el fin de obtener material suficiente para reponer únicamente lo que se ha consumido.

Los pasos para los equipos de mejora rápida (o equipos kaizen) que permiten aligerar las operaciones son:

1. Determinar el ritmo (tiempo takt y mano de obra).
2. Establecer la secuencia y el reabastecimiento (rotación de la familia de productos y disposición/transformación requeridos).
3. Diseñar la línea (proximidad, secuencia, interdependencia).
4. Alimentación de la línea (inventario estratégico, estándar WIP [Work In Place —SWIP— Standard Work In Place], amortiguador Murphy).
5. Equilibrar la línea (carga, trabajo estándar).
6. Estabilizar y refinar (5S, mejora continua).

Administración de la cadena de valor

La cadena de valor consiste en todas las actividades que se requieren para llevar al producto desde su concepción hasta su comercialización. Incluye el diseño detallado, la toma de pedidos, la programación, la producción y la entrega. Entender la cadena de valor permite ver los pasos que dan valor agregado y los que son necesarios aunque no lo aporten. Las actividades de valor agregado **transforman** o dan forma al material o la información para satisfacer las necesidades del cliente. Las actividades sin valor agregado toman tiempo o recursos, pero no añaden valor a los requerimientos del cliente (aunque pueden satisfacer los requerimientos de la compañía).

La jornada de mejora de la cadena de valor normalmente inicia con una capacitación para el equipo sobre conceptos clave relacionados con lean, definiendo el estado actual mediante el uso de mapas de cadena de valor que documentan el flujo de información y los materiales, así como cualquier otro dato relevante sobre el proceso (tal como el tiempo de espera, el tiempo de proceso y los niveles de inventario). Se identifican las mejoras. El estado futuro que se busca alcanzar se documenta entonces en el mapa de la cadena de valor, y se implementan las mejoras que llevan hacia la meta del estado futuro.

En las figuras 13.4a y 13.4b se muestra un ejemplo de mapa de cadena de valor para una línea de pintura, en el estado actual y el estado futuro.

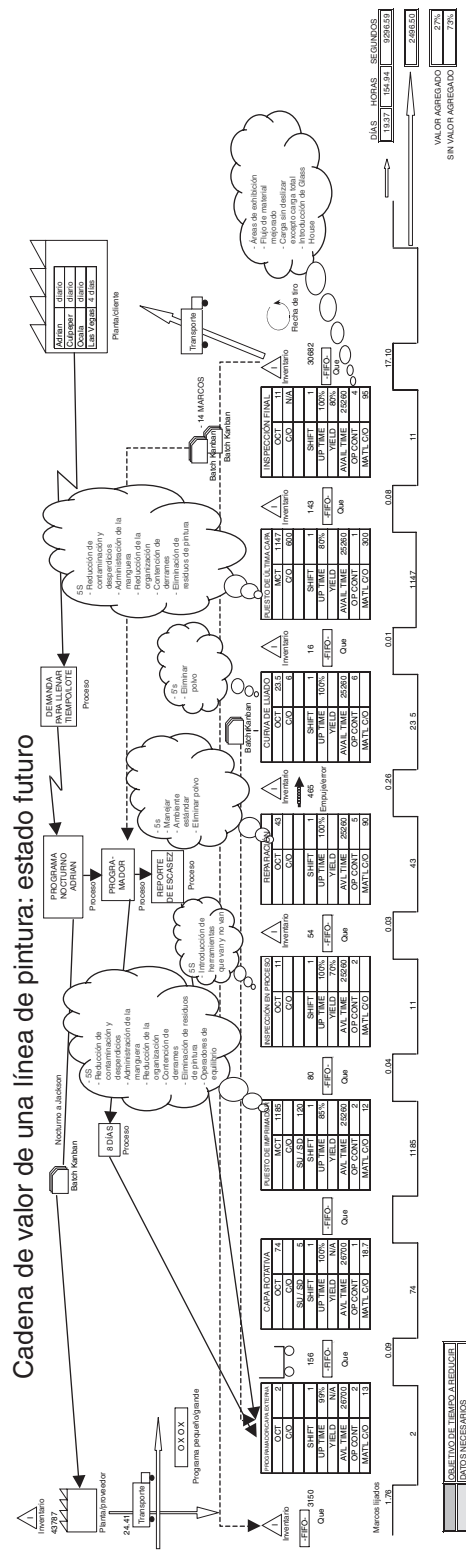


FIGURA 13.4b
(Cortesía de Chris Arquette, un cliente del Juran Institute.)

13.3 PLANEACIÓN INICIAL PARA LA CALIDAD

La planeación comienza con una revisión de diseños del producto (véase sección 11.10). Entonces revisamos los diseños de procesos para identificar las características clave del producto y el proceso; determinamos la importancia de las características del producto; analizamos el diagrama de flujo del proceso; hacemos el proceso de *error-proofing*; planeamos un lugar de trabajo ordenado y limpio; validamos los procesos de medición, y planeamos el autocontrol del operador. Estos elementos se discuten a continuación. Además, el importante tema de la capacidad del proceso se cubre en la sección 20.10.

Revisión de los diseños del producto

Hay una clara ventaja cuando el personal de operaciones revisa el diseño de un nuevo producto antes de que se finalice el diseño para el mercado. En la práctica, la extensión de dicha revisión varía mucho: va de esencialmente nada (“lanzarlo a la pared” a la gente de operaciones) hasta una revisión estructurada usando criterios formales y dando seguimiento a los aspectos abiertos. Aunque la revisión de un diseño de producto ocurre con frecuencia durante el proceso de diseño y desarrollo (véase sección 11.10), el énfasis está en la adecuación del desempeño de campo.

La revisión del diseño de productos previa al inicio de las operaciones debe incluir una evaluación de la productibilidad. Esta evaluación incluye los siguientes aspectos:

1. Identificación de las características clave del producto y el proceso.
2. Importancia relativa de las diferentes características del producto.
3. Diseño para la manufactura (véase sección 11.8).
4. Robustez del producto. Un proceso es robusto si es flexible, fácil de operar y a prueba de errores, y si su desempeño tolera las variables incontrolables de los factores internos y externos del proceso. Es posible acercarse a este ideal planeando cuidadosamente todos los elementos del proceso, por ejemplo, mediante la capacitación interdisciplinaria del personal para cubrir vacaciones. Para una discusión sobre robustez, véase Snee (1993).
5. Disponibilidad de los procesos de manufactura aptos para satisfacer las necesidades del producto, por ejemplo, procesos que no sólo cumplan con las especificaciones sino que lo hagan con un mínimo de variación.
6. Disponibilidad de procesos de medición aptos. Esto se discute posteriormente en la sección 15.8.
7. Identificación de las necesidades especiales del producto, por ejemplo, manejo, transportación y almacenamiento durante la fabricación.
8. Control de material, como identificación, rastreo, segregación, control de contaminación.
9. Habilidades especiales que requiere el personal de operaciones.

Esta revisión del diseño del producto debe ser complementada con una revisión del diseño del proceso. La revisión del proceso incluye los aspectos de productibilidad que surjan de la revisión del diseño del producto.

Identificación de las características clave del producto y el proceso

Las características clave del *producto* son los rasgos que tiene éste para satisfacer las necesidades del cliente. Las características clave del *proceso* son las que crean las características clave del producto. Es posible identificar las características del producto y del proceso utilizando la información obtenida en el estudio de mercado, el despliegue de las funciones de calidad, la revisión del diseño y el análisis del modo y efecto de las fallas. Somerton y Mlinar (1996) describen el uso de éstas y otras herramientas para identificar las características clave.

Importancia relativa de las características del producto

Los planeadores tienen mejor capacidad para designar recursos cuando conocen la importancia relativa de las distintas características del producto.

Una técnica para establecer la importancia relativa es la identificación de los aspectos críticos (véase sección 11.5). Los aspectos críticos son las características del producto que requieren un alto nivel de atención para garantizar que se cumpla con todos los requerimientos. Una compañía identifica “partes sensibles a la calidad” empleando criterios tales como la complejidad de las partes y la alta tasa de fallas en aquéllas. Para dichas partes, la planeación especial incluye que el proveedor se involucre antes y durante el contrato, los estudios de capacidad del proceso, la verificación de la confiabilidad y otras actividades.

Otra técnica es la clasificación de las características. Bajo este sistema, la importancia relativa de las características se determina y se indica en dibujos y otros documentos. La clasificación puede ser simplemente “funcional” (o “crítica para la calidad”) o “no funcional”. Otro sistema usa distintos grados de importancia como crítica, mayor, menor e incidental. La clasificación usa criterios que reflejan la seguridad, las fallas operativas, el desempeño, el servicio y la manufactura. Para más detalles, véase la sección 15.5 y *JQH5*, pp. 22.6 y 22.7.

Análisis del diagrama de flujo del proceso

Un diseño de proceso puede revisarse plasmando el proceso entero en un diagrama de flujo. Hay diferentes tipos de diagrama útiles. Uno de éstos muestra el camino que recorren los materiales en su avance hasta el producto terminado. En la figura 13.5 se muestra un ejemplo de un proceso de recubrimiento de James Graphics Company. Los planeadores usan estos diagramas para dividir el flujo en secciones lógicas llamadas estaciones de trabajo. Para cada estación de trabajo, preparan un documento formal que lista los artículos como operaciones que deben concretarse; secuencias de operaciones; facilidades e instrumentos que van a emplearse, y condiciones del proceso que hay que mantener. Este documento formal se convierte en un plan que deben seguir los supervisores de operaciones y la fuerza de trabajo. El documento es la base de las actividades de control que llevan a cabo los inspectores. También se convierte en un estándar mediante el cual se conducen las auditorías del proceso.

Correlación de las variables del proceso con los resultados del producto

Un aspecto crítico de la planeación durante la manufactura es descubrir, mediante el análisis de datos, la relación que existe entre las características o variables del proceso y las características o resultados del producto. Dicho conocimiento permite al responsable de la planeación crear caracte-

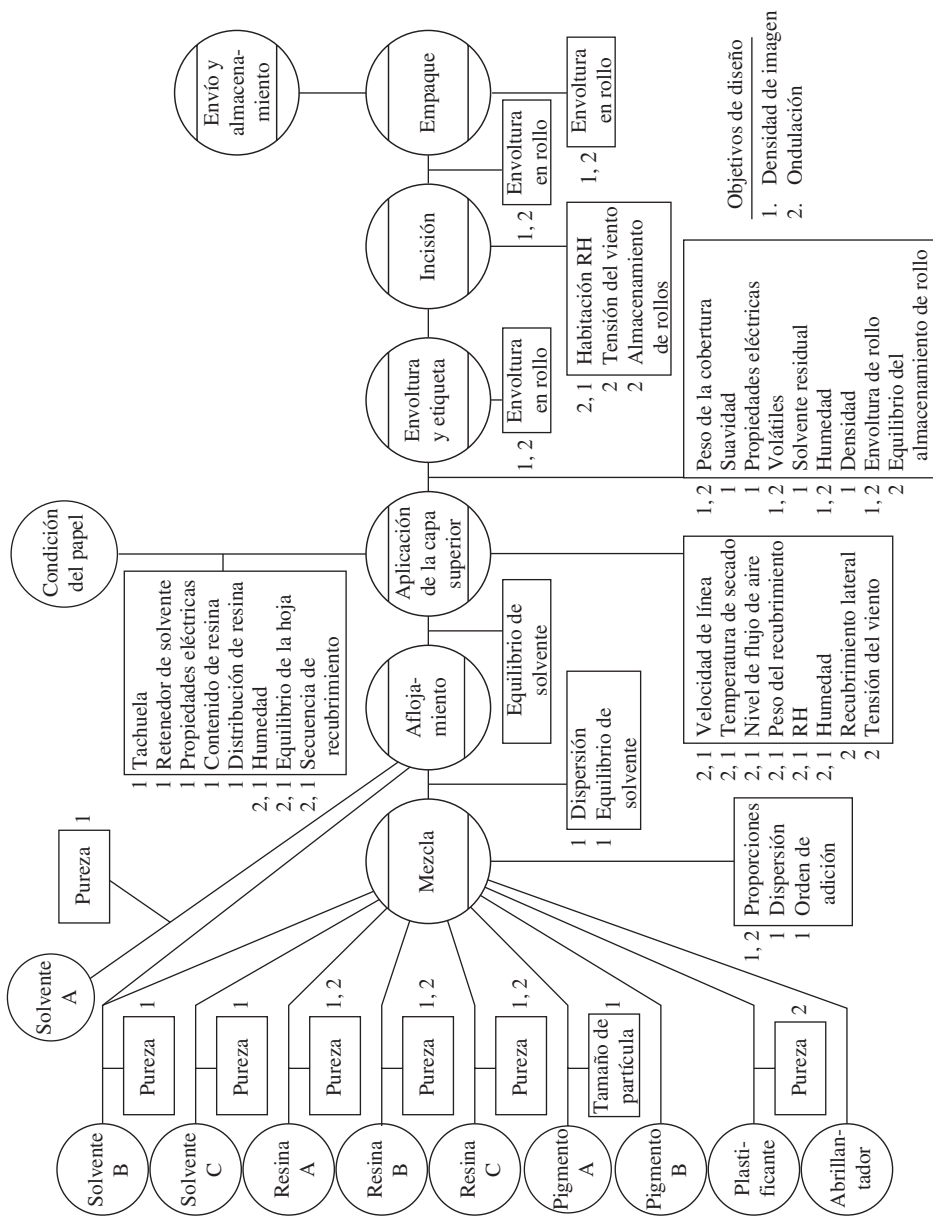


FIGURA 13.5 Diagrama de análisis del producto y proceso. (De Siff, 1984.)

rísticas para el control del proceso, incluyendo límites y mecanismos de regulación para las variables que permitan mantener el proceso estable y alcanzar los resultados específicos del producto. En la figura 13.5 se muestra cada una de las variables del proceso en un rectángulo unido a un círculo que representa una operación; los resultados del producto se enlistan en rectángulos entre las operaciones en el punto en donde es posible verificar la conformidad. Algunas características (como el peso del recubrimiento) son tanto variables del proceso como resultados del producto.

Para cada estación de control del proceso, los diseñadores identifican las distintas materias de control sobre las cuales hay que ejercerlo. Cada materia de control requiere un circuito de retroalimentación conformado por las muchas características de control del proceso. Una hoja de cálculo para el proceso de control o la materia de control ayuda a sintetizar estos detalles. Como ejemplo, la figura 5.4 muestra, para cada materia de control, la unidad de medida, tipo de sensor, meta, frecuencia de la medición, tamaño muestra y los criterios y responsabilidades para la toma de decisiones. Para más detalles, véase Juran (1992, p. 286).

Determinar los ajustes óptimos y la tolerancia para las variables del proceso a veces requiere una amplia recopilación de datos y el análisis de los mismos. Eibl *et al.* (1992) discuten esta planeación y análisis para el proceso de pintura-recubrimiento, para el cual se contaba con poca información acerca de la relación entre las variables del proceso y los resultados del producto.

Muchas compañías no han estudiado la relación entre las variables del proceso y los resultados del producto. Las consecuencias de esta falta de conocimiento pueden ser graves. En la industria de manufactura de componentes eléctricos existen algunos rendimientos escandalosamente bajos y que probablemente sigan así hasta estudiar a fondo las variables del proceso. En todas las industrias, la imposición de nuevas demandas de calidad como las de six sigma requiere un entendimiento mucho más profundo que antes de los resultados del producto y las variables del proceso.

Para entender plenamente la relación que existe entre las variables del proceso y los resultados del producto, con frecuencia necesitamos aplicar el concepto de diseño estadístico de experimentos (véase la sección 18.11). Véase también la discusión del enfoque Taguchi (sección 11.4). Desde el enfoque six sigma, los experimentos factoriales se están volviendo necesarios para entender las interacciones entre las distintas variables y los resultados del producto. Pero la alta gerencia debe proveer los elementos faltantes, como los recursos para que el personal de tiempo completo diseñe y analice los experimentos y la capacitación de los ingenieros de proceso para integrar estos conceptos a la planeación del proceso.

El proceso *error-proofing*

Un elemento importante de la prevención es el concepto de diseñar un proceso para que esté libre de errores, a través del proceso “error-proofing” (los japoneses lo llaman *poka-yoke*).

Una forma ampliamente usada de lograr un proceso *error-proofing* es el diseño (o rediseño) de las máquinas y herramientas, el “hardware” para hacer improbables o prácticamente imposibles los errores humanos. Por ejemplo, los componentes y herramientas pueden diseñarse con orejas y ranuras que logren un efecto de candados y llaves, lo que hace imposible que se armen mal. Pueden diseñarse herramientas para percibir automáticamente la presencia y exactitud de las operaciones previas o para detener el proceso al detectar el agotamiento del suministro de material. Verbigracia, en la industria textil un rompimiento del hilo libera un mecanismo cargado de resortes que detiene la máquina. Los sistemas de protección, como los detectores de humo, pueden ser diseñados como dispositivos de seguridad, y las alarmas de sonido como señales de peligro.

TABLA 13.1
Síntesis de los principios de *error-proofing*

Principio	Objetivo	Ejemplo
Eliminación	Eliminar la posibilidad de error	Rediseñar el proceso o producto para que la tarea ya no sea necesaria
Reemplazo	Sustituir un proceso más confiable para el trabajador	Usar robótica (por ejemplo, en la soldadura o la pintura)
Facilitación	Hacer el trabajo más fácil	Partes con código de color
Detección	Detectar el error antes de seguir procesando	Desarrollar software de computadora que notifique al trabajador cuando se haya capturado mal algo (por ejemplo, una letra en lugar de un número)
Mitigación	Minimizar el efecto del error	Usar fusibles para los circuitos sobrecargados

En un estudio clásico, Nakajo y Kume (1985) discuten los cinco principios fundamentales para evitar errores desarrollados a partir del análisis de cerca de 1 000 ejemplos recopilados, principalmente de las líneas de ensamblaje. Estos principios son la eliminación, el reemplazo, la facilitación, la detección y la mitigación (véase tabla 13.1).

Para mayores ejemplos sobre cómo evitar errores, véase *JQH5*, pp. 22.24-22.26.

Un auxiliar del proceso *error-proofing* es el uso de sistemas *poka-yoke*. Éstos son sistemas de control incorporados al proceso que detienen el equipo cuando ocurre alguna irregularidad y lo señalan al operador para que éste resuelva el problema (véase sección 13.8).

Plan para ambientes de trabajo ordenados y limpios

Parece evidente, pero la realidad es que muchos lugares de trabajo están sucios y desorganizados. Los beneficios de un buen ambiente de trabajo incluyen la prevención de defectos y accidentes, así como la eliminación del tiempo perdido en busca de herramientas, documentos y otros elementos de la manufactura. Un simple grupo de conocimientos nos brinda ahora un marco para crear un ambiente de trabajo ordenado y limpio. El enfoque se llama 5S (por sus iniciales en inglés), y significa clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y mantener (véase la figura 13.6). Los pasos son los siguientes:

1. *Clasificar*. Eliminar todos los artículos del lugar de trabajo innecesarios para las operaciones actuales.
2. *Ordenar*. Acomodar los artículos en el lugar de trabajo para que sea fácil encontrarlos, usarlos y guardarlos.
3. *Limpiar*. Barrer, sacudir y mantener limpio el lugar.
4. *Estandarizar*. Hacer que la “limpieza” se vuelva un hábito.
5. *Mantener*. Crear condiciones (por ejemplo, tiempo, recursos, premios) para mantener el compromiso con el enfoque 5S.

Hace décadas, las industrias que producían artículos importantes (cuidado de la salud, aeroespaciales) aprendieron que los ambientes de trabajo ordenados y limpios son esenciales para alcan-

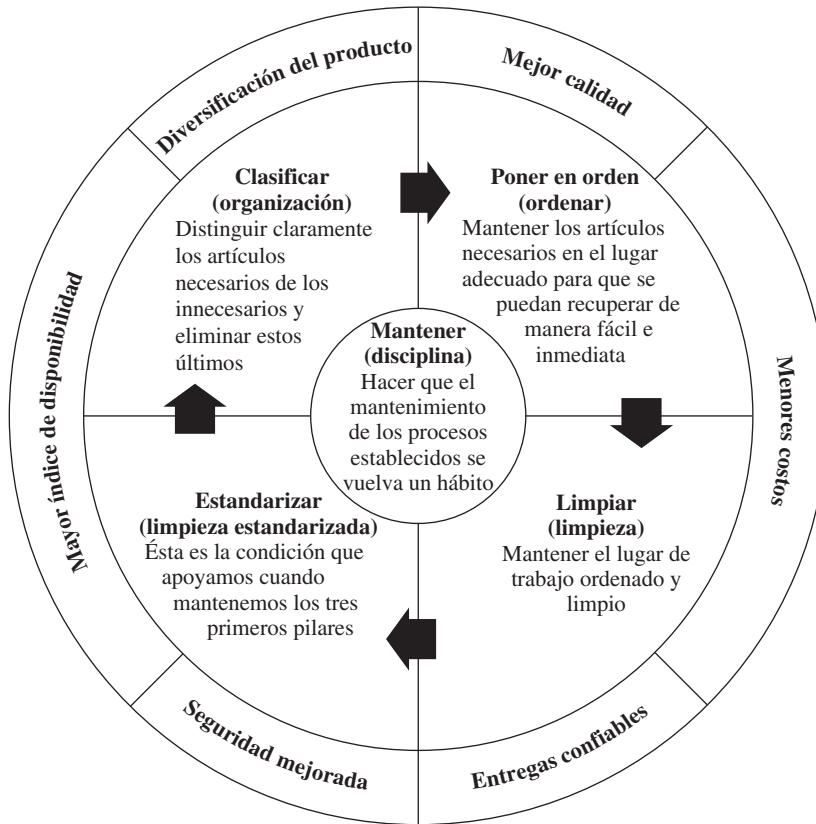


FIGURA 13.6

El concepto 5S. (Reproducido con autorización. Productivity Press, una división de Productivity Inc. PO Box 13390, Portland, OR 97213. 800-394-6868. www.productivityinc.com.)

zar niveles de defectos extremadamente bajos. Los niveles de calidad que exigen el enfoque six sigma ahora ofrecen el mismo ímpetu.

Quizás el significado del enfoque 5S es la simplicidad. Los beneficios son obvios; sus herramientas son las más sencillas para la simplificación del trabajo y fáciles de entender y aplicar. Las herramientas simples en ocasiones generan resultados dramáticos, y esto es lo que pasó con 5S. Para más información sobre los cinco pasos, véase The Productivity Process Development Team (1996).

Validación del sistema de medición

Particularmente con el bajo nivel de defectos que pide el enfoque six sigma, es importante entender la capacidad del proceso de manufactura y la del proceso de medición. Por lo tanto, el proceso de planeación y control de medición se convierte en parte del enfoque six sigma. Estudios previos asumen que la variación en el proceso de medición era pequeña en comparación con aquélla causada

por el proceso de manufactura, y que por lo tanto debía ser ignorada (en la práctica, esta presunción se puso a prueba en muy pocas ocasiones en la mayoría de las industrias). Cuando la variación debida únicamente al proceso de medición es aun moderadamente más amplia, provocará errores al determinar si el producto cumple con las especificaciones —algunos productos “buenos” podrían ser erróneamente clasificados como defectuosos, y otros productos “malos” serían calificados indebidamente como buenos. Para cuantificar el proceso de medición, véase la sección 15.8. Ahora ha llegado el momento de evaluar la capacidad de medición y determinar si el equipo de medición está calibrando con precisión el rendimiento del proceso.

La figura 13.7 brinda una perspectiva sobre el aspecto de la medición. Hay que destacar que la variación observada en el proceso (por ejemplo, la variación en las mediciones registradas) proviene de dos fuentes: variación en el proceso de manufactura del producto y en el proceso de medición. Además, estas dos fuentes contienen diversos componentes. Los componentes mostrados en la figura 13.7 se pueden cuantificar y analizar para determinar la capacidad de medición. La variación debida al proceso de manufactura del producto también puede cuantificarse (véase “Capacidad del proceso” en el capítulo 20).

Incluso en las industrias de productos de consumo, como la de las navajas de rasurar, la tolerancia puede estar en función de la longitud de onda de la luz visible. Dicha permisividad está muy alejada de los días de tolerancia, en miles o decenas de miles, y con el uso de instrumentos de medición como micrómetros e incluso supermicrómetros. El proceso de medición debe poder manejar estas condiciones.

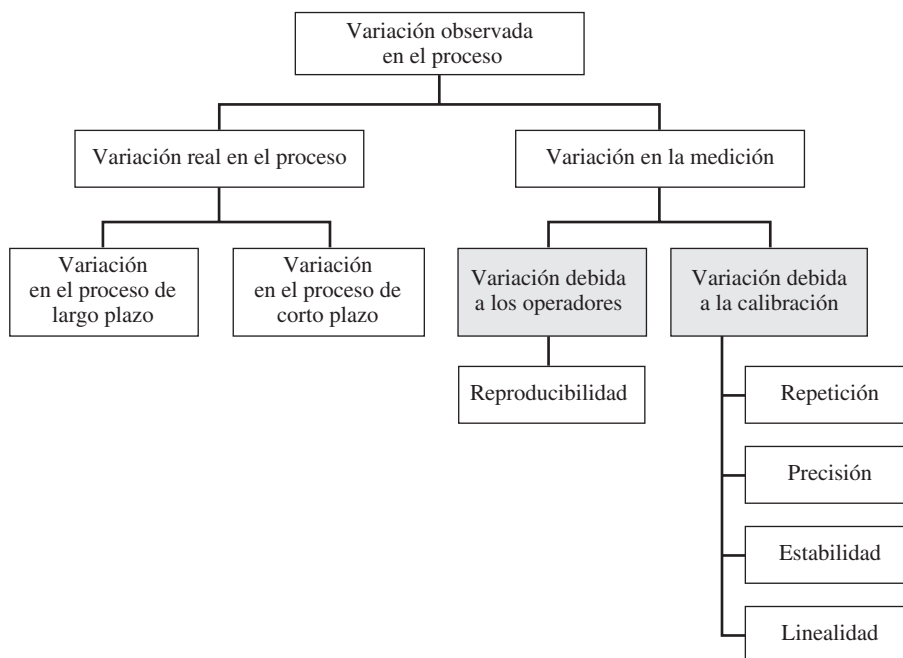


FIGURA 13.7
Posibles fuentes de variación. (Fuente: Juran Institute, Inc.)

13.4 CONCEPTO DE CONTROLABILIDAD: AUTOCONTROL

El concepto de autocontrol fue introducido en la sección 5.3. Un objetivo ideal para la planeación de la manufactura es colocar a los seres humanos en un estado de autocontrol, por ejemplo, brindándoles todo lo que requieren para satisfacer los objetivos de calidad. Para este fin, debemos brindar a la gente lo siguiente:

1. Conocimiento de lo que supuestamente deben hacer.
 - Procedimientos claros y completos del trabajo.
 - Estándares de desempeño claros y completos.
 - Selección adecuada y capacitación del personal.
2. Conocimiento de lo que están haciendo en realidad (desempeño).
 - Revisión adecuada del trabajo.
 - Retroalimentación de los resultados de la revisión.
3. Capacidad y deseo de regular el proceso respecto a variaciones mínimas.
 - Un diseño de proceso y de trabajo capaz de cumplir con los objetivos de calidad.
 - Ajustes al proceso que minimicen la variación.
 - Una capacitación adecuada del trabajador para ajustar el proceso.
 - Una fuerte cultura y ambiente de calidad.

Como veremos más adelante, la mayoría de las organizaciones no se adhieren a estos tres elementos y 10 subelementos de autocontrol.

El concepto de autocontrol tiene objetivos similares a los del sistema de producción de Toyota. Para tener una disección perspicaz del sistema de Toyota en cuatro reglas básicas, véase Spear y Bowen (1999).

Los tres criterios básicos de autocontrol hacen posible dividir los defectos en categorías de “controlabilidad”, de éstas las más importantes son:

1. *Controlable por el trabajador.* Un defecto o disconformidad es controlable por el trabajador si se cumplen los tres criterios de autocontrol.
2. *Controlable por la dirección.* Un defecto o disconformidad es controlable por la dirección si se cumple uno o más de los criterios de autocontrol.

Sólo la dirección puede proveer los medios para que se cumplan los criterios de autocontrol. Por lo tanto, cualquier falla en el seguimiento de estos criterios es una falla de la dirección, y los defectos que de ahí resulten están más allá del control de los trabajadores. Esta teoría no es 100 por ciento confiable. Los trabajadores comúnmente tienen el deber de llamar la atención de la dirección ante las deficiencias en el control del sistema, y algunas veces no lo hacen. (Algunas ocasiones sí lo reportan, y la dirección no toma las medidas necesarias. Sin embargo, la teoría tiene mucho más de cierta que de errónea.)

Es sumamente importante determinar si los defectos o disconformidades en una planta pueden ser controlados principalmente por la dirección o por los trabajadores. Para reducir los controlados por la dirección, se requiere un programa en el que las principales contribuciones provengan de los gerentes, supervisores y especialistas técnicos. Reducir las otras requiere un tipo de programa distinto en que la mayor parte de la contribución sea de los trabajadores. La gran diferencia entre estos dos tipos de programas sugiere que los administradores deberían cuantificar su conocimiento del estado de controlabilidad antes de embarcarse en programas de mayor alcance.

TABLA 13.2
Estudio de controlabilidad en un taller de máquinas

Categoría	Porcentaje
Controlable por la dirección	
Capacitación inadecuada	15
Máquina inadecuada	8
Mantenimiento inadecuado de la máquina	8
Otros problemas en el proceso	8
Manejo del material inadecuado	7
Mantenimiento inadecuado de la herramienta, el instrumento, el dispositivo (TGF, por sus siglas en inglés)	6
TGF inadecuado	5
Material equivocado	3
Operación que corre fuera de secuencia	3
Varias	5
Total	68
Controlable por el trabajador	
Error al checar el trabajo	11
Manejo inadecuado de la máquina	11
Otros (por ejemplo, piezas mal ubicadas)	10
Total	32

En la tabla 13.2 se da un ejemplo de un estudio de controlabilidad. Se estableció un equipo de diagnóstico para estudiar los desechos y reportes de revisión en seis departamentos de talleres de máquinas durante 17 días. Un ingeniero de calidad asignado para la recopilación de datos especificó la causa del defecto en cada reporte. Cuando la causa no era clara, el equipo revisó el defecto y, cuando fue necesario, contactó a otros especialistas (a quienes la dirección había advertido sobre la prioridad del proyecto) para identificar la causa. El propósito del estudio era resolver la falta de acuerdo respecto a las causas de los desechos crónicamente altos y de la revisión. Dio resultado. El estudio fue decisivo para acordar cuál debería ser el enfoque del programa de mejora. En menos de un año se ahorraron más de \$2 millones y se dieron pasos importantes para reducir las reservas de pedidos pendientes de producción.

También es posible evaluar la controlabilidad planteando preguntas específicas de acuerdo con cada uno de los tres criterios de autocontrol. (En este capítulo se presentan las preguntas típicas que se pueden hacer.) Aunque este enfoque no arroja una evaluación cuantitativa de los defectos controlables por la dirección y por los trabajadores, muestra si los defectos son primordialmente controlables por alguno de ellos.

De acuerdo con la experiencia del autor, aproximadamente 80 por ciento de los defectos pueden ser controlados por la dirección. Esta cifra no varía mucho de una industria a otra, pero lo hace de manera considerable entre procesos. Otros investigadores en Japón, Suecia, los Países Bajos y Checoslovaquia llegaron a conclusiones similares.

Si bien los estudios cuantitativos disponibles dejan claro que los defectos pueden ser manejados principalmente por la dirección, muchos gerentes industriales no lo saben o son incapaces de aceptar la información. Según sus añejas creencias, la mayoría de los defectos son resultado del descuido, la indiferencia o incluso el sabotaje de los trabajadores. Es fácil persuadir a dichos gerentes para que se embarquen en esquemas de motivación a los trabajadores que, bajo el estado usual del asunto, atacan una minoría de los problemas y están, por lo tanto, condenados a alcanzar escasos resultados, en el mejor de los casos. El asunto no es si los problemas de calidad *en una industria* pueden ser controlados por la dirección. Es necesario determinar la respuesta *para una planta determinada*. Esta respuesta requiere hechos concretos, de preferencia a través de un estudio de controlabilidad de los defectos reales, como se muestra en la tabla 13.2.

Ahora discutiremos los tres criterios principales para el autocontrol.

Criterio 1: Saber lo que “supuestamente hay que hacer”

Este conocimiento normalmente se compone de lo siguiente:

1. El estándar del producto, el cual puede ser una especificación escrita, una muestra del producto o bien otras definiciones del resultado final que se espera obtener.
2. El estándar del proceso, el cual puede ser una especificación escrita; instrucciones escritas del proceso; una instrucción oral, u otras definiciones de los “medios para un fin”.
3. Una definición de responsabilidad, por ejemplo, qué decisiones se deben tomar y qué acciones emprender.

Al desarrollar las especificaciones del producto, es preciso tomar algunas precauciones esenciales.

Se debe brindar información inequívoca

Las especificaciones deben ser cuantitativas. Si dichas especificaciones no están disponibles, se deben proporcionar estándares físicos o fotográficos. Pero más allá de la necesidad de contar con especificaciones *claras* del producto, también está la necesidad de tener especificaciones *consistentes y creíbles*. En algunas organizaciones, los supervisores de producción tienen un “libro negro” secreto que contiene los límites “reales” de las especificaciones en los que se basan los inspectores para aceptar el producto. Un problema adicional es comunicar los cambios a las especificaciones, especialmente cuando hay un desfile constante de cambios.

Se debe brindar información sobre la seriedad

Todas las especificaciones contienen características múltiples, que no son igualmente importantes. El personal de producción debe ser guiado y entrenado para alcanzar todos los límites de las especificaciones. Pero también debe recibir información sobre la importancia relativa de cada característica para poder enfocarse en las prioridades. La sección 15.5 explica métodos para definir la seriedad relativa.

Se deben explicar las razones

La explicación de los objetivos, tanto del producto como de las especificaciones, ayuda a los trabajadores a entender por qué se deben alcanzar tanto el valor de la especificación nominal como los límites.

Se deben brindar especificaciones sobre el proceso

Los métodos de trabajo y las condiciones del proceso (por ejemplo, temperatura, presión, ciclos de tiempo) deben ser inequívocamente claros.

LTV, un fabricante de acero, utiliza un sistema altamente estructurado para identificar las variables clave del proceso, definir sus estándares de control, comunicar la información a la fuerza de trabajo, monitorear el desempeño y llevar a cabo el diagnóstico cuando surgen problemas. La especificación del proceso es una colección de procedimientos estándar para el control de procesos (figura 13.8). Un procedimiento se desarrolla para controlar las variables clave del proceso (variables que deben ser controladas para cumplir con los límites de especificación del producto). El procedimiento responde a las siguientes preguntas:



CONTROL DE PROCESO INTEGRADO
Procedimientos estándar
Control de proceso

Archivo No. 716-2.2.2Planta Indiana Harbor

Fecha original de emisión _____

Departamento No. 3 Sheet MillRevisión núm. 1

Fecha de revisión _____

Área de control	Punto de control	Elemento de control	Núm.	
Tandem Mill	Rotativo	Soluciones rotativas	2.2.2	
Tarea de control Mantener las características de las soluciones rotativas en el nivel adecuado.				Responsable del control Encargado de solución
Estándar del proceso <ul style="list-style-type: none"> - La concentración de aceite debe hallarse entre 2.5 y 3.5% - La temperatura de la solución debe ser de entre 110 y 120°F - El valor SAP debe estar por encima de 120 - El refinado de hierro debe estar en menos de 600 ppm (partes por millón) 				
Razón para el control <ul style="list-style-type: none"> - Brindar una lubricación correcta entre los rodillos de trabajo y las cintas, para reducir el desgaste de los primeros y controlar la temperatura de las segundas. Esto ayuda a controlar las cintas planas y evita los rasguños por fricción. 				
Medición Herramientas/equipo: Estándar Arreglo de la prueba química Frecuencia: Dos/turno Por: Asistente de solución		Reporte rutinario de datos Forma núm. Reporte del asistente de solución Por: Asistente de solución		Gráfica de control Tipo: X y rango en movimiento Por: Asistente de solución
Acción correctiva <ul style="list-style-type: none"> - La concentración de la solución se acerca al límite: añadir a la rotativa aceite o agua. - La temperatura de la solución se acerca al límite: ajustar el control de temperatura. - La lectura SAP se encuentra entre 100 y 120, limpiar el tanque de solución y añadir nuevo aceite. La lectura SAP se encuentra por debajo de 100, volver a probar de inmediato y contactar al supervisor de operaciones. Si al volver a probar sigue por debajo de 100, apagar el molino y cambiar al tanque de solución alternativo. - Si el refinado del hierro se acerca al límite, limpiar el tanque por dos horas y añadir 100 galones de aceite. Volver a probar después de 30 minutos; repetir el procedimiento si sigue cerca o por encima del límite. 				
Procedimiento de operación Ver hoja anexa				
Disposición del producto que no cumple Identificar los rollos para una evaluación especial de la superficie. Notificar al supervisor metalúrgico.				
Procedimiento de revisión Supervisor de operaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Revisará el reporte del asistente de solución. - Checará visualmente la temperatura de la solución. 				
De <u>Robert Gorski</u> <u>Richard H. Bung</u>				
A: <u>D. J. Ziel</u> <u>Dale H. Dicks Jr.</u> <u>R. Votava</u>				

FIGURA 13.8
 Procedimiento estándar de control de proceso. (De LTV Steel.)

- ¿Cuáles son los estándares del proceso?
- ¿Por qué es necesario el control?
- ¿Quién es responsable del control?
- ¿Qué hay que medir y cómo?
- ¿Cuándo hay que medir?
- ¿Cómo se reportan los datos de rutina?
- ¿Quién es responsable de los datos que se reportan?
- ¿Cómo se audita?
- ¿Quién es responsable de la auditoría?
- ¿Qué se hace con un producto que no cumple con las normas?
- ¿Quién desarrolló el estándar?

Con frecuencia no se conocen las instrucciones detalladas del proceso hasta que los trabajadores adquieren experiencia en el mismo. Actualizar las instrucciones del proceso con base en la experiencia laboral es una tarea que puede llevarse a cabo de manera conveniente colocando un diagrama de causa y efecto en el departamento de producción, y anexando ficheros al diagrama. Cada fichero presenta las instrucciones adicionales del proceso basadas en la experiencia reciente.

Se debe crear una lista de control

La discusión anterior cubre el primer criterio de autocontrol: la gente debe contar con los medios para saber lo que supuestamente debe hacer. Para evaluar la adherencia a este criterio, se puede crear una lista de control con preguntas, incluyendo las siguientes:

Procedimientos de trabajo adecuados y completos

1. ¿Hay especificaciones escritas del producto, del proceso o instrucciones de trabajo? Si están escritas en más de un lugar, ¿conducen entre sí? ¿Son legibles? ¿Están convenientemente accesibles para el trabajador?
2. ¿El trabajador recibe los cambios a las especificaciones de manera automática y pronta?
3. ¿El trabajador sabe qué hacer en caso de recibir materia prima defectuosa?
4. ¿Las responsabilidades de las decisiones y las acciones están claramente definidas?

Estándares de desempeño adecuados y completos

5. ¿El trabajador considera que el estándar es alcanzable?
6. ¿La especificación define la importancia relativa de las diferentes características de calidad? Si se van a usar diagramas de control u otras técnicas, ¿su relación dará como resultado especificaciones claras?
7. ¿Los estándares para los defectos visuales están visibles en el área de trabajo?
8. ¿Las especificaciones escritas son entregadas al trabajador al igual que los criterios usados por los inspectores? ¿Se permiten con frecuencia desviaciones de las especificaciones?
9. ¿El trabajador sabe cómo se utiliza el producto?
10. ¿El trabajador conoce el efecto sobre las operaciones futuras y el desempeño del producto en caso de que no se alcance la especificación?

Selección y capacitación adecuadas

11. ¿El proceso de selección del personal vincula adecuadamente las habilidades del trabajador con los requerimientos del trabajo?

12. ¿El trabajador ha sido adecuadamente capacitado para entender la especificación y seguir los pasos necesarios para cumplirla?
13. ¿El trabajador ha sido evaluado mediante pruebas u otros medios para ver si está calificado?

Criterio 2: Conocimiento del desempeño

Para el autocontrol, la gente debe contar con los medios para saber si su desempeño va de acuerdo con el estándar. Esta conformidad se aplica a

- El producto en forma de especificación para las características del producto.
- El proceso en forma de especificación para las variables del proceso.

Este conocimiento se garantiza mediante tres fuentes primarias: mediciones inherentes al proceso, y mediciones por trabajadores de producción y por inspectores.

Criterios para la buena retroalimentación a los trabajadores

Las necesidades de los trabajadores de producción (a diferencia de los supervisores o especialistas técnicos) requieren que la retroalimentación de datos pueda leerse de un vistazo; que aborde únicamente los más importantes defectos y los sólo controlables por ellos; que brinde información oportuna y suficiente acerca de los síntomas y causas, y de cómo guiar las acciones correctivas. La buena retroalimentación debería:

- *Poder leerse de un vistazo.* El ritmo de los acontecimientos en el piso de una fábrica es rápido. Los trabajadores deben ser capaces de revisar la retroalimentación mientras están en movimiento. Cuando un trabajador requiere información acerca del desempeño de un proceso durante su jornada, las gráficas pueden ser una forma excelente de retroalimentación, siempre y cuando estén diseñadas para ser consistentes con las responsabilidades que le fueron asignadas (tabla 13.3). Resulta útil emplear elementos visuales para destacar los problemas recurrentes. Un problema que se describe como “Switch del alimentador externo instalado al revés” y se muestra en una gráfica en la palabra con grandes letras de molde tiene mucho más impacto que el mismo mensaje, sepultado lejos como una nota al margen en una carpeta de trabajo.
- *Abordar únicamente los más importantes defectos.* Saturar a los trabajadores con información sobre todos los defectos dará como resultado una desviación de la atención de los pocos que son vitales.

TABLA 13.3
Responsabilidad del trabajador vs. diseño de diagrama

Es responsabilidad del trabajador	El diagrama debe estar diseñado para mostrar
Hacer unidades individuales de producto que cumplan con las especificaciones.	Las mediciones de las unidades individuales del producto para compararlas con los límites de las especificaciones del proceso.
Mantener las condiciones del proceso de acuerdo con sus especificaciones.	Las mediciones de las condiciones del proceso en comparación con los límites de las especificaciones del proceso.
Mantener los rangos y promedios de acuerdo con los límites de control estadístico especificados.	Los rangos y promedios en comparación con los límites de control estadístico.
Mantener el porcentaje de disconformidad por debajo de algún nivel prescrito.	El porcentaje real de disconformidad en comparación con el nivel límite.

- *Lidiar únicamente con defectos controlables por el trabajador.* Cualquier otro curso sentaría la base de una discusión infructuosa.
- *Brindar información oportuna sobre los síntomas y las causas.* La oportunidad es una prueba básica para una buena retroalimentación; entre más cerca esté el sistema de señalar las cosas en “tiempo real”, mejor.
- *Brindar suficiente información para guiar las acciones correctivas.* La señal debe hacerse en términos que faciliten la toma de decisiones sobre acciones de recuperación.

Retroalimentación relacionada con la acción de los trabajadores

El trabajador debe saber qué tipo de cambios debe hacer al *proceso* para responder a la desviación del *producto*. Las fuentes de este conocimiento son:

- Las especificaciones del proceso (véase figura 13.4 bajo “Acciones correctivas”).
- Experiencia de recortar y probar por parte del trabajador.
- El hecho de que las unidades de medición, tanto para el producto como para el proceso, son idénticas.

Si carecen de todo esto, los trabajadores únicamente pueden seguir recortando e intentando o bien detener el proceso y activar la alarma.

Algunas veces la retroalimentación de datos puede convertirse en una forma que facilite la decisión del trabajador acerca de qué acción puede emprender en el proceso.

Por ejemplo, una tapa de cobre tiene seis dimensiones críticas. Era fácil medirlas y descubrir la naturaleza de la desviación del producto. Sin embargo, fue difícil traducir la información del producto en cambios al proceso. Para simplificar esta traducción, se emplearon diagramas de posición-dimensión (P-D). Las seis mediciones se “corrigieron”, en primer lugar, sustrayendo la más delgada de todas las demás. Estos datos corregidos se trazaron entonces en un diagrama P-D, como el que se muestra en la figura 13.9. Dichos diagramas ofrecen una manera de analizar la organización de la herramienta.

Retroalimentación a los supervisores

Más allá de la necesidad de retroalimentación en las estaciones de trabajo, existe la de dotar a los supervisores con sumarios de corto plazo. Éstos pueden adoptar diferentes formas:

Sumario de matriz. Una forma común de matriz es la de trabajadores contra los defectos; las columnas verticales están encabezadas por los nombres de los trabajadores y las filas horizontales por los de los tipos de defectos. La matriz deja claro cuáles son las clases de defectos predominantes, qué trabajadores se equivocan más y cuál es la interacción entre ellos. Otras matrices incluyen el número de máquina contra el tipo de defecto y el tipo de defecto contra la semana del calendario. Cuando se publica el sumario, es usual marcar con un círculo las celdas matriz para destacar las pocas situaciones que demandan atención.

Una elaboración de la matriz consiste en dividir la celda diagonalmente, lo que permite que se asienten dos números, por ejemplo, el número defectuoso y el producido.

Análisis de Pareto. Algunas compañías prefieren minimizar los detalles y dar información sobre los defectos totales de cada día más una lista de los tres principales defectos (aproximadamente) que se detectaron y cuántos había de cada uno. En algunas industrias, una “sala de diagramas” presenta el desempeño contra los objetivos por producto y por departamento.

Información de calidad automatizada. Algunas situaciones justifican la mecanización tanto del registro como del análisis de los datos. La captura de los datos en terminales de cómputo en los

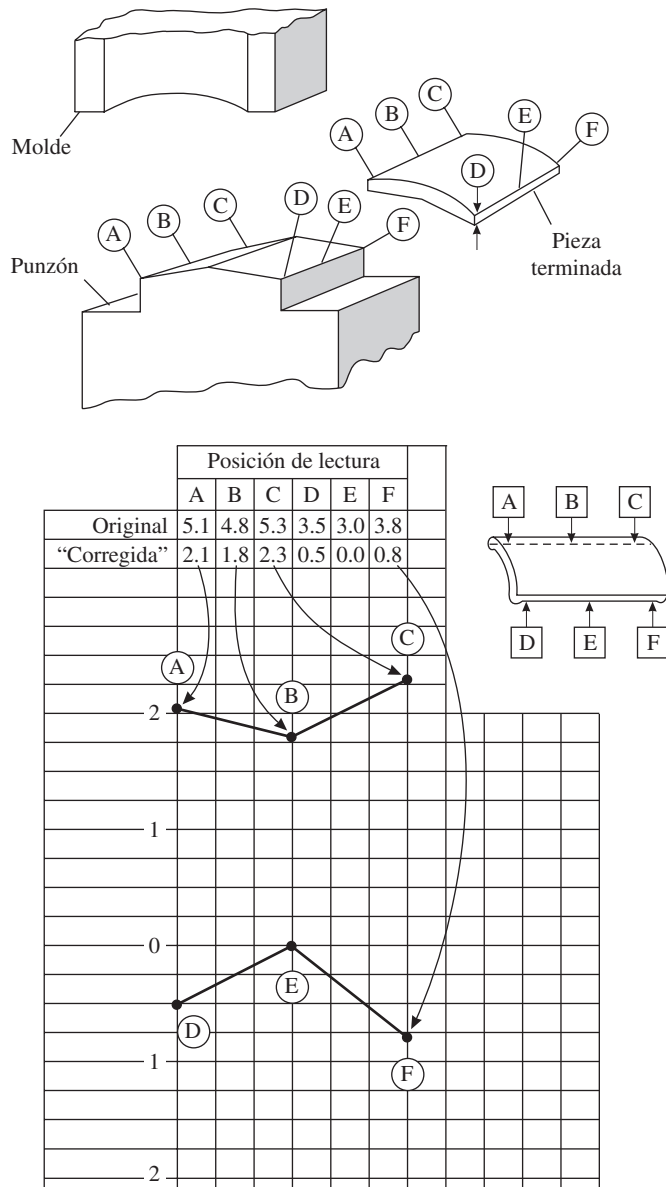


FIGURA 13.9
Método de dibujo del diagrama P-D.

pisos de producción ahora es común. Muchas variedades de software están disponibles para analizar, procesar y presentar la información sobre calidad que se recopila en el piso de producción.

El término *equipo para información de calidad* (QIE, por sus siglas en inglés) diseña el aparato físico que mide los productos y procesos, sintetiza la información y la envía de vuelta para la toma

de decisiones. Algunas veces, este equipo tiene su propio ciclo para el desarrollo del producto, que le permite cumplir con los parámetros de efectividad del producto para la QIE.

Lista de control

Una lista de control para la evaluación del segundo criterio de autocontrol incluye preguntas como las siguientes:

Revisión adecuada del trabajo

1. ¿El trabajador está proveyendo los medidores? ¿Brindan éstos mediciones numéricas en lugar de simplemente clasificar lo bueno de lo malo? ¿Son suficientemente precisos? ¿Se revisan con regularidad para comprobar su precisión?
2. ¿Informan al operario cada cuándo debe tomar muestras de su actividad? ¿Se le asigna tiempo suficiente?
3. ¿Informan al trabajador cómo evaluar las mediciones para decidir cuándo ajustar el proceso y cuándo dejarlo solo?
4. ¿Hay algún procedimiento de revisión para garantizar que el trabajador siga las instrucciones sobre el muestreo del trabajo y los ajustes al proceso de fabricación?

Retroalimentación adecuada

5. ¿Los resultados de las inspecciones se entregan al trabajador y éste los revisa con un supervisor?
6. ¿La retroalimentación es oportuna y suficientemente detallada como para corregir las áreas problemáticas? ¿Se ha preguntado al personal qué detalles son necesarios para la retroalimentación?
7. ¿Recibe el personal un reporte detallado de los errores por tipo específico de error?
8. ¿La retroalimentación incluye comentarios positivos además de negativos?
9. ¿La retroalimentación negativa se da en privado?
10. ¿Se rastrean algunos tipos de errores con retroalimentación de los clientes externos? ¿Podrían algunos de estos errores rastrearse con un indicador temprano interno?

Criterio 3: Habilidad y deseo de regular

La habilidad y el deseo de regular son el tercer criterio del autocontrol. Regular el proceso depende de varios factores controlables por la gerencia, incluyendo los siguientes:

El proceso debe poder cumplir con las tolerancias. Este factor es de gran importancia. En algunas organizaciones la credibilidad de las especificaciones es un problema serio. Por lo general, un proceso de manufactura se crea tras concretarse el diseño de producto; luego se realizan algunas pruebas y comienza la producción completa. En los casos en que surgen problemas de calidad durante la producción, el diagnóstico revela a veces que el proceso no es capaz de cumplir de manera consistente con las especificaciones del diseño. Ocurren entonces retrasos costosos mientras se resuelve el problema cambiando el proceso o la especificación. La capacidad del proceso de manufactura debe verificarse durante el ciclo de desarrollo del producto *antes de que su diseño se entregue para la producción completa*. Véase la sección 20.10 para una discusión amplia.

El proceso debe ser sensible a las acciones reguladoras mediante una relación predecible de causa y efecto, para minimizar la variación en torno a un valor objetivo.

EJEMPLO 13.1. En un proceso de fabricación de película de polietileno se pidió a los trabajadores que cumplieran con múltiples parámetros para el producto. El equipo contaba con varios dispositivos de

regulación, cada uno de los cuales podía variar el desempeño con respecto a uno o más parámetros. No obstante, los trabajadores no “marcaron” una lista predeterminada de ajustes que cumplieran con todos los parámetros. En cambio, fue necesario cortar y probar para cumplir con los parámetros de manera simultánea. Durante el periodo de cortar y probar, la máquina fabricó un producto imperfecto, a un grado que interfería con la posibilidad de alcanzar los estándares de productividad y entrega. Los trabajadores no pudieron predecir cuánto tiempo duraría el proceso de cortar y probar antes de que se lograra una aceptación plena. Por lo tanto, se convirtió en una práctica detener el método de cortar y probar después de un periodo razonable y dejar correr el proceso, ya fuera que hubiese conformidad o no.

El trabajador debe estar capacitado para usar los mecanismos y procedimientos de regulación. Esta capacitación debe cubrir el espectro entero de la acción: bajo qué condiciones hay que actuar; qué tipo y cantidad de cambios hay que hacer; cómo usar los mecanismos de regulación, y por qué es necesario emprender estas acciones.

EJEMPLO 13.2. De tres trabajadores calificados para el proceso de alimentos, sólo uno operó el proceso todas las semanas y se volvió proficiente. Los otros dos se empleaban sólo cuando el trabajador principal estaba de vacaciones o enfermo, y por lo tanto nunca se volvieron proficientes. La capacitación continua del personal auxiliar era considerada antieconómica, y los acuerdos con el sindicato prohibían su uso, excepto en las situaciones recién descritas. Este problema es controlable por la dirección, por ejemplo, con capacitación adicional o cambios en los acuerdos con el sindicato, en caso necesario.

Los ajustes no deben resultar personalmente desabridos para el trabajador; por ejemplo, no deben requerir un esfuerzo físico indebido.

EJEMPLO 13.3. En una planta que fabrica botellas de vidrio, un mecanismo de ajuste se encuentra al lado del área de calefacción. Durante los meses de verano, esta área estaba tan caliente que los trabajadores procuraban no entrar en la medida de lo posible. Cuando la regulación consiste en variar el componente humano de la operación, la cuestión de la capacidad del proceso surge de una forma nueva: ¿El trabajador tiene la capacidad de regular? Esta pregunta importante se discute en la sección 3.9, que incluye algunos ejemplos en los que se descubren las “mañas” del trabajador.

El proceso debe tener el suficiente mantenimiento para retener su capacidad inherente. Sin el mantenimiento adecuado, el equipo se descompone y requiere ajustes frecuentes, lo que a menudo implica un incremento tanto en los defectos como en la variabilidad en torno a un valor nominal. Evidentemente, dicho mantenimiento debe ser preventivo y correctivo a la vez. La importancia del mantenimiento ha elevado el concepto de mantenimiento de la productividad total (TPM, por sus siglas en inglés). Según este enfoque, se forman equipos para identificar, analizar y resolver los problemas de mantenimiento y maximizar el tiempo de funcionamiento del equipo del proceso. Estos equipos constan de trabajadores para la línea de producción, personal de mantenimiento, ingenieros de proceso y otros, según resulte necesario. Los problemas se mantienen al alcance para alentar el flujo constante de las pequeñas mejoras. Entre los ejemplos de mejoras destacan una reducción en el número de herramientas perdidas y la simplificación en los ajustes del proceso.

Sistemas de control y concepto de dominio

Los sistemas específicos para las características de control pueden estar vinculados a los factores subyacentes que dominan un proceso. Las principales categorías de dominio incluyen las siguientes:

- *Organización dominante.* Dichos procesos tienen alta reproductividad y estabilidad para toda la duración del lote que se va a fabricar. De ahí que el sistema de control haga énfasis en la verificación de la organización antes de que inicie la producción. Los ejemplos de dichos procesos son perforar, etiquetar, sellar con calor, imprimir, así como el trabajo de prensa.

- *Tiempo dominante.* Dicho proceso está sujeto a un cambio progresivo con el tiempo (desgaste de las herramientas, vaciamiento del reactivo, calentamiento de la máquina). El sistema de control asociado contará con un programa de revisiones del proceso con retroalimentación que permita al trabajador hacer cambios compensatorios. La maquinaria para atornillar, rellenar el volumen, cardar la lana y fabricar el papel son ejemplos de procesos con dominio del tiempo.
- *Componente dominante.* Aquí la calidad de los materiales y los componentes que se usan es lo que más influye. El sistema de control está fuertemente orientado hacia las relaciones con el proveedor, junto con la inspección de lo que llega y la clasificación de los lotes inferiores. Muchos procesos para las operaciones de ensamblaje y la formulación de alimentos son de componente dominante.
- *Trabajador dominante.* Para dichos procesos, la calidad depende principalmente de la habilidad y las mañas que tienen los trabajadores de producción. El sistema de control destaca características como los cursos de capacitación y las certificaciones para los trabajadores, los sistemas de *error-proofing*, y la calificación de los trabajadores y de la calidad. Los trabajadores son dominantes en procesos tales como soldadura, pintura y ordenamiento.
- *Información dominante.* En estos procesos, la información del trabajo normalmente sufre cambios frecuentes. De ahí que el sistema de control ponga énfasis en la precisión y actualización de la información que se brinda al trabajador (y a todos los demás). Entre los ejemplos de esta dominante se pueden incluir la edición de los pedidos y los “viajeros” que se emplean en los talleres de trabajo.

Los diferentes tipos de dominio difieren también en las herramientas que se emplean para el control del proceso. La tabla 13.4 muestra las formas de dominio en los procesos junto con las herramientas normalmente usadas para el proceso de control.

Lista de control

Una lista de control para evaluar el tercer criterio de autocontrol por lo general incluye preguntas como las siguientes:

Capacidad del proceso

1. ¿La capacidad de calidad del proceso puede ser medida para incluir tanto la variabilidad inherente y la debida al tiempo? ¿La capacidad se verifica periódicamente?
2. ¿El diseño del trabajo siguió los principios correspondientes para hacerlo a prueba de errores?
3. ¿El equipo, incluyendo cualquier tipo de software, fue diseñado para ser compatible con las capacidades y limitaciones de los trabajadores?

Ajustes al proceso

4. ¿Se le ha dicho al trabajador qué tan seguido debe reiniciar el proceso o cómo evaluar las mediciones para decidir si el proceso debe reiniciarse?
5. ¿El trabajador puede hacer un ajuste al proceso o eliminar defectos? ¿En qué condiciones el trabajador debería ajustar el proceso? ¿Cuándo debe el trabajador apagar la máquina y buscar ayuda adicional? ¿Ayuda de quién?
6. ¿Se le ha informado al trabajador de las acciones que pueden causar defectos y de las acciones preventivas que hay que tomar en cuenta, de preferencia por escrito?
7. ¿Los trabajadores pueden implementar cambios en su trabajo que muestren que darán beneficios? ¿Se alienta a los trabajadores para que propongan cambios?

TABLA 13.4
Herramientas de control para formas de dominancia de procesos

Organización dominante	Tiempo dominante	Componente dominante	Trabajador dominante	Información dominante
Inspección de las condiciones del proceso	Inspección periódica	Ranking (ranqueo) del proveedor	Inspección de aceptación	Información generada por computadora
Inspección de la primera pieza	Diagrama \bar{X}	Inspección de entrada	Diagrama p	Revisión "activa" de la documentación
Diagrama del lote	Diagrama de mediana	Control previo a la operación	Diagrama c	Códigos de barras y entradas electrónicas
Precontrol	Diagrama \bar{X} y R	Inspección de aceptación	Puntuación del operador	Auditorías del proceso
Calibración estrecha	Precontrol	Evaluación del modelo	Recertificación de los trabajadores	
Inspección visual de los atributos	Calibración estrecha		Auditorías del proceso	
	Diagrama p			
	Verificación de las variables del proceso			
	Registro automático			
	Auditorías del proceso			

Capacitación del trabajador para ajustes

8. ¿Ciertos trabajadores tienen alguna maña oculta que requiera ser descubierta y transmitida a otros?
9. ¿Los trabajadores han recibido el tiempo y la capacitación necesaria para identificar y analizar problemas, y desarrollar soluciones? ¿La capacitación incluye estrategias para el diagnóstico que permita buscar patrones de error y determinar sus fuentes y causas?

Mantenimiento del proceso

10. ¿Existe algún programa de mantenimiento preventivo adecuado para el proceso?

Fuerte cultura y ambiente de calidad

11. ¿Hay esfuerzos suficientes para crear y mantener la conciencia de la calidad?
12. ¿Hay evidencias de un liderazgo administrativo?
13. ¿Se han tomado provisiones para el autodesarrollo y el *empowerment* del personal?
14. ¿Se han considerado medidas para la participación del personal como un medio para las acciones inspiradoras?
15. ¿Se han tomado medidas para reconocer y recompensar al personal?

Para una comparación de las prácticas estadounidenses y rusas con respecto al control de los trabajadores, véase Pooley y Welsh (1994) en las Lecturas complementarias.

Uso de las listas de control para el autocontrol

Estas listas de control pueden ayudar a las operaciones en el diseño (o rediseño) de tareas que eviten errores; en el diagnóstico de problemas de calidad en tareas individuales; en la identificación de debilidades comunes en diversas tareas, y en asistir a los supervisores para actuar como *coaches* con el personal, preparar las auditorías del proceso y llevar a cabo cursos de capacitación en calidad. Para mayores detalles, véase *JQH5*, pp. 22.56-22.57.

13.5 MANUFACTURA AUTOMATIZADA

La marcha hacia la automatización de los procesos no disminuye. Diversos términos se han vuelto importantes:

- *Manufactura integrada a la computadora (CIM, por sus siglas en inglés)*. CIM es un proceso en que se aplica una computadora de manera planeada desde el diseño a lo largo de toda la manufactura y el envío del producto.
- *Manufactura asistida por computadora (CAM, por sus siglas en inglés)*. CAM es el proceso en que la computadora se utiliza para planear y controlar el trabajo de un equipo específico.
- *Diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés)*. CAD es el proceso mediante el cual una computadora asiste el proceso de creación o modificación de un diseño.

Este trío de conceptos produce fuertes incrementos en la productividad de las fábricas. Pero la automatización, con un planeamiento adecuado, también puede beneficiar la calidad del producto de muchas otras maneras:

- La automatización puede eliminar parte de la monotonía o las labores tediosas que resultan en errores humanos. Por ejemplo, cuando una operación manual de soldadura se pasó a un robot, el índice de fallas cayó a entre 0 y 15 por ciento.

- Se pueden reducir las variaciones del proceso mediante el monitoreo automático y el ajuste continuo de sus variables.
- Se puede reducir una importante fuente de problemas en el proceso, como por ejemplo, el número de ajustes a la máquina.
- Las máquinas pueden medir automáticamente el producto y también registrar, sintetizar y mostrar la información de los operadores de línea del producto y del personal. La retroalimentación para el trabajador puede ser inmediata, lo que advierte de manera temprana sobre los problemas inminentes.
- Con CAD, el ingeniero de calidad puede valorar los elementos que se integran desde una etapa temprana del diseño. Cuando se coloca un diseño en la computadora, el ingeniero de calidad puede revisarlo una y otra vez, y así mantenerse al tanto de los cambios de diseño.

De manera colectiva, éstas y otras tecnologías para manufactura basadas en la computadora reciben a veces el nombre de “sistemas avanzados de manufactura” (AMS, por sus siglas en inglés).

Con el surgimiento de una red de información electrónica gracias a Internet, un grupo de compañías puede operar como una fábrica virtual. Este ambiente permite a las compañías intercambiar información sobre los niveles de inventario, calendarios de entrega, listas de productores y especificaciones de los productos, y actuar con base en ella. También implica que la información CAD/CAM, así como aquella sobre otros procesos de manufactura, puede intercambiarse; los datos transferirse a las máquinas en una planta de proveedores, y el software de los proveedores usarse para analizar la productividad y comenzar con la manufactura real.

Para alcanzar los beneficios de la manufactura automatizada se requiere un espectro de conceptos y técnicas. Tres de ellos se discuten a continuación: las funciones clave de CIM, la tecnología de grupo y los sistemas de manufactura flexibles.

Funciones clave de la manufactura integrada a la computadora

CIM integra la ingeniería y producción a los proveedores y clientes (incluso globalmente) para, de manera interactiva, diseñar, planear y conducir las actividades de manufactura. Las actividades CIM incluyen: proveer de herramientas de diseño que apoyen la innovación en lugares remotos; la planeación de la manufactura; los modelos de simulación por computadora para evaluar y predecir el desempeño del proceso; las herramientas de detección y control para monitorear los procesos, así como las de inteligencia que reúnan y organicen la información sobre el proceso para compartirla con otros sitios; el procesamiento y la transferencia de la información entre los participantes geográficamente dispersos, y la traducción automatizada de texto entre diferentes lenguajes. Para mayores detalles, véase Lee (1995).

Tecnología de grupo

La tecnología de grupo es el proceso de examinar todos los artículos manufacturados por una compañía para identificar aquellos con suficiente similitud para ser empleados en común por los planes de diseño o manufactura, con el objetivo de reducir el número de nuevos diseños o planes de manufactura. Además de los ahorros en recursos, la tecnología de grupo puede mejorar tanto la calidad como el diseño y la calidad de la conformación, mediante el uso de planes de diseño o manufactura ya probados. En diversas compañías, sólo 20 por ciento de las partes que originalmente se creyó requerirían

un nuevo diseño finalmente lo necesitaron; de las partes nuevas restantes, 40 por ciento pudieron ser construidas con el diseño existente, y el otro 40 por ciento creadas modificando el diseño existente.

La ubicación de las máquinas de producción también puede beneficiarse del concepto de tecnología de grupo. Las máquinas se agrupan conforme a las partes que fabrican y pueden ser clasificadas en celdas de máquinas, cuando cada celda produce una o varias familias de partes (de ahí el término de “manufactura celular”). Para una discusión del cambio de la organización tradicional de manufactura a la manufactura celular y el impacto en los supervisores de primer nivel, véase Wright (1998).

Sistema de manufactura flexible

Un sistema de manufactura flexible (FMS, por sus siglas en inglés) es un grupo de diversas máquinas controladas por computadora, vinculadas mediante un sistema de manejo de materiales y una computadora, que sirve para acomodar diversos requerimientos de producción. El sistema puede ser reprogramado para acomodarse a los cambios de diseño o a las nuevas partes. En contraste, en un sistema fijo de automatización, la maquinaria, el equipo para el manejo de materiales y los controladores están organizados y programados para la producción de una parte única o de un rango limitado de partes.

Por lo general, las máquinas individuales son robots u otros tipos de máquinas controladas numéricamente, cada una de las cuales está dirigida por una microcomputadora. Diversas herramientas de este tipo están vinculadas por una minicomputadora, y a su vez varias de estas minicomputadoras están conectadas a la computadora principal.

La planeación de calidad para los procesos automatizados requiere algunas precauciones especiales. Éstas se identifican y discuten en *JQH5*, pp. 22.36-22.37.

Desde un extremo de la producción en masa (típica) de las industrias automatizadas, podemos ir hasta el otro extremo de la producción de bajo volumen (típica) en las industrias de talleres. La aplicación de los conceptos de calidad en los talleres industriales se cubre en *JQH5*, en la sección 24.

Incluso las industrias de oficios tradicionales se benefician hoy en día de la tecnología. Por ejemplo, la manufactura de pianos finos utiliza controladores lógicos programables para hacer ajustes en el proceso; en la fabricación de vino, las imágenes aéreas de los viñedos tomadas mediante sensores digitales para recopilar información sobre los contenidos de clorofila en los viñedos, constituyen un fuerte indicador del sabor (el avión pronto será reemplazado por los satélites).

Los beneficios potenciales de la fabricación automatizada requieren un tiempo significativo y recursos para la planeación. Sin embargo, la automatización no será total: nunca habrá robots plomeros en la fábrica, por ejemplo.

13.6

REVISIÓN GENERAL DE LA PLANEACIÓN DE MANUFACTURA

Se corre un gran riesgo cuando se pasa directamente de una propuesta de plan para un proceso de manufactura hasta la producción regular. Los retrasos y costos extra involucrados en las características de calidad requieren una revisión del proceso propuesto, incluyendo la del software empleado en éste. Dicha revisión se lleva a cabo de manera más efectiva a través de pruebas previas a la producción.

Idealmente, los lotes de producto deben recorrer el sistema completo para que se detecten las deficiencias y se corrijan antes del inicio de la producción en gran escala. En la práctica, las compañías normalmente hacen algunos compromisos con este enfoque idealista. La “preproducción” puede ser simplemente la primera producción regular, pero con una medida especial que permita

una pronta retroalimentación y la corrección de los errores que se detecten. Alternativamente, la preproducción puede limitarse a las características del producto y el diseño del proceso que son nuevas y para las cuales las experiencias previas no podían dar una base confiable para la toma de riesgos. Aunque algunas compañías se adhieren a la estricta regla de probar el producto y el proceso mediante los lotes de preproducción, el enfoque más común es también más flexible, y en él el uso de los lotes de preproducción depende de diversos factores:

- La medida en la cual el producto conlleva características nuevas o que no han sido probadas.
- La medida en la cual el diseño del proceso de manufactura conlleva máquinas o herramientas nuevas o que no han sido probadas.
- La cantidad y el valor del producto que estará en el campo antes de que el proceso, el producto y las dificultades de uso se conozcan por completo.

Estas pruebas en ocasiones incluyen las de “validación de la producción” para garantizar que el proceso en gran escala puede alcanzar los objetivos de diseño. Para un ejemplo, véase *JQH5*, p. 22.30.

Los términos *calificación del proceso* y *certificación del proceso* también se usan para describir la revisión de los procesos de manufactura. Black (1993) describe cómo Caterpillar desarrolló un programa interno de certificación similar al de su proveedor. El programa de certificación está construido en torno a un procedimiento de manufactura de 12 pasos que permite controlar el proceso e incluye la identificación de las características críticas del producto y los parámetros críticos del proceso; la determinación de los índices de capacidad del proceso, y las acciones para la mejora continua de la calidad.

Las pruebas de preproducción brindan la evaluación última, mediante la fabricación del producto real. Otras técnicas ofrecen advertencias aún más anticipadas antes de que un producto sea fabricado. Por ejemplo, el modo de falla, efecto y análisis crítico es útil al analizar una propuesta de diseño de *producto* (véase la sección 11.5). La misma técnica puede detectar los modos potenciales de falla y sus efectos sobre una propuesta de diseño de *proceso*. Otra técnica utiliza listas de control altamente detalladas para revisar los procesos propuestos.

13.7 ORGANIZACIÓN PARA LA CALIDAD EN LAS OPERACIONES DE MANUFACTURA

La organización del futuro estará influida por la interacción de dos sistemas: el sistema técnico (diseño, equipo, procedimientos) y el sistema social (gente, papeles); de ahí el nombre de “sistemas sociotécnicos” (STS, por sus siglas en inglés).

Están emergiendo nuevas formas de organizar el trabajo, en particular el nivel de la fuerza laboral. Por ejemplo, los supervisores se están volviendo “coaches”: se encargan de la capacitación y el *empowerment* en lugar de designar y dirigir. Los operadores a su vez se hacen “técnicos”, pues llevan a cabo tareas múltiples y tienen un amplio rango de decisión en lugar de tener trabajos restringidos con decisiones limitadas. Los conceptos de equipo desempeñan un papel importante en estos nuevos enfoques. En algunas organizaciones, 40 por ciento de la gente participa en equipos; algunas organizaciones tienen como objetivo 80 por ciento. Los equipos permanentes (como los de proceso o de autodirección) son responsables de todos los parámetros de producción, incluyendo la calidad; los equipos *ad-hoc* (como los de proyectos de calidad) normalmente son responsables de la mejora en la calidad. Un sumario de los tipos más comunes de equipos de calidad se presenta en la sección 7.7.

Aunque estos diferentes tipos de equipos de calidad muestran resultados significativos, la realidad es que, para la mayoría de las organizaciones, el trabajo cotidiano en un departamento está manejado por un supervisor que tiene un complemento de trabajadores llevando a cabo diversas tareas. Esta configuración es el “equipo de trabajo natural” en las operaciones. Pero los conceptos de equipo ciertamente pueden ser aplicados al trabajo cotidiano. Un marco para un equipo en las operaciones cotidianas de trabajo es el proceso de control de la trilogía de procesos de calidad. Los pasos a seguir para aplicarlos al trabajo cotidiano son: elegir sujetos de control; establecer mediciones y estándares de desempeño; medir el desempeño real; comparar con los estándares, y emprender acciones respecto a las diferencias. Para una discusión detallada sobre los pasos, véase el capítulo 5, “Control de calidad”. Cuando el equipo de trabajo natural del departamento recibe capacitación en estos conceptos, obtiene un mayor control respecto a los procesos clave del trabajo, para poder satisfacer las necesidades del cliente mientras se incrementa la participación y el *empowerment* del empleado.

13.8 PLANEACIÓN PARA LA EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

La planeación debe reconocer la necesidad de una evaluación formal del producto para determinar si se adapta al mercado. Tres actividades están involucradas en lo anterior:

1. Medir el producto para las especificaciones de no conformidad.
2. Tomar medidas respecto al producto disconforme.
3. Comunicar la información sobre la disposición del producto disconforme.

Estas actividades se discuten en la sección 15.3. Pero éstas inciden en la planeación del proceso de manufactura. Por ejemplo, diversas alternativas son posibles para determinar la conformidad, como por ejemplo, que las actividades sean llevadas a cabo por los trabajadores de la producción, por una fuerza de inspección independiente o por una combinación de ambas. El enfoque de combinación se utiliza cada vez más.

Lo que ha evolucionado es el concepto de autoinspección combinado con la auditoría del producto. De acuerdo con él, todas las decisiones de inspección y conformación, tanto del proceso como del producto, las toma el trabajador de la producción. (Sin embargo, las decisiones sobre las acciones que deben tomarse respecto de los productos disconformes, *no* se delegan al trabajador.) No obstante, se realiza una auditoría independiente sobre estas decisiones. El departamento de calidad inspecciona una muestra aleatoria y periódica para garantizar que el proceso de toma de decisiones empleado por los trabajadores para aceptar o rechazar un producto sigue siendo válido. La auditoría verifica el proceso de decisión. Hay que destacar que, bajo un concepto de auditoría pura, los inspectores no son transferidos para hacer trabajo de intervención al departamento de producción. Excepto en el caso de aquéllos necesarios para hacer auditorías, los puestos de inspección se eliminan.

Si una auditoría revela que los trabajadores han tomado malas decisiones, el producto evaluado desde la última inspección vuelve a ser inspeccionado, con frecuencia por los mismos trabajadores.

La autoinspección tiene ventajas decisivas respecto de la delegación tradicional de la inspección a un departamento separado:

- Se hace que los trabajadores de producción se sientan más responsables por la calidad de su trabajo.
- La retroalimentación sobre el desempeño es inmediata, lo que facilita los ajustes al proceso. La inspección tradicional también tiene la desventaja psicológica de que un “externo” esté reportando los defectos a un trabajador.

- Los costos de un departamento de inspección separado se pueden reducir.
- La extensión del trabajo que ocurre al añadir la inspección a la actividad de producción del trabajador ayuda a reducir la monotonía y el aburrimiento inherente a muchos trabajos.
- La eliminación de una estación específica para inspeccionar todos los productos reduce el tiempo total del ciclo de manufactura.

EJEMPLO 13.4. En una operación para enrollar hilo textil en conos, el método tradicional de inspección con frecuencia daba como resultado que los conos terminados estuvieran esperando durante varios días en el departamento de inspección, lo cual retrasaba cualquier retroalimentación para la producción. Con la autoinspección, los trabajadores recibieron retroalimentación inmediata y pudieron reparar las máquinas y mejorar los ajustes de manera más rápida. En general, el programa redujo las disconformidades de 8 a 3 por ciento. Una inspección de auditoría de los productos clasificados por los trabajadores como “buenos” mostró que virtualmente todos ellos fueron bien clasificados. En esta compañía, los trabajadores también pueden clasificar los productos como “dudosos”. En un análisis, las inspecciones del trabajador clasificaron 3 por ciento del producto como dudoso, tras lo cual un inspector independiente revisó el producto dudoso y clasificó 2 por ciento como aceptable y 1 por ciento como imperfecto.

EJEMPLO 13.5. Una empresa farmacéutica empleó una gran variedad de pruebas e inspecciones antes de que un producto en forma de cápsula fuera puesto a la venta. Estas revisiones incluían pruebas químicas, verificaciones de peso e inspecciones visuales de las cápsulas. Tradicionalmente se llevaba a cabo una inspección 100 por ciento visual por un departamento de inspección. Los defectos iban desde “críticos” (por ejemplo, una cápsula vacía) hasta “menores” (como una impresión defectuosa). Esta inspección consumía tiempo y frecuentemente causaba retrasos en el flujo de producción. Se instituyó un experimento de prueba de autoinspección por operadores de máquinas. Los operadores inspeccionaban visualmente una muestra de 500 cápsulas. Si la muestra era aceptable, el operador enviaba el contenedor completo al almacén; si la muestra no resultaba aceptable, el contenedor completo se enviaba al departamento de inspección para una inspección al 100 por ciento. Durante el experimento, tanto las muestras como los contenedores completos fueron enviados al departamento de inspección para su análisis al 100 por ciento más una nueva inspección de la muestra registrada por separado. El experimento llegó a dos conclusiones: (1) la inspección de la muestra por los operadores daba resultados consistentes con la inspección de la muestra por los inspectores, y (2) la muestra de 500 daba resultados consistentes con los obtenidos de la inspección al 100%.

El experimento convenció a las partes para que cambiaran a la inspección de muestra por los operadores. Bajo el nuevo sistema, se entregó un buen producto al almacén antes, y el producto marginal recibió una inspección muy concentrada al 100 por ciento. Adicionalmente, el nivel de defectos *se redujo*. El nivel mejorado de calidad fue atribuido a un mayor sentido de responsabilidad de los operadores (ellos mismos decidían si el producto estaba listo para venderse) y a la retroalimentación inmediata que recibían los operadores de la autoinspección. Pero hubo un beneficio adicional: la fuerza de inspección se redujo en 50 personas. Éstas fueron trasladadas a otros tipos de trabajo, incluyendo la experimentación y análisis de los diversos tipos de defectos.

Crterios para la autoinspección

Para la autoinspección, es necesario cumplir con ciertos criterios:

- La calidad debe ser la prioridad número uno dentro de la organización. Si este criterio no es claro, un trabajador puede sucumbir ante el programa y la presión del costo y clasificar como aceptables productos que deberían ser rechazados.
- Es necesaria la confianza mutua. Los gerentes deben tener suficiente confianza en la fuerza de trabajo y estar dispuestos a dar a los trabajadores la responsabilidad de decidir si el producto

está hecho conforme a las especificaciones. A su vez, los trabajadores deben poseer suficiente confianza en la gerencia y estar dispuestos a aceptar tal responsabilidad.

- Se debe cumplir con el criterio de autocontrol. No eliminar la alta prioridad de la administración puede crear en este ambiente un sesgo de los trabajadores durante la inspección. Los trabajadores deben estar capacitados para entender las especificaciones y llevar a cabo la inspección.
- Las especificaciones deben ser inequívocamente claras. Los trabajadores tienen que entender qué uso se dará a sus productos (interna o externamente) para captar la importancia de una decisión de conformidad.
- El proceso debe permitir la asignación de una responsabilidad clara para la toma de decisión. Un caso fácil para la aplicación es la de un trabajador que lleva una máquina porque existe una responsabilidad para la toma de decisión tanto del producto como de la conformidad del producto. Por otra parte, una larga línea de ensamblaje o los numerosos pasos que deben tomarse en un proceso químico dificultan la asignación clara de responsabilidades. Es mejor prorrogar la aplicación de la autoinspección a los procesos de múltiples fases hasta que se haya ganado experiencia con algunos más simples.

La autoinspección debería aplicarse sólo a los productos y procesos que son estables y cumplen con las especificaciones, y sólo con personal que ha demostrado tener esta capacidad.

La respuesta de los trabajadores a la delegación de autoridad es generalmente favorable; el concepto de ampliación de trabajo es un factor significativo. Sin embargo, los trabajadores que califican para la autoinspección comúnmente solicitan una forma de compensación por su logro, como un mayor rango o más paga. Las compañías invariablemente dan una respuesta constructiva a estas demandas, ya que el ahorro al delegar es favorable. Adicionalmente, la diferencia que resulta tiende a actuar como estímulo para que los trabajadores no calificados se capaciten.

Una autoinspección auxiliar es el uso de dispositivos *poka-yoke* como parte de la inspección. Éstos se instalan en una máquina para inspeccionar las condiciones del proceso y los resultados del producto, y para brindar retroalimentación inmediata al operador. Los mecanismos tales como cambios de límites y broches de interferencia, que se emplean para garantizar el posicionamiento adecuado de los materiales en las máquinas, son dispositivos *poka-yoke* para inspeccionar las condiciones del proceso. Los indicadores de avanzar y no avanzar son ejemplos de dispositivos *poka-yoke* para inspeccionar el producto. Para más detalles, véase The Productivity Press Development Team (1997). Grout y Downs (1998) comparan el uso de dispositivos *poka-yoke* para manipular procesos mediante gráficas de control estadístico de procesos.

13.9 AUDITORÍAS DE CALIDAD DE PROCESO

Una auditoría de calidad es una revisión independiente para comparar algunos aspectos del desempeño de calidad con un estándar para ese desempeño. La aplicación a la manufactura ha sido extensiva e incluye tanto auditorías de actividades (de procesos) como auditorías de productos. Se discute ampliamente el tema de las auditorías de calidad en el capítulo 16, “Auditorías para asegurar la calidad”.

Una *auditoría de calidad de un proceso* incluye cualquier actividad que pueda afectar la calidad final del producto. Esta auditoría en un solo lugar normalmente se hace mediante un proceso específico por una o más personas y emplea los procedimientos de operación del proceso. Se pone

énfasis en la adherencia a los procesos existentes, pero las auditorías con frecuencia ponen al descubierto situaciones en las que hay procedimientos inadecuados o no existentes. Las listas de control que se presentaron en este capítulo respecto a los tres criterios de autocontrol pueden sugerir temas específicos de utilidad para las auditorías de procesos; éstas deben basarse en fundamentos de hechos duros que se presentan en el reporte auditor de una manera que ayude a los responsables a determinar y ejecutar las acciones correctivas que se requieren.

Peña (1990) explica un enfoque de auditoría para procesos. Se emplean dos tipos de auditoría: ingeniería y monitoreo. La auditoría del proceso de ingeniería es conducida por un ingeniero de calidad y conlleva una intensa revisión de todos los pasos del proceso, incluyendo sus parámetros y técnicas de manejo y control estadístico. La tabla 13.5 muestra la lista de control de auditoría.

La auditoría del proceso de monitoreo cubre una amplia gama de aspectos, como, por ejemplo, si las especificaciones del clima son correctas, y si se están haciendo y manteniendo los registros. Se documentan las discrepancias (críticas, mayores, menores) y se requieren por escrito las acciones correctivas. Los defectos críticos deben ser corregidos de inmediato; los mayores y menores resolverse en un plazo de cinco días hábiles.

Una *auditoría de producto* implica la reinspección del mismo para verificar si son adecuadas las decisiones de aceptación y rechazo. En teoría, las auditorías de dicho producto no deberían ser necesarias. En la práctica, con frecuencia pueden justificarse mediante quejas de campo. Tales auditorías pueden llevarse a cabo en cada estación de inspección para el producto, o tras el ensamblaje y empaque final. Algunas veces se requiere una auditoría antes de que un producto sea trasladado hasta la siguiente operación. Para mayor información, véase la sección 16.12, “Auditoría del producto”.

TABLA 13.5
Lista de control de auditoría

-
1. ¿La especificación es accesible para el personal de producción?
 2. ¿Hay un archivo de la revisión actual?
 3. ¿La copia en archivo está en buenas condiciones y todas las páginas están contadas?
 4. Si se hace referencia a ciertos documentos en el equipo, ¿van de acuerdo con la especificación?
 5. Si se hace referencia a la hoja de registro en las especificaciones, ¿se incluye una muestra en ellas?
 6. ¿El operador está completando la hoja de registro de acuerdo con las especificaciones?
 7. ¿El departamento de ingeniería o el supervisor adecuado autorizó o está al cuidado de los lotes con lecturas sin especificación?
 8. ¿Las correcciones a los documentos en papel se están haciendo conforme a las especificaciones?
 9. ¿Los ajustes de tiempo del equipo están hechos conforme a las especificaciones?
 10. ¿Los ajustes de temperatura del equipo están hechos conforme a las especificaciones?
 11. ¿Está vigente la etiqueta de calibración del equipo?
 12. ¿Los químicos o gases que se listan en la especificación van de acuerdo con el uso real?
 13. ¿Las cantidades listadas en la especificación van de acuerdo con el ajuste de la línea?
 14. ¿Los cambios a los gases o químicos se están haciendo conforme a las especificaciones?
 15. ¿Está certificado el operador de producción? Si no, ¿esta persona está autorizada por el supervisor?
 16. ¿El procedimiento operativo de producción está hecho conforme a las especificaciones?
 17. ¿El operador está llevando a cabo el procedimiento de limpieza escrito conforme a las especificaciones?
 18. Si los requerimientos de seguridad aparecen listados en la especificación, ¿se siguen?
 19. Si los procedimientos de control del proceso están escritos en la especificación, ¿las acciones que se están llevando a cabo mediante el control del proceso son verificables?
 20. Si los procedimientos de mantenimiento del equipo están escritos en las especificaciones, ¿las acciones que se llevan a cabo son verificables? ¿Van de acuerdo a la especificación?
-

Fuente: Peña (1990). Impreso con autorización de la ASQ (American Society for Quality).

13.10

MEDIDAS DE CALIDAD EN OPERACIONES DE MANUFACTURA

El manejo de los procesos clave de trabajo debe incluir una provisión para la medición. Al desarrollar las unidades de medida, el lector debe revisar los principios de la medición de calidad abordados en la sección 5.2.

La tabla 13.6 muestra algunos ejemplos de actividades de manufactura. Cabe destacar que muchos de los temas de control son formas de producción del trabajo. Al revisar las unidades usadas actualmente, un buen punto de partida es la medida de la productividad. La *productividad* se define normalmente como la cantidad de la producción relacionada con los recursos de entrada. Sorprendentemente, algunas organizaciones siguen calculando erróneamente sólo una medida de producción como el total (aceptable o no aceptable). Por supuesto, la medida pertinente de producción es la que pueden usar los clientes (por ejemplo, la producción aceptable).

Las unidades de la tabla 13.6 son candidatas para el análisis de datos mediante técnicas estadísticas como los diagramas de control, que se discuten en el capítulo 20. Pero hay un punto más esencial: la selección de la unidad de medida, la recolección periódica y el reporte de los datos demuestra al personal de operación que la gerencia considera que el tema tiene una importancia prioritaria. ¡Este ambiente prepara el escenario para la mejora!

TABLA 13.6
Ejemplos de medición de calidad en la manufactura

Tema	Unidad de medida
Calidad de la producción de manufactura	Porcentaje de la producción que cumple con las especificaciones en la inspección (rendimiento de la primera producción).
	Porcentaje de la producción que cumple con las especificaciones en la inspección intermedia y final.
	Cuantía del desecho (cantidad, costo, porcentaje, etc.), cuantía del nuevo trabajo (cantidad, costo, porcentaje, etcétera).
	Porcentaje de la producción enviado renunciando a las especificaciones.
	Número de defectos encontrados en la auditoría de producto (después de la inspección).
	Costos de garantía debidos a defectos de manufactura.
	Medida general de la calidad del producto (defectos en partes por millón, defectos pesados por unidad, variabilidad de las características críticas, etcétera).
Cuantía de la producción degradada	Calidad de la entrada en manufactura.
	Porcentaje de operaciones críticas con trabajadores certificados.
	Cuantía de tiempo ocioso del equipo de manufactura.
	Porcentaje de entrada de producto que cumple con las especificaciones.
	Porcentaje de instrumentos que cumplen los programas de calibración.
	Porcentaje de especificaciones que requieren cambios después del lanzamiento.

13.11

MANTENIMIENTO DE UN ENFOQUE EN LA MEJORA CONTINUA

Históricamente, la función de operaciones siempre ha estado involucrada en la resolución de problemas esporádicos. En la medida en la que se identifican los problemas crónicos, se enfrentan usando distintos enfoques, como los equipos de mejoramiento de calidad (véase capítulo 3, “Mejoramiento de la calidad y reducción de costos”). Con frecuencia los remedios para la mejora implican planeación para la calidad o replaneación (véase capítulo 4, “Planeación de la calidad operacional e ingreso por ventas”). Estos tres tipos de acción se sintetizan en la tabla 13.7.

Kannan *et al.* (1999), en las Lecturas complementarias, presentan los resultados de una encuesta de la aplicación de 38 prácticas de administración de la calidad (como el uso de datos estándar para mejorar las prácticas de calidad), 39 herramientas y técnicas (como el control del proceso estadístico), 29 áreas de documentación (manual de aseguramiento de calidad) y 12 mediciones de calidad (quejas de los clientes) en el nivel operativo de las industrias manufactureras. Estos análisis incluyen el grado de uso y el impacto en cinco mediciones de desempeño de organizaciones.

Mantener el foco en la mejora requiere claramente una cultura positiva de calidad en la organización. Por lo tanto, en primer lugar debemos determinar la cultura de calidad actual (véase sección 2.7) y luego dar los pasos para cambiarla por una que promueva una mejora continua (véase capítulo 9, “Desarrollo de una cultura de calidad”). Además, la función de operaciones debe contar con el apoyo para mantener el enfoque en la mejora. Una fuente clave de dicho apoyo debería ser el departamento de calidad. Por lo tanto, éste debería ver las operaciones como su cliente interno

TABLA 13.7
Tres tipos de acción

Tipo de acción a emprender	Cuándo emprenderla	Pasos básicos
Resolución de problemas (parte del control de calidad)	Indicador de desempeño fuera de los límites de control.	Identificar el problema Diagnosticar el problema
	Indicador de desempeño con tendencia clara hacia los límites de control.	Emprender acciones correctivas
Mejora de la calidad	Los límites de control son tan amplios que es posible que el proceso esté en control y aun así no cumpla los objetivos.	Identificar el proyecto Establecer el proyecto
		Diagnosticar la causa Remediar la causa
	El indicador de desempeño con frecuencia falla la meta.	Detener la ganancia
Planeación de la calidad	Muchos indicadores de desempeño de este proceso fallan la meta frecuentemente.	Establecer el proyecto Identificar a los clientes
		Descubrir las necesidades de los clientes
	Los clientes tienen necesidades significativas que el producto no satisface.	Desarrollar producto Desarrollar proceso
		Controles de diseño

Fuente: Adaptado del Juran Institute, Inc. (1995, pp. 5-7).

clave y brindar la capacitación, la pericia de calidad técnica y otras formas de apoyo que permitan a las operaciones mantener el enfoque en la mejora. También, un departamento de calidad puede instar a la alta dirección a que establezca equipos interdisciplinarios para hacer frente a los problemas de operaciones que puedan ser causados por otros departamentos funcionales como ingeniería, compras, e información y tecnología.

13.12

ESTUDIO DE UN CASO DE DOCUMENTACIÓN DE *ERROR-PROOFING* en un ambiente de biotecnología usando six sigma y proyectos lean¹

Marco de referencia

En ambientes de manufactura regulados por la FDA (Federal Department Antinarchotics), como los de las ciencias de la vida, la biotecnología y las industrias farmacéuticas, la documentación completa y precisa de los procesos y la finalización de las etapas del proceso son críticos. Sin embargo, dicha documentación está sujeta a diversos errores humanos: descuidos, lapsos, errores y violaciones. Esto es un problema común en estas industrias, pero la mayoría de los errores en los documentos no impactan la calidad del producto.

Tipos de errores en documentos, detectados durante la revisión de los registros de lotes

Tipo de error	Descripción
Lapso de atención	Se olvida registrar la ubicación, tiempo de almacenamiento y transferencia después de sacar el producto del cuarto frío. Se olvida hacer el asiento correspondiente en uno de los tres equipos de registro vinculados a las líneas de transporte y tanques. Se olvida ingresar la información que se usó en un boleto en el registro.
Descuido	Se traspone un número de lote. Se olvida poner inicial y fecha en una página ya revisada para que esté completa.
Error basado en la regla	Se excluye indebidamente una entrada como “no aplicable”.

Un diseño de la alta dirección de Genentech para hacer la documentación de *error-proofing* dio como resultado que se lograra un gran avance sostenible mediante el desarrollo enfocado de equipos six sigma y de proyectos lean.

El proyecto de *error-proofing* fue constituido en septiembre de 2003 por altos funcionarios de Genentech (equipo central de GMP). Su objetivo era reducir el riesgo de inspección asociado con los errores y los boletos perdidos. Tal objetivo se expresó como la meta dual que se detalla a continuación:

Meta 1: Reducir el índice de errores en documentos registrados en el sistema de gerencia de discrepancia en 50 por ciento relacionados con el lineamiento Q1/Q2 de septiembre de 2004. Mantener el índice de errores dentro de la nueva “zona de control”: menos de cinco errores por 100 boletos (principales documentos de registro del lote) durante tres meses o más.

¹ Adaptado de Bottome y Chua (2005) y con cortesía de Robert Bottome de Genentech.

Meta 2: Reducir el volumen general de errores en los boletos originales en 50 por ciento, en relación con el lineamiento Q1/Q2 2003.

Seis equipos de *error-proofing* fueron asignados en octubre de 2003 para investigar las causas de este patrón de error y variabilidad. Los consultores trabajaron con cada equipo. Los equipos fueron contratados para que sus implementaciones iniciaran en marzo de 2004 y lograran reducciones al índice de errores medibles en documentos hacia junio de 2004.

Los seis proyectos fueron:

1. Retroalimentación oportuna (un proyecto de six sigma DMAIC).
2. Cambio de volumen y de tiempo (un proyecto de six sigma DMAIC).
3. Mapeo de la cadena de valor en la hormona de crecimiento y operaciones de recuperación (un proyecto de mapeo lean/cadena de valor).
4. Aclaración de las reglas del documento (un proyecto de six sigma DMAIC).
5. Desarrollo del documento (un diseño para el proyecto de six sigma DMAIC).
6. Complejidad del documento (un diseño para el proyecto de six sigma DMAIC).

Hallazgos clave

1. Retroalimentación oportuna

Con base en las entrevistas realizadas en todos los turnos, el equipo del proyecto llegó a la conclusión de que el tiempo y la utilidad que brinda la retroalimentación variaron en los diferentes equipos de producción: en particular, el equipo del proyecto encontró que un mecanismo para la retroalimentación oportuna está presente sólo en ciertas instancias. Se arreglaron para correlacionar la presencia o ausencia de retroalimentación oportuna en los índices de error de los documentos. Como se muestra en el cuadro de hipótesis a continuación (pruebas de tablas de independencia chi-cuadrada), el índice de error del documento depende de la presencia o ausencia de la retroalimentación oportuna.

Prueba de tabla chi-cuadrada: <1wk FB S, 0 FB S

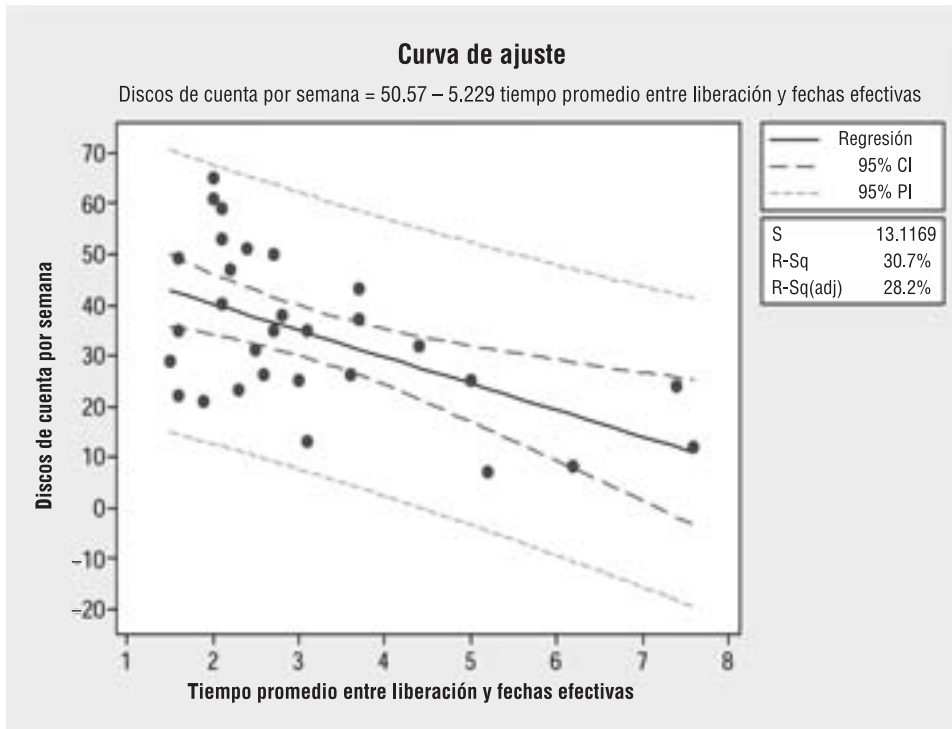
Las cuentas que se prevén están debajo de las cuentas que se observan
Las contribuciones chi-cuadrada están debajo de las cuentas que se esperaban

	<1wk		
	FB S	0 FB S	Total
1	25	19	44
	20.20	23.80	
	1.138	0.967	
2	20	34	54
	24.80	29.20	
	0.928	0.788	
Total	45	53	98

chi-cuadrada = 3.820, DF = 1, p-Valor = .051

Hay una relación estadística de dependencia entre la falta de retroalimentación y los grupos identificados con un buen o mal desempeño (en los errores de documentos).

Los equipos con retroalimentación oportuna tuvieron un desempeño 50 por ciento mejor que los que la tuvieron incompleta o a destiempo. Como lo predijo el equipo, el índice de error en el documento dio un primer cambio importante hacia una nueva zona de control en abril de 2004, inmediatamente después de que se introdujeron los mecanismos de retroalimentación oportuna.



2. Cambio de tiempo

El equipo del proyecto de cambio de volumen y de tiempo (proyecto DMAIC) se organiza para investigar la relación entre las fechas de liberación y efectividad del documento con respecto a los errores por documento. Al correlacionar el intervalo entre las fechas de liberación y efectividad con los errores registrados por ejecución de un boleto, el equipo fue capaz de demostrar que los documentos hechos efectivos durante los tres días siguientes a su liberación presentaron una cantidad desproporcionada de discrepancias erróneas (véase figura 13.10).

Debido a que transcurrieron menos de dos días entre la liberación y la fecha efectiva del 45.7 por ciento de los boletos, éstos representaron un giro significativo hacia los errores de documento en el piso. A medida que el equipo siguió investigando, pudo confirmar que el intervalo de entre 1 y 3 días no permite una capacitación documental significativa entre turnos.

3. Cambio de volumen

Otra razón para los errores confirmada por el equipo de cambio de volumen y tiempo es el número de veces que un documento se cambia en un año. Más de 1 440 boletos de cambio fueron iniciados por la manufactura de SSF en 2003. Al comparar los índices de discrepancia registrados para los documentos que sufrieron cambios más de tres veces en un año y los que se cambiaron menos seguido, el equipo pudo confirmar que las revisiones frecuentes provocan errores en los documentos.

La prueba Kruskal-Wallis demuestra diferencias significativas en la mediana de los errores de documentos entre diferentes frecuencias de cambio en documentos

Frecuencia de cambio	N	Mediana	Rango promedio	Z
0.08	215	0.1268	188.4	-3.06
0.17	127	0.1429	208.0	0.29
0.25	45	0.1875	243.8	2.30
0.33	20	0.5227	269.0	2.46
0.42	2	0.6483	317.0	1.33
0.58	1	0.6800	344.0	1.17
y más	410		205.5	

H = 18.09 DF = 5 p = 0.003
H = 18.28 DF = 5 p = 0.003 (ajustado por empates)

Se propuso la imposición de un mecanismo para sacar documentos con más de tres cambios al año, junto con un sistema para hacer más visibles las revisiones. El equipo sigue convencido de que estas medidas arrojarán beneficios adicionales en la reducción de errores de documentos.

4. Color de tinta

El equipo de mapeo lean/cadena de valor en las operaciones de recuperación de la hormona del crecimiento generaron una lista de ideas para la implementación de *error-proofing* durante su fase de mejora rápida. Una de las ideas con utilidad universal evidente surgió de un análisis de los factores que contribuyen a la omisión de errores anotados. El equipo se dio cuenta de que cuando se hacen apuntes en tinta negra en los registros de lotes, formatos u otros documentos impresos en tinta negra, puede ser difícil notar si falta alguna entrada necesaria. El equipo propuso cambiar a tinta azul para incrementar el contraste entre las notas y el texto impreso.

Después de negociar los detalles con el grupo de aseguramiento de la calidad y cumplimiento, se hicieron los cambios SOP necesarios para permitir el uso de tinta azul sin tener que exigirlo. Se circuló un memo explicando la razón del cambio y pidiendo a los gerentes reforzar el uso consistente de tinta azul. Tal iniciativa fue implementada en marzo de 2004, al tiempo que el índice de omisión cayó, por primera vez, por debajo de 5. Los datos del auditor en línea de la manufactura (MOA, por sus siglas en inglés) recopilados entre julio y agosto de 2004 sugieren que las omisiones fueron detectadas dos veces más seguido de esta manera ahora que la tinta azul se utiliza rutinariamente.

5. Ubicación del equipo de registro y otras mejoras rápidas

Otra idea de mejora rápida que implementó exitosamente el equipo de recuperación de la hormona del crecimiento lean/VSM se fijó en lo centralizado de los equipos de registro de uso. Se desarrolló una herramienta de encuesta y mapas *spaghetti* para probar la hipótesis de que tener los equipos de registro de uso dispersos por el área de trabajo aumenta el desgaste técnico e incidentalmente el riesgo de errores en los documentos.

Tras centralizar los registros en un solo lugar, 95 por ciento de quienes contestaron la encuesta reconocieron que el sistema era mucho más fácil de usar (menos distancia, menos tiempo, menos dificultad). Los índices de error en el área siguieron bajando después de que se centralizaron los registros.

Los esfuerzos de mejora rápida para identificar los puntos únicos de contacto y proveer radios y estructuras de comunicación para la claridad, franqueza y simplicidad contribuyeron a reducir el impacto de las comunicaciones no controladas con el piso.

6. Confusión de la regla de documentación

Las entrevistas con los operadores que hacen los boletos confirmó que existe un alto grado de confusión en torno a las reglas para tachar, descartar secciones como no aplicables, anotar el tiempo correctamente y otros puntos finos para la creación de registros de lote. Esta confusión se identificó como una causa potencialmente significativa para los errores en la documentación.

Aunque muchos de los errores que resultan de la confusión se tachan (véase figura 13.11) y se corrigen en la revisión en línea, los tachones, como tales, fueron considerados como un aspecto preocupante por un auditor de la FDA, ya que reflejaban la lucha del operador por crear el registro de lote correcto la primera vez.

El equipo catalogó sistemáticamente los puntos de confusión (sub- Y) y entonces completó un análisis de causa y efecto de cada uno para identificar las razones [$f(x)$]. Entre los ejemplos de estas fuentes validadas de confusión (X probada) se encuentran:

Los documentos usan lenguaje ambiguo (por ejemplo, “aproximadamente”), lo que causa confusión en torno a las reglas del documento y lleva a errores en él.

Algunos documentos incluyen información sólo en torno a los límites de alerta; otros en torno a los límites de alerta y acción. Esta inconsistencia genera confusión en torno a las reglas del documento, lo que lleva a errores en él.

Las reglas de la documentación siguen cambiando, lo que genera confusión en torno a las reglas del documento y lleva a errores en él.

Los operadores son capacitados por diferentes personas y los contenidos no son consistentes, lo que genera confusión en torno a las reglas del documento y lleva a errores en él.

La justificación detrás de las reglas (criterios de las reglas) no se comunica, lo que genera confusión en torno a las reglas del documento y lleva a errores en él.

Estas causas validadas de confusión se convirtieron en necesidades del cliente y son empleadas como la base para el diseño de un SOP central claro para la documentación y la capacitación aso-

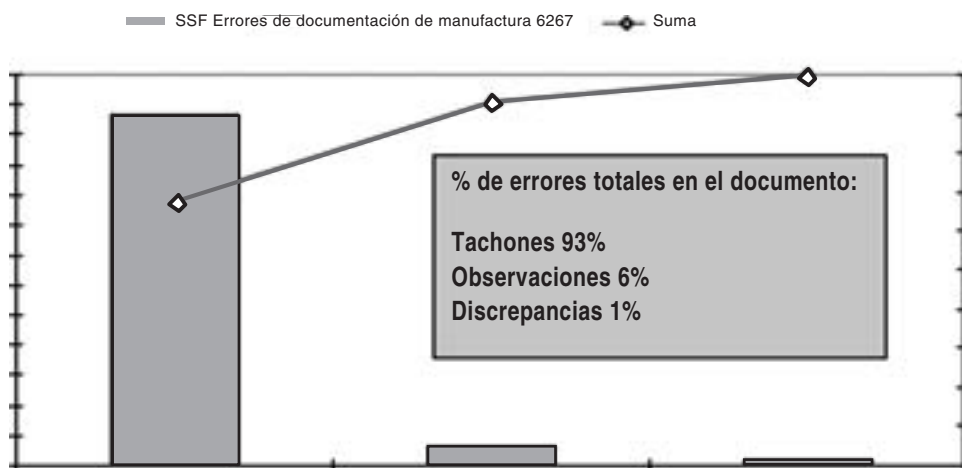


FIGURA 13.11

Línea de base para el desempeño de errores basada en una revisión de documentos completada antes de febrero de 2004.

ciada. Estas herramientas necesarias se hicieron efectivas, entregándose a los operadores en mayo de 2004, justo cuando el índice de error cayó por primera vez por debajo de 5 por 100 boletos.

7. Baja responsabilidad por errores de procesamiento de texto y coordinación no centralizada para cambios de documentos

El equipo de desarrollo de documento y proceso de cambio (un equipo de DMADV) definió su problema en relación con la incapacidad del proceso actual para producir documentos confiables, precisos y libres de errores, dentro de los plazos definidos por el cliente.

Los datos de Q1/Q2 de 2003 fueron analizados por el equipo para identificar los errores maestros y rastrearlos en los pasos del proceso donde el error pudo haberse originado o detectado (los errores individuales con frecuencia fueron rastreados hasta diferentes lugares). Este análisis identificó la etapa del proceso de “Desarrollo del documento” (incluyendo el procesamiento de texto y los pasos *redline* SME) como los más significativos en la generación de errores (véase figura 13.12).

Se creó un mapa de cadena de valor del proceso y se utilizó para demostrar que sólo cuatro de los 54 pasos tenían valor agregado, dos no tenían valor agregado, y los 48 restantes estaban clasificados como “no requieren valor agregado”.

Un FMEA del proceso calificó los diversos modos de falla que se identificaron, y las causas originales fueron ubicadas en los niveles más altos de severidad de fallas. Las 10 principales calificaciones RPN pudieron haberse asignado a tres causas principales: brechas en la comunicación, inadecuaciones en el proceso de negocio y limitaciones en los recursos.

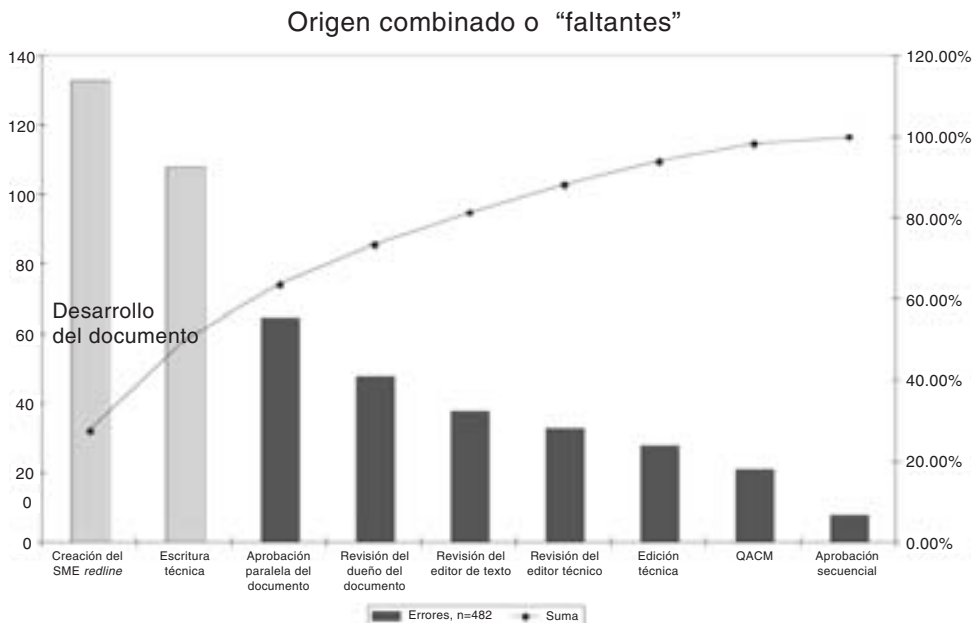


FIGURA 13.12

Pareto de las brechas de desempeño identificadas en los datos de Q1/Q2, que muestran el origen combinado y los pasos “faltantes” donde los errores pudieron haberse detectado.

Se diseñó un proceso mejorado usando la metodología DMADV para tratar diferentes aspectos; las tres razones de origen se convirtieron en necesidades de los clientes. Se hizo una prueba piloto del proceso mejorado (el cual considera un coordinador centralizado, referencias automatizadas de los pasos, herramientas de administración de recursos y listas de control del desarrollo) en el otoño de 2004. En comparación con los datos de base, los esfuerzos de preparación de la campaña dieron como resultado documentos precisos acordes con los tiempos definidos.

8. Complejidad del documento

El planteamiento del problema previsto por el equipo de complejidad del problema (un proyecto DMADV) puso énfasis en el vínculo entre los errores del documento y las instrucciones al personal de manufactura y QA, los cuales son frecuentemente complicados o inconsistentes.

El equipo entrevistó a los clientes (usuarios del documento) en distintas funciones y priorizó las necesidades que habían sido identificadas. La figura 13.13 presenta un diagrama de Pareto sobre estos hallazgos.

Las tres necesidades principales (identificadas con mayor frecuencia) fueron menos piezas de papel, instrucciones no conflictivas y menos entrada de datos.

Utilizando esta información, el equipo pudo concebir un sistema para calificar la complejidad de las instrucciones y aplicar esto a una serie de instrucciones estándar. Estas calificaciones se correlacionaron entonces con los índices de discrepancia por documento. Como se muestra en la tabla de la página siguiente, para los datos “Combinados” y “Sólo agrícolas”, el índice de error se correlacionó fuertemente con la calificación de complejidad y los elementos 11 y 12 de ésta (los datos de recuperación se correlacionaron fuertemente sólo con 9 de 12 elementos).

Se emplearon análisis de regresión para confirmar que las calificaciones de complejidad podían pronosticar índices de error y elementos significativos de aquélla.

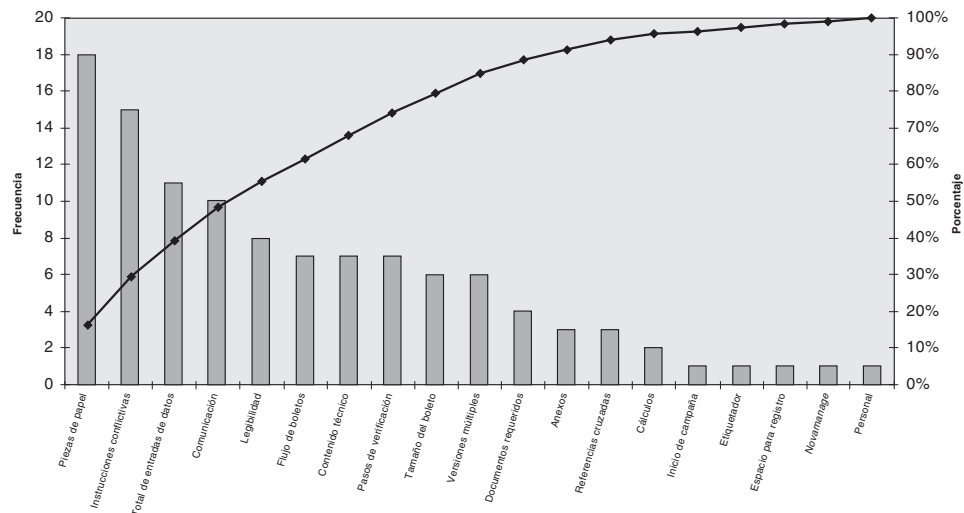


FIGURA 13.13
Pareto de necesidades de los clientes por instrucciones claras.

Correlación de resultados, calificación de la complejidad e índice de error

	Combinado		Fermentación		Recuperación	
	p	R	p	R	p	R
Calificación de la complejidad	0.000	0.673	0.000	0.859	0.018	0.338
Total de entradas de datos	0.000	0.632	0.000	0.829	0.093	0.242
Total de páginas	0.000	0.618	0.000	0.925	0.006	0.385
Referencias SOP/SR	0.000	0.617	0.000	0.748	0.001	0.457
Pasos del operador	0.000	0.611	0.000	0.868	0.010	0.366
FN para referir	0.000	0.600	0.000	0.773	0.018	0.336
Total de SOP/SR	0.000	0.584	0.000	0.699	0.005	0.399
Otros códigos G	0.000	0.575	0.000	0.713	0.007	0.380
Pasos de verificación	0.000	0.491	0.000	0.877	0.016	0.343
Pasos de etiquetación	0.000	0.442	0.000	0.838	0.021	0.328
Cálculos	0.000	0.395	0.019	0.466	0.134	0.217
Anexos	0.032	0.249	0.000	0.738	0.210	0.182
Ver/Op	0.470	-0.085	0.748	-0.068	0.832	0.031

Los resultados del análisis fueron usados para identificar dos formas rápidas de arreglo que se implementaron exitosamente: etiquetas POMS preimpresas y otros anexos en una carpeta y un documento departamental controlado para listar los registros de uso. Estos dos arreglos se implementaron en junio de 2004.

Grandes resultados y nueva zona de control

Como se ilustra a continuación en la figura 13.14, la primera meta se alcanzó en mayo de 2004, y los errores en documentos se han mantenido dentro de la nueva zona de control desde entonces.

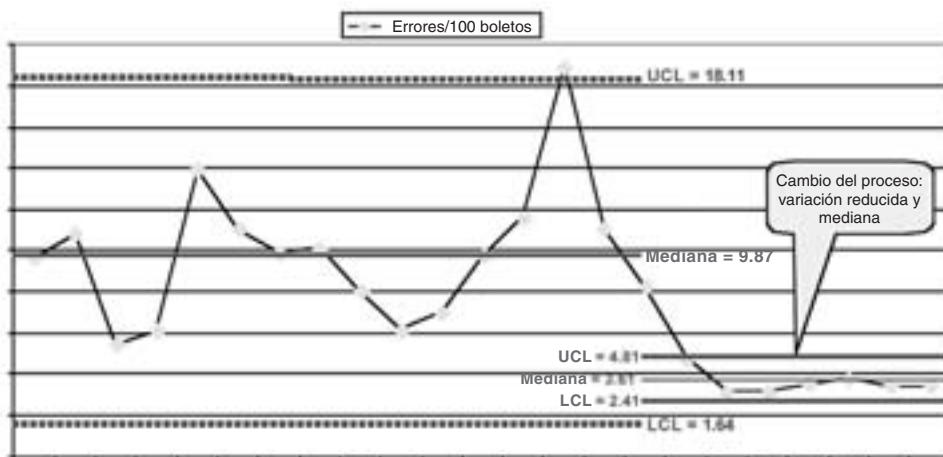


FIGURA 13.14

Índice de error en documento: enero de 2003 a noviembre de 2004.

[Nota del autor (Chua): Este diagrama ejemplifica la trilogía de Juran, demostrando impresionantes resultados en la mejora de la calidad, seguidos por un "mantenimiento de la ganancia".]

La segunda meta fue alcanzada prácticamente de inmediato, y la incidencia de los principales errores en boletos no ha vuelto a los niveles Q1/Q2 de 2003 desde el inicio del proyecto (véase figura 13.15).

Lecciones aprendidas

Lograr estos impresionantes resultados sostenidos demostró el poder de aplicar una mejora proyecto por proyecto utilizando las herramientas adecuadas (en este caso six sigma y lean/VSM) junto con la correcta prioridad de la administración y el compromiso de los recursos y el apoyo necesarios. Entre las lecciones aprendidas se incluyen:

- Los recursos dedicados funcionan mejor que los equipos de medio tiempo; los patrocinadores efectivos garantizan que los miembros del equipo no queden saturados.
- El patrocinio activo y comprometido es clave, especialmente durante el enfoque inicial de la definición y asignación del trabajo.
- La gerencia debe resistir el impulso de dirigir a los equipos hacia una solución prematura y brindar al mismo tiempo límites claros para los alcances de la investigación y el calendario del proyecto.
- Hay que cuidarse de estar preparados para eventualidades durante la capacitación, tales como aspectos logísticos, patrocinadores ausentes y confusión respecto al objetivo del proyecto, para no distraer a los participantes.

Además de estos factores de éxito, este esfuerzo dio a nuestra administración una lección verdaderamente fundamental: pon a tu mejor gente en el problema y haz la inversión para brindarles herramientas de clase mundial y apoyo, y entonces darán resultados duraderos.

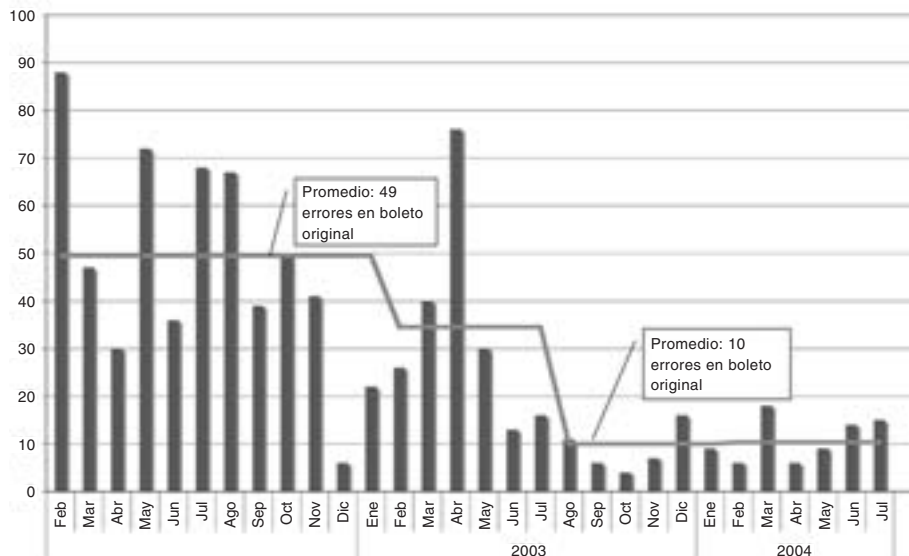


FIGURA 13.15
Errores en boletos originales por mes.

RESUMEN

- Las actividades para integrar la calidad en la planeación de manufactura tienen dos objetivos: evitar defectos y minimizar la variabilidad.
- Al crear un diagrama de flujo, se puede no agregar el proceso de manufactura y planear la calidad en cada estación de trabajo.
- Para evitar defectos y minimizar la variabilidad, debemos descubrir la relación que existe entre las variables del proceso y los resultados del producto.
- El método de *error-proofing* es un elemento importante de prevención.
- Para que los seres humanos se encuentren en un estado de autocontrol, deben conocer lo que se supone que tienen que hacer, saber lo que en realidad están haciendo y tener un proceso que sea capaz de cumplir con las especificaciones y pueda ser regulado.
- No cumplir estos tres criterios significa que el problema de calidad es controlable por la dirección. Cerca de 80 por ciento de los problemas de calidad son controlables por ella.
- Los factores clave de dominio en la manufactura son organización, tiempo, componente, trabajador e información.
- Bajo el concepto de autoinspección, el trabajador toma las decisiones de conformidad, con una auditoría independiente del departamento de calidad.
- La manufactura integrada a la computadora es un proceso en el que se aplica una computadora de manera planeada desde el diseño, a lo largo de toda la manufactura y hasta el envío del producto; la manufactura asistida por computadora es el proceso en el que la computadora se utiliza para planear y controlar el trabajo de un equipo específico; el diseño asistido por computadora es el proceso mediante el cual una computadora asiste el proceso de creación o modificación de un diseño.
- En el concepto de tecnología de grupo, todos los elementos son examinados para identificar aquéllos con similitud suficiente para poder usar un plan de diseño o manufactura común.
- En un sistema de manufactura flexible, un grupo de diversas herramientas de máquina controladas por computadora está vinculado por un sistema de manejo de materiales y una computadora principal para procesar un grupo de partes por completo.
- La auditoría del proceso de calidad es una evaluación independiente de cualquier actividad que pueda afectar la calidad final del producto.

PROBLEMAS

- 13.1. Visite una compañía de manufactura local e identifique los departamentos que tienen las responsabilidades principales y colaterales para llevar a cabo las actividades de planeación para la calidad.
- 13.2. Para una operación específica de manufactura con la que se sienta familiar, describa cómo conduciría un estudio de controlabilidad.
- 13.3. Su planta acaba de conducir un estudio de controlabilidad analizando las causas de una amplia muestra de partes defectuosas. Los resultados arrojan que 45 por ciento de las causas son controlables por los trabajadores y 55 por ciento por la dirección. Se planea un programa (diagnóstico de causas específicas, determinación de soluciones, etc.) para los problemas controlables por la dirección. Para los problemas

controlables por el trabajador, se planea un programa de motivación para los trabajadores cuya producción es de mala calidad. Haga comentarios sobre este enfoque.

- 13.4.** Estudie el sistema de retroalimentación sobre el desempeño disponible para cualquiera de las siguientes categorías de personas y haga un reporte sobre sus conclusiones respecto a la conveniencia de esta retroalimentación para controlar la calidad del desempeño.
- a) Un motociclista en el tránsito de la ciudad.
 - b) Un estudiante en la escuela.
 - c) Un cajero en el supermercado.
- 13.5.** Para cualquier proceso al que pueda acceder, determine la principal forma de “dominancia” que afecta la posibilidad de lograr la calidad.
- 13.6.** Una planta de manufactura de acero tiene un problema crónico de desperdicio y de nuevo trabajo en su taller de alambre. Los costos relacionados han alcanzado un nivel en el que se han convertido en un factor importante en las utilidades de la división. Todos los niveles de personal en el taller están conscientes del problema, y hay consenso respecto de las pocas líneas del producto que constituyen la parte principal del problema. Sin embargo, no se ha logrado reducir el costo del desperdicio y el trabajo adicional. ¿Qué propone usted como siguiente etapa?
- 13.7.** Elija una tarea de manufactura que lleve a cabo con regularidad un trabajador. Utilice la lista sobre autocontrol para determinar si el trabajador puede ser considerado responsable de la calidad de la producción.
- 13.8.** ¿Por qué los tres criterios de autocontrol son condiciones para un programa de motivación exitoso?

REFERENCIAS

- Black, S. P. (1993). “Internal Certification: The Key to Continuous Quality Success”, *Quality Progress*, enero, pp. 67-68.
- Bossert, J., K. Grayson, J. Heyward, R. Kesterson, y S. Windsor (2002). “Are Six Sigma and Lean Manufacturing Really Different? Are They Synergistic or in Conflict?”, *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, noviembre, pp. 38-43.
- Bottomo, R. y R. C. H. Chua (2005), “Genentech Error-Proofs Its Batch Records”, *Quality Progress*, julio, pp. 25-34.
- Eibl, S., U. Kess y F. Pukelsheim (1992). “Achieving a Target Value for a Manufacturing Process”, *Journal of Quality Technology*, enero, pp. 22-26.
- Gerst, R. (2004). “The Little Known Law”, *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, febrero, pp. 18-23.
- Goldman, S. L., R. N. Nagel y K. Preiss (1995). *Agile Competitors and Virtual Organizations*, Van Nostrand Reinhold, Nueva York.
- Grout, J. R. y B. T. Downs (1998). “Mistake-Proofing and Measurement Control Charts”, *Quality Management Journal*, vol. 5, núm. 2, pp. 67-75.
- Ireland, F. y B. G. Dale (2001). “A Study of Total Productive Maintenance Implementation”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 7(3): 183-191.
- Juran, J. M. (1992). *Juran on Quality by Design*, Free Press, Nueva York.
- Lee, J. (1995). “Perspective and Overview of Manufacturing Initiatives in the United States”, *International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering*, vol. 2, núm. 3, pp. 227-233.
- León, R. V. (2002). “Lean Six Sigma”, *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, noviembre, pp. 45-48.
- Murthy, D. N. P., A. Atrens y J. A. Eccleston (2002). “Strategic Maintenance Management”, *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 8(4):287-305.

- Nakajo, T. y H. Kume (1985). "The Principles of Foolproofing and Their Application in Manufacturing", *Reports of Statistical Application Research*, Union of Japanese Scientists and Engineers, Tokio, vol. 32, núm. 2, junio, pp. 10-29.
- Ohno, T. (1988). *The Toyota Production System—Beyond Large Scale Production*, Productivity Inc., Portland, OR.
- Peña, E. (1990). "Motorola's Secret to Total Quality Control", *Quality Progress*, octubre, pp. 43-45.
- Schonberger, R. J. (2004). "Making Work Cells Work for You", *Quality Progress*, 37(4):58-63.
- Sherwin, D. (2000). "A Review of Overall Models for Maintenance Management", *Journal of Quality in Maintenance Engineering* 6(3):138.
- Shuker, T. J. (2000). "The Leap to Lean", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 105-112.
- Siff, W. C. (1984). "The Strategic Plan of Control—A Tool for Participative Management", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 384-390.
- Smith, B. (2003). "Lean and Six Sigma—A One Two Punch", *Quality Progress* 36(4):37-41.
- Snee, R. D. (1993). "Creating Robust Work Processes", *Quality Progress*, febrero, pp. 37-41.
- Somerton, D. G. y S. E. Mlinar (1996). "What's Key? Tool Approaches for Determining Key Characteristics", *Proceedings of the Annual Quality Congress*, ASQ, Milwaukee, pp. 364-369.
- Spear, S. y H. K. Bowen (1999). "Decoding the DNA of the Toyota Production System", *Harvard Business Review*, septiembre-octubre, pp. 96-106.
- The Productivity Press Development Team (1996). *5S for Operators—5 Pillars of the Visual Workplace*, Productivity Press, Portland, OR.
- The Productivity Press Development Team (1997). *Mistake Proofing for Operators: The ZQC System*, Productivity Press, Portland, OR.
- Womack, J. P. y D. T. Jones (2003). *Lean Thinking* (revisado y actualizado), Free Press, Nueva York.
- Wright, J. R. (1998). "Cellular Manufacturing Leadership", *Proceedings of the Annual Quality Congress*, ASQ, pp. 646-655.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Manufactura y calidad: *JQH5*, secciones 22, 24, 27 y 28.
- Skrabec, Q. R. Jr. (1997). "A Model for Customer Driven Manufacturing", *Quality Engineering*, vol. 9, núm. 4, pp. 711-720.
- Autocontrol: Dean, P. J., M. R. Dean y R. M. Rebalsky (1996). "Employee Perceptions of Workplace Factors That Hill Most Improve Their Performance", *Performance Improvement Quarterly*, vol. 9, núm. 2, pp. 75-89.
- Pooley, J. y D. H. B. Welsh (1994). "A Comparison of Russian and American Factory Quality Practices", *Quality Management Journal*, vol. 1, núm. 2, pp. 57-70.
- Prácticas y herramientas de administración de calidad: Kankan, V. R., K-C. Tan, R. B. Handfield y S. Gosh (1999). "Tools and Techniques of Quality Management: An Empirical Investigation of Their Impact on Performance", *Quality Management Journal*, vol. 6, núm. 3, pp. 34-49.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

- | Referencia | Resumen |
|---|--|
| Bossert, J., K. Grayson, J. Heyward, R. Kesterson y S. Windsor (2002). "Are Six Sigma and Lean Manufacturing Really Different? Are They Synergistic or in Conflict?", <i>ASQ Six Sigma Forum Magazine</i> , noviembre, pp. 38-43. | Opiniones respecto a las diferencias, similitudes y relaciones entre six sigma y lean. |

Referencia	Resumen
Gerst, R. (2004). "The Little Known Law", <i>ASQ Six Sigma Forum Magazine</i> , febrero, pp. 18-23.	Revisión de la ley de Little y su relación con Lean.
Ireland, F. y B. G. Dale (2001). "A Study of Total Productive Maintenance Implementation", <i>Journal of Quality in Maintenance Engineering</i> 7(3):183-191.	Breves estudios de caso sobre la implementación de TPM en tres compañías, incluyendo objetivos de proceso y estratégicos.
León, R. V. (2002). "Lean Six Sigma", <i>ASQ Six Sigma Forum Magazine</i> , noviembre, pp. 45-48.	Sección de literatura actual: lecturas recomendadas en áreas relacionadas con lean six sigma por diferentes SME.
Moya, C. C. (2003). "How to Set Up a Predictive Maintenance Program", <i>Quality Progress</i> 36(3):56-61.	Discusión de PMP y mejoras en calidad y productividad mediante PMP que aplican a sistemas de control, auditorías y sistemas de acción correctiva.
Murthy, D. N. P., A. Atrns y J. A. Eccleston (2002). "Strategic Maintenance Management", <i>Journal of Quality in Maintenance Engineering</i> 8(4):287-305.	Revisión del mantenimiento correctivo, TPM y evolución a la administración de mantenimiento estratégico, enfocado en una nueva aproximación a éste. Discute los riesgos de subcontratar el mantenimiento.
Schonberger, R. J. (2004). "Making Work Cells Work for You", <i>Quality Progress</i> 37(4):58-63.	Beneficios de las células, con ejemplos de diversas industrias (Firestone, Microsoft, Hallmark Cards).
Sherwin, D. (2000). "A Review of Overall Models for Maintenance Management", <i>Journal of Quality in Maintenance Engineering</i> 6(3):138.	Revisión extensa de la historia y los modelos de administración del mantenimiento (por ejemplo, TQM, TPM, RCM).
Smith, B. (2003). "Lean and Six Sigma—A One Two Punch", <i>Quality Progress</i> 36(4):37-41.	Estudio de caso de Landscape Structures, Inc. en la combinación de lean y six sigma.
Stevenson, W. J. (2000). "Superchanging Your Pareto Analysis", <i>Quality Progress</i> 33(10):51-55.	Alternativas al uso de diagramas de frecuencia de Pareto y cuándo usarlas.
Sweeney, P. (2003). "Developing Work Instructions for Aliterate Users", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , 57:93-106.	Operaciones (manufactura/servicio). Instrucciones de integración para facilitar el trabajo de usuarios iletrados (y analfabetas).
Tylutki, T. P. y D. G. Fox (2002). "Moooving Towards Six Sigma", <i>Quality Progress</i> 35(2):34-41.	Six sigma aplicado a una granja de lácteos; estudio de caso.

SITIOS WEB

Mejores prácticas de manufactura: www.bmpcoe.org/
 Manufactura lean: www.nwlean.net
 Poka-yoke: www.campbell.berry.edu/faculty/jgrout/pokayoke.shtml
 Calidad, six sigma y lean: www.juran.com

OPERACIONES: SECTOR DE SERVICIOS

14.1 EL SECTOR DE SERVICIOS

En muchas organizaciones de servicios, el costo de la mala calidad está en un rango de entre 25 y 40 por ciento de los gastos de operación. Por ejemplo, en un banco grande, el costo de la mala calidad es de 37 por ciento para los cajeros automáticos, 26 por ciento para los centros de información y 50 por ciento para las operaciones de préstamos comerciales (*JQH5*, p. 33.11). Dichas cifras demuestran la necesidad de hablar de calidad en el sector de servicios.

El sector de servicios de una economía consta de un amplio espectro de industrias. Las principales categorías de industrias de servicios aparecen en la tabla 14.1.

Las Lecturas complementarias sugieren al lector textos sobre calidad en distintas industrias de servicio.

La variedad de industrias de servicios presenta características distintivas:

- Un producto físico puede estar involucrado (una comida de restaurante).
- Puede o no haber una interacción con una persona de servicio: diferentes canales de entrega (un cajero automático o un cajero de banco).
- El contacto con una persona de servicio puede ser sólo verbal o en persona (un *call center* o un agente de ventas).
- El contacto con una persona de servicio puede tener grados de conocimiento del contenido (servicio de comida rápida o asesoría de un planeador financiero).
- El servicio puede ser breve o de duración extendida (transacción minorista o servicios energéticos).
- La proximidad espacial para el encuentro personal (un mostrador abierto en un restaurante de comida rápida o un carril distante en un banco).
- Puede haber o no operaciones llevadas a cabo en otra sala (corte de cabello o compañía de seguros).

TABLA 14.1
Categorías de las industrias de servicios

-
- Transportación (ferrocarriles, aerolíneas, autobuses, metro, camiones de transporte, tuberías).
 - Servicios públicos (comunicaciones telefónicas, servicios de energía, servicios sanitarios).
 - Mercadotecnia (venta de alimentos, ropa, automóviles, ventas al mayoreo, tiendas departamentales).
 - Finanzas (bancos, seguros, finanzas de ventas, inversión).
 - Bienes raíces.
 - Restaurantes, hoteles y moteles.
 - Medios de comunicación y noticias.
 - Servicios de negocios (publicidad, servicios de crédito y de cómputo).
 - Servicios de salud (enfermería, hospitales, laboratorios médicos).
 - Servicios personales (diversiones; lavandería y limpieza; peluquería y salones de belleza)
 - Servicios profesionales (abogados, médicos).
 - Servicios de reparaciones (talleres y reparaciones domésticas).
 - Gobierno (defensa, salud, educación, asistencia social, servicios municipales).
-

Pero también hay similitudes entre algunas industrias de servicios: el servicio normalmente debe ser brindado cuando el cliente lo solicita y no se puede almacenar o inventariar, la producción de servicios se crea conforme se va entregando, y el tiempo en que se termina es crítico. Las diferencias entre las industrias de servicios hacen que sea difícil generalizar sobre las formas de enfocar la calidad, incluso a partir de una definición de la palabra *calidad*.

Como en el caso de un producto manufacturado, calidad significa satisfacción y lealtad del cliente (véase sección 1.3). Éstas se logran mediante dos componentes: las características del producto y que esté libre de deficiencias. Un enfoque para definir aún mejor la calidad para el sector de servicios es el modelo SERVQUAL (Zeithaml *et al.*, 1990). Este modelo identifica cinco dimensiones de la calidad:

- *Tangibles*: aspecto de las facilidades, el equipo, el personal y los materiales.
- *Confiable*: capacidad para desempeñarse de manera confiable y precisa.
- *Respuesta*: brindar un servicio oportuno.
- *Certeza*: confianza en los empleados.
- *Empatía*: atención individualizada a los clientes.

Para llegar al siguiente nivel de detalle se requiere adaptar una definición de calidad para la industria de servicio específica que refleje las características distintivas de ésta. Lo que surge de ahí es un diseño de servicio que incorpora las características de un producto y un proceso de diseño libre de deficiencias necesarios para satisfacer a los clientes y mantener su lealtad.

14.2 PLANEACIÓN INICIAL PARA LA CALIDAD

La sección 4.11 presenta una hoja de ruta para la planeación de la calidad de un producto nuevo. Los pasos son: establecer el proyecto, identificar a los clientes, descubrir sus necesidades, desarrollar el producto, desarrollar el proceso, y establecer los controles y transferencias del proceso para las operaciones.

En las industrias de servicios, el *diseño de servicio* define las características de la producción que proporcionan la satisfacción de las necesidades de los clientes. Por lo tanto, los conceptos presentados en el capítulo 10, “Entender las necesidades del cliente”, y en el 11, “Diseñar para la calidad”, se aplican tanto a los sectores manufactureros como a los de servicios. El diseño del servicio se convierte en una realidad con el *proceso de servicio*, es decir, las características del proceso tales como las actividades laborales, la gente, el equipo y el ambiente físico para satisfacer las necesidades del cliente. El concepto de despliegue de la función de calidad (véase “Despliegue de la función de calidad” en la sección 11.4) ayuda al diseño tanto de los productos como de los procesos de servicio.

Puede revisarse la calidad en el proceso de servicio por diferentes medios: al analizar el diagrama de flujo del proceso; reducir el tiempo del ciclo; hacer del proceso un método *error-proofing*; planear un ambiente de trabajo ordenado y limpio; asegurar la calidad del proveedor; calificar el proceso mediante la validación de su capacidad y medida, y planear el autocontrol del personal. Estos temas se discuten a continuación y en el capítulo siguiente.

Análisis del diagrama de flujo del proceso

Los diagramas de flujo del proceso (también conocidos como mapas o propuestas del proceso) se discuten también en los capítulos 3, 6 y 13. La figura 14.1 muestra un diagrama de flujo para el manejo de una solicitud de ajuste en facturas de clientes (AT&T). La “línea de interacción” es el límite de las actividades en las que el cliente y los empleados de primera línea (“grupo en línea”) tienen discusiones. La “línea de invisibilidad” separa las actividades que los clientes pueden ver o no. El “límite de organización” muestra qué actividades ocurren en los tres departamentos involucrados en el proceso. Cabe destacar que este ejemplo ilustra tanto el contacto del cliente en la línea frontal directa como las operaciones de otras partes. También hay que resaltar que se muestra el tiempo necesario para algunas actividades.

El símbolo P denota los puntos del proceso en los que puede haber problemas que causen la insatisfacción del cliente. Para *impedirlo*, debemos identificar los problemas potenciales, normalmente con base en datos anteriores o en el análisis del diagrama de flujo. En el sector de servicios, surgen problemas por razones recurrentes (AT&T):

- No se cumplen las promesas.
- Los clientes deben contactar a diversas personas para lograr una resolución del problema.
- Sólo se brinda un servicio parcial, o éste se realiza de manera incorrecta; se provee un servicio equivocado o se da información desacertada.
- Los clientes no entienden el servicio que se provee.
- El servicio no se brinda cuando se necesita o tarda demasiado.
- El cliente está molesto con el papeleo y otros asuntos.

Estos problemas conocidos o potenciales pueden identificarse en el diagrama de flujo para poner en marcha acciones preventivas. En caso necesario, los problemas pueden ser considerados como fallas del proceso para ser rastreados utilizando el enfoque de un análisis de modo de falla, efecto y situación crítica (véase “Análisis del modo de falla, efecto y situación crítica” de la sección 11.5).

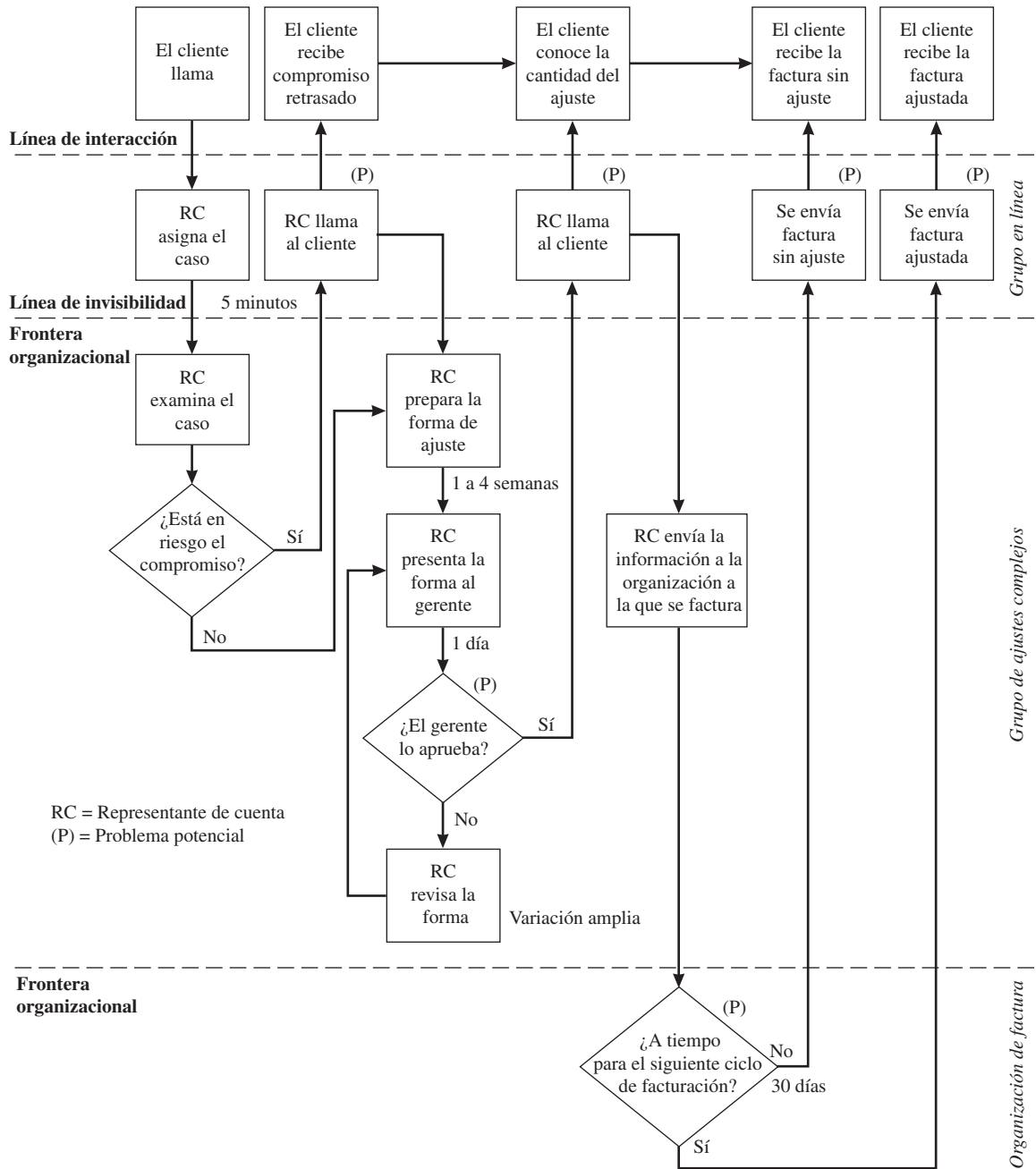


FIGURA 14.1
Diagrama de propuesta de servicio. (Reproducido con autorización de AT&T.)

Reducción de tiempo en el ciclo del proceso

Los clientes están demandando tiempos de entrega más cortos para los servicios que requieren y, por ende, el tiempo se convierte en un parámetro de calidad. Para los procesos existentes, el proceso de mejora de la calidad (véase capítulo 3) es un enfoque estructurado para diagnosticar las causas y tomar las medidas correctivas en relación con el tiempo excesivo del ciclo. Entre las medidas que comúnmente se pueden tomar se encuentran:

- Eliminar los circuitos de retrabajo para corregir los errores del proceso.
- Eliminar o simplificar los pasos de valor marginal para el cliente.
- Eliminar los pasos redundantes como las inspecciones o revisiones (pero no antes de que se hayan determinado y eliminado las causas de los errores).
- Combinar pasos y hacer que sean ejecutados por un solo trabajador, por diversos trabajadores en una célula de trabajo o por un equipo multifuncional.
- Transferir las etapas de aprobación a niveles inferiores.
- Cambiar la secuencia de actividades para pasar de pasos consecutivos a simultáneos.
- Llevar a cabo un paso después de servir a un cliente y no antes.
- Usar la tecnología tanto para pasos de rutina como para tareas complejas.

Los Hoteles Marriott analizaron el tiempo que transcurre durante el proceso de registro de sus clientes. El análisis llevó a la integración de dos subprocesos: la función de la recepción y la del maletero (quien acompaña a los nuevos huéspedes a su habitación y transporta su equipaje). Siguiendo el proceso revisado, la recepción ahora asigna por anticipado una habitación adecuada y reúne la información de registro y las llaves para el maletero, que recibe y acompaña a los huéspedes directamente a sus habitaciones (Hadley, 1995).

El diagrama de flujo es una herramienta básica para analizar el tiempo de un ciclo.

El proceso *error-proofing*

Un elemento importante para prevenir errores es hacer que el proceso sea a prueba de errores. Cinco principios importantes para lograr esto se presentan en la sección 13.3, en la parte “El proceso *prueba y error-proofing*”:

- Eliminar las actividades propensas a errores.
- Sustituir por un proceso más confiable.
- Hacer la labor más fácil para el trabajador.
- Detectar los errores con anticipación.
- Minimizar el efecto de los errores.

En el sector de servicios, los ejemplos de *error-proofing* incluyen la eliminación de actividades sin valor agregado; de la rutina automatizada o las tareas humanas desagradables; la utilización de software para detectar información faltante o errónea; el empleo de códigos de barras en la caja de un supermercado; el uso de cuentas regresivas y listas de control durante operaciones quirúrgicas; la elaboración de las recetas médicas en una computadora para reemplazar las prescripciones a mano, y la ejecución de inspecciones automáticas incorporadas al proceso. Las computadoras y otras formas de tecnología son una fuente importante de ayuda para la prevención de errores.

Un auxiliar útil para el proceso de *error-proofing* es tener un lugar de trabajo despejado y limpio. Una opción es el enfoque 5S (clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y mantener, por sus siglas en inglés). Para más detalles, véase el tema “Plan para ambientes de trabajo ordenados y limpios” en la sección 13.3.

Suministros de tecnología de la información como proveedor interno

Las industrias de servicios requieren planear, controlar y mejorar la calidad de los suministros de proveedores externos. El enfoque básico se presenta en el capítulo 12, “Administración de la cadena de suministro”. La función de operaciones dentro de la industria de servicios también tiene proveedores internos, y uno de ellos, la tecnología de la información (TI), merece una mención particular.

Muchos de los avances significativos, que ofrecen nuevas características en un producto de servicio a una velocidad sorprendente, se deben a las interminables contribuciones de las computadoras, relacionadas con el software y equipo de la TI. Un ejemplo principal es la base de datos integrada que apoya a los *call centers*, permitiendo que el personal maneje una gran variedad de problemas de los clientes. Sin los conceptos de TI, estos avances nunca habrían ocurrido. Además, con el creciente papel que desempeñan la Internet y el comercio electrónico, podemos esperar avances adicionales que beneficiarán todas las áreas de la sociedad.

Desafortunadamente, estas contribuciones han sido acompañadas por problemas significativos en los servicios proveídos para la gente de operaciones mediante la actividad de la TI. El personal de operaciones reporta que éstos son problemas esporádicos y crónicos relacionados con la calidad, que dan como resultado la insatisfacción de los clientes y precios más altos.

Gracias a la investigación se ha logrado entender en parte la naturaleza de estos problemas vinculados a la TI (Kittner *et al.*, 1999). Trece gerentes de operaciones del sector de servicios financieros (pero no provenientes de TI o de funciones de calidad) se reunieron en una sala de juntas electrónica en donde se empleó el software GroupSystems para permitir respuestas anónimas y simultáneas por parte de los participantes. Entre las organizaciones se contaban bancos, bancas de inversión, procesos de tarjetas de crédito y seguros. Las “operaciones” son actividades que procesan las transacciones de los clientes, incluyendo tanto el contacto directo con clientes externos como las actividades privadas que no implican un trato directo. La investigación determinó el impacto que se percibe de la calidad de los servicios de TI sobre la producción de la función de operaciones.

En primer lugar, los participantes identificaron el rendimiento que dio el departamento de TI a las operaciones. La pregunta que se planteó fue la siguiente: ¿qué servicios provee a su área el departamento de TI? Se registraron 102 respuestas y se agruparon en 11 categorías, que se presentan en la tabla 14.2.

Después, se pidió a los participantes que identificaran los problemas involucrados en estos servicios. Los gerentes identificaron 115 aspectos —algunos de ellos generales, como “tiempo fuera”, y otros bastante específicos, como “no puedo contratar programadores C++ suficientemente rápido como para responder a la demanda del usuario”—. Estos aspectos fueron analizados con mayor detenimiento para identificar 57 temas vinculados con la satisfacción del cliente. Se pidió entonces a los participantes que los calificaran en una escala de 1 a 10, donde 10 es el más importante y 1 el menos importante. Las calificaciones promedio de los 10 aspectos más relevantes se presentan en la tabla 14.3.

En síntesis, la tabla 14.3 muestra las percepciones que tienen los gerentes de operaciones de los problemas con suministros que reciben de TI y la importancia relativa de tales problemas en el rendimiento de la función de operaciones. Conclusión: existen problemas significativos, esporádi-

TABLA 14.2
Servicios de TI que se brindan a las operaciones

Categoría de respuesta	Ejemplos
Dar reportes	Resumen de actividades de ventas, lista de cuentas “en riesgo”.
Brindar apoyo para hardware y software	Servicios de apoyo para computadoras personales, orientación para la adquisición de hardware.
Registrar información	Transferencia a cuentas, información sobre índice actual.
Brindar apoyo para la comunicación de datos	Conexiones de la red de área local y software de acceso, seguridad de datos.
Hacer posible la disponibilidad y el mantenimiento de sistemas	Disponibilidad en línea de todos los sistemas, garantizar que los sistemas de correo electrónico estén funcionando.
Ofrecer información en línea	Cajero automático en línea, información de cuentas de los clientes.
Ofrecer apoyo para el procesamiento de datos	Descargar todas las cuentas para informar a los clientes; descargar todos los clientes de banca y sus perfiles.
Desarrollar nuevos sistemas	Desarrollo de aplicaciones para nuevos sistemas; desarrollo de sistemas, pruebas y diseño.
Implementar nuevos sistemas	Ayudar en el desarrollo de planes de prueba y producción inicial; implementación de nuevos sistemas.
Brindar apoyo a la programación	Brindar apoyo a la programación.
Dar capacitación	Capacitación de software.

TABLA 14.3
10 aspectos principales de calidad

Aspecto	Significado
Precisión de la información	9.33
Tiempo fuera del sistema	8.92
Tiempo de respuesta del sistema	8.58
Confiabilidad de la red	8.42
Desempeño del sistema	8.33
Nivel de especialización	8.17
Desempeño del hardware	8.09
Pruebas exhaustivas: tanto la TI como los usuarios deben involucrarse	8.08
Problemas de hardware	7.92
Falta de capacitación	7.75

cos y crónicos, que no es posible resolver mediante la *help desk* tradicional de TI. Los problemas crónicos requieren un enfoque estructurado para la mejora de la calidad descrito en el capítulo 3; los problemas esporádicos demandan un enfoque de resolución de conflictos como el apuntado en la sección 5.9, “Solución de problemas”.

Las demandas que continuamente se hacen en relación con la función de la TI para servicios de información que emplean el software actual y el desarrollo de otro nuevo vuelven casi imposible resolver problemas crónicos de manera efectiva. Pero estos problemas con frecuencia tienen un serio impacto en la satisfacción de los clientes externos. Un departamento de calidad puede ayudar

tomando una fuerte iniciativa para recopilar información que demuestre que es necesaria la acción. Dicha prueba puede ayudar a convencer a la alta dirección para que brinde la TI y las funciones de operaciones con los recursos y el marco para la mejora, partiendo del enfoque proyecto-por-proyecto que se describe en el capítulo 3.

Suministro de clientes como proveedor externo

En las organizaciones de servicios, el cliente es con frecuencia un proveedor. Los clientes pueden proporcionar información detallada sobre una transacción de servicio, por ejemplo, comprar 100 acciones de American Express a un precio que no exceda \$Y, ordenar un vestido talla 16 de color rosa, reservar una habitación de hotel entre el 12 y el 18 de marzo. Los suministros del cliente pueden resultar erróneos; provocar retrasos para él, y tiempo extra y costos para la organización que deberá rectificar el error del cliente. *JQH5*, p. 33.17, describe tres enfoques que los proveedores de servicios financieros emplean para evitar errores de los clientes: educación del cliente, *error-proofing* y monitoreo y medición de los suministros del cliente.

Medir la capacidad del proceso

Se necesita garantizar que un proceso puede satisfacer las necesidades y objetivos del cliente bajo condiciones normales de operación. Cuando es posible cuantificar las necesidades de los clientes en parámetros particulares, entonces se pueden usar los índices de la capacidad del proceso para evaluarlo. Según el enfoque six sigma, la capacidad del proceso puede describirse en unidades de sigma; por ejemplo, un proceso puede ubicarse en un nivel de 4.8 sigma de un ideal de 6 sigma. Estos asuntos se discuten en la sección 20.15. Un parámetro cuantitativo importante en el sector de servicios es el tiempo para completar una transacción.

Se puede obtener la medición preliminar de la capacidad simplemente recolectando una muestra de datos y comparándola con las especificaciones de un proceso. Por ejemplo, consideremos el proceso para la reparación de cajeros automáticos. Un análisis llegó a la conclusión de que la organización de servicio debe ser capaz de responder en 10 minutos, y los clientes indicaron que la máquina no debería estar fuera de uso por más de 90 minutos. Un equipo observó las cifras históricas que miden el tiempo de reparación cada día durante un periodo de 6 meses. Los resultados se muestran en el histograma de la figura 14.2. Cabe destacar que algunas observaciones exceden el tiempo máximo de 90 minutos. Por lo tanto, el proceso no es capaz. El proceso debe cambiarse y probarse de nuevo para verificar su capacidad. El estudio preliminar de capacidad se basa en la información disponible. Un estudio completo en condiciones controladas deberá llevarse a cabo siguiendo los métodos descritos en la sección 20.10.

Un enfoque más amplio para evaluar un proceso de servicio mide cuatro parámetros: efectividad (del rendimiento), eficiencia, adaptabilidad y tiempo del ciclo. Para más detalles, véase la sección 6.6.

IBM define cinco niveles para la madurez de un proceso. El nivel más alto, el 1, designa un proceso de negocios que opera con un máximo de efectividad y eficiencia, y que se convierte en un punto de referencia o un líder; el nivel más bajo, el 5, sugiere un proceso ineficaz y que podría tener grandes deficiencias. Melan (1993) define los criterios específicos para cada nivel. Los criterios

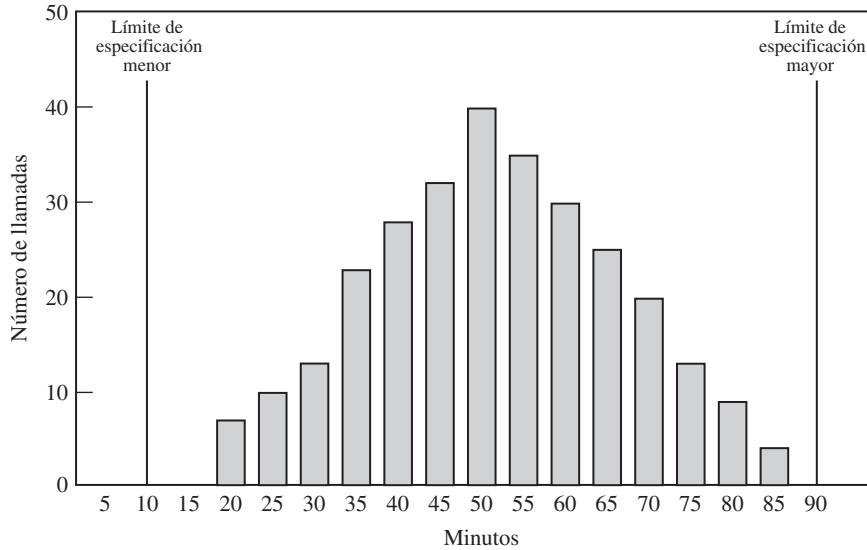


FIGURA 14.2
Tiempo para reparar las máquinas. (*Del Juran Institute, Inc.*)

incluyen aspectos organizativos (como el dueño de un proceso) y asuntos técnicos (como mediciones de efectividad y eficiencia).

14.3 PLANEACIÓN PARA EL AUTOCONTROL

El concepto de autocontrol se introdujo en la sección 5.3. Posteriormente, en el capítulo 13, se aplicó el concepto a las industrias manufactureras y se dio una lista de control para evaluar la planeación de la manufactura para la calidad. Este capítulo aplica el concepto a las industrias de servicios y brinda listas de control para evaluar la planeación para la calidad en los servicios.

Para el autocontrol, debemos brindar a la gente lo siguiente:

1. Conocimiento de lo que supuestamente deben hacer.
 - Procedimientos claros y completos del trabajo.
 - Estándares de desempeño claros y completos.
 - Selección adecuada y capacitación del personal.
2. Conocimiento de lo que están haciendo en realidad (desempeño).
 - Revisión adecuada del trabajo.
 - Retroalimentación de los resultados de la revisión.
3. Capacidad y deseo de regular el proceso respecto a variaciones mínimas.
 - Un diseño de proceso y de trabajo capaz de cumplir con los objetivos de calidad.
 - Ajustes al proceso que minimicen la variación.
 - Una capacitación adecuada del trabajador para ajustar el proceso.

- Mantenimiento del proceso para conservar la capacidad inherente a él.
- Una fuerte cultura y ambiente de calidad.

Al diseñar para el autocontrol, la tecnología es cada vez de más ayuda: para lo que “supuestamente debe hacerse”, la información puede publicarse en línea y mantenerse actualizada instantáneamente; para el “conocimiento del desempeño real”, con frecuencia se puede ofrecer retroalimentación instantánea; para la “regulación del proceso”, se pueden integrar mecanismos a un proceso para hacer ajustes cuando sea necesario.

La mayoría de las organizaciones de servicios no se adhieren a los tres elementos y 10 subelementos de autocontrol. Collins y Collins (1993) presentan seis ejemplos de los sectores de manufactura y servicios que ilustran los problemas que originalmente fueron atribuidos a la gente, pero que pueden ser controlados por la dirección. Berry, Parasuraman y Zeithaml (1994) identifican 10 lecciones aprendidas al mejorar la calidad del servicio. Tres de ellas son: diseño del servicio (el culpable real es el mal diseño del sistema de servicio), investigación del empleado (preguntar a los empleados por qué surgen problemas de servicio y por qué necesitan hacer su trabajo) y liderazgo de los servidores (los gerentes deben servir orientando, enseñando y escuchando a los empleados). Hay que destacar que estas tres lecciones están directamente vinculadas al concepto de autocontrol.

El concepto de autocontrol se aplica al sector de servicios, tanto a las operaciones de contacto directo de primera línea con el cliente como a las operaciones privadas. Con base en la investigación con personal de la industria de servicios financieros, Shirley y Gryna (1998) desarrollaron las listas para el autocontrol que se presentan a continuación.

Criterio 1: Saber lo que “supuestamente hay que hacer”

El sector manufacturero emplea extensivamente especificaciones para productos y procesos, así como procedimientos de trabajo, pero el uso de dichos documentos sigue evolucionando en el sector de servicios. Sin embargo, el hecho de asegurarse que el personal del sector de servicios esté al tanto de lo que supuestamente debe hacer es esencial para el autocontrol. La siguiente lista de control puede ayudar a evaluar este criterio.

Procedimientos de trabajo

1. ¿Las descripciones del trabajo están publicadas, disponibles y actualizadas?
2. ¿El personal sabe quiénes son sus clientes? ¿El personal y los clientes se conocen?
3. ¿El personal que lleva a cabo el trabajo tiene algún impacto en la formulación del procedimiento de trabajo?
4. ¿Las técnicas de trabajo y la terminología son consistentes con el ambiente y la capacitación del personal?
5. ¿Las guías y ayuda (como sugerencias en la computadora) conducen al personal hacia el siguiente paso del trabajo?
6. ¿Existen medidas para auditar periódicamente los procesos y hacer cambios? ¿Estos cambios se comunican a todo el personal afectado?
7. ¿Existen medidas para las desviaciones de las directivas corporativas que satisfagan las condiciones locales?
8. ¿Los procedimientos son “fáciles de leer”?

9. ¿La supervisión tiene un conocimiento profundo de las operaciones y brinda asistencia cuando surgen problemas?
10. ¿Los procedimientos que se dan al personal se aplican completamente al trabajo que llevan a cabo en la práctica?
11. ¿Las responsabilidades del personal han sido definidas claramente en términos de decisiones y acciones?
12. ¿El personal sabe qué sucede con la producción en la siguiente etapa de operaciones y entiende las consecuencias de no hacer el trabajo correctamente?
13. De ser apropiada, ¿se usa la rotación de personal?

Estándares de desempeño

14. ¿Se requieren estándares formales para la calidad y cantidad del trabajo? En caso afirmativo, ¿existen? ¿Están formulados por escrito?
15. ¿Se ha explicado al personal la prioridad relativa de la calidad en relación con la cantidad de la producción? ¿El personal entiende realmente la explicación?
16. ¿Los estándares laborales se revisan y cambian cuando se añaden más tareas al trabajo?
17. ¿El personal se siente responsable de su producción, o cree que las fallas no están bajo su control?
18. ¿La información del supervisor respecto al trabajo que se hace siempre coincide con la que se recibe del nivel más alto de la administración?

Capacitación

19. ¿Se ofrece al personal un panorama general de toda la organización?
20. ¿Se programa con regularidad alguna capacitación para brindar al personal información actual sobre las necesidades del cliente y la nueva tecnología?
21. ¿El personal y sus gerentes hablan de sus necesidades de capacitación?
22. ¿La capacitación incluye el por qué y no solamente el qué?
23. ¿El diseño del programa de capacitación considera los antecedentes del personal?
24. ¿La gente que está dando la capacitación ofrece suficientes detalles? ¿Sabe hacer el trabajo?
25. Cuando resulta apropiado, ¿el personal nuevo en el trabajo tiene un guía?

Criterio 2: Conocimiento del desempeño

Para el autocontrol, la gente debe tener los medios para saber si su desempeño está conforme a los estándares y las características del producto. La lista de control que se presenta a continuación puede ayudar a evaluar este criterio.

Revisión del trabajo

1. ¿Se informa al personal del tiempo disponible y las instrucciones para llevar a cabo el autocontrol de su trabajo?
2. ¿Los errores pueden ser detectados fácilmente?
3. ¿Se requieren revisiones independientes para la calidad? ¿Se llevan a cabo? ¿Estas revisiones las hace una persona del mismo nivel u otros?
4. ¿Se lleva a cabo una revisión del trabajo en distintos puntos del proceso, no sólo cuando éste ya terminó? ¿El tamaño de la muestra es suficiente?

5. ¿Hay alguna auditoría, independiente de todo el proceso, que garantice que las tareas individuales se integran para lograr los objetivos del mismo?
6. Cuando resulta apropiado, ¿se mantienen registros detallados de los contactos de los clientes?

Retroalimentación

7. ¿La alta gerencia y la supervisión dan el mismo mensaje y acciones sobre la importancia de la calidad en relación con la cantidad?
8. En caso necesario, ¿existen estándares para hacer correcciones a la producción?
9. Cuando es apropiado, ¿se da retroalimentación tanto a los individuos como al grupo de personal? ¿Se considera tiempo para la discusión con el supervisor y se lleva a cabo tal discusión?
10. ¿Se da retroalimentación a aquellos que la necesitan? ¿Es oportuna? ¿Es específica para el personal?
11. ¿La retroalimentación da los detalles suficientes que se necesitan particularmente para corregir las áreas problemáticas? ¿Se ha preguntado al personal qué detalles requiere en la retroalimentación?
12. ¿Se recibe retroalimentación de los clientes (externos o internos) para mostrar la importancia de la producción y su calidad?
13. ¿La retroalimentación incluye información sobre la calidad y la cantidad?
14. ¿Se recibe tanto la retroalimentación negativa (correctiva) como la positiva?
15. ¿La retroalimentación negativa se da en privado?
16. ¿Recibe el personal un reporte detallado de errores especificando el tipo de éstos?
17. Cuando es apropiado, ¿se disponen reportes para describir las tendencias en calidad (en términos de errores específicos)? ¿Dichos reportes se preparan para el personal individual y para el proceso entero ejecutado por un grupo de personas?
18. ¿Se da seguimiento a ciertos tipos de errores con retroalimentación de los clientes externos? ¿Algunos de estos errores podrían seguirse con un indicador interno temprano?

Un proveedor de tarjetas de crédito identificó 18 procesos clave como la revisión de la tarjeta y el proceso de pago. Para un total de 18 procesos, se identificaron más de 100 medidas de proceso internas y de proveedores. Los resultados cotidianos y mensuales del desempeño están disponibles en monitores de video y también se envían por correo. Cada mañana, el jefe de operaciones se reúne con los gerentes para discutir los últimos resultados, identificar los problemas y proponer soluciones. Los empleados pueden tener acceso a un sumario de la reunión vía telefónica o por correo electrónico. El sistema de medición está vinculado a la compensación mediante un sistema diario de bonos que provee hasta 12 por ciento del salario base para los no gerentes y entre 8 y 12 por ciento para los gerentes (Davis *et al.*, 1995).

Criterio 3: Habilidad para regular

El proceso que debe seguir el personal tiene que ser capaz de alcanzar ciertos requerimientos, y el diseño del trabajo debe incluir los pasos necesarios y dar autoridad al personal para regular el proceso. A continuación se presenta una lista de control para evaluar la habilidad para regular.

Diseño del trabajo

1. ¿El proceso que sigue el personal (incluyendo los procedimientos, el equipo, el software, etc.) puede alcanzar estándares de calidad y cantidad en la producción? ¿Esta capacidad ha sido verificada con pruebas en condiciones normales de operación?

2. ¿El diseño del trabajo ha seguido los principios del *error-proofing*?
3. ¿El diseño del trabajo minimiza las tareas monótonas o desagradables?
4. ¿El diseño del trabajo anticipa o minimiza los errores debidos a las interrupciones normales en el ciclo de trabajo?
5. ¿Es posible crear revisiones especiales (como estados de cuenta) para detectar errores?
6. ¿Es posible incorporar pasos en los procesos de registro de datos para rechazar los registros incorrectos?
7. ¿El trabajo de diseño incluye medidas para acciones cuando se presente información errónea o falte información como suministro para el trabajo?
8. ¿Se examinan periódicamente los documentos y se destruyen los registros obsoletos para simplificar las condiciones de trabajo?
9. Cuando el volumen de trabajo cambia de manera significativa, ¿existen medidas para ajustar las responsabilidades individuales o sumar recursos?
10. ¿Existen factores externos (falta de número de cuenta en un cheque, recepción de efectivo en lugar de cheque, por ejemplo) que obstruyan la capacidad para llevar a cabo una tarea?
11. ¿Existe suficiente personal capacitado en diversas disciplinas que constituya un reemplazo adecuado de personal en caso necesario?
12. De ser apropiado, ¿se programa una “hora productiva” cada día en la que no se permitan llamadas telefónicas ni otras interrupciones, brindando así la oportunidad de estar alejado del sitio de trabajo atendiendo otras obligaciones?
13. El equipo, incluyendo el software, ¿ha sido diseñado para ser compatible con las habilidades y limitaciones del personal?
14. ¿Existe un programa adecuado de mantenimiento preventivo para computadoras y otros equipos usados por el personal?
15. ¿Algunos miembros del personal cuentan con alguna destreza oculta que haya que descubrir y explicar al resto?
16. Para un trabajo que requiera habilidades especiales, ¿se ha seleccionado personal que garantice la mejor correspondencia de las habilidades con los requerimientos del trabajo?

Cambios en el diseño del trabajo

17. ¿Los cambios propuestos están limitados por la tecnología (como los campos para direcciones en los formatos)?
18. ¿El personal puede implementar cambios en un trabajo cuando muestren que el cambio traerá beneficios? ¿Se alienta al personal para que proponga cambios?
19. ¿Qué niveles de aprobación de la gerencia se requieren para instituir los cambios propuestos? ¿Es posible identificar algunos tipos de cambios que no requieran ningún nivel de aprobación de la dirección?
20. ¿Las acciones de la dirección confirman que ellos están abiertos a las recomendaciones de todo el personal?

Manejo de problemas

21. ¿Se ha brindado al personal el tiempo y la capacitación para identificar problemas, analizarlos y desarrollar soluciones? ¿Esto incluye capacitación para el diagnóstico que permita identificar patrones de error y determinar las fuentes y causas?
22. ¿Se permite al personal exceder los límites del proceso (como el tiempo máximo en una llamada con un cliente) si consideran que es necesario?

23. Cuando el personal se topa con un obstáculo en el trabajo, ¿sabe dónde buscar ayuda? ¿La ayuda está convenientemente disponible?

Los participantes de la investigación calificaron los tres criterios de autocontrol como sumamente importantes. En una escala de 1 (nada importante) a 10 (lo más importante), el criterio 1 tuvo una calificación de 9.64, el criterio 2 de 9.45 y el 3 de 9.36.

Estas listas de control pueden ayudar a las operaciones en el diseño (y rediseño) de trabajos para evitar errores, diagnosticar problemas de calidad en trabajos individuales e identificar debilidades comunes en muchos empleos. Las listas de control también pueden ayudar a los supervisores a orientar al personal, preparar auditorías de procesos y desarrollar cursos de capacitación sobre calidad. Para mayor información, véase *JQH5*, pp. 22.56-22.57. Ahora veremos desde la planeación para la calidad en las operaciones de servicios hasta el control de calidad en las operaciones.

14.4

CONTROL DE CALIDAD EN LAS OPERACIONES DE SERVICIOS

El sector manufacturero tiene una larga historia de procedimientos detallados para el control de calidad durante las operaciones. La formalización de dichos procedimientos en el sector de servicios sigue evolucionando. Los pasos básicos para el control de calidad se describen en el capítulo 5, “Control de calidad”. Estos pasos son: elegir sujetos de control, establecer mediciones, establecer estándares de desempeño, medir el desempeño real, comparar el desempeño con los estándares y tomar medidas para la diferencia. A continuación se discute la aplicación de estos pasos en las operaciones de servicios.

Elegir sujetos de control

Para elegir sujetos de control, en primer lugar debemos reconocer un importante proceso de trabajo, identificar el objetivo del proceso, describir el proceso, identificar a los clientes y descubrir sus necesidades. Estos pasos, que se discuten en el capítulo 5, llevan a una selección de sujetos de control. Se presentan ejemplos de sujetos de control en diversas industrias de servicios en la tabla 14.4.

Establecer mediciones

En este paso, desarrollamos una unidad de medida y los medios de medición (el sensor) —véase capítulo 5—. La unidad de medida debe ser entendida por todos, suficientemente específica para la toma de decisiones, y estar enfocada al cliente.

Los sujetos de control pueden ser una mezcla de características del producto y el proceso, y de los efectos secundarios de este último. La cuantificación de los sujetos de control implica dos tipos de indicadores que deben ser explícitos para quienes llevan el proceso:

1. *Indicadores de desempeño.* Estos indicadores miden la producción del proceso y su conformidad con las necesidades del cliente, como lo define la unidad de medida del sujeto de control.
2. *Indicadores del proceso.* Estos indicadores miden la actividad o variación dentro de un proceso que afecta los indicadores de desempeño.

TABLA 14.4
Sujetos de control

Principal producto de trabajo	Principal proceso de trabajo	Sujetos de control
Seguro médico	Procesamiento de reclamaciones	Precisión en el formato de reclamación Documentación de respaldo completa
Servicios de comida	Preparación de alimentos	Frescura de los ingredientes Temperatura del horno
Servicios bancarios de 24 horas	Mantenimiento de cajeros automáticos	Disponibilidad de efectivo Número de personas de servicio disponibles
Revelado de fotos	Procesamiento de la película	Mantenimiento de los químicos Precisión en la colocación de la película en el carrete

Fuente: Juran Institute, Inc.

TABLA 14.5
Indicadores de calidad de servicio de Federal Express

Indicador	Importancia
Llamadas abandonadas	1
Quejas reabiertas	5
Empaques dañados	10
Internacional	1
Solicitudes de ajuste de factura	1
Paquetes perdidos	10
Recolecciones faltantes	10
Pruebas de entrega faltantes	1
Objetos perdidos y encontrados	5
Entregas tardías en el día correcto	1
Rastreos	1
Entregas tardías en el día incorrecto	5

Fuente: American Management Association (1992).

La tabla 14.5 muestra 12 indicadores de calidad de Federal Express junto con la importancia que se asigna a cada indicador.

Se lleva un registro de estas mediciones todos los días, tanto individual como total.

La figura 14.3 muestra cómo una división de AT&T relaciona las mediciones internas de sus procesos de negocios con las necesidades de los clientes.

Las mediciones específicas se pueden relacionar con los factores subyacentes que dominan un proceso: organización, tiempo, componente, trabajador e información. Para más detalles, véase el tema “Sistemas de control y concepto de dominio” en la sección 13.4.

DeYong y Case (1998) ofrecen una metodología para vincular los atributos de satisfacción del cliente y las mediciones de procesos en las industrias de servicios.

	Proceso de negocios	Necesidad del cliente	Medición interna
Calidad general	Producto (30%)	Confiabilidad (40%)	% llamada para reparación
		Facilidad de uso (20%)	% llamadas para ayuda
		Características/funciones (40%)	Prueba de desempeño de la función
	Ventas (30%)	Conocimiento (30%)	Observaciones del supervisor
		Respuesta (25%)	% propuestas hechas a tiempo
		Seguimiento (10%)	% seguimiento hecho
	Instalación (10%)	Intervalo de entrega (30%)	Intervalo promedio de orden
		No se descompone (25%)	% reportes de reparaciones
		Instalado cuando se prometió (10%)	% instalado en la fecha fijada
	Reparación (15%)	No se repitió el problema (30%)	% reportes repetidos
		Se reparó rápido (25%)	Velocidad promedio de reparación
		Se mantuvo informado (10%)	% clientes informados
	Facturación (15%)	Precisión, no sorpresas (45%)	% preguntas sobre facturación
		Resuelto en la primera llamada (35%)	% primeras llamadas resueltas
		Fácil de entender (10%)	% preguntas sobre facturación

FIGURA 14.3

Relación de mediciones internas para procesos de negocios y necesidades de los clientes.
(De Kordupleski et al., 1993. Con autorización de The Regents of the University of California. Reimpreso del California Management Review.)

Establecer estándares de desempeño

Este paso implica fijar valores de objetivo para cada indicador de desempeño y de proceso, así como límites máximo y mínimo.

Medir el desempeño real

En algunas ocasiones, el proceso de medición puede ser automatizado. Por ejemplo, el número de llamadas que esperan ser contestadas en un centro de servicio de una aseguradora se muestra claramente; el tiempo transcurrido para entregar un pedido a un cliente en una franquicia de comida rápida también es claramente visible (la meta es de 45 segundos).

En otros casos, el proceso de medición es más complejo. Por ejemplo, para medir la calidad de las actividades de contacto con el cliente, los bancos y otras organizaciones usan “compradores misteriosos” —investigadores que se hacen pasar por clientes para evaluar las dimensiones clave de la calidad obtenida—.

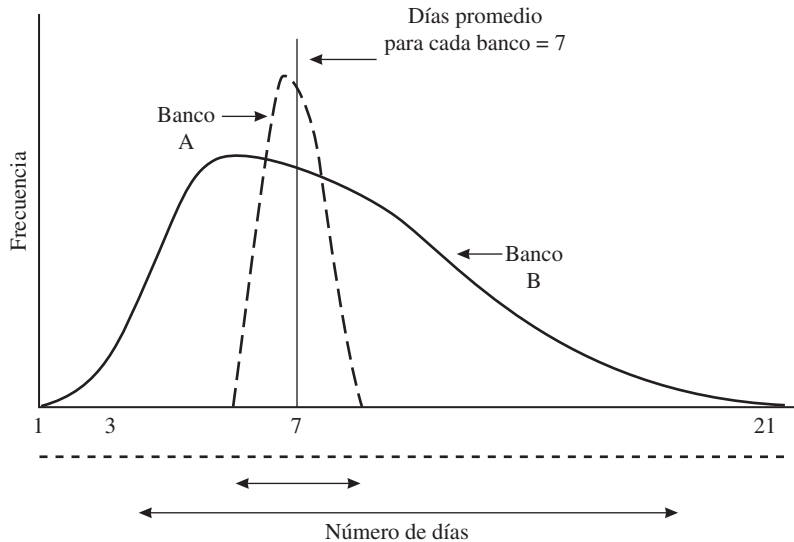


FIGURA 14.4
Tiempo para procesar un préstamo. (Del Juran Institute, Inc.)

Comparar el desempeño con los estándares

Algunas veces, la comparación debe ir más allá de un simple análisis sobre los valores promedio. Por ejemplo, en la figura 14.4 se comparan dos bancos en relación con el tiempo que les toma procesar un préstamo. Ambos tardan en promedio siete días. En el banco A, la mayoría de los préstamos se procesan dentro de un margen de entre cinco y ocho días; el banco B se toma un promedio de siete días, pero algunos préstamos tardan hasta 21 días en procesarse.

La comparación de la realidad con un objetivo puede usar técnicas de control estadístico de procesos para distinguir entre lo común y las causas especiales. Este enfoque se explica en el capítulo 20, “Control estadístico de proceso”.

Tomar medidas para la diferencia

Cuando no se cumple con los estándares puede ser necesario emprender una de tres acciones: resolución de problemas, mejora de la calidad o planeación de la calidad. Los pasos para la resolución de problemas son similares a los del diagnóstico para la mejora de la calidad. Este proceso incluye desarrollar teorías sobre las causas posibles y ponerlas a prueba (usando datos) para determinar la causa del problema. El proceso para la resolución de problemas y el diagnóstico de problemas esporádicos es normalmente más sencillo que el proceso para alcanzar mejoras en problemas crónicos. Para una discusión más amplia sobre estos tres tipos de acciones, véase la sección 13.11.

14.5 AUDITORÍAS PARA LA CALIDAD EN EL PROCESO

Una *auditoría de calidad* es una revisión independiente que se lleva a cabo para comparar ciertos aspectos del resultado de calidad con un estándar para ese resultado. Una discusión de los diferentes tipos de auditorías de calidad se presenta en el capítulo 16, “Auditorías para asegurar la calidad”.

Una *auditoría para calidad en el proceso* incluye cualquier actividad que pueda afectar la calidad final del producto. Esta auditoría *in situ* se lleva a cabo normalmente sobre un proceso específico y utiliza los procedimientos operativos del proceso. Se hace énfasis en la adherencia a los procedimientos existentes, pero las auditorías con frecuencia ponen de manifiesto situaciones con procedimientos inadecuados o no existentes. Las listas de autocontrol presentadas al principio del capítulo pueden sugerir temas específicos de utilidad para la auditoría de los procesos.

Una importante aerolínea se sirve de los procesos de auditoría para evaluar el servicio en tres áreas: llegadas y salidas del aeropuerto; interior y exterior de la aeronave, y facilidades del aeropuerto. Se auditan 47 actividades específicas de manera periódica y luego se mide el desempeño y se compara con los objetivos numéricos. Dos ejemplos de la aeronave son las condiciones (apariencia) de los tapetes dentro de los aviones y la adhesión de la pintura en los aviones.

McDonald’s Corporation realiza auditorías de sus restaurantes mediante una serie de visitas anunciadas y no anunciadas. La auditoría incluye calidad, servicio, limpieza e higiene. Entre los aspectos más detallados se incluyen estándares numéricos para las variables de procesamiento de alimentos.

14.6 CONTACTO DE PRIMERA LÍNEA CON EL CLIENTE

Una actividad elemental en las industrias de servicios es el encuentro de servicio, es decir, el contacto que se hace con el cliente cuando se satisface una de sus necesidades. Por lo general, los ejemplos presentan a un cajero de un banco procesando depósitos o retiros de dinero, una azafata dando servicio en el avión o un empleado de un hotel registrando a un huésped. En todos los casos, la calidad de la transacción implica tanto la adecuación técnica del resultado como las habilidades sociales de la persona de “primera línea” que conduce la transacción. Tres factores importantes destacan: la selección del empleado de primera línea, la capacitación del empleado y el “empowerment” de éste para que pueda satisfacer las necesidades del cliente. (El lector puede comparar estos factores con los tres elementos de autocontrol; véase la sección 5.3.)

En las transacciones de tipo persona-a-persona, la *selección* del empleado con frecuencia tiene un impacto inmediato, directo y duradero en la percepción del cliente. Algunos individuos tienen las características necesarias para ser personal de primera línea; algunas personas *no* reúnen estas características, ni siquiera con la capacitación. La selección adecuada requiere identificar las características requeridas en el personal para un puesto así (¿qué tal preguntarle a empleados con experiencia?), usar entrevistas múltiples, capacitar a los gerentes en relación con los procesos de entrevistas, identificar a los posibles candidatos de entre los empleados actuales y pedirles recomendaciones. Por ejemplo, Federal Express selecciona gente usando perfiles de desempeño exitoso preparados científicamente.

La *capacitación*, por supuesto, es esencial. Las organizaciones con un servicio de calidad superior dedican entre 1 y 5 por ciento del tiempo de sus empleados a la capacitación. El contenido de la

misma depende de los requerimientos del empleo, pero con frecuencia se enfatiza el conocimiento del producto. Adicionalmente, la capacitación conlleva actividades tales como los juegos de rol para aprender a conducir situaciones cuando una transacción sale mal y para manejar a un cliente iracundo que tiene una queja. La capacitación requiere tiempo y esfuerzos especiales; en Lands' End, por ejemplo, cada representante telefónico y de pedidos por correo pasa tiempo en el almacén viendo los productos. ¿No resulta impresionante cuando esta persona es capaz de describir el color “gris medio” a un cliente? Básicamente, sin embargo, la capacitación debe hacer posible que el empleado brinde al cliente un servicio confiable y regular. Los clientes se sienten impresionados cuando saben que pueden confiar en un buen servicio uniforme por parte de una organización. Cuando surge una situación extraordinaria y ésta se maneja bien, tenemos a un cliente encantado.

El *empowerment*, un paso clave que va más allá de la capacitación, implica dar un nuevo grado de autoridad a los empleados de primera línea. El término normalmente significa alentar a los empleados para que manejen situaciones inusuales no previstas por los procedimientos estándar. Anteriormente, el empleado tenía que checar con su superior y aguardar (mientras el cliente esperaba). Este concepto minimiza el uso de un libro de normas y maximiza el uso de los conocimientos, la iniciativa y el juicio de los empleados de primera línea, para que emprendan las acciones necesarias y satisfagan la necesidad de un cliente que espera en el mostrador de servicio. Por ejemplo, un manual de políticas de la tienda departamental Nordstrom señala: “Haga uso de su mejor juicio en todas las ocasiones.” ¿Arriesgado? Algunas personas lo creen, pero las oportunidades para la satisfacción de un cliente y la actitud del empleado en relación con la “propiedad” de su trabajo son muy convincentes. En la sección 9.7, el rubro “*Empowerment*” amplía la discusión sobre este tema.

En *JQH5*, p. 25.25, se discuten seis factores de recursos humanos (incluyendo los tres anteriores) en términos de objetivos, mediciones y mejora.

Bank One Corp. emplea una amplia encuesta de compradores para medir el desempeño de los cajeros del banco. La encuesta pregunta a los clientes sobre asuntos específicos relacionados con el contacto, tales como el saludo amistoso, la identificación del empleado, el contacto visual, una sonrisa, el uso del nombre del cliente durante la transacción, la atención indivisa del empleado, el procesamiento preciso de la transacción, la capacidad para dar explicaciones claras, la apariencia profesional y un ambiente de trabajo limpio y ordenado.

La inversión en la selección, capacitación y *empowerment* de los empleados puede llevar a la compañía a alcanzar su sueño: clientes encantados. La tabla 14.6 presenta algunas categorías de acción y ejemplos de hazañas dignas de mencionarse que generan ese anhelo.

El encuentro de servicio va más allá de “velocidad, contenido y actitud”. Un estudio de investigación en cinco organizaciones de servicio y nueve manufactureras identificó 15 competencias que representan un ejemplo de un servicio superior de primera línea (Jeffrey, 1995). Las seis principales competencias fueron consideradas las más importantes por las organizaciones y sus clientes:

1. *Forjar la confianza y lealtad de los clientes.* Satisfacer las necesidades de los clientes y hacerlo de manera razonable para mantener su buena voluntad.
2. *Lograr empatía con los clientes.* Ser sensible a los sentimientos de los clientes y mostrar una preocupación y respeto genuinos.
3. *Comunicar con efectividad.* Ser articulado y diplomático.
4. *Manejar el estrés.* Mantenerse organizado, calmado y mostrar paciencia.
5. *Escuchar activamente.* Interpretar el significado de las palabras del cliente.
6. *Demstrar un estado de alerta mental.* Procesar la información rápidamente.

TABLA 14.6
Algunas medidas tomadas para tener clientes satisfechos

Medida	Ejemplo
Brindar un servicio que va más allá del alcance de la compañía	Una azafata de una aerolínea acompañó a un pasajero enfermo y a su hija al hospital.
Brindar un servicio que va más allá de la obligación del esfuerzo normal	Para eliminar el sonido del campanilleo del cristal en un candelabro debido al aire acondicionado, los empleados de un hotel quitaron una de cada dos piezas de cristal 30 minutos antes del inicio de una reunión.
Brindar un reconocimiento extraordinario a las molestias de los clientes	Un fabricante de automóviles pagó \$985 por “tiempo perdido” a un cliente debido a reparaciones excesivas que se hicieron de manera inadecuada.
Brindar un reconocimiento a las pérdidas personales del cliente	Una cliente reportó haber perdido una pluma, que tenía un valor sentimental, en una tienda de alimentos. El empleado buscó la pluma pero no tuvo éxito. Así que dio a la mujer tres certificados de regalo de \$20.

Estas competencias no son fáciles de lograr. Las organizaciones deben invertir en una selección cuidadosa de empleados, capacitarlos y darles poder para que se conviertan en profesionales que garanticen la retención de las personas clave.

El personal de primera línea puede fungir como “puestos de escucha” para la organización. Cuando dichos puestos están bien diseñados para sondear y hacer preguntas específicas, la información generada puede ayudar al desarrollo de nuevos productos y a la venta de los ya existentes que aún no conoce el cliente. Algunos miembros del personal de primera línea se sienten incómodos al hacer ciertas preguntas que pueden llevar a respuestas que el cliente y el cajero con frecuencia prefieren no discutir, como “¿por qué está usted transfiriendo su cuenta a otro banco?” Para una discusión sobre el diseño apropiado de preguntas para los puestos de escucha, véase *JQH5*, p. 33.12. Otra manera de recopilar información para el desarrollo de productos futuros es usar el software de manejo de clientes que permite llevar un registro de cada encuentro con ellos.

Los *call centers* y *help desks* son ahora el principal mecanismo para el encuentro de servicio. Cuando la llamada tiene que ver con el problema de un cliente, en general no se logra resolverlo con la primera llamada que lo reporta. En una organización de mantenimiento de la salud, 36 por ciento de las llamadas estuvieron relacionadas con una falta de información completa, precisa y oportuna entre los proveedores y los clientes. Cross (2000) discute algunos de los aspectos involucrados.

14.7 ORGANIZACIÓN PARA LA CALIDAD EN LAS OPERACIONES DE SERVICIO

Los equipos se están convirtiendo en un medio común para la organización en las industrias de servicios. Para un sumario de los diversos tipos de equipos, véase la sección 7.7.

Los equipos pueden ser adecuados para enfrentar un problema específico o ser permanentes para hacerse responsables de una actividad específica. Por ejemplo, el Grupo de Tarjetas de Consumo de American Express emplea equipos de trabajo semiautónomos. Un equipo consta de

entre 10 y 12 empleados en el grupo de trabajo natural. Los miembros del equipo hacen trabajo de servicio a clientes, administración de calidad, inventario y asistencia; preparan agendas de trabajo y reportes de producción y pronósticos. Se definen papeles individuales para manejar las responsabilidades del equipo. Su líder se concentra en la orientación, la retroalimentación y en los aspectos relacionados con recursos humanos.

Una empresa de comida rápida crea equipos con sus miembros (trabajadores en un solo lugar) que reciben capacitación para administrar el sitio sin necesidad de un gerente de tiempo completo (Harvard Business School, 1994). Este enfoque requiere la instalación de tecnología de sensores en línea, así como tiempo para preparar un pedido y dar a los miembros del equipo la misma información operativa y financiera que recibe el gerente general de un restaurante para dirigir el lugar. Los miembros del equipo toman decisiones operativas, como el pedido de ingredientes e insumos para la comida. Así, el conocimiento que durante largo tiempo separó a los “trabajadores intelectuales” de los “trabajadores manuales” reside ahora en una computadora en el piso de operaciones.

La compañía hotelera Ritz-Carlton emplea equipos autodirigidos. Estos equipos de procesos están alineados de la misma manera en que los clientes hacen contacto con el hotel: (1) equipo de pre llegada; (2) equipo de llegada, estancia y salida; (3) equipo de servicios de alimentos; (4) equipo de banquetes, y (5) equipo de ingeniería y seguridad. En un equipo de trabajo autodirigido, los miembros pueden tener papeles individuales específicos, pero el equipo comparte la responsabilidad de alcanzar los objetivos de desempeño.

Kaiser Permanente utiliza equipos de calidad en el trabajo cotidiano. Estos equipos de trabajo de primera línea se enfocan tanto en las mejoras de los procesos de éste como en la definición de una garantía de servicio para comunicar los niveles de desempeño en el servicio. El proyecto se extiende a todos los departamentos e incluye servicios clínicos de apoyo. La tabla 14.7 muestra algunos ejemplos (Centano *et al.*, 1995).

Para una discusión sobre la investigación llevada a cabo en equipos, véase Katzenbach y Smith (1993). Mann (1994) explica cómo los gerentes tienen que desarrollar habilidades para

TABLA 14.7
Ejemplos de proyectos de calidad en el trabajo cotidiano

Departamento	Cliente	Servicio esencial	Garantía de servicio
Unidad de enfermería 7-West	Departamento de ambulancias de emergencia	Recoger a los pacientes en un lapso específico	La unidad de cuidado intensivo recogerá al paciente dentro de los 15 minutos siguientes a la llamada de emergencia de una habitación
Admisión	Pacientes de cirugía electiva	Proceso de admisión incluyendo explicación de formatos	Brindar servicio dentro de los 5 minutos siguientes a entrar al departamento
Educación	Pacientes diabéticos	Programas de educación de pacientes diabéticos externos	Se programará a 95% de todos los pacientes diabéticos para que reciban educación sobre la diabetes
Pediatría	Miembros	Acceso telefónico	98% de las llamadas serán atendidas en dos minutos

TABLA 14.8
Ejemplos de proyectos six sigma en
una organización de servicios financieros

Reducir el tiempo del ciclo para la emisión de crédito
Reducir la duración de las llamadas para transacciones
Reducir el tiempo del ciclo para la emisión de tarjetas
Reducir los errores de codificación
Mejorar el proceso de contratación y facturación para viajes de negocios
Eliminar las renovaciones no recibidas
Eliminar los ajustes incorrectos a las tarifas
Mejorar la precisión de los pagos XXX
Reducir las cancelaciones YYY

orientar, desarrollar y dirigir las actividades que residen en los diferentes departamentos (“gerentes de límites”).

14.8 PROYECTOS SIX SIGMA EN LAS INDUSTRIAS DE SERVICIOS

El enfoque six sigma para la mejora incluye las fases de definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Estas fases se explican en la sección 3.5. Six sigma se aplica cada vez más en el sector de servicios. La tabla 14.8 muestra ejemplos de proyectos six sigma en American Express. Cabe destacar la amplia variedad de proyectos en la tabla 14.8.

Hahn *et al.* (2000) describen cómo aplica GE Capital el enfoque six sigma (incluyendo un diseño del experimento enteramente factorial modificado) para reducir las pérdidas debidas a los clientes morosos de tarjetas de crédito. Bott *et al.* (2000) explican los pasos six sigma para dos proyectos de American Express. Bottome y Chua (2005) aplican six sigma y lean para reducir los errores de la documentación en Genentech (véase también la sección 13.12). Alonso, Gregorio y Ansorena (2003) describen la implementación de six sigma en Telefónica de España, la principal compañía de telecomunicaciones española. Six sigma se despliega como parte de un programa de cambio de largo alcance para la cultura corporativa, enfocado en la satisfacción del cliente y la calidad como diferenciadores clave.

14.9 MEDICIÓN DE LA CALIDAD EN LAS OPERACIONES DE SERVICIOS

La administración de los procesos clave de trabajo debe incluir previsiones para medir el control del proceso y también para monitorear las operaciones generales. Los lectores pueden revisar los principios de medición de calidad en la sección 5.2.

Las medidas de calidad empleadas en una organización de servicios son únicas para el tipo de organización de servicios. La tabla 14.9 muestra algunos ejemplos de medición de calidad para las operaciones generales en una compañía de tarjetas de crédito. Cabe destacar el amplio número de

TABLA 14.9
Medición de calidad en una compañía de tarjetas de crédito

Número de medida	Medida de calidad
148	Número de llamadas abandonadas/llamadas totales
454	Tiempo promedio para atender una llamada, segundos
458	Número de errores en la inserción de declaraciones
460	Número de aplicaciones no procesadas dentro del estándar
466	Número de horas en que está caído el sistema de tarjetas de crédito
467	Número de pagos no anunciados

Fuente: JQH5, p. 33.21.

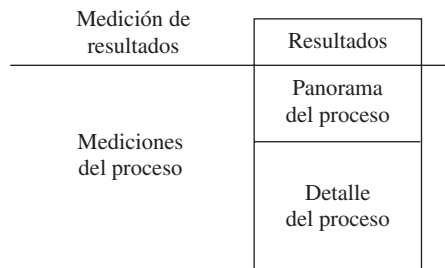


FIGURA 14.5

Marco para las mediciones de la efectividad del proceso. (*Reimpreso de King y Dickinson, 1996, por cortesía de Marcel Dekker, Inc.*)

medidas en la tabla 14.9. Esta organización puede calcular fácilmente las medidas a partir de datos crudos que se recopilan rutinariamente en las operaciones cotidianas.

King y Dickinson (1996) presentan el marco (figura 14.5) de tres mediciones de efectividad en el proceso que se adaptan de manera particular a los procesos de servicios.

Las mediciones de los resultados son, ante todo, percepciones que tienen los clientes de los resultados. Estas mediciones marcan las prioridades para la mejora y la monitorean en el desempeño. Las mediciones del panorama del proceso pronostican los resultados y son indicadores importantes para el resultado del mismo. Las modificaciones en una medición del panorama traerían como consecuencia cambios en la medición de los resultados relacionados. Las mediciones del panorama ayudan a emprender la búsqueda de las causas que se encuentran en el origen del mal desempeño. Las mediciones detalladas del proceso son un pronóstico para las del panorama, así como importantes indicadores del resultado del subproceso. Las mediciones detalladas del proceso controlan sus operaciones cotidianas y representan un aviso temprano e información de diagnóstico para la mejora. Por lo tanto, el enfoque forma una jerarquía para las mediciones del control del proceso: externas e internas a la organización y en diferentes niveles del proceso.

Por ejemplo, se puede considerar el proceso para la instalación de un nuevo teléfono en un horario previsto. La medición de los resultados es la proporción de clientes que reportan que el técnico llegó a tiempo. La medición del panorama del proceso es también la proporción de citas que

se cumplieron, pero esta medida es registrada por los técnicos. Así, la medición para los resultados y el panorama en este caso es la misma, pero se recoge tanto dentro como fuera del proceso. Hay muchas mediciones detalladas del proceso y pueden incluir la proporción de clientes a los que no se pudo dar una cita a la hora que querían o incidencias y razones para la falta de personal.

Las mediciones de calidad son candidatas para un análisis de datos mediante técnicas estadísticas como los diagramas de control que se estudian en el capítulo 20. Pero el punto elemental es que el reporte de datos demuestra al personal operativo que la gerencia da una alta prioridad a la calidad.

Fuchs (*JQH5*, p. 25.23) presenta un diagrama de flujo para definir, recolectar y analizar la métrica en una organización de servicio.

14.10

MANTENIMIENTO DE UN ENFOQUE EN LA MEJORA CONTINUA

El personal de operaciones en el sector de servicios (y el de manufactura) participa en el enfrentamiento de problemas esporádicos (simulacros de incendios) y también de problemas crónicos. Entre las acciones que se requieren se incluye la resolución de problemas, la mejora de la calidad y la planeación para la calidad. Para mantener el enfoque en la mejora se necesita claramente una cultura de calidad positiva dentro de la organización.

El enfoque amplio de las tres acciones y los elementos clave de una cultura de calidad positiva se sintetizan en la sección 13.11. Otros capítulos de este libro presentan una discusión detallada de cada tema.

Para un resumen de los resultados de más de 1 000 equipos de mejora de calidad en un banco grande, véase la sección 8.7.

Por último, la función de operaciones debe contar con el apoyo para mantener el enfoque en la mejora. El departamento de calidad tiene que considerar las operaciones como un cliente interno clave y brindar capacitación y asesoría técnica de calidad para apoyarlas. Además, los gerentes de operaciones deben ser guiados, al revisar las montañas de reportes que reciben, para identificar y priorizar los problemas de calidad y establecer los equipos y otros mecanismos que permitirán enfrentar dichos problemas. El departamento de calidad también puede instar a la alta dirección a establecer equipos con diferentes funciones para enfrentar los problemas de operaciones que podrían ser causados por otros departamentos funcionales como TI (véase la sección 14.2), mercadotecnia y compras.

RESUMEN

- Las actividades para integrar la calidad en la planeación del servicio tienen dos objetivos: incorporar características del producto e impedir defectos (minimizar la variabilidad).
- Al crear un diagrama de flujo, es posible analizar un proceso de servicio y un plan para la calidad en cada estación de trabajo.
- Elaborar un proceso *error-proofing* es un elemento importante para la prevención.
- La tecnología de la información es un importante proveedor interno para el proceso de operaciones de servicio.
- Es posible medir la capacidad del proceso en un proceso de servicio.

- Para el autocontrol, debemos asegurarnos de que el personal sepa lo que supuestamente debe hacer y conozca lo que en realidad está haciendo, y contar con un proceso que cumpla con las especificaciones y pueda ser regulado.
- No cumplir con los tres criterios implica que el problema de calidad puede ser controlable por la dirección. Cerca de 80 por ciento de los problemas de calidad pueden ser controlados por ella.
- Los pasos básicos para controlar la calidad (capítulo 5) pueden aplicarse a las operaciones de servicios.
- Las auditorías para calidad de procesos se aplican a cualquier actividad que pueda afectar la calidad final del servicio.
- Tres factores son importantes para el contacto de primera línea con el cliente: selección, capacitación y *empowerment* del personal.
- Diversos tipos de equipos de calidad desempeñan un papel clave en los procesos de servicios.
- Six sigma se aplica a los procesos de servicios.
- Las mediciones de calidad deben ser diseñadas para cada tipo de organización de servicio.

PROBLEMAS

- 14.1. Para una actividad de servicio específica con la que esté familiarizado, cree un diagrama de flujo del proceso e indique los puntos problemáticos actuales o potenciales.
- 14.2. Para una actividad de servicio específica con la que esté familiarizado, describa cómo conduciría un estudio de control para determinar si los problemas de calidad podrían ser controlados esencialmente por la dirección o por los empleados.
- 14.3. Elija una tarea de servicio que lleve a cabo un empleado con regularidad. Utilice las listas de control y autocontrol para determinar si se puede hacer responsable al empleado de la calidad de la producción.
- 14.4. Para un proceso de servicio con el que esté familiarizado, defina dos temas de control y al menos una medición para cada uno de ellos.
- 14.5. Su equipo de trabajo realiza análisis de sangre que los médicos solicitan para sus pacientes. Identifique uno de los temas de control que ayudarían a manejar el proceso de trabajo cumpliendo con las necesidades del cliente. Defina entonces una unidad de medida y un sensor para el sujeto de control.
- 14.6. Para un proceso de servicio con el que esté familiarizado, determine la principal forma de dominio que pueda afectar la obtención de calidad.
- 14.7. Para cada uno de los escenarios que se presentan a continuación, determine si la acción necesaria es resolver el error, mejorar la calidad o planear la calidad (Juran Institute, Inc.):
 - a) El equipo de servicios de correspondencia de un gran complejo descubre que la entrega de la correspondencia interna tarda entre 5 y 8 días, mientras que el correo en Estados Unidos se entrega en 3 días.
 - b) Su equipo es responsable de cuidar un hotel. En ocasiones, las recamareras no tienen suficientes toallas para el abasto de las habitaciones, aunque hay una gran cantidad de ellas disponibles la mayor parte del tiempo.
 - c) El equipo de programación de un hospital reporta un creciente número de programaciones dobles, discordancias en el personal de cirugía y quejas de los clientes. El equipo decide que la instalación de un nuevo sistema centralizado de programación reduciría en gran medida el problema.

REFERENCIAS

- Alonso, F., G. del Rey y R. de Ansorena (2003). "How Telefonica Makes Its Management Connections", *European Quality*, vol. 8, núm. 6, pp. 4-10.
- American Management Association (1992). *Blueprints for Service Quality*, American Management Association, Nueva York, pp. 51-64.
- AT&T Quality Steering Committee (1990). *Achieving Customer Satisfaction*, AT&T Customer Information Center, Indianápolis, IN.
- Berry, L. L., A. Parasuraman y V. A. Zeithmal (1994). "Improving Service Quality in America: Lessons Learned", *Academy of Management Executive*, vol. 8, núm. 2, pp. 32-52.
- Bott, C., E. Keim, S. Kim y L. Passer (2000). "Service Quality Six Sigma Case Studies", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 225-231.
- Bottome, R. y R. C. H. Chua (2005). "Genentech Error-Poofs Its Batch Records", *Quality Progress*, julio, pp. 25-34.
- Centeno, A. M., K. Ahn y R. Tawell (1995). "Operationalizing Quality in Daily Work Concepts", *Impro Conference Proceedings*, Juran Institute, Inc., pp. 4C.2-1 a 4C.2-8.
- Collins, W. H. y C. B. Collins (1993). "Differentiating System and Execution Problems", *Quality Progress*, febrero, pp. 59-62.
- Cross, K. F. (2000). "Call Resolution: The Wrong Focus for Service Quality", *Quality Progress*, febrero, pp. 64-67.
- Davis, R., S. Rosegrant y M. Watkins (1995). "Managing the Link between Measurement and Compensation", *Quality Progress*, febrero, pp. 101-106.
- Deyong, C. F. y K. E. Case (1998). "Linking Customer Satisfaction Attributes with Progress Metrics in Service Industries", *Quality Management Journal*, vol. 5, núm. 2, pp. 76-90.
- Hadley, H. (1995). Comunicación privada de Patrick Mene, Marriott Hotels and Resorts, Washington D. C.
- Hahn, G. J., N. Doganaksoy y R. Hoerl (2000). "The Evolution of Six Sigma", *Quality Engineering*, vol. 12, núm. 3, pp. 317-326.
- Harvard Business School (1994). *Case 9-694-076, Taco Bell*, Boston.
- Jeffrey, J. R. (1995). "Preparing the Front Line", *Quality Progress*, febrero, pp. 79-82.
- Katzenbach, J. R. y D. K. Smith (1993). *Wisdom of Teams: Creating the High Performance Organization*, Harvard Business School Press, Boston.
- King, M. N. y T. Dickinson (1996). "A Framework for Process Effectiveness Measures", *Quality Engineering*, vol. 9, núm. 1, pp. 45-50.
- Kittner, M., M. Jeffries y F. M. Gryna (1999). "Operation Quality Issues in the Financial Sector: An Exploratory Study on Perception and Prescription for Information Technology", *Journal of Information Technology Management*, vol. X, núms. 1-2, pp. 29-39.
- Kordupleski, R. E., R. T. Rust y A. J. Zahorik (1993). "Why Improving Quality Doesn't Improve Quality (Or Whatever Happened to Marketing?)", *California Management Review*, primavera, vol. 35, núm. 3, pp. 82-95.
- Mann, D. W. (1994). "Re-engineering the Manager's Role", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 155-159.
- Melan, E. H. (1993). *Process Management*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Shirley, B. M. y F. M. Gryna (1998). "Work Design for Self-Control in Financial Services", *Quality Progress*, mayo, pp. 67-71.
- Shostack, G. L. (1984). "Designing Services That Deliver", *Harvard Business Review*, enero-febrero, pp. 133-139.
- Zeithaml, F. A., A. Parasuraman y Leonard L. Berry (1990). *Delivering Service Quality*, Free Press, Nueva York.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Calidad en las industrias de servicios: *JQH5*, secciones 25, 30 31, 32, 33.

- Ilminen, G. R. (2003). "Improving Healthcare Quality Measurement", *Quality Progress* 36(12):62-66.
- Joint Commission Resources (2003). *Root Cause Analysis in Health Care: Tools and Techniques*, 2a. ed., Oakbrook Terrace, IL., 214 pp.
- Tan, K. C. y T. A. Pawitra (2001). "Integrating SERVQUAL and Kano's Model into QFD for Service Excellence Development", *Managing Service Quality* 11(6):418-430.
- Svenson, G. (2001). "The Direction of Change in Multi-Item Measures of Service Quality", *Managing Service Quality* 11(4):262-271.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Cita	Resumen
American Health Consultants, Inc. (2003). "After Years of Waiting, Health Care Finally Has a Baldrige Winner!", <i>HealthCare Benchmarks and Quality Improvement</i> , enero, vol. 10, núm. 1, pp. 1-5.	Primera organización para el cuidado de la salud que recibe el Baldrige. Discute la "jornada" que representó la situación no-por-utilidad.
American Health Consultants, Inc. (2004). "Six Sigma Success: 100% Compliance in 3 Months: 'Mid-project Report' Shows Dramatic Improvements", <i>HealthCare Benchmarks and Quality Improvement</i> , mayo, vol. 11, núm. 5, pp. 52-55.	Estudio de caso de un proyecto de hospital six sigma. Nota: falta texto en la primera parte del archivo en pdf; véase comentario en la célula C3 del "Documento" para el texto faltante.
Anónimo (2003). "Six Sigma—For Success in Health Care", <i>Quality Progress</i> 36(9):67-69.	Aplicación de six sigma al cuidado de la salud: breve panorama de su relevancia en la mejora de procesos.
Barry, R., A. C. Murcko y C. E. Brubaker (2002). <i>The Six Sigma Book for Healthcare: Improving Outcomes by Reducing Errors</i> , Health Administration Press, ACHE Management Series, American Society for Quality, Quality Press, Milwaukee, WI.	Libro. Incluye el panorama six sigma y 20 estudios de caso.
Barry, R., A. C. Murcko y C. E. Brubaker (2002). <i>The Six Sigma Book for Healthcare: Improving Outcomes by Reducing Errors</i> , Health Administration Press, Chicago, IL.	Libro de texto que promueve la aplicación de six sigma en el cuidado de la salud.
Behara, R. S. y D. E. Gundersen (2001). "Analysis of Quality Management Practice in Services", <i>International Journal of Quality & Reliability Management</i> , junio-julio, v18 i6-7, pp. 584-585.	Administración de la calidad en la industria de servicios; resultados de encuesta en compañías estadounidenses.
Berglund, R. G. (2001). "Using a Baldrige Based Tool to Get Results from Your Quality Processes", <i>ASQ Annual Quality Congress 2001 Proceedings</i> , p. 354.	Una herramienta basada en Baldrige para auditar y mejorar los procesos de calidad en ambientes del cuidado de la salud.
Bisognano, M. (2000). "New Skills Needed in Medical Leadership", <i>Quality Progress</i> 33(6):32-41.	La necesidad de un liderazgo para adquirir nuevas habilidades para la realización de mejoras en los procesos y beneficios económicos en el cuidado de la salud.

Cita

- Bott, C., E. Keim S. y Kim L. Palser (2000). "Service Quality Six Sigma Case Studies", *ASQ Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 225-231.
- Canic, M. J. y P. M. McCarthy (2000). "Service Quality and Education Do Mix", *Quality Progress* 33(9):41-46.
- Creveling, C., M. Creveling, J. L. Slutsky y D. Antis Jr. (2002). *Design for Six Sigma in Technology and Product Development*, Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ.
- Francis, G., I. Humphreys y J. Fry (2003). "An International Survey of the Nature and Prevalence of Quality Management Systems in Airports", *TQM & Business Excellence* 14(7):819-829.
- Hunt, T. y L. Westfall (2003). "Software Acquisition and Supplier Management: Part 1—Product Definition and Supplier Selection", *Annual Quality Congress Proceedings*, 57:359-372.
- Ilminen, G. R. (2003). "Improving Healthcare Quality Measurement", *Quality Progress* 36(12):62-66.
- Joint Commission Resources (2003). *Root Cause Analysis in Health Care: Tools and Techniques*, 2a. ed., Oakbrook Terrace, IL., 214 pp.
- Jones, M. H. Jr. (2004). "Six Sigma... At A Bank?", *ASQ Six Sigma Forum Magazine*, febrero, pp. 13-17.
- Kanji, G. K. y P. M. e Sa (2003). "Sustaining Healthcare Excellence through Performance Measurement", *Total Quality Management* 14(3):269-289.
- McLaughlin, C. P. y A. D. Kaluzny, eds. (1999). *Continuous Quality Improvement in Healthcare*, Aspen Publishers, Gaithersburg, MD.
- Merry, M. D. (2003). "Healthcare's Need for Revolutionary Change", *Quality Progress* 36(9):31-35.
- Murti, G. y A. J. Sefton (2000). "Building a Better Doctor", *Quality Progress* 33(6):42-51.
- Peebles, C. S., C. A. Stewart, B. D. Voss y S. B. Workman (2001). "Measuring Quality, Cost, and Value or IT Services", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 468-493.

Resumen

- Se presentan tres estudios de caso de DMAIC aplicados a procesos transaccionales y de servicio en American Express y Dupont.
- Estudio de caso de la Universidad de Indiana SE y calidad de servicio.
- Libro de texto DFSS para profesionales.
- Encuesta de 200 aeropuertos y revisión de documentos sobre administración de calidad y aeropuertos en todo el mundo. Destaca las mejores prácticas de evaluación comparativa.
- Proceso de siete pasos para la adquisición de software.
- Medición del desempeño en el cuidado de la salud y ejemplo de un hospital en Wisconsin con solución.
- El anexo es una reseña del libro sobre RCA en el cuidado de la salud.
- Panorama de la entrada de BOA a six sigma, incluyendo asuntos en una industria de servicios y resultados iniciales del programa.
- Los autores presentan un sistema para la medición del desempeño con el objeto de ayudar a resolver las deficiencias pasadas en la aplicación de TQM al cuidado de la salud.
- Cinco partes, incluyendo definiciones e historia de la mejora continua en la calidad, herramientas, principios y procesos, aplicaciones al cuidado de la salud y siete estudios de caso.
- Cambios de paradigma en el cuidado de la salud: historia y futuro. El autor sostiene que la mayoría de los procesos en el cuidado de la salud han cambiado poco desde el modelo del siglo XVIII; la tecnología ha traído capacidades e innovaciones, pero el sistema debe cambiar hacia un modo más enfocado al paciente.
- Estudio de caso de herramientas de calidad aplicadas a la escuela médica en Australia.
- Esfuerzos de la Universidad de Indiana con anotador equilibrado; documento extenso.

Cita	Resumen
<i>Quality Progress</i> , julio 2004 número 37(7) con enfoque en el cuidado de la salud.	Diversos documentos sobre la calidad en el cuidado de la salud. El anexo es un artículo de noticias sobre “nueve de cada diez hospitales participan en iniciativas de calidad”.
Santos, J. (2003). “E-Service Quality: A Model of Virtual Service Quality Dimensions”, <i>Managing Service Quality</i> 13(3):233-246.	Medir la calidad en el servicio electrónico; se presenta un modelo conceptual de determinantes de la calidad en él, incluyendo una discusión sobre dimensiones “incubadoras” y “activas” relacionadas con la efectividad del servicio. Mención de SERVQUAL y SERVPERF.
Stein, P. (2001). “Measuring the Internet”, <i>Quality Progress</i> 34(9):98-99.	Artículo breve sobre cómo medir la efectividad de un sitio web (datos del productor) y el desempeño/relevancia (datos del consumidor).
Svenson, G. (2001). “The Direction of Change in Multi-Item Measures of Service Quality”, <i>Managing Service Quality</i> 11(6):418-430.	Modificación a los medios múltiples para la medición de calidad en el servicio, con el objeto de incluir un componente de tiempo (relacionado con SERVQUAL).
Tan, K. C. y T. A. Pawitra (2001). “Integrating SERVQUAL and Kano’s Model into QFD for Service Excellence Development”, <i>Managing Service Quality</i> 11(6):418-430.	Desarrollo del modelo SERVQUAL como una herramienta de mejora continua mediante la integración de QFD y el análisis Kano.
Villamaria, F. y S. Burk (2000). “Getting Physicians Onboard with Quality Improvement: An Integrated Delivery System’s Experience”, <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 209-213.	Métodos y técnicas para comprometer a los médicos en la mejora de la calidad.

SITIOS WEB

Sociedad de Profesionales en Asuntos de Consumo (SOCAP, por sus siglas en inglés): www.socap.org
 The Right Answer (servicio de primera línea a clientes): www.therightanswer.com
 Mejores prácticas en servicio para consumidores de una sola parada: www.npr.gov/library/papers/benchmark/1stpcus.html
 Recursos y sitios web estadísticos: <http://my.execpc.com/~helberg/statistics.html>
 Calculadoras en web y herramientas estadísticas: <http://members.aol.com/johnp71/javastat.html>
 Noticias sobre comunidades estadísticas y software: <http://lib.stat.cmu.edu/index.php>
 Vínculos a artículos, bases de datos, textos y cursos sobre estadísticas:
<http://www.emtech.net/statistics.htm>
 Estudios de caso six sigma en servicios: www.juran.com

INSPECCIÓN, PRUEBAS Y MEDICIÓN

15.1 LA TERMINOLOGÍA DE LA INSPECCIÓN

La inspección y las pruebas por lo general incluyen la medición de la producción y una comparación con los requerimientos específicos para determinar la conformidad. La inspección se lleva a cabo para una gran variedad de objetivos, verbigracia, para distinguir los buenos productos de los malos, determinar si un proceso está cambiando, medir la capacidad del proceso, calificar la calidad del producto, garantizar la información para el diseño del producto, evaluar la precisión de los inspectores y determinar la precisión de los instrumentos de medición. Cada uno de estos objetivos tiene su influencia especial en la naturaleza de la inspección y en la manera de hacerla.

La distinción entre “inspección” y “prueba” se ha vuelto difusa. La inspección, generalmente realizada en condiciones estáticas sobre artículos, tales como componentes, puede variar desde un simple examen visual hasta una serie de mediciones complejas. El énfasis en la inspección es determinar su conformidad con el estándar. Las pruebas, por otra parte, se realizan en condiciones estáticas o dinámicas y, por lo general, sobre asuntos más complejos, como subconjuntos o sistemas. Los resultados de las pruebas determinan la conformidad y se pueden usar también como información para otros análisis, tales como la evaluación de un nuevo diseño, el diagnóstico de problemas o la realización de ajustes físicos a los productos. Algunas industrias cuentan con sus propios términos para la inspección o las pruebas, por ejemplo, el ensayo que se emplea en las industrias de extracción y farmacéutica.

Si bien los términos *inspección* y *prueba* usualmente se refieren a las industrias manufactureras, los conceptos también pueden aplicarse a otras. En las industrias de servicios se emplean diferentes términos, como *revisión*, *control*, *conciliación* o *examen*. La evaluación de la exactitud de una declaración de impuestos, la limpieza de una habitación de hotel o la precisión de un balance de cierre de un cajero bancario son formas de inspección: una medición, una comparación con un estándar y una decisión.

15.2

CONFORMIDAD CON LA ESPECIFICACIÓN Y APTITUD PARA EL USO

De todos los objetivos de la inspección, el más antiguo y extendido es la aceptación del producto, es decir, determinar si un producto está hecho conforme a los estándares y si, por lo tanto, debería ser aceptado. El *producto* puede ser una unidad discreta, una colección de unidades discretas (un lote), una carga de producto (un tanque de químicos) o bien un sistema complejo.

Producto también puede significar un servicio, como una transacción en un banco, una consulta con una agencia respecto a regulaciones fiscales o el desempeño del personal antes, durante y después de un vuelo comercial. En estos ejemplos es posible identificar las características de la inspección, establecer estándares y juzgar la conformidad.

La aceptación del producto implica la disposición de éste con base en su calidad. Tal disposición implica diversas decisiones importantes:

1. *Conformidad.* Juzgar si el producto está hecho o no conforme a las especificaciones.
2. *Aptitud para el uso.* Decidir si el producto no conforme puede ser utilizado.
3. *Comunicación.* Decidir qué comunicar a la gente interna y externa.

La decisión de conformidad

Excepto en el caso de las compañías pequeñas, el número de decisiones de conformidad que se toman cada año es enorme. No existe la posibilidad de que el organismo de supervisión se pueda involucrar en los detalles de tantas decisiones. De ahí que el trabajo se organice de manera tal que los inspectores o trabajadores de la producción puedan tomar esas decisiones por sí mismos. Para este fin, se les capacita para que entiendan los productos, estándares e instrumentos. Una vez capacitados, se les da el trabajo de inspeccionar y juzgar sobre la conformidad. (En muchos casos, se delega a instrumentos automatizados.)

En relación con la decisión de conformidad está la disposición del producto conforme. El inspector está autorizado para identificar el producto (“sellarlo”) como aceptable. Esta identificación sirve luego para informar a los empacadores, consignadores, etc., que el producto puede dirigirse a su siguiente destino (procesamiento posterior, almacén, cliente). Estrictamente hablando, la decisión de “envío” no la toman los inspectores sino la administración. Con algunas excepciones, el producto que está hecho conforme a las especificaciones es también apto para usarse. De ahí que los procedimientos de la compañía (establecidos por la dirección) determinan que los productos conformes deben enviarse como práctica habitual.

La decisión de aptitud para el uso

En el caso de los productos no conformes, surge una nueva pregunta: ¿este producto no conforme es o no apto para usarse? En algunos casos, la respuesta es obvia: la no conformidad es tan severa que el producto es claramente inepto. Por lo tanto, se desecha o, si conviene económicamente, se repara. Sin embargo, en muchos casos, la respuesta sobre la aptitud para el uso no es tan obvia. En tales situaciones, si una buena parte está en riesgo, se hace un estudio para determinar la aptitud para el uso. Este estudio implica obtener información como la que se menciona a continuación:

- *¿Quién será el usuario?* Un usuario tecnológicamente sofisticado podría ser capaz de enfrentar exitosamente la no conformidad; otro consumidor quizá no. Un usuario cercano puede tener acceso fácil al servicio de campo; uno distante o extranjero podría carecer de un acceso así de simple.
- *¿Cómo será usado el producto?* Para muchos productos y materiales estándar, las especificaciones son suficientemente amplias como para cubrir una variedad de posibles usos, y el empleo real que se dará al producto se desconoce al momento de la manufactura. Por ejemplo, una hoja de acero podría cortarse para servir como platos decorativos o como miembros estructurales; un receptor de televisión podría estar colocado en un rango cómodo o en uno extremo; los intermediarios químicos pueden usarse en numerosas fórmulas.
- *¿Existen riesgos para la seguridad humana o la integridad estructural?* Cuando dichos riesgos sean significativos, todo lo demás es académico.
- *¿Cuál es la urgencia?* Para algunas aplicaciones, el cliente no puede esperar ya que el producto en cuestión es determinante para poder poner en marcha un sistema más amplio. En esos casos el producto puede requerir una entrega ahora y ocasionar reparaciones en el campo.
- *¿Cuáles son las economías de la compañía y del usuario?* Para algunos casos de no conformidad, la economía de la reparación resulta tan prohibitiva que el producto tiene que usarse tal como está, aunque con precio de descuento. En algunas industrias, como la de textiles, la estructura de precios formaliza este concepto mediante el uso de un grado separado: “de segunda”.
- *¿Cuáles son las medidas de aptitud para el empleo del usuario?* Éstas pueden diferir significativamente en relación con las que están disponibles para el fabricante. Por ejemplo, un fabricante de un paño abrasivo se sirvió de pruebas de laboratorio para juzgar la *aptitud* del paño para pulir metal; un importante cliente evaluó el *costo* por 1 000 piezas pulidas.

Éstos y otros datos pueden ser necesarios en diferentes niveles para la aptitud de uso, como los efectos en la economía de los procesadores subsecuentes; los requerimientos de comerciabilidad de los vendedores, y las características para determinar la aptitud para el usuario final y las que influyen en el mantenimiento de campo.

El trabajo para obtener dicha información con frecuencia se asigna al personal especializado, como ingenieros de calidad que “hacen rondas”, contactando diversos departamentos que puedan proveerles la información pertinente. Puede ser necesario contactar al cliente e incluso llevar a cabo una prueba real. En la tabla 15.1 se muestra una lista típica de fuentes.

Una vez que se ha recopilado y analizado toda la información, se toma la decisión sobre la adaptabilidad para el uso. Si la cantidad de dinero en juego es pequeña, la decisión será delegada al personal especializado, al gerente de calidad o a algún comité de decisión continua como una

TABLA 15.1
Fuentes de información

Información	Fuentes comunes
¿Quién será el usuario?	Mercadotecnia
¿Cómo se usará este producto?	Mercadotecnia; cliente
¿Existen riesgos para la seguridad humana o la integridad estructural?	Investigación y diseño de producto
¿Cuál es la urgencia?	Mercadotecnia; cliente
¿Cuál es la economía de la compañía y del usuario?	Todos los departamentos; clientes
¿Cuáles son las medidas del usuario de aptitud para el uso?	Investigación de mercado; mercadotecnia; cliente

junta de revisión de material. Si la cantidad en juego es grande, la decisión normalmente la toma un equipo de los funcionarios más altos de la dirección.

Las deliberaciones relacionadas con la decisión sobre la aptitud para el uso son con frecuencia una dramática mezcla de voces: algunas balanceadas y juiciosas, y otras que ceden a la presión de los plazos de entrega, incluso si esto es un disparate.

La decisión de comunicación

La conformidad y las decisiones sobre la aptitud para el uso son una fuente de información esencial, aunque algunos datos no se comunican correctamente.

La información sobre los productos no conformes normalmente se comunica a los departamentos de producción para ayudarlos a evitar la recurrencia. Sistemas de recolección de datos más elaborados podrían requerir sumarios periódicos para identificar las “repeticiones”, que se vuelven entonces sujeto de estudios especiales.

Cuando estos productos se envían fuera al considerarlos aptos para el uso, surge la necesidad de dos categorías adicionales de comunicación:

1. *Comunicación hacia los “externos”* (normalmente clientes) que tienen el derecho y la necesidad de saber. Con demasiada frecuencia, las compañías de manufactura descuidan o evitan la información para los clientes cuando envían productos no conformes. Dicha omisión puede dar como resultado una mala experiencia, como cuando los clientes se aprovechan de esta no conformidad para obtener un descuento en el precio, a pesar del hecho de que el uso del producto no añadirá nada a sus propios costos. La negligencia se vuelve con más frecuencia una falla, incluso al enfrentar la cuestión de qué se debe comunicar. Un factor importante aquí es el diseño de los formatos empleados para el registro de las decisiones. Con pocas excepciones, estos formatos carecen de previsiones que obliguen a los involucrados a hacer recomendaciones y decisiones sobre *a)* si se debe o no informar a los externos y *b)* qué comunicarles.
2. *Comunicación con los internos.* Cuando los bienes no conformes son enviados considerándolos aptos para su uso, las razones para hacerlo no siempre se comunican a los inspectores ni, en particular, a los trabajadores de la producción. Se sabe que el vacío de conocimiento que de ahí resulta ha ocasionado algunas malas prácticas. Cuando un producto con el mismo tipo de no conformidad ha sido enviado en diversas ocasiones, un inspector puede llegar a la conclusión (sin saber por qué) de que desde un principio era una pérdida de tiempo reportar dichas no conformidades. Así, en algún caso futuro, las razones especiales que fueron base para la decisión de enviar los bienes no conformes podrían no estar presentes. De igual manera, un trabajador de producción podría llegar a la conclusión de que es una pérdida de tiempo hacer todo ese esfuerzo para evitar alguna no conformidad si de todas formas el producto se va a enviar. Dichas reacciones provenientes de empleados bien intencionados pueden minimizarse si la compañía responde directamente la pregunta: ¿qué debemos comunicar a los internos?

15.3

DISPOSICIÓN DE UN PRODUCTO NO CONFORME

Una vez que un inspector se da cuenta de que un lote de producto no está hecho conforme a las especificaciones, él o ella prepara un reporte para este caso. Las copias de este reporte se envían a

los departamentos implicados. Esta acción pone en marcha una secuencia planeada de actividades. El lote se marca con la palabra “detener” y se envía con frecuencia a un área especial para reducir el riesgo de confusión. El producto se pone en cuarentena. Los programadores exploran la posibilidad de escasez y la necesidad de reemplazo. Se asigna un investigador para recopilar el tipo de información necesaria para tomar la decisión sobre la aptitud para el uso, como se discutió anteriormente.

Decisión de no enviar

La investigación podría llegar a la conclusión de que el lote no puede enviarse como está. En ese caso, se estudia la economía para determinar la mejor disposición: clasificar, reparar, degradar, desechar, etc. Los esfuerzos contables adicionales podrían cargar el costo a la fuente responsable, especialmente si está involucrada la responsabilidad del proveedor. También se da un cierto grado de acción para impedir la recurrencia.

Decisión de enviar

Esta decisión puede surgir de diversas maneras:

- *Renuncia del diseñador.* Dicha renuncia es un cambio en la especificación en relación con el lote en cuestión para que así éste quede en estado de conformidad.
- *Renuncia del cliente* o del departamento de mercadotecnia en nombre del cliente. Dicha renuncia de hecho reemplaza la especificación. (La renuncia puede haber sido “adquirida” mediante un cambio en la garantía o con un precio de descuento.)
- *Renuncia del departamento de calidad* según su delegación para tomar decisiones sobre aptitud para el uso en asuntos no críticos. El criterio de “no crítico” puede basarse en una clasificación previa de la seriedad de las características, en el bajo costo del producto involucrado o en otras bases. Para las categorías de seriedad menor, la delegación podría incluso estar en manos de los ingenieros de calidad o los supervisores de inspección. No obstante, para defectos grandes y críticos, la delegación se deja por lo general en manos del gerente técnico, el administrador de calidad y algunos gerentes de equipo.
- *Renuncia de una junta formal de revisión de material.* El concepto de esta junta evolucionó gracias a las adquisiciones militares de productos de defensa para hacer más expeditas las decisiones respecto a los lotes no conformes. Entre los miembros de la junta se incluyen un representante del ejército más un diseñador y el especialista en calidad. Se requiere una decisión unánime para enviar un producto no conforme. Los procedimientos de la junta proporcionan la documentación formal de los hechos y conclusiones, creando así una fuente de datos con un gran valor potencial.
- *Renuncia de la alta dirección.* Esta parte del procedimiento está restringida a los casos de naturaleza crítica que implican riesgos para la seguridad humana, la comercialización del producto o el riesgo de pérdida de grandes sumas de dinero. Para dichos casos, los riesgos son demasiado altos como para justificar una decisión de un solo departamento. Las renunciaciones, no obstante, tienen una forma insidiosa de convertirse en parte de la cultura. Es recomendable llevar un registro constante de la cantidad de producto que se envía bajo las especificaciones de la renuncia, por ejemplo, el porcentaje de lotes enviados cada mes según la renuncia.

El sector de servicios también cuenta con diversas acciones para disponer de un servicio no conforme. Peach (1997, p. 435) brinda algunos ejemplos:

- *En caso de falla en la distribución de televisión por cable*, la disposición es reparar reiniciando la conexión.
- *En caso de un cargo incorrecto en una cuenta de banco*, la disposición consiste en acreditar la cantidad correcta y descargar la cantidad incorrecta.
- *En caso de alimentos sucios en un restaurante*, la disposición es desecharlos y devolver la comida al proveedor, eliminando la basura y notificando a las autoridades locales de salud.

Acciones correctivas

Además de la necesidad de disponer del lote no conforme, existe la necesidad de evitar la recurrencia. El proceso de prevención puede ser de dos tipos, dependiendo del origen de la no conformidad.

1. Algunas no conformidades se originan en un cambio aislado, esporádico, que ocurrió en un proceso otrora funcional. Los ejemplos son una mezcla de los materiales utilizados, un instrumento mal calibrado o un error humano al girar una válvula demasiado pronto. Para estos casos, la supervisión local es con frecuencia capaz de identificar qué salió mal y de restaurar el proceso hasta su buen comportamiento normal. Algunas veces, la resolución de problemas puede requerir la ayuda de un especialista del personal. En cualquier caso, no hay cambios de naturaleza fundamental, pues la planeación de la manufactura ya ha establecido un proceso adecuado.
2. Otros casos de no conformidad son “repeticiones”. Surgen una y otra vez, como lo evidencia su necesidad recurrente de que la junta de revisión material o alguna otra agencia similar los resuelva. Dichas recurrencias señalan una condición crónica que debe ser diagnosticada y remediada si se busca resolver el problema. La supervisión local rara vez logra encontrar la causa de estas no conformidades crónicas, principalmente porque no está muy clara la responsabilidad del diagnóstico. Cuando hay una falta de acuerdo sobre la causa, el problema sigue en medio de serios debates respecto a qué o a quién culpar: diseño poco realista, proceso incapaz, escasa motivación, etc. Lo que se requiere no es que la resolución de problemas restaure el buen comportamiento normal debido a que este último es malo. En cambio, se requiere organizar para alcanzar un proyecto de mejora, como se discutió en el capítulo 3.

15.4 PLANEACIÓN DE LA INSPECCIÓN

La planeación de la inspección es la actividad que consiste en (1) diseñar las “estaciones” en las cuales se llevará a cabo la inspección y (2) brindar a esas estaciones los medios para saber qué deben hacer, además de las facilidades para realizarlo. Para definir características simples de calidad de rutina, con frecuencia la planeación la hace el inspector. Para productos complejos hechos en grandes compañías multidepartamentales, la planeación normalmente la llevan a cabo especialistas, como ingenieros de calidad.

Ubicar las estaciones de inspección

La herramienta básica para elegir la ubicación de las estaciones de inspección es el diagrama de flujo (véase por ejemplo la figura 13.5). Las ubicaciones más comunes son las siguientes:

- Al recibir los bienes de los proveedores, en lo que normalmente se llama “inspección de llegada” o “inspección del proveedor”.
- Después de establecer el proceso de producción para brindar mayor seguridad y evitar que se produzca un lote defectuoso. En algunos casos, esta “aprobación inicial” también se convierte en una aprobación del lote.
- En el transcurso de operaciones críticas o costosas, normalmente llamado “proceso de inspección”.
- Antes de la entrega de bienes de un departamento de proceso al otro, normalmente llamada “aprobación de lote” o “inspección de barrera de peaje”.
- Antes del envío de los productos completos al almacén o a los clientes, normalmente llamada “inspección de bienes terminados”.
- Antes de llevar a cabo operaciones costosas e irreversibles, como el vaciado de acero líquido.
- En las “mirillas” naturales del proceso.

El concepto de estaciones de inspección también se aplica al sector de servicios. Por ejemplo, al arreglar el viaje de clientes, la “inspección de recepción” con frecuencia incluye la verificación de información en una tarjeta de crédito del cliente; el “proceso de inspección” incluye la verificación de que el cliente cuente con un pasaporte, una visa y una licencia de conducir; la “inspección final” incluye la confirmación de que los boletos estén hechos conforme a lo acordado (Peach, 1997, p. 432).

La estación de inspección no es necesariamente una zona fija donde el trabajo llega hasta el inspector. En algunos casos, el inspector va al trabajo patrullando una gran área y llevando a cabo verificaciones en distintos lugares, incluyendo el área de envío, la planta del proveedor o las instalaciones del cliente.

El proceso de inspección frecuentemente es responsabilidad de los operadores de producción. Junto con este proceso se emplean dispositivos “poka-yoke” como parte de la inspección. Estos dispositivos se instalan en la máquina para inspeccionar las condiciones del proceso y los resultados del producto, y brindar retroalimentación inmediata al operador (véase sección 13.8). Véase también la sección 5.3 para una discusión del concepto de autoajuste en el que los operadores emplean continuamente métodos simples y directos (incluyendo la inspección). Cada vez más, la inspección forma parte del proceso en lugar de ubicarse al final del mismo (véase Durkee y Gookins, 1999).

Eligir e interpretar las características de calidad

El planeador prepara una lista en la que determina qué características de calidad se van a revisar en qué estaciones de inspección. Para algunas de estas características, al planeador puede resultarle necesario brindar información que complemente las especificaciones. Las especificaciones del producto se preparan por pocas personas, comparativamente, y cada una de ellas en general está consciente de las necesidades de aptitud para el uso. En contraste, estas especificaciones deben ser usadas por muchos inspectores y operadores, quienes en su mayoría no están conscientes de ellas. El planeador puede ayudar a cerrar esta brecha de diferentes maneras:

- Asegurándose de que los ambientes de inspección y pruebas simulen las condiciones de uso. Este principio se utiliza ampliamente, por ejemplo, al probar aparatos eléctricos. También se extiende a aplicaciones tales como el tipo de iluminación que se usa para la inspección de textiles.
- Brindando información adicional que va más allá de las especificaciones preparadas por los diseñadores del producto y los ingenieros del proceso. Una parte de esta información está disponible en estándares publicados —de la compañía, la industria y nacionales—. Otro tipo de información se prepara precisamente para satisfacer las necesidades específicas del producto que se está considerando. Por ejemplo, en una fábrica de artículos ópticos, el término genérico *defectos de belleza* se empleó para describir diversas condiciones que diferían ampliamente en cuanto a su efecto en la aptitud para el uso. Un rasguño en las grandes lentes de un par de binoculares, aunque funcionalmente no resulta serio, era visible para el usuario y por lo tanto resultó inaceptable. Otros dos tipos de rasguños no resultaron ni adversos para el uso ni visibles para el usuario y por lo tanto no fueron considerados importantes. Estas distinciones se aclararon mediante un análisis de planeación y se incorporaron a los procedimientos.
- Ayudando a los inspectores y supervisores de trenes a entender las condiciones de uso y el “porqué” de los requerimientos de la especificación.
- Brindando una clasificación seria (véase la sección 15.5).

Planeación detallada de la inspección

Para cada una de las características de calidad, el planeador determina el trabajo detallado que hay que hacer. Esta determinación cubre aspectos tales como:

- El tipo de prueba que se va a realizar. Esta área puede requerir una descripción detallada del ambiente, el equipo y el procedimiento de pruebas, y la tolerancia para la precisión.
- El número de unidades que se pondrán a prueba (tamaño muestra).
- El método para seleccionar las muestras que se probarán.
- El tipo de mediciones (atributos, variables y otras).
- Los criterios de conformidad para las unidades son normalmente los límites de tolerancia especificados para el producto.

Más allá de esta planeación detallada para las características y unidades, una más pormenorizada se puede aplicar al producto, el proceso y el sistema de datos:

- Los criterios de conformidad para el lote, que normalmente consisten en el número permitido de unidades no conformes en la muestra.
- La disposición física que debe hacerse del producto: los lotes conformes, los no conformes y las unidades probadas.
- Los criterios para las decisiones sobre el proceso: ¿debería correr o detenerse?
- Los datos que deben registrarse, formatos que deben usarse y reportes que hay que preparar.

Esta planeación se incluye normalmente en un documento formal que debe ser aprobado por el planeador y el supervisor de inspección. Para un ejemplo de Baxter Trabenol, véase la figura 15.1.

Número de parte: XXXX		Nombre de parte: YYYY			Condiciones fuera de control encontradas ⁴		
Proceso	Características	Índice C_p ¹	Índice C_{pk} ¹	Frecuencia ²	Tamaño de muestra ²	Métodos de análisis	
Inspección de entrada	Espesor de la provisión	1.6	1.0	Cada envío	—	Revisar los diagramas de control incluidos en cada lote	Lote embargado: contactar al proveedor para solución
Inspección en proceso	Espesor	1.9	1.1	Cada 1 000 partes	2 piezas	Micrómetros/diagrama \bar{X} y s	Corregir proceso
	Ancho	1.5	1.4	Cada 10 000 partes	5 piezas	Micrómetro/diagrama mediano	Corregir proceso
	Largo	1.6	1.2	Cada 4 horas	75 piezas	Anillo cóncavo de medición/diagrama p	Corregir proceso
Área de ensamblaje	Espesor	2.0	1.8	Cada hora	30 piezas	Medidor especial/diagrama p	Corregir proceso
	Ancho	2.2	1.9	Diagrama por hora	100%	Probador automático/diagrama u	Reparación del operador responsable
Salida ³	Ensamblaje completo	2.8	1.9	Cada hora	20 piezas	Probador automático/diagrama \bar{X} y s	Corregir proceso
	Ensamblaje completo	NA	1 500 DPM	Cada lote	50 piezas	Inspección visual completa más medición y puesto de prueba/diagrama c	Rechazar lote y clasificar en busca de artículos no conformes ya identificados

¹ Las explicaciones y fórmulas están contenidas en los lineamientos SPC.

² Las frecuencias y los tamaños de la muestra son determinados a partir del estudio de desempeño de la estabilidad en cada proceso. Se revisan y actualizan periódicamente conforme a los requerimientos.

³ Después de seis meses de experiencia en producción, los registros para el control del proceso y la inspección se revisan para determinar si es posible reducir la inspección saliente.

⁴ Si se encuentran productos no conformes en las muestras del proceso, entonces se lleva a cabo una inspección del 100% de los productos hechos desde el último punto de control.

FIGURA 15.1
Plan de control. (De Baxter Travenol Laboratories, 1986.)

Características sensoriales

Las características sensoriales son aquellas para las que carecemos de instrumentos de mediciones y para las cuales se deben usar los sentidos del ser humano como instrumentos de medición. Las cualidades sensoriales pueden implicar el desempeño tecnológico de un producto (como la adhesión de un recubrimiento protector), características estéticas (olor de un perfume), sabor (como en la comida) o características de los servicios humanos (el espectro de servicios de un hotel, por ejemplo).

Una categoría importante de característica sensorial es la de la calidad visual. En general, las especificaciones escritas no son claras debido a su incapacidad para cuantificar estas características. Entre los enfoques empleados para describir los límites de las características se encuentran los siguientes:

1. Proveer fotografías para definir los límites de aceptabilidad de un producto.

EJEMPLO 15.1. Una empresa de comida rápida tiene el problema de definir los estándares de calidad para los proveedores de panes de hamburguesas. La solución son fotografías que muestren el ideal, así como los límites máximo y mínimo aceptables para el color “café dorado”, la simetría del pan y la distribución del ajonjolí.

2. Proveer estándares físicos para definir los límites de aceptabilidad.

EJEMPLO 15.2. Una agencia de gobierno necesitaba definir los tonos más claros y más oscuros de color caqui aceptables para un proveedor de uniformes. Se prepararon muestras de tela de color para limitar las tonalidades y se entregaron a los inspectores. Imagine el seguimiento necesario para reemplazar periódicamente las muestras de tela cuando la decoloración resulte inminente.

3. Especificar las *condiciones* de la inspección en lugar de tratar de definir explícitamente los límites de aceptabilidad.

EJEMPLO 15.3. Riley (1979) describe un procedimiento de inspección especial para los defectos cosméticos (de apariencia) de las calculadoras electrónicas. Los dibujos de las partes indican la importancia relativa de las diferentes superficies, usando un sistema de números de categoría y letras de clase. Tres categorías identifican la superficie que se inspecciona:

- I. Ventana de plástico (sólo en áreas críticas).
- II. Externa.
- III. Interna.

Tres clases indican la frecuencia con que el usuario verá la superficie:

- A. Normalmente vista por el usuario.
- B. Poco vista por el usuario.
- C. Nunca vista por el usuario (excepto durante mantenimiento).

Por ejemplo, una parte de hoja de metal que casi nunca será vista lleva un grado de Recubrimiento IIB.

Las condiciones de la inspección se plantean en términos de la distancia a la que se ve, el tiempo que se mira y las condiciones de iluminación. La distancia y el tiempo se especifican para cada combinación de superficie que se va a inspeccionar y la frecuencia con la que la ve el usuario. Las condiciones de iluminación deben estar entre 75 y 150 pies candela desde una fuente no direccional.

Los lineamientos ayudan a establecer clasificaciones cosméticas para los dibujos de las partes. Sin embargo, el inspector aún debe juzgar si el usuario final objetará o no el (los) error(es), partiendo del tiempo y la distancia especificados.

Se dan más detalles sobre las características sensoriales en *JQH5*, pp. 23.25-23.29.

15.5 CLASIFICACIÓN DE LA SERIEDAD

Las características de calidad tienen un efecto definitivamente desigual en la aptitud para el uso. Relativamente pocas son “serias”, es decir, de importancia crítica; muchas son de menor relevancia. Evidentemente, entre más importantes son las características mayor atención deberían recibir en cuestiones tales como la extensión de la planeación para la calidad; la precisión de los procesos; las herramientas e instrumentos; el tamaño de las muestras; el rigor de los criterios para la conformidad, etc. No obstante, hacer dicha discriminación requiere que la importancia relativa de las características se dé a conocer a las diversas personas involucradas que toman decisiones: ingenieros de proceso, planeadores de calidad, supervisores de inspección, etc. Para este fin, muchas compañías se sirven de sistemas formales para la clasificación de la seriedad. La clasificación resultante se emplea en la inspección y planeación de la calidad, y también al escribir especificaciones en relaciones con los proveedores, auditorías de producto, reportes ejecutivos sobre calidad, etc. Los múltiples usos de una clasificación de la seriedad señalan que el sistema debe ser preparado por un comité interdepartamental que entonces:

1. Decidirá cuántas clases o estratos de seriedad hay que crear (normalmente tres o cuatro).
2. Definirá cada clase.
3. Clasificará cada característica en su clase de seriedad apropiada.

Características y defectos

Normalmente hay dos listas que necesitan clasificarse. Una es la de características de calidad que derivan de las especificaciones. La otra es la lista de “defectos”, es decir, de síntomas de no conformidad durante la manufactura y de falla en el campo durante el uso. Ambos listados tienen muchos puntos en común, pero también diferencias. (Por ejemplo, la lista de defectos encontrados en botellas de vidrio posee pocas similitudes con la lista de características.) Adicionalmente, las dos listas no se comportan de manera similar. El “diámetro” como característica de diseño, por ejemplo, da origen a dos defectos: mayor o menor tamaño. La cantidad en la que el diámetro excede el tamaño puede ser decisiva para la clasificación de seriedad.

Normalmente es factible hacer que un sistema de clasificación resulte aplicable a ambas listas. Sin embargo, los usos para las clasificaciones resultantes varían lo suficiente como para que resulte conveniente publicar las listas por separado.

Definición de las clases

La mayoría de las series de definiciones muestran la influencia del trabajo pionero del Sistema Bell en la década de 1920. El estudio de diversos sistemas similares revela un patrón interno que es una guía útil para cualquier comité que enfrente la aplicación del concepto a su propia compañía. La tabla 15.2 muestra la naturaleza del patrón interno aplicada a una compañía en la industria de la alimentación.

Clasificación

La clasificación es una tarea larga y tediosa, pero esencial. No obstante, tiene buenos efectos secundarios al señalar conceptos erróneos y confusión entre los departamentos, lo que despeja el

TABLA 15.2
Definiciones compuestas para la clasificación de seriedad en la industria de la alimentación

Defecto	Efecto en la seguridad del consumidor	Efecto en el uso	Relaciones con el consumidor	Pérdida para la compañía	Efecto en la conformidad con las regulaciones del gobierno
Crítico	Seguramente causará daño personal o enfermedad.	Hará al producto totalmente no apto para usarse.	Ofenderá la sensibilidad del usuario debido al olor, la apariencia, etcétera.	Hará que se pierdan clientes y provocará pérdidas mayores al valor del producto.	No está hecho conforme a las regulaciones para pureza, toxicidad, identificación.
Importante A	Muy poco probable que cause daño personal o enfermedad.	Puede hacer que el producto no sea apto para usarse y causar rechazo por parte del usuario.	Probablemente sea detectado por los consumidores y probablemente reduzca las ventas del producto.	Puede hacer que se pierdan clientes y puede resultar en pérdidas mayores al valor del producto; reducirá sustancialmente los rendimientos de la producción.	No está hecho conforme a las regulaciones en cuanto al peso, volumen o control de lotes.
Importante B	No causará daño personal o enfermedad.	Hará que el producto sea más difícil de usar, como al retirarlo del paquete, o requerirá improvisación por parte del usuario; afecta la apariencia, la pulcritud.	Puede ser detectado por algunos consumidores y puede causar molestia en caso de ser detectado.	Es poco probable que pierda clientes; puede requerir reemplazo del producto o resultar en una pérdida igual al valor del producto.	Menor inconformidad ante las regulaciones sobre peso, volumen o control de vasos, como en el caso de la documentación.
Menor	No causará daño personal o enfermedad.	No afectará el uso del producto; puede afectar la apariencia o la pulcritud.	Es poco probable que sea detectado por los consumidores, y de ser así tendrá poca importancia.	Poco probable que resulte en pérdidas.	Está completamente conforme con las regulaciones.

camino para eliminar imprecisiones y equivocaciones. Entonces, cuando la clasificación final de seriedad se aplica a diferentes objetivos, queda sujeta a nuevos desafíos que siguen aclarando las imprecisiones.

Un problema que se ve con frecuencia es la renuencia de los diseñadores a involucrarse en la clasificación de seriedad de las características. Pueden ofrecer distintas razones plausibles: todas las características son críticas, la estrechez de la tolerancia es un índice de seriedad, etc. Sin embargo, las razones reales pueden ser el no estar consciente de los beneficios, la sensación de que hay otros asuntos que tienen una prioridad departamental más alta, etc. En dichos casos, podría valer la pena demostrar los beneficios de la clasificación trabajando con un ejemplo de pequeña escala. En una compañía, el programa de clasificación de las características redujo el número de dimensiones que había que revisar de 682 a 279 y el tiempo de inspección de 215 minutos a 120 minutos.

15.6 INSPECCIÓN AUTOMATIZADA

La inspección y las pruebas automatizadas se utilizan mucho para reducir los costos de inspección y el índice de error; aligerar la escasez de personal; acortar el tiempo de inspección; evitar la monotonía del inspector, y brindar ventajas adicionales. Las aplicaciones de automatización se han abierto paso exitosamente hacia la calibración mecánica, las pruebas electrónicas (para altos volúmenes de componentes, así como para circuitos de sistemas), las pruebas no destructivas de diversos tipos, los análisis químicos, la discriminación de color, la inspección visual (por ejemplo, circuitos integrados de gran escala), etc. Adicionalmente, las pruebas automatizadas se emplean mucho como parte de los programas de mantenimiento proyectados para equipos en el campo.

Los ejemplos de actividades fuera de la manufactura van desde la revisión de la ortografía que dan los procesadores de texto hasta la de errores en las transacciones bancarias.

Una compañía que considera el uso de la inspección automatizada identifica, en primer lugar, las pocas pruebas que dominan los presupuestos de inspección y el uso de personal. La economía de la automatización se computa y se realizan pruebas sobre los posibles candidatos para una buena utilidad en la inversión. Conforme se va adquiriendo experiencia, el concepto se extiende cada vez más.

Con el énfasis en los niveles de defectos en el rango de partes por millón, muchas industrias están aceptando cada vez más la inspección 100 por ciento automatizada y las pruebas en máquina. Orkin y Olivier (1999) presentan una amplia tabla que identifica siete categorías de aplicaciones potenciales, que van desde la calibración dimensional hasta la prueba no destructiva.

Un ejemplo importante de inspección automatizada es el concepto de “visión de máquina”, en el que un ojo electrónico inspecciona y guía diversos procesos industriales. Las aplicaciones incluyen robots dirigidos para la colocación de puertas en automóviles, detectar defectos en las verduras en la línea de procesamiento de comida congelada, examinar la madera en busca de nudos en los paneles de chapa y verificar que la cápsula de medicamento del color indicado vaya a un paquete correctamente etiquetado antes de ser enviada a las farmacias (*Fortune*, 16 de febrero de 1998, p. 104B). Los mecanismos de inspección visual de alta velocidad pueden estar integrados o ligeramente fuera de línea en las operaciones de manufactura. Los productos pueden pasar automáticamente revisiones de características múltiples. Al final del ciclo de inspección, el monitor de la computadora informa al operador si el producto es aceptable y actualiza las estadísticas del proceso de calidad. Los métodos de inspección humana normalmente detectan entre 80 y 90 por ciento de

los defectos (véase a continuación); con la inspección visual de la máquina, esencialmente todos los defectos son detectados. Para más detalles, véase *JQH5*, p. 23.15.

Un requerimiento crítico para todos los equipos de prueba automatizados es la medición de la precisión, es decir, mediciones repetidas de una misma unidad de producto deben arrojar los “mismos” resultados de prueba dentro de un rango aceptable de variación. Esta repetición es inherente al diseño del equipo y puede ser cuantificada mediante los métodos que se discuten en la sección 15.8. Además, se debe contar con los medios para mantener la “precisión” del equipo, es decir, la calibración respecto a los estándares para las unidades de medida involucradas.

Otro aspecto de los equipos de prueba automatizados es el problema del procesamiento de datos generados mediante las pruebas. Los sistemas modernos de procesamiento electrónico de datos permiten el registro de la información de la prueba directamente desde el equipo hasta la computadora, sin necesidad de documentos intermedios. Dicho registro directo apoya la pronta preparación de sumarios de datos, cálculos de conformidad, comparaciones con los lotes previos, etc. A su vez, es factible programar la computadora para que emita instrucciones para probar el equipo en relación con la frecuencia de pruebas, disposición de las unidades que se probaron, señales de alarma relacionadas con resultados improbables, etcétera.

Cooper (1997) discute cómo diseñar, probar, implementar y mantener sistemas de inspección sin papel.

15.7 EXACTITUD DE LA INSPECCIÓN

La exactitud de la inspección depende de (1) lo completos que estén los planes de inspección (véase atrás); (2) el sesgo y la precisión de los instrumentos (véase posteriormente en esta sección), y (3) el nivel de error humano.

Los altos índices de error prevalecen particularmente en las tareas de inspección que tienen un alto grado de monotonía, como ver frascos de un producto alimenticio en busca de partículas extrañas o revisar las maletas en una puerta de seguridad de un aeropuerto. Sorprendentemente, la monotonía que causa que un inspector no vea defectos se acumula en corto tiempo. Con una inspección monótona, los inspectores detectan entre 80 y 90 por ciento de los defectos y omiten los restantes. Así, una inspección monótona del 100 por ciento *no* es 100 por ciento efectiva en la detección de defectos. Una de las ventajas de la inspección automatizada es la eliminación del error humano.

Los errores humanos en la inspección surgen por múltiples causas, de entre las cuales cuatro son las más importantes: errores técnicos, errores desapercibidos, errores conscientes y errores de comunicación. La naturaleza de éstos es similar a las mismas categorías para el personal en otras actividades (véase en la sección 3.9 el tema “Prueba de teorías que implican errores humanos”). Para un detalle específico sobre los errores de inspección, véase *JQH5*, pp. 23.42-23.53.

Medición de la exactitud de inspección

Algunas compañías llevan a cabo evaluaciones regulares sobre la exactitud de la inspección como parte de la evaluación general del desempeño de ésta. Los planes emplean un inspector de revisión que examina periódicamente muestras de trabajo previamente revisado por diversos inspectores.

Entonces, los hallazgos de la inspección se resumen, se pesan y se convierten en algún índice de desempeño del inspector. *JQH5*, pp. 23.51-23.53, explica el procedimiento.

Harris y Chaney (1969) ofrecieron investigaciones tempranas sobre la exactitud de la inspección. Entre sus hallazgos está que ésta disminuye con la reducción del índice de defectos, aumenta con inspecciones repetidas (hasta un total de seis) y decrece con la complejidad adicional del producto, y que el efecto no puede superarse incrementando el tiempo disponible para la inspección. Estas conclusiones son moderadas.

15.8 ERRORES DE MEDICIÓN

La variación en el proceso puede tener dos orígenes: variación en el proceso de fabricación del producto y en el de medición (véase la figura 15.3). En particular con los bajos niveles de defectos que exige el enfoque six sigma, debemos entender la capacidad del proceso de manufactura y también la del proceso de medición.

Incluso cuando se emplea de manera correcta, un instrumento de medición puede no arrojar una lectura verdadera de una característica. La diferencia entre el valor real y el valor medido puede deberse a una o más fuentes de variación (véase la figura 15.2).

Existe mucha confusión en cuanto a la terminología. En ocasiones se hace referencia al *sesgo* hablando de “precisión”. Tomando en cuenta que la *precisión* tiene diversos significados en la bibliografía (especialmente en los catálogos de instrumentos de medición), su uso como alternativa de “sesgo” no es recomendado.

La distinción entre repetición y sesgo se ilustra en la figura 15.3. Con frecuencia se hace alusión a la *repetición* con la palabra “precisión”.

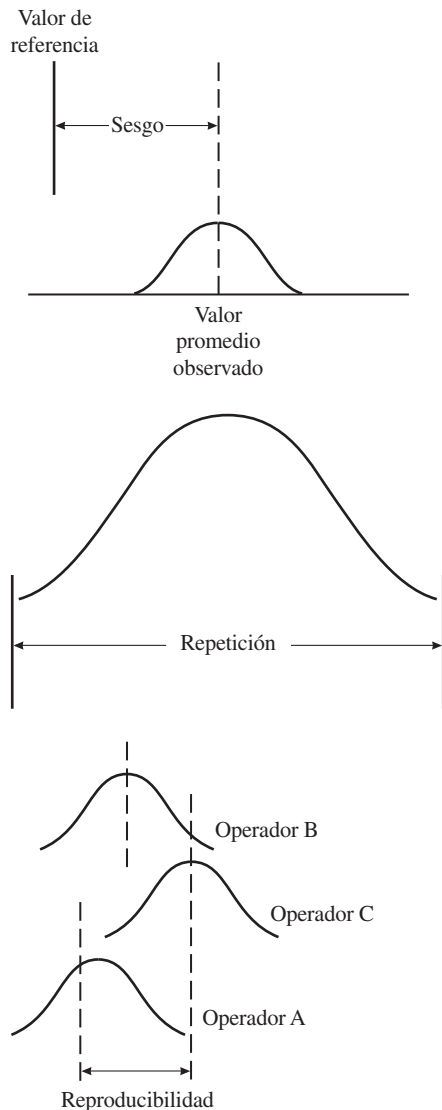
Cualquier declaración sobre sesgo y repetición (precisión) debe estar precedida por tres condiciones:

1. *Definición del método de prueba.* Esta definición incluye el procedimiento paso por paso, el equipo que se va a utilizar, la preparación de especímenes de prueba, las condiciones de ésta, etcétera.
2. *Definición del sistema de causas de variabilidad*, tales como material, analistas, aparato, laboratorio, días, etc. ASTM recomienda que se usen modificadores de la palabra *precisión* para aclarar el alcance de la medida de precisión. Ejemplos de dichos modificadores son: un operador único, un analista único, un laboratorio-operador-material-día único y un multilaboratorio.
3. *Existencia de un proceso de medición estadísticamente controlado.* El proceso de medición debe tener estabilidad para las declaraciones en sesgo y precisión para ser válido. Esta estabilidad puede verificarse mediante un diagrama de control (véase la sección 20.6).

Efecto del error de medición en las decisiones de aceptación

El error de medición puede provocar decisiones incorrectas respecto a (1) unidades individuales de producto y (2) lotes presentados para los planes de muestra.

En un ejemplo en que se medía el punto de reblandecimiento de un material, la desviación estándar de la precisión de la prueba es 2° , lo que arroja dos desviaciones estándar de $\pm 4^\circ$. Los límites de especificación sobre el material son $\pm 3^\circ$. Imagine las decisiones correctas que se toman en estas condiciones.

**Sesgo**

Sesgo es la diferencia entre el promedio observado de las mediciones y el valor de referencia. El valor de referencia, también conocido como el valor de referencia aceptado o el valor maestro, es un valor que sirve como referencia acordada para los valores medidos.¹ Un valor de referencia puede determinarse promediando diversas mediciones con un equipo de medición de un nivel más alto (como un laboratorio de metrología o un equipo de trazado).

¹ASTM D 3980-88.

Repetición

La repetición es la variación en las mediciones que se obtiene con un instrumento de medición cuando lo usa varias veces un valador mientras mide características idénticas en la misma parte.

Reproducibilidad

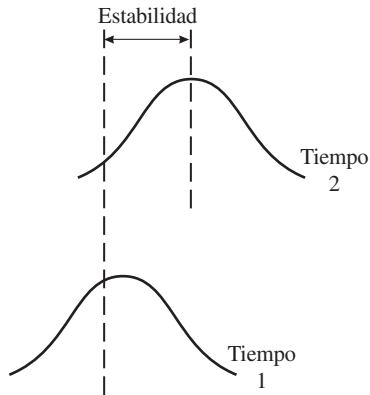
La reproducibilidad es la variación en el promedio de las mediciones hechas por distintos valadores que usan el mismo instrumento de medición cuando miden características idénticas en una misma parte.

FIGURA 15.2

Cinco fuentes de variación en la medición. (*Reimpreso con autorización del Manual MSA. Fuerza de trabajo para requerimientos de calidad en proveedores, DaimlerChrysler, Ford, General Motors.*)

Dos tipos de errores pueden ocurrir en la clasificación de un producto: (1) una unidad no conforme puede ser aceptada (el riesgo del consumidor) y (2) una unidad conforme puede ser rechazada (el riesgo del productor). En un documento clásico, Eagle (1954) presentó el efecto de la precisión en cada uno de estos errores.

La probabilidad de aceptar una unidad no conforme como un error en una función de medición (llamada error de prueba, σ_{TE} , por Eagle) se muestra en la figura 15.4. La abscisa expresa el error



Estabilidad

La estabilidad (o deriva) es la variación total en las mediciones obtenidas con un sistema de medición en el mismo original o partes al medir una misma característica sobre un periodo desfasado en el tiempo.

Linealidad

La linealidad es la diferencia entre los valores del sesgo a través del rango esperado de operación de la calibración.

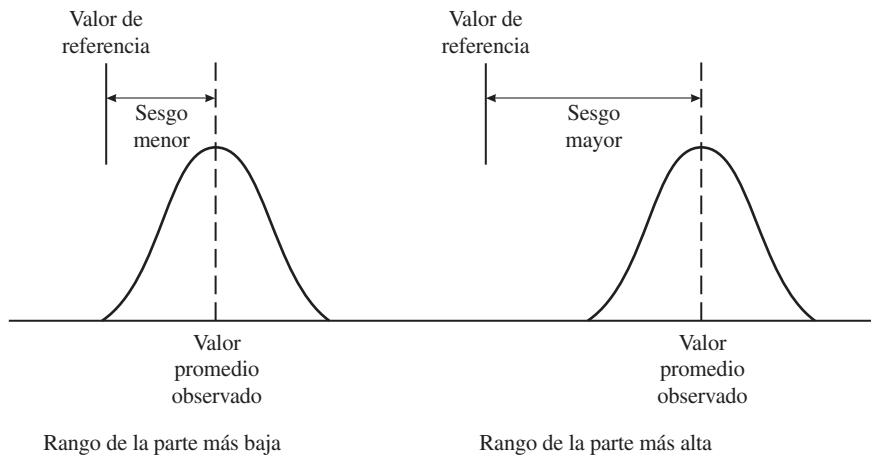


FIGURA 15.2 (continuación)
Cinco fuentes de variación en la medición.

de prueba como el estándar de la desviación dividido entre el valor más/menos del rango de especificación (asumido como igual a dos desviaciones estándar del producto).

Por ejemplo, si el error de medición es una mitad del rango de tolerancia, hay una probabilidad de 1.65 por ciento de que una unidad no conforme se lea como conforme (debido al error en la medición) y, por lo tanto, se acepte.

La figura 15.5 muestra el porcentaje de unidades *conformes* que serán *rechazadas* como resultado del error de medición. Por ejemplo, si el error de medición es la mitad de más/menos el rango de tolerancia, aproximadamente 14 por ciento de las unidades que se encuentran dentro de las especificaciones serán rechazadas porque el error de medición mostrará que tales unidades se encuentran fuera de las especificaciones.

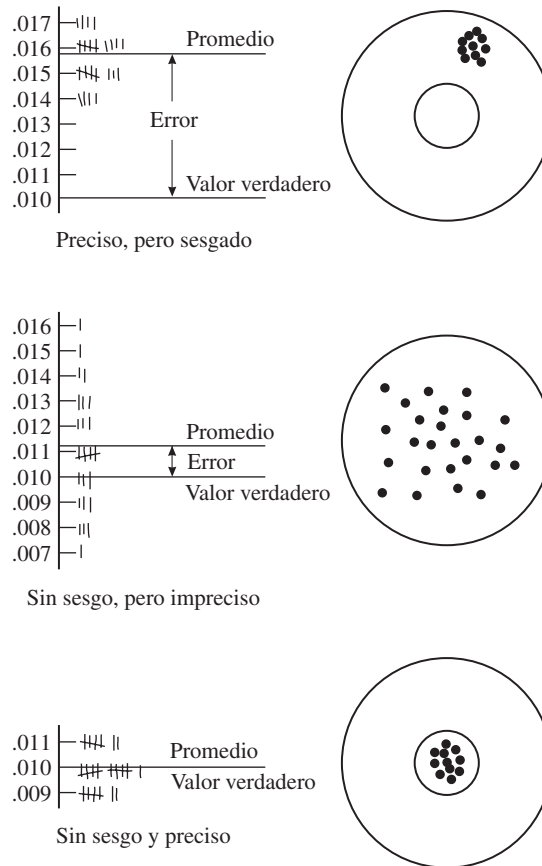


FIGURA 15.3
Distinción entre sesgo y repetición (precisión).

La prueba de especificación puede ajustarse con respecto a la especificación de desempeño (véanse las figuras 15.4 y 15.5). Llevar la especificación de prueba hacia adentro de la especificación de desempeño reduce la probabilidad de aceptar productos no conformes, pero incrementa la de rechazar productos conformes. Lo opuesto ocurre si la especificación de prueba se mueve hacia fuera de la especificación de desempeño. Es posible reducir ambos riesgos incrementando la precisión de la prueba, por ejemplo, reduciendo el valor de σ_E (véase “Reducir y controlar los errores de medición”).

Hoag *et al.* (1975) estudiaron el efecto de errores de inspector en los riesgos de tipo I (α) y tipo II (β) de los planes de muestreo. Para un plan de muestreo único y un 80 por ciento de probabilidad de que el inspector detecte un defecto, el valor real de β es dos o tres veces el especificado, y el valor real de α es aproximadamente entre un cuarto y la mitad de lo especificado.

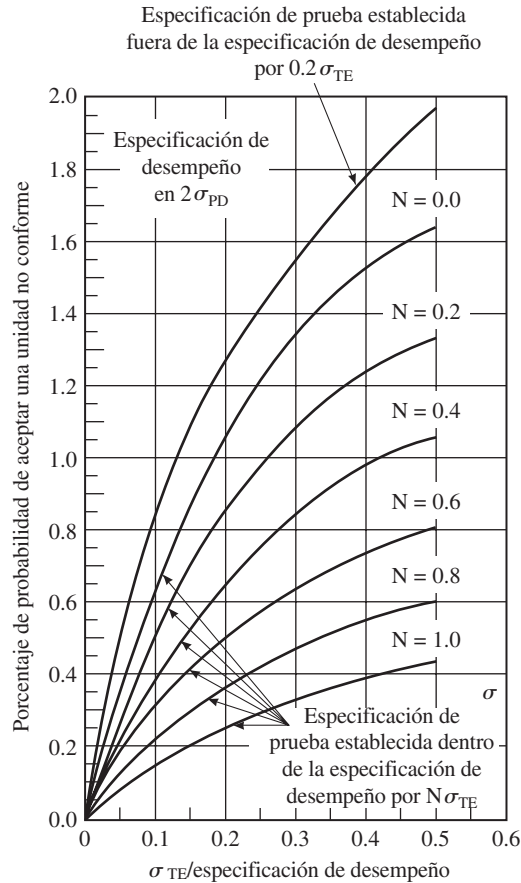


FIGURA 15.4
Probabilidad de aceptar una unidad no conforme.
(De Eagle, 1954.)

Case *et al.* (1975) investigaron el efecto del error de inspección en la *calidad promedio saliente* (AOQ, por sus siglas en inglés) de un procedimiento de muestreo de atributo. Llegaron a la conclusión de que los valores AOQ cambian y también de que pueden ocurrir cambios significativos en la forma de la curva AOQ.

El Automotive Industry Action Group (1995, p. 77) presenta el concepto de una curva de calibración del desempeño para determinar la probabilidad de aceptar o rechazar una parte cuando se desconocen los calibres de repetición y reproducibilidad (R & R).

Todas estas investigaciones concluyeron que el error de medición puede ser un problema serio.

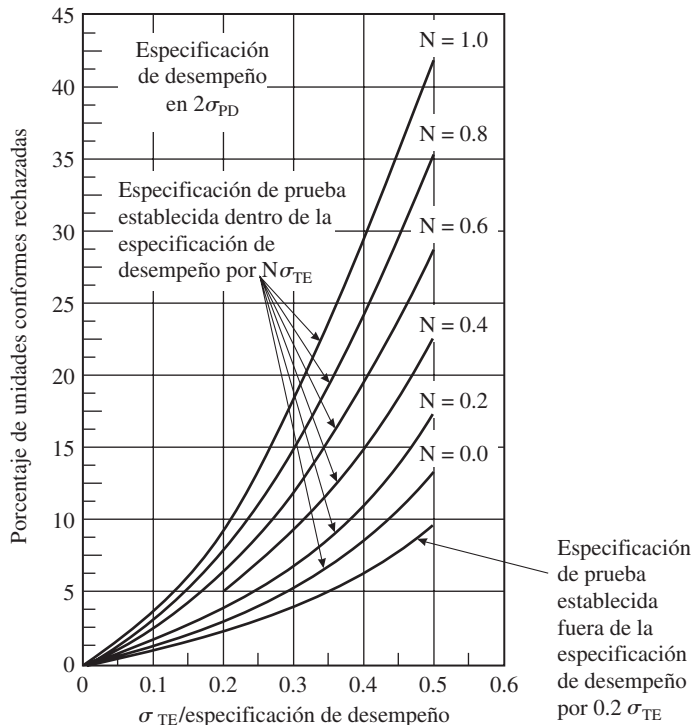


FIGURA 15.5
 Porcentaje de unidades conformes rechazadas. (De Eagle, 1954.)

Componentes de variación

Al sacar las conclusiones respecto al error de medición, vale la pena estudiar las causas de variación en los valores observados. La relación es:

$$\sigma_{\text{observado}} = \sqrt{\sigma^2_{\text{causa A}} + \sigma^2_{\text{causa B}} + \dots + \sigma^2_{\text{causa N}}}$$

La fórmula asume que las causas actúan de manera independiente.

Es importante encontrar los valores numéricos de los componentes de la variación observada, ya que conocerlos puede sugerir dónde debería concentrarse el esfuerzo para reducir la variación en el producto. Una separación de la variación observada en la variación del producto más otras causas de variación podrían indicar factores importantes distintos que el proceso de manufactura. Así, si se determina que el error de *medición* es un gran porcentaje de la variación total, este hallazgo debe ser analizado antes de proceder con un programa de mejora de la calidad. Encontrar los componentes (como por ejemplo, el instrumento u operador) de este error puede ayudar a reducir el error de medición, lo cual a su vez eliminaría por completo un problema.

Es posible constatar las observaciones de un instrumento empleado para medir una serie de unidades diferentes de producto como un compuesto de (1) la variación debida al método de medición y (2) la variación en el propio producto. Este valor puede expresarse como:

$$\sigma_O = \sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_E^2}$$

donde $\sigma_O = \sigma$ de los datos observados.

$\sigma_P = \sigma$ del producto.

$\sigma_E = \sigma$ del método de medición.

La solución de σ_P sería:

$$\sigma_P = \sqrt{\sigma_O^2 - \sigma_E^2}$$

Los componentes del error de medición con frecuencia se presentan en la repetición y la reproducibilidad (R & R). La *repetición* tiene que ver con la variación debida a la calibración de la medición y el equipo; la *reproducibilidad* con la variación debida a los “valuadores” humanos que usan los instrumentos y el equipo. Los estudios para estimar estos componentes con frecuencia reciben el nombre de estudios de “instrumento R & R”.

Un estudio de instrumento R & R puede arrojar estimaciones numéricas separadas de repetición y reproducibilidad. Normalmente se emplean dos métodos para analizar las cifras de las mediciones. Cada método requiere diferentes valuadores, y partes y pruebas de repetición de éstos. Por ejemplo, un estudio R & R podría usar tres valuadores, 10 partes y dos pruebas.

Un método analiza los promedios y rangos de las cifras del estudio de medición. Este método requiere un mínimo de antecedentes estadísticos y no necesita de una computadora. El segundo método es el análisis de la variación, ANOVA (véase sección 18.14). En comparación con el primer método, ANOVA requiere un nivel más alto de conocimiento estadístico para la interpretación de los resultados, pero puede evaluar los datos para determinar la posible interacción entre los evaluadores y las partes. ANOVA obtiene mejores resultados en una computadora que emplee MINITAB u otro software. En general, el método ANOVA es preferible para analizar los promedios y rangos. El folleto *Measurement Systems Analysis*, del Automotive Industry Action Group (1995), presenta ilustraciones detalladas sobre cada método. Se puede consultar también a Tsai (1988) para un ejemplo del uso de ANOVA, considerando tanto la no interacción como la interacción de los operadores y las partes. Burdick y Larsen (1997) ofrecen métodos para construir intervalos de confianza en las mediciones de variabilidad de los estudios R & R.

Cuando se determina una desviación estándar de repetición y reproducibilidad a partir del método ANOVA, se debe emitir un juicio sobre la competencia de los procesos de medición. Una práctica común es calcular 5.15σ ($\pm 2.575\sigma$) como la distribución total de las mediciones que incluirá 99 por ciento de ellas. Si 5.15σ es igual o menor a 10 por ciento del rango de especificación para la característica de calidad, el proceso de medición se considera aceptable para esa característica; si el resultado es mayor a 10 por ciento el proceso de medición se considera inaceptable. Engel y De Vries (1997) examinan cómo la práctica de comparar el error de medición con el intervalo de especificación puede estar relacionada con la toma de decisiones correctas en la prueba del producto.

Reducir y controlar los errores de medición

Se pueden tomar medidas para reducir y controlar los errores de todas las fuentes de variación en la medición. Los errores sistemáticos que contribuyen al sesgo a veces pueden manejarse aplicando una corrección numérica a los datos que se midieron. Si un instrumento tiene un sesgo de -0.001 , entonces, en promedio, su lectura es 0.001 demasiado baja. Los datos pueden ajustarse añadiendo 0.001 a cada uno de los valores. Por supuesto, es preferible ajustar el instrumento como parte de un programa de calibración.

En un programa de calibración, las mediciones hechas por un instrumento se compararon con un estándar de referencia de la exactitud ya conocida. Si se determina que el instrumento no está calibrado se hace el ajuste correspondiente.

El programa de calibración puede hacerse complejo por las siguientes razones:

1. El gran número de instrumentos de medición.
2. La necesidad de una calibración periódica de varios instrumentos.
3. La necesidad de muchos estándares de referencia.
4. La creciente complejidad tecnológica de los nuevos instrumentos.
5. La variedad de tipos de instrumentos, como mecánicos, electrónicos, químicos, etcétera.

Un programa de calibración debe incluir provisiones para auditorías periódicas. Éstas siguen el enfoque general para las auditorías de calidad (véase el capítulo 16).

La precisión en la medición puede mejorarse mediante uno o los dos procedimientos siguientes:

- *Descubrimiento de las causas de variación y su remedio.* Un paso útil es resolver los valores observados en componentes de variación (véase atrás). Este proceso puede llevar al descubrimiento de una capacitación inadecuada, reactivos percederos, falta de suficientes detalles para el procedimiento y otros problemas similares. Este enfoque fundamental también señala otras causas por las que el remedio se desconoce o resulta poco económico, como el rediseño básico del procedimiento de prueba.
- *Múltiples mediciones y metodología estándar para controlar el error en la medición.* El uso de múltiples mediciones se basa en la siguiente relación (véase la sección 18.3):

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

La fórmula establece que para reducir a la mitad los errores en la medición se requiere cuadruplicar (no duplicar) el número de mediciones.

Mientras el número de pruebas sigue en aumento, sólo se puede alcanzar una reducción significativa en los errores de medición tomando un número aún *mayor* de pruebas adicionales. Así, el costo de estas últimas en relación con el valor de la ligera mejoría en los errores de medición se convierte en un problema. Las alternativas de reducir las causas de variación (mediante gráficas de control u otras técnicas) también deben considerarse.

Para reducir otras formas de error en la medición, véase Automotive Industry Action Group (1995).

Ejemplo de análisis de sistema de medición (MSA, por sus siglas en inglés) en un proyecto de mejora six sigma (DMAIC). (Cortesía de Steve Wittig y Chris Arquette, de un cliente del Juran Institute.)

Antecedentes

La línea de pintura tiene un rendimiento inicial de 74 por ciento. Esto significa que 26 por ciento de todos los marcos requieren trabajo adicional al menos una vez. Los defectos debidos al acabado representan 15 por ciento y los atribuibles al material (madera) 11 por ciento. Este proyecto sólo busca los defectos en los acabados porque son los que están dentro de nuestro control. Cualquier trabajo adicional no añade valor y contribuye a las pérdidas en pintura/barniz, trabajo, utilidades, capacidad del trabajo y mayores desechos peligrosos. Nuestra meta es mejorar el rendimiento de la primera producción hasta 90 por ciento sólo para los defectos de acabado.

Síntesis de los esfuerzos de MSA

La línea de pintura está muy vieja y a veces descuidada. Nuestros primeros resultados en MSA fueron malos y los evaluadores contribuían al índice de defectos rechazando buenos marcos. Mejoramos esto mediante una capacitación continua de los evaluadores mediante Q.C. Hicimos dos MSA adicionales con resultados aceptables. Ésta tendrá que ser una prueba de rutina. Las figuras 15.6 a 15.8 son atributos de MSA, y las figuras 15.9 y 15.10 son variables de MSA.

Sistema de medición válido

Análisis de datos de atributos. MSA1

Muestra #	Experto	Operador 1		Operador 2		Operador 3	
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
1	Burbuja	Burbuja	Burbuja	Burbuja	Burbuja	Burbuja	Burbuja
2	Bueno	Rebaba de pintura	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
3	Goteo	Goteo	Goteo	Suciedad	Suciedad	Goteo	Goteo
4	Suciedad	Contaminación	Suciedad	Suciedad	Suciedad	Suciedad	Suciedad
5	Contaminación	Contaminación	Contaminación	Bueno	Bueno	Desbordamiento	Desbordamiento
6	Burbuja	Burbuja	Burbuja	Burbuja	Burbuja	Suciedad	Burbuja
7	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
8	Suciedad	Rebaba de pintura	Contaminación	Bueno	Bueno	Suciedad	Suciedad
9	Bueno	Bueno	Goteo	Suciedad	Bueno	Goteo	Goteo
10	Bueno	Pintura naranja	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
11	Suciedad	Suciedad	Bueno	Suciedad	Suciedad	Suciedad	Suciedad
12	Bueno	Contaminación	Rebaba de pintura	Bueno	Bueno	Desbordamiento	Desbordamiento
13	Bueno	Rebaba de pintura	Rebaba de pintura	Bueno	Bueno	Rebaba de pintura	Desbordamiento
14	Contaminación	Contaminación	Contaminación	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
15	Goteo	Goteo	Rebaba de pintura	Suciedad	Bueno	Goteo	Goteo
16	Rebaba de pintura	Rebaba de pintura	Rebaba de pintura	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
17	Suciedad	Contaminación	Contaminación	Bueno	Suciedad	Suciedad	Suciedad
18	Suciedad	Contaminación	Contaminación	Suciedad	Suciedad	Suciedad	Suciedad
19	Burbuja	Burbuja	Bueno	Bueno	Burbuja	Burbuja	Burbuja
20	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Pintura naranja	Pintura naranja

FIGURA 15.6

Atributos de base MSA sobre las decisiones de aceptación/rechazo.

Plan de recolección de datos para MSA

Ref.	Lista de preguntas que contestar	Herramientas que se van a usar	Tipo de descripción de datos	Tamaño de muestra, número de muestras	Datos que recolectar			Cómo se van a registrar los datos	Observaciones
					Dónde recopilamos los datos	Quién recopilamos los datos	Dónde recopilamos los datos		
1.	¿Qué tan precisos son los evaluadores al clasificar los defectos?	MSA discreto	Precisión del evaluador / 20 marcos inspectores de la línea de pintura/Green Belts		Hoja de datos				
2.	¿Qué tan exactos son los evaluadores al aceptar/rechazar decisiones?	MSA discreto	Precisión del evaluador / 20 marcos inspectores de la línea de pintura/Green Belts		Hoja de datos				

Análisis de datos de atributos. Resultados MSA 1

Dentro del valuador

Acuerdo de evaluación

Valuador	# inspeccionado	# coincide	Porcentaje (%)	95.0% CI
1	20	11	55.0	(31.5, 76.9)
2	20	16	80.0	(56.3, 94.3)
3	20	18	90.0	(68.3, 98.8)

coincide: el valuador de acuerdo consigo mismo en las pruebas.

Cada valuador vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

Valuador	# inspeccionado	# coincide	Porcentaje (%)	95.0% CI
1	20	8	40.0	(19.1, 63.9)
2	20	11	55.0	(31.5, 76.9)
3	20	12	60.0	(36.1, 80.9)

coincide: la evaluación del valuador en las pruebas está de acuerdo con el estándar.

Entre valuadores

Acuerdo de evaluación

# inspeccionado	# coincide	Porcentaje (%)	95.0% CI
20	2	10.0	(1.2, 31.7)

coincide: todas las evaluaciones del valuador coinciden entre sí.

Todos los valuadores vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

# inspeccionado	# coincide	Porcentaje (%)	95.0% CI
20	2	10.0	(1.2, 31.7)

coincide: todas las evaluaciones del valuador están de acuerdo con el estándar.

Nota: 38% fueron calificados como malos cuando eran buenos. 22% fueron calificados como buenos cuando eran malos. Esto podría arrojar una mejoría de 16% en el índice de defectos.

FIGURA 15.7

Resultados del atributo de base MSA: los resultados no son aceptables.

Análisis de datos de atributos. Resultados MSA 2

Dentro del valuador

Acuerdo de evaluación

Valuador	# inspeccionado	# coincide	Porcentaje (%)	95.0% CI
1	20	16	80.0	(56.3, 94.3)
2	20	19	95.0	(75.1, 99.9)
3	20	20	100.0	(86.1, 100.0)

coincide: el valuador de acuerdo consigo mismo en las pruebas.

Cada valuador vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

Valuador	# inspeccionado	# coincide	Porcentaje (%)	95.0% CI
1	20	15	75.0	(50.9, 91.3)
2	20	19	95.0	(75.1, 99.9)
3	20	18	90.0	(68.3, 98.8)

coincide: la evaluación del valuador en las pruebas está de acuerdo con el estándar.

Entre valuadores

Acuerdo de evaluación

# inspeccionado	# coincide	Porcentaje (%)	95.0% CI
20	13	65.0	(40.8, 84.6)

coincide: todas las evaluaciones del valuador coinciden entre sí.

Todos los valuadores vs. el estándar

Acuerdo de evaluación

# inspeccionado	# coincide	Porcentaje (%)	95.0% CI
20	13	65.0	(40.8, 84.6)

coincide: todas las evaluaciones del valuador están de acuerdo con el estándar.

Conclusión: MSA mejoró considerablemente en relación con el primero. Seguir con la capacitación Q.C. de los inspectores y hacer que concuerden todos los valuadores y el estándar.

FIGURA 15.8

Atributos MSA después de la mejora.

Análisis de sistema de medición. Estudio del instrumento de brillo

Instrumento R & R

Fuente	VarComp	% Contribución (de VarComp)
Calibre total R & R	0.0519	0.69
Repetición	0.0298	0.39
Reproducibilidad	0.0221	0.29
Operador	0.0028	0.04
Medición del operador	0.0193	0.26
Parte a parte	7.4851	99.31
Variación total	7.5370	100.00

Fuente	StdDev (SD)	Variación del estudio (5.1 5*SD)	% Variación del estudio (%SV)
Calibre total R & R	0.22776	1.1730	8.30
Repetición	0.17248	0.8883	6.28
Reproducibilidad	0.14874	0.7660	5.42
Operador	0.05294	0.2726	1.93
Operador*medición	0.13900	0.7159	5.06
Parte a parte	2.73590	14.0899	99.66
Variación total	2.74536	14.1386	100.00

Número de categorías distintas = 17

FIGURA 15.9

Resultados de los datos MSA de la variable de base respecto a un instrumento de brillo: los resultados son aceptables.

Instrumento R & R. Instrumento de brillo

Calibre R & R (ANOVA) para datos

Nombre del instrumento: Instrumento de brillo
 Fecha del estudio: 9 de julio de 2003
 Reporte por: Tony Pate
 Tolerancia:
 Otros:

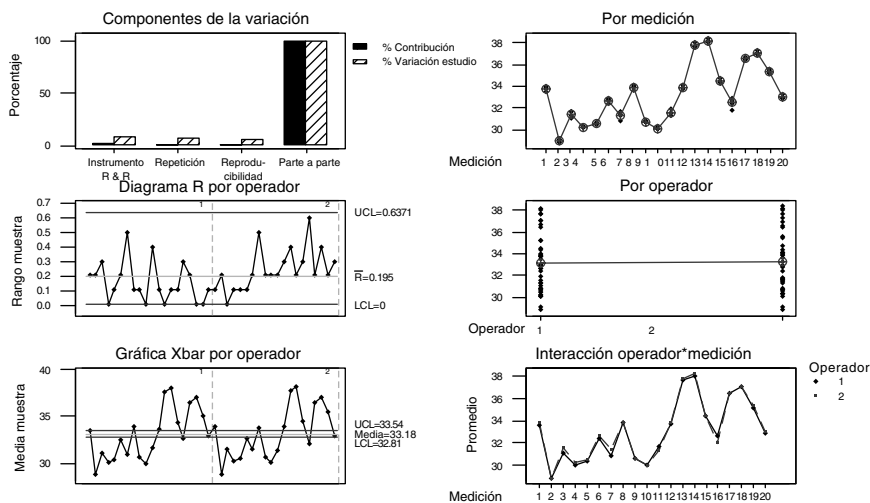


FIGURA 15.10

15.9 ¿QUÉ TANTA INSPECCIÓN ES NECESARIA?

La cantidad de inspección para decidir la aceptabilidad de un lote puede variar desde ninguna inspección hasta una muestra o una inspección al 100 por ciento. La decisión depende principalmente de los conocimientos previos con que se cuente sobre calidad, *homogeneidad* del lote y el grado permisible de riesgo.

El conocimiento previo que sirve para decidir el nivel de inspección incluye:

- Historia previa de calidad del artículo producido y del proveedor (interno y externo).
- Relevancia del artículo en el desempeño general del sistema.
- Relevancia para la manufactura o las operaciones de servicio posteriores.
- Garantía o historia de uso.
- Información sobre la capacidad del proceso. Un proceso que está en control estadístico con buena uniformidad en torno a un valor objetivo (verbigracia, un proceso 6σ , véase la sección 20.15) va a requerir una inspección mínima.
- Información sobre la capacidad de medición, es decir, disponibilidad de instrumentos exactos y precisos.
- La naturaleza del proceso de manufactura. Por ejemplo, algunas operaciones dependen principalmente de la adecuación de la puesta en marcha.
- Inspección de los primeros y los últimos artículos en un tiraje de producción. Esto normalmente es suficiente.
- Homogeneidad del producto. Verbigracia, un producto fluido es homogéneo y reduce la necesidad de muestras de gran tamaño.
- Datos sobre las variables y condiciones del proceso, por ejemplo, los que proveen los diagramas automáticos de registro.
- El grado de adherencia a los tres elementos de autocontrol para el personal que opera el proceso (véase la sección 5.3).

La competencia para reducir costos ha dado como resultado presiones para reducir la cantidad de inspección. El concepto de inspección por parte de los productores (autoinspección) se ha sumado a la idea de reducir la inspección. Existen oportunidades para reducir costos en las actividades de inspección. Sin embargo, primero hay que diagnosticar y eliminar las causas de los altos costos por fallos, y cumplir con los prerrequisitos de autoinspección.

EJEMPLO 15.4. La Datapoint Corporation manufactura productos de oficina y computadoras (Adams, 1987). Parte de sus operaciones consiste en una inspección al 100 por ciento en línea de las características visuales por parte del personal de calidad. Se planeó un cambio importante: el personal de producción haría su propia inspección visual; el de calidad una inspección de auditoría, así como un trabajo diagnóstico sobre las causas de no conformidad. Pero se requirieron diferentes pasos: un proceso de educación en calidad para la administración de primera línea, supervisores y el personal de línea; capacitación especial en los estándares de la mano de obra para ayudar a la gente a reconocer las no conformidades; un plan de implementación de 18 meses para el nuevo enfoque; el uso de datos de pruebas de aceptación funcional para los reportes de rendimiento del proceso; análisis de datos, y un sistema de auditoría del proceso para revisar la documentación, las herramientas, los materiales y a la gente.

Los resultados fueron dramáticos: el personal de 35 inspectores en línea se redujo a cinco auditores de proceso, y el desecho y trabajo adicional se redujeron de 15 a 2 por ciento.

Economía de la inspección

Tenemos distintas alternativas para evaluar los lotes:

1. *Sin inspección.* Este enfoque es apropiado si el mismo lote ya ha sido inspeccionado por laboratorios calificados, como, por ejemplo, en otras divisiones de la misma compañía o en las empresas proveedoras. Las inspecciones previas por parte de trabajadores calificados en producción tienen el mismo efecto.
2. *Muestras pequeñas.* Las muestras pequeñas pueden ser adecuadas si el proceso es inherentemente uniforme y si se puede conservar el orden de la producción. Por ejemplo, en algunas operaciones de prensa y punzones, las tintas para estampado se hacen con un alto nivel de estabilidad. Como resultado, las piezas sucesivas estampadas con dicha tinta muestran un gran nivel de uniformidad para ciertas características dimensionales. Para dichas características, si la primera y la última pieza son correctas, las piezas restantes también lo son, incluso para tamaños de lotes con varios miles de piezas. En su forma generalizada, el ejemplo de la prensa es uno con un alto grado de capacidad de proceso combinado con una muestra “estratificada”: una muestra basada en el conocimiento del orden de la producción.

Las muestras pequeñas también pueden usarse cuando el producto es homogéneo debido a su fluidez (gases, líquidos) o a las operaciones previas de mezcla. No es necesario asumir esta homogeneidad, puede verificarse mediante una muestra. Incluso los materiales sólidos pueden ser homogéneos debido a su fluidez *previa*. Una vez que se ha establecido la homogeneidad, la muestra necesaria es mínima.

Para un producto con una historia continua de buena calidad, las muestras pueden ser periódicas, como por ejemplo las “pruebas aleatorias de lotes” o las “muestras de cadena” (véase *JQH5*, sección 46).

3. *Muestras grandes.* A falta de conocimiento previo, la información respecto a la calidad del lote debe provenir únicamente de la muestra, lo que significa que se trata de muestras aleatorias y, por ende, relativamente grandes. Los tamaños reales de la muestra dependen de dos variables: *a)* el porcentaje de tolerancia de defectos y *b)* los riesgos que pueden aceptarse. Una vez que se han asignado valores a estas variables, los tamaños de la muestra se pueden determinar científicamente de acuerdo con las leyes de probabilidad (véase la sección 17.15). Sin embargo, la elección de los niveles de defectos y riesgos depende en gran medida de razonamientos empíricos.

La muestra aleatoria se necesita evidentemente en casos donde no hay un acceso listo al conocimiento previo, como compras de ciertos proveedores. Sin embargo, sigue habiendo muchos casos en que se usa la muestra aleatoria pese a la disponibilidad de información tal como la capacidad del proceso, el orden de la manufactura, la fluidez, etc. Un obstáculo importante es la falta de publicaciones que muestren cómo diseñar planes de muestreo de manera que se use esta información. A falta de dichas publicaciones, los planeadores de calidad se enfrentan al reto de crear sus propios diseños. Esto implica trabajo adicional en medio de una falta de protección derivada del uso de materiales publicados, reconocidos y de autoridad.

4. *Inspección al cien por ciento.* Esta técnica se usa cuando los resultados de la muestra señalan que el nivel de defectos presentes es demasiado alto para que el producto vaya a los usuarios. En casos críticos, pueden ser necesarias medidas adicionales para protegerse de la falibilidad de los inspectores, como una inspección automatizada o una inspección redundante al 200 por ciento.

Una evaluación económica de estas alternativas requiere una comparación de los costos totales debajo de cada una.

Sea N = número de artículos en un lote.

n = número de artículos en una muestra.

p = proporción defectuosa de un lote.

A = costo de los daños en que se incurre si un defecto se cuele en la inspección.

I = costo de inspección por artículo.

P_a = probabilidad de que el lote sea aceptado por el plan de muestra.

A e I reciben en ocasiones la denotación de k_1 y k_2 , respectivamente.

Consideremos la comparación de una inspección de muestra contra una inspección al 100 por ciento. Supongamos que se asume que no hay errores de inspección y que el costo de reemplazar un defecto encontrado en la inspección se carga al productor, o bien es pequeño en relación con el daño o inconveniente ocasionado por el defecto. Los costos totales se resumen en la tabla 15.3. Estos costos reflejan tanto los de inspección como los de los daños y reconocen la probabilidad de aceptar o rechazar un lote bajo la inspección de muestra. Esta expresión puede ser adecuada para determinar un punto de equilibrio. Si se asume que el tamaño de la muestra es pequeño en comparación con el tamaño del lote, el punto de equilibrio, p_b , es:

$$p_b = \frac{I}{A}$$

Si la calidad del lote (p) es menor a p_b , el costo total será menor con inspección de muestra o sin inspección. Si p es mayor que p_b , la inspección al 100 por ciento es la mejor opción. Este principio con frecuencia recibe el nombre de regla Deming kp .

Por ejemplo, la inspección de un dispositivo de microcomputadora cuesta \$.50 por unidad. Se incurre en un costo por daños de \$10.00 si se instala un dispositivo defectuoso en un sistema más grande. Por lo tanto:

$$p_b = \frac{0.50}{10.00} = 0.05 = 5.0\%$$

Si se espera que el porcentaje de defectos sea mayor a 5 por ciento, entonces se debería hacer una inspección al 100 por ciento. De otra manera, se puede hacer una inspección de muestra o no inspeccionar.

La variabilidad en la calidad de un lote a otro es importante. Si la historia pasada demuestra que el nivel de calidad es mucho mejor que el punto de equilibrio y es estable de un lote a otro, se requiere muy poca o ninguna inspección. Si el nivel es mucho peor que el punto de equilibrio y sigue así con consistencia, normalmente resultaría más barato emplear una inspección al 100 por ciento en lugar de

TABLA 15.3
Comparación económica de las alternativas de inspección

Alternativa	Costo total
No inspección	NpA
Muestra	$nI + (N - n)pAP_a + (N - n)(1 - P_a)I$
Inspección al 100%	NI

una muestra. Si la calidad no se encuentra en ninguno de estos extremos, se debería hacer una comparación detallada de las posibilidades de no inspección, de muestra e inspección al 100 por ciento. La muestra es normalmente mejor cuando el producto es una mezcla de lotes de gran calidad y lotes de baja calidad, o cuando el proceso del productor no se encuentra en un estado de control estadístico.

Los altos costos de las fallas en los componentes de los equipos complejos de electrónica aunados al desarrollo de equipos automatizados para pruebas de componentes han dado como resultado la justificación económica de la inspección al 100 por ciento para algunos componentes electrónicos. El costo de encontrar y corregir los defectos puede incrementarse en una proporción de 10 para cada una de las grandes etapas por las que pasa el producto desde la producción hasta el cliente, es decir, si cuesta \$1 en la inspección de entrada, el costo se incrementa a \$10 en la etapa del circuito impreso, \$100 en el nivel de sistema y \$1 000 en el campo.

15.10 EL CONCEPTO DE LA MUESTRA DE ACEPTACIÓN

La *muestra de aceptación* es un proceso para la evaluación de una porción del producto en un lote con el objeto de aceptar o rechazar el lote entero.

La principal ventaja de la muestra es la economía. Pese a la existencia de algunos costos añadidos para el diseño y la administración de planes de muestra, los bajos costos de inspeccionar sólo una parte del lote dan como resultado una reducción general en los costos.

Además de esta importante ventaja, existen otras:

- El equipo de inspección más pequeño es menos complejo y menos costoso de administrar.
- Hay menos daños al producto, por ejemplo, en el manejo incidental para la inspección, que es por sí mismo una fuente de defectos.
- El lote está disponible en un tiempo (calendario) más corto para mejorar la programación y la entrega.
- El problema de los errores en la monotonía y la inspección inducidos por la inspección al 100 por ciento se minimiza.
- El rechazo (en lugar de la clasificación) de los lotes no conformes tiende a dramatizar las deficiencias en calidad y a acelerar la organización para que tome medidas preventivas.
- El diseño adecuado del plan de muestra normalmente requiere un estudio del nivel real de calidad que requiere el usuario. El conocimiento resultante es una información útil para la planeación general del proceso.

Las desventajas son: los riesgos de la muestra, mayores costos administrativos y menos información acerca del producto que la que brinda una inspección al 100 por ciento.

La muestra de aceptación se usa cuando (1) el costo de la inspección es alto en relación con el costo de los daños resultantes de la aprobación de un producto defectuoso; (2) la inspección al 100 por ciento es monótona y causa errores de inspección, o (3) la inspección es destructiva. La muestra de aceptación es más efectiva cuando es precedida por un programa de prevención que logra un nivel aceptable de calidad de conformidad.

También debemos enfatizar lo que la muestra de aceptación no hace. No brinda estimaciones refinadas sobre la calidad del lote. (Determina, con riesgos específicos, la decisión de aceptación o

rechazo de cada lote.) Asimismo, no ofrece un juicio sobre si los productos rechazados son aptos para el uso. (Toma una decisión sobre un lote respecto a las especificaciones de calidad ya definidas.)

En los últimos años, el énfasis en el control estadístico del proceso ha llevado a algunos investigadores a concluir que la muestra de aceptación ya no es un concepto válido. Su creencia, que planteamos aquí en términos simplificados, es que sólo dos niveles de inspección son válidos: ninguna inspección o inspección al 100 por ciento. Este texto adopta el punto de vista de que el concepto de prevención (empleando control estadístico de procesos y otras técnicas estadísticas y administrativas) es la base para alcanzar los requerimientos del producto. Sin embargo, los procedimientos para la muestra de aceptación son importantes en un programa de *control de aceptación*. Desde este enfoque, el cual se describe al final de este capítulo, los procedimientos de muestra se comparan continuamente con la historia del proceso y los resultados de calidad. Este paso finalmente lleva a una muestra de aceptación a favor de la certificación del proveedor y el proceso de control.

Este capítulo presenta ejemplos de planes específicos de muestra de aceptación.

Para discusiones desde la perspectiva del papel moderno de la muestra de aceptación, véase Schilling (1994) y Taylor (1994). *JQH5* ofrece detalles sobre los diferentes tipos de planes de muestra.

15.11 RIESGOS DE MUESTRA: LA CURVA DE CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN

Ninguna muestra ni la inspección al 100 por ciento puede garantizar que se encuentren absolutamente todos los artículos defectuosos en un lote. El trabajo con muestras implica el riesgo de que éstas no reflejen adecuadamente las condiciones del lote; la inspección al 100 por ciento conlleva el riesgo de que la monotonía y otros factores provoquen que los inspectores pasen desapercibidos algunos defectos (véase sección 15.7). Es posible cuantificar ambos riesgos.

Los riesgos de las muestras son de dos tipos:

1. Los lotes buenos pueden ser rechazados (riesgo del productor). Esto corresponde al riesgo α .
2. Los lotes malos pueden ser aceptados (riesgo del consumidor). Esto corresponde al riesgo β .

Los riesgos α y β se discuten en la sección 18.7.

La *curva de características de operación* (OC, por sus siglas en inglés) para un plan de muestra cuantifica estos riesgos. La curva OC para un plan de atributos es una gráfica con los porcentajes de defectos en un lote contra la probabilidad de que el plan de muestra acepte ese lote. Debido a que se desconoce p , la probabilidad debe plantearse para todos los valores posibles de p . Se asume que se produce un número infinito de lotes. La figura 15.11 muestra una curva OC “ideal” donde sería deseable aceptar todos los lotes con 1.5 por ciento de defectos o menos y rechazar todos aquellos que tengan un nivel de calidad mayor a 1.5 por ciento de defectos. Todos los lotes con menos de 1.5 por ciento de defectos tienen una probabilidad de aceptación de 1.0 (certidumbre); todos aquellos con más de 1.5 por ciento de defectos tienen una probabilidad de aceptación de cero. Sin embargo, no existe en realidad ningún plan de muestra que pueda discriminar a la perfección; siempre queda cierto riesgo de que un lote “bueno” sea rechazado o de que uno “malo” sea aceptado. Lo mejor que se puede hacer es lograr que la aceptación de los lotes buenos sea más probable que la de los lotes malos.

Un plan de muestra de aceptación consta esencialmente de un tamaño de muestra (n) y un criterio de aceptación (c). Por ejemplo, se seleccionará de manera aleatoria del lote una muestra de

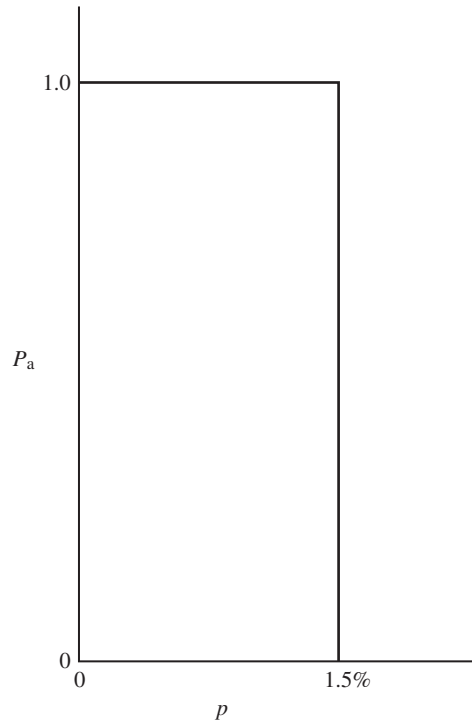


FIGURA 15.11
Curva OC ideal.

125 unidades. Si se encuentran cinco defectuosas o menos, el lote es aceptado. Si se localizan seis o más, el lote es rechazado.

La muestra de 125 podría, por las leyes de la probabilidad, contener 0, 1, 2, 3, o hasta 125 piezas defectuosas. Es la *variación de la muestra* lo que causa que algunos lotes buenos sean rechazados y que algunos malos sean aceptados. La curva OC para $n = 125$ y $c = 5$ es la curva A, figura 15.12. (Las otras curvas se discutirán posteriormente.) Un lote con 1.5 por ciento de defectos tiene cerca de 98 por ciento de posibilidades de ser aceptado. Un lote mucho peor, digamos con 6 por ciento de defectos, tiene 23 por ciento de posibilidades de ser aceptado. Con los riesgos establecidos cuantitativamente, es posible determinar la adecuación del plan de muestra.

La curva OC para un plan específico establece *únicamente* la posibilidad de que un lote que tenga un porcentaje p de defectos sea aceptado por el plan de muestra. La curva OC *no*:

- Predice la calidad de los lotes sometidos a inspección. Por ejemplo (figura 15.12), es incorrecto decir que hay 36 por ciento de posibilidades de que la calidad del lote tenga 5 por ciento de defectos.
- Establece un “nivel de confianza” en relación con un porcentaje específico de defectos.
- Predice la calidad final que se logra una vez que se completan todas las inspecciones.

Éstos y otros mitos respecto a la curva OC requieren una explicación cuidadosa del concepto para quienes la usan. (El nivel aceptable de calidad se explica en la sección 15.12.)

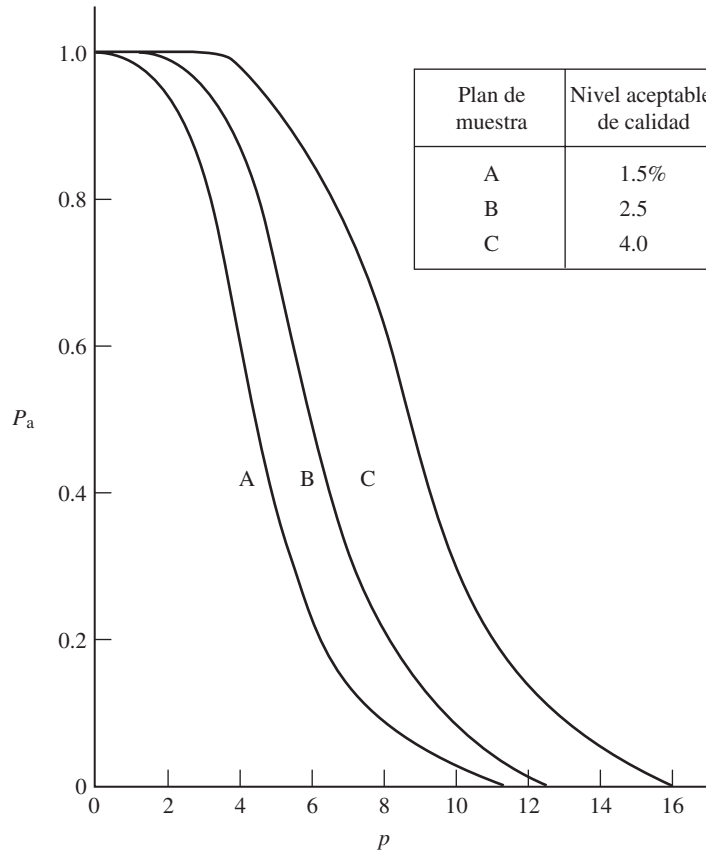


FIGURA 15.12
Curvas OC.

Trazar la curva de características de operación

Una curva OC puede desarrollarse determinando la probabilidad de aceptación de diferentes valores de calidad de entrada, p . La probabilidad de aceptación es la probabilidad de que el número de defectos en la muestra sea igual o menor al número de aceptación para el plan de muestra. Se pueden emplear tres distribuciones para determinar la probabilidad de aceptación: hipergeométrica, binomial y Poisson. Cuando es posible cumplir con sus supuestos, es preferible usar la distribución Poisson porque es más fácil de calcular.

Grant y Leavenworth (1996, pp. 183-193) describen el uso de las distribuciones hipergeométrica y binomial.

La distribución Poisson arroja una buena aproximación de la muestra de aceptación cuando el tamaño de la muestra es de al menos 16, el del lote de por lo menos 10 veces el tamaño de la muestra y p es menor a 0.1. La función de la distribución Poisson como se aplica a la muestra de aceptación es:

$$P \left(\begin{array}{c} \text{defectos exactos} \\ r \text{ en la muestra} \\ \text{de } n \end{array} \right) = \frac{e^{-np} (np)^r}{r!}$$

La ecuación puede resolverse usando una calculadora o la tabla C del apéndice II. Esta tabla da la probabilidad de *r* o *menos* defectos en una muestra de *n* de un lote que tiene una fracción de defectos de *p*. Para ilustrar la tabla C, consideremos el plan de muestra previamente mencionado: $n = 125$ y $c = 5$. Para encontrar la probabilidad de aceptar un lote con 4 por ciento de defectos, calculamos np como $125(0.04) = 5.00$. La tabla C entonces da la probabilidad de cinco o menos defectos como 0.616. La figura 15.12 (curva A) muestra esta probabilidad como el valor de P_a para un lote de calidad con 4 por ciento de defectos.

La discusión anterior de los riesgos de la muestra asume que la proporción de lotes de entrada con defectos es razonablemente constante. Esta presunción se manifiesta con frecuencia en la práctica. Chun y Rinks (1998) derivan los riesgos modificados de los productos y el consumidor cuando la calidad de entrada no es constante.

15.12 ÍNDICES DE CALIDAD PARA LOS PLANES DE MUESTRA DE ACEPTACIÓN

Muchos de los planes publicados pueden clasificarse en términos de uno o varios índices de calidad:

1. *Nivel de calidad aceptable (AQL, por sus siglas en inglés)*. Las unidades de nivel de calidad pueden seleccionarse para satisfacer las necesidades particulares de un producto. Así, ANSI/ASQC Z1.4 (1993) define AQL como “el porcentaje máximo no conforme (o el número máximo de no conformidades por ciento de unidades) que, para efectos de la inspección de muestra, puede ser considerado satisfactorio como un promedio del proceso”. Si una unidad de producto puede tener diferentes defectos de distintas variedades, entonces es posible asignar deméritos a cada tipo, y la calidad del producto se puede medir en términos de aquéllos. Debido a que AQL es un nivel aceptable, la probabilidad de aceptación para un lote AQL debe ser alta (véase la figura 15.13).
2. *Nivel de calidad restrictivo (LQL, por sus siglas en inglés)*. LQL define la calidad *no satisfactoria*. Se usan en ocasiones nombres diferentes para denotar un LQL: por ejemplo, los planes Dodge-Romig emplean el término *porcentaje de tolerancia de defectos por lote (LTPD, por sus siglas en inglés)*. Debido a que LQL es un nivel *inaceptable*, la probabilidad de aceptación para un lote LQL debe ser baja (véase la figura 15.13). En algunas tablas, esta probabilidad, conocida como el riesgo del consumidor, se conoce como P_c , y se ha estandarizado en 0.1. El riesgo del consumidor no es la probabilidad de que el consumidor reciba en realidad producto en el LQL. El consumidor, de hecho, no recibirá 1 lote de 10 en la fracción de defecto LQL. Lo que el consumidor finalmente obtiene depende de la calidad real en los lotes *antes* de la inspección y de la probabilidad de aceptación.
3. *Nivel de calidad indiferente (IQL, por sus siglas en inglés)*. IQL es un nivel de calidad que se encuentra en algún punto entre el AQL y el LQL. Se define frecuentemente como el nivel de calidad que tiene una probabilidad de aceptación de 0.5 para un plan de muestra determinado (véase la figura 15.13).

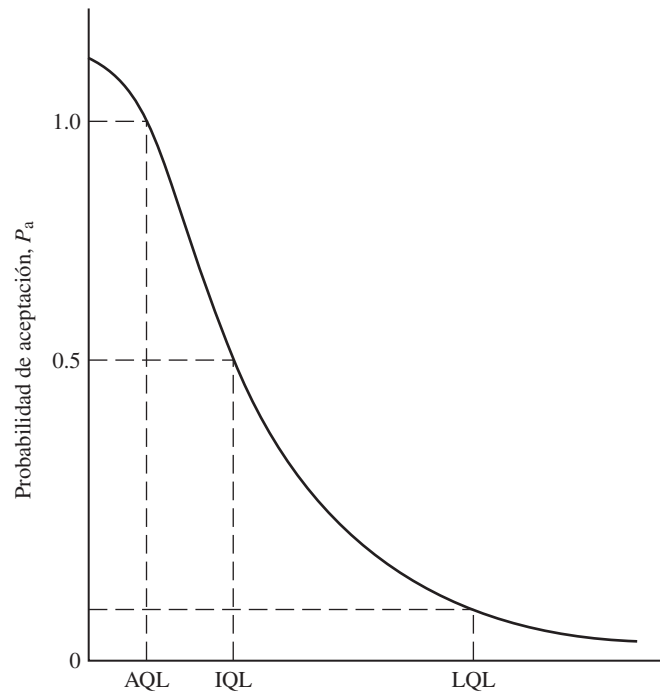


FIGURA 15.13
Índices de calidad para los planes de muestra.

Cabe precisar que tanto para los proveedores internos como para los externos se espera que todo producto sometido a inspección cumpla con las especificaciones. Un nivel aceptable de calidad no implica que se apruebe la presentación de una cierta cantidad de productos no conformes. La AQL simplemente reconoce que, con el muestreo, algunos productos no conformes pasarán por un esquema de muestreo.

4. *Límite promedio de calidad saliente (AOQL, por sus siglas en inglés)*. Existe una relación aproximada entre la fracción defectuosa en el material antes de la inspección (calidad entrante p) y la fracción defectuosa que queda después de la inspección (calidad saliente AOQ): $AOQ = pP_a$. Cuando la calidad entrante es perfecta, la calidad saliente también debe serlo. Sin embargo, cuando la calidad entrante es mala, la calidad saliente también será perfecta (asumiendo que no haya errores de inspección) debido a que el plan de muestra ocasionará que todos los lotes sean rechazados e inspeccionados a detalle. Así, en los dos extremos —calidad entrante excelente o terrible— la calidad saliente tenderá a ser buena. Entre estos dos extremos está el punto en el cual el porcentaje de defectos en el material saliente alcanzará su nivel máximo. Este punto es el límite promedio de la calidad saliente (AOQL). Para un cálculo de muestra, véase *JQH5*, p. 46.11.

Estos índices se aplican en primer lugar cuando la producción ocurre en una serie continua de lotes. El concepto LQL se recomienda para los lotes aislados. Los índices fueron desarrollados originalmente por actuarios con objeto de ayudar a describir las características de los planes de

muestra. Las interpretaciones erróneas (en particular del AQL) son comunes y similares a las que se mencionan en la sección 15.3. Por ejemplo, un plan de muestra basado en AQL *aceptaría* algunos lotes con un nivel de calidad peor que el AQL.

15.13 TIPOS DE PLANES DE MUESTRA

Los planes de muestra son de dos tipos:

1. *Planes de atributos.* Se toma del lote una muestra aleatoria, y cada unidad se clasifica como aceptable o defectuosa. El número defectuoso se compara entonces con el número permisible establecido en el plan, y se toma la decisión de aceptar o rechazar el lote. Este capítulo ilustra los planes de atributos basados en AQL.
2. *Planes de variables.* Se toma una muestra y se *mide* una característica de calidad específica en cada unidad. Estas mediciones se sintetizan luego en una muestra estadística (por ejemplo, un promedio de muestra), y el valor que se observa se compara con el valor permisible definido en el plan. Se toma entonces la decisión de aceptar o rechazar el lote.

La ventaja clave del plan de muestra de variables es la información adicional que se da en cada muestra y que, a su vez, resulta en un tamaño de muestra menor en comparación con el plan de atributos que tiene los mismos riesgos. Sin embargo, si un producto tiene varias características de calidad importantes, cada una debe ser evaluada en relación con un criterio separado de variables de aceptación (por ejemplo, se deben obtener valores numéricos, y la desviación promedio y estándar para cada característica calculada). En un plan de atributos correspondiente, el tamaño de muestra requerido puede ser más alto, pero las diferentes características pueden tratarse como un grupo y evaluarse en relación con una serie de criterios de aceptación. La sección 46 de *JQH5* brinda ejemplos de los planes de variables.

Muestra única, doble y múltiple

Muchas tablas de muestra publicadas ofrecen una opción entre muestra única, doble y múltiple. En los planes de muestra única, se toma del lote una muestra aleatoria de n artículos. Si el número de defectos es menor o igual al número de aceptación (c), el lote es aceptado. De otra manera, el lote es rechazado. En el plan de doble muestra (figura 15.14), normalmente se considera una muestra inicial más pequeña, y se toma la decisión de aceptar o rechazar con base en ésta, al ver si el número de defectos es grande o pequeño. Se toma una segunda muestra si los resultados de la primera no son concluyentes. Debido a que sólo en casos extremos es necesario tomar e inspeccionar la segunda muestra, el número promedio de piezas inspeccionadas por lote es generalmente menor en la muestra doble. En los planes de muestra múltiple, se toman una, dos o varias muestras aún más pequeñas, normalmente continuando según sea necesario hasta que se llegue a la decisión de aceptar o rechazar. Así, los planes de muestra doble y múltiple pueden implicar menos inspección, pero son más complicados de administrar.

En general, es posible deducir esquemas de muestra única, doble o múltiple con curvas OC esencialmente idénticas (véase *JQH5*, p. 46.17 y la tabla 46.6).

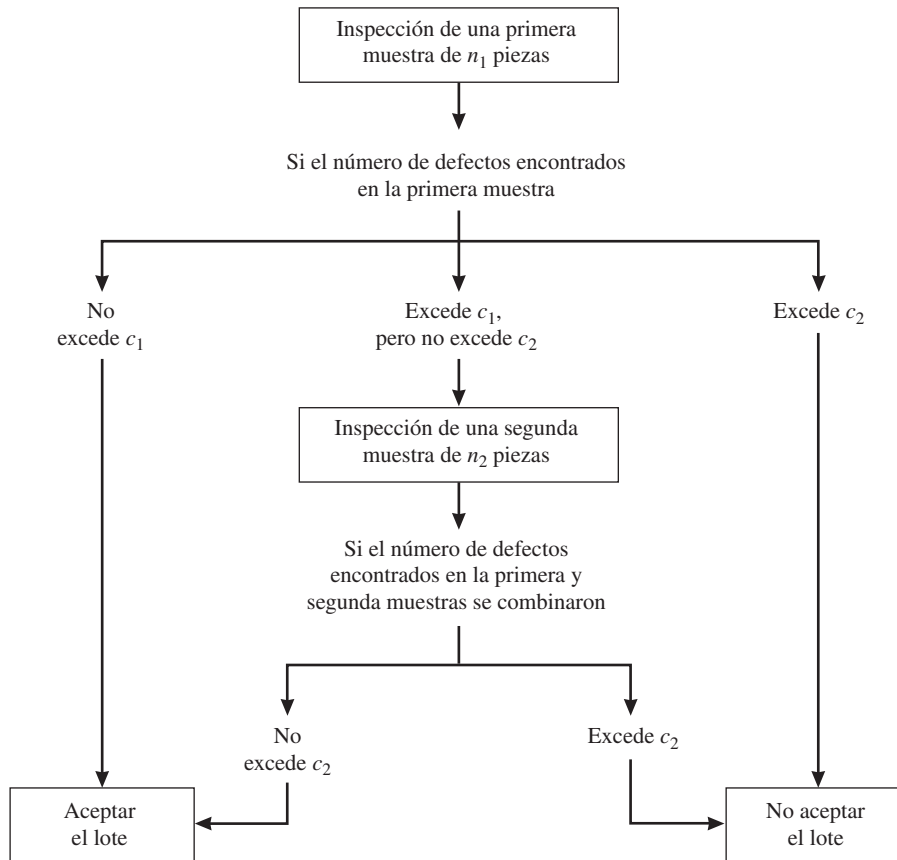


FIGURA 15.14
Operación esquemática de muestra doble.

15.14 CARACTERÍSTICAS DE UN BUEN PLAN DE ACEPTACIÓN

Un plan de aceptación debe tener las siguientes características:

- El índice (AQL, AOQL, etc.) usado para definir la “calidad” debe reflejar las necesidades del consumidor y del productor, y no ser elegido principalmente por conveniencia estadística.
- Los riesgos de la muestra deben conocerse en términos cuantitativos (curva OC). El productor debe contar con la protección adecuada en contra del rechazo de lotes buenos; el consumidor debe estar protegido en contra de la aceptación de lotes malos.
- El plan debe minimizar el costo *total* de la inspección de todos los productos. Esto requiere una evaluación cuidadosa de los pros y contras de los atributos y planes de variables, así como muestras únicas, dobles y múltiples. También debe reflejar las prioridades del producto, en particular desde el punto de vista de la aptitud para el uso.

- El plan debe usar otros conocimientos, como la capacidad del proceso, datos del proveedor y otra información.
- El plan debe poseer flexibilidad incorporada para reflejar los cambios en tamaño de lote, calidad del producto presentado y cualquier otro factor pertinente.
- Las mediciones que requiere el plan deben proveer información útil para estimar la calidad individual del lote y la calidad de largo plazo.
- El plan debe ser sencillo de explicar y administrar.

Véase *JQH5*, sección 46, para más detalles sobre estas características. Afortunadamente, hay tablas publicadas disponibles que cumplen con muchas de estas características. Ahora seguiremos con la discusión de los planes AQL.

15.15 ANSI/ASQC Z1.4

ANSI/ASQC Z1.4 (1993) es un sistema de muestra de atributos. Su índice de calidad es el nivel de calidad aceptable (AQL). El AQL es el porcentaje máximo no conforme (o el número máximo de no conformidades por 100 unidades) que, para efectos de la inspección de muestra, puede considerarse satisfactorio como un promedio del proceso. (El estándar usa el término *no conformidad* en lugar de *unidad defectuosa*.) La probabilidad de aceptar material de calidad AQL siempre es alta, pero no exactamente la misma para todos los planes. Para una calidad de lote igual a AQL, el “porcentaje de lotes que se espera sean aceptados” varía entre 89 y 99. Se puede hacer una elección de entre 26 valores AQL disponibles que van desde 0.010 hasta 1 000.0. (Los valores AQL de 10.0 o menos pueden ser interpretados como un porcentaje de no conformes o no conformidades por 100 unidades; los valores superiores a 10.0 se interpretan como no conformidades por 100 unidades.)

Las tablas especifican la cantidad relativa de inspección que se va a usar como “nivel de inspección” I, II o III; el nivel II es considerado como normal. El concepto de nivel de inspección permite al usuario equilibrar el costo de la inspección con la cantidad de protección requerida. Los tres niveles implican inspección en cantidades aproximadas a la proporción de 0.4:1.0:1.6. (Se presentan cuatro niveles de inspección adicionales para situaciones que requieren “inspección de pequeña muestra”.)

Se elige un plan a partir de las tablas como se muestra a continuación:

1. Se debe conocer la siguiente información:
 - AQL.
 - Tamaño de lote.
 - Tipo de muestra (única, doble o múltiple).
 - Nivel de inspección (usualmente nivel II).
2. Sabiendo el tamaño del lote y el nivel de inspección, se obtiene un código de letra en la tabla 15.4.
3. Conociendo el código de letra, el AQL y el tipo de muestra, el plan de muestra se lee en la tabla 15.5. (La tabla 15.5 es para muestra única; el estándar también presenta tablas para muestra doble y múltiple.)

Por ejemplo, supongamos que una agencia de compra se ha contraído para un 1.5 por ciento AQL. Supongamos también que las partes se compran en lotes de 1 500 piezas. En la tabla de códigos de letra de tamaño muestra (tabla 15.4) se puede ver que se requieren los planes K para el

TABLA 15.4
Código de letras de tamaño muestra

Tamaño del lote o grupo	Niveles especiales de inspección				Niveles generales de inspección		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2-8	A	A	A	A	A	A	B
9-15	A	A	A	A	A	B	C
16-25	A	A	B	B	B	C	D
26-50	A	B	B	C	C	D	E
51-90	B	B	C	C	C	E	F
91-150	B	B	C	D	D	F	G
151-280	B	C	D	E	E	G	H
281-500	B	C	D	E	F	H	J
501-1 200	C	C	E	F	G	J	K
1 201-3 200	C	D	E	G	H	K	L
3 201-10 000	C	D	F	G	J	L	M
10 001-35 000	C	D	F	H	K	M	N
35 001-150 000	D	E	G	J	L	N	P
150 001-500 000	D	E	G	J	M	P	Q
500 001 o más	D	E	H	K	N	Q	R

nivel de inspección II. La tabla 15.5 muestra que el tamaño de muestra es 125. Para $AQL = 1.5$, el número de aceptación que se da es cinco y el número de rechazo seis. Por lo tanto, el lote entero de 1 500 artículos puede ser aceptado si se encuentran cinco o menos artículos no conformes, pero no debe ser aceptado (rechazado) si se encuentran seis o más.

Los riesgos de la muestra se definen en la curva OC publicada en el estándar. La curva para este plan se muestra como curva A en la figura 15.12.

El estándar ofrece un plan único, doble o múltiple para cada código de letra (por ejemplo, para cada categoría de tamaño de lote). Los planes para el código letra K se muestran en la tabla 15.6. Así, los tres planes se pueden encontrar bajo la columna AQL de 1.5. Por ejemplo, el plan de doble muestra pide una primera muestra de 80 unidades. Si se encuentran dos o menos no conformes, el lote es aceptado. Si se encuentran cinco o más no conformes, el lote es rechazado. Si se encuentran tres o cuatro en la muestra de 80, entonces se toma una segunda de 80, lo que da una muestra acumulativa de 160. Si el número total de no conformidades en ambas muestras es de seis o menos, el lote es aceptado; siete o más no conformidades implican el rechazo del lote.

Cambiar procedimientos en ANSI/ASQC Z1.4

ANSI/ASQC Z1.4 incluye medidas para una inspección rigurosa en caso de que se deteriore la calidad. Si dos de cinco lotes consecutivos no son aceptables (rechazados) en la inspección original, se impone un plan de inspección rigurosa. El tamaño de la muestra es el mismo de siempre, pero se reduce el número de aceptación. (El plan riguroso requiere tamaños de muestra mayores si la probabilidad de aceptación para un lote AQL es menor a 0.75.) Para el ejemplo previamente

TABLA 15.5

Tabla maestra para inspección normal (muestra única)

Código de letra del tamaño de la muestra	Tamaño de la muestra	Niveles de calidad aceptables (inspección normal)													
		0.010 Ac Re	0.015 Ac Re	0.025 Ac Re	0.040 Ac Re	0.065 Ac Re	0.10 Ac Re	0.15 Ac Re	0.25 Ac Re	0.40 Ac Re	0.65 Ac Re	1.0 Ac Re	1.5 Ac Re		
A	2														
B	3														
C	5														
D	8													0 1	
E	13												0 1		
F	20											0 1			
G	32										0 1				
H	50									0 1			1 2	2 3	
J	80								0 1			1 2	2 3	3 4	
K	125						0 1				1 2	2 3	3 4	5 6	
L	200					0 1				1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	
M	315			0 1	0 1				1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	
N	500			0 1				1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	
P	800		0 1				1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	
Q	1 250	0 1			1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22			
R	2 000			1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22				

Notas: ↓, use el primer plan de muestra debajo de la flecha. Si el tamaño de la muestra es igual o excede el tamaño del lote o grupo, haga una inspección al 100 por ciento.

↑, use el primer plan de muestra arriba de la flecha.

Ac, número de aceptación.

Re, número de rechazo.

mencionado, el plan riguroso se puede leer en la tabla 15.6 como un tamaño de muestra de 125 y un número de aceptación de tres.

ANSI/ASQC Z1.4 también ayuda a una inspección reducida cuando el registro del proveedor ha sido bueno. Los 10 lotes precedentes deben haber pasado por una inspección normal con todos los lotes aceptados. Se cuenta con una tabla de límites inferiores para el promedio del proceso para ayudar a decidir si el registro del proveedor ha sido suficientemente bueno como para cambiar a una inspección reducida. Sin embargo, el plan ofrece una opción de cambiar a la inspección reducida sin usar la tabla de límites inferiores. Bajo una muestra reducida, el tamaño de la muestra es regularmente 40 por ciento del de la muestra normal.

Estas reglas de cambio se aplican cuando la producción se presenta a un ritmo constante. El plan cuenta con reglas adicionales para usar inspección normal, rigurosa y reducida.

Otras medidas para ANSI/ASQC Z1.4

El estándar ofrece curvas OC para la mayoría de los planes individuales, junto con valores “restrictivos de calidad” para una probabilidad de aceptación de 10 y 5 por ciento. Las curvas para el tamaño de muestra promedio para una doble y múltiple también están incluidas. Las últimas curvas señalan los tamaños de muestra promedio que se esperan como una función de la calidad del producto presentado. Si bien las curvas OC son aproximadamente las mismas para la muestra única,

TABLA 15.5

Tabla maestra para inspección normal (muestra única) (cont.)

Niveles de calidad aceptables (inspección normal)													
2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1 000
Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re	Ac Re
↓	↓	0 1	↓	↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31
0 1	0 1	↑	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	44 45
↑	↑	↓	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	↑	↑
↓	1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	30 31	44 45	↑	↑	↑
1 2	2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑
2 3	3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
3 4	5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
5 6	7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
7 8	10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
10 11	14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
14 15	21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
21 22	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑

doble o múltiple, las curvas para el tamaño de muestra promedio varían considerablemente debido a las diferencias inherentes entre los tres tipos de muestra. El estándar también establece el AOQL que debería resultar si todos los lotes rechazados fueran revisados en busca de unidades no conformes.

En un ANSI/ASQC Z1.4, se define un *esquema de muestra* como “una combinación de planes de muestra con reglas de cambio y, posiblemente, medidas para la discontinuación de la inspección”. Para los esquemas de muestra asociados con los planes individuales, el estándar ofrece curvas OC e información sobre AOQL, restricciones de calidad y tamaños de muestra promedio, todo para la muestra individual.

Tablas de muestra Dodge-Romig

Dodge y Romig (1959) presentan cuatro series de planes de atributos que destacan ya sea la calidad lote por lote (LTPD) o la calidad de largo plazo (AOQL):

- Porcentaje de tolerancia de defectos por lote (LTPD): muestra única
- muestra doble
- Límite promedio de calidad saliente (AOQL): muestra única
- muestra doble

Estos planes difieren de los de ANSI/ASQC Z1.4 en que los de Dodge-Romig asumen que todos los lotes rechazados se inspeccionan al 100 por ciento y se reemplazan los defectos con artículos aceptables. Los planes con esta característica se llaman *planes de rectificación de inspección*. Las tablas ofrecen protección en contra de la mala calidad, ya sea en la base de lote por lote o en

TABLA 15.6

Plan de muestra para un código de letra K de tamaño de muestra

Niveles de calidad aceptables (inspección normal)													
Tipo de plan de muestra	Tamaño acumulativo de la muestra	Menos de 0.10		0.10		0.15		× ...		1.0		1.5 ...	
		Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re
Única	125	∇		0	1	0				3	4	5	6
Doble	80	∇		*		Uso de letra J		Uso de letra M		1	4	2	5
	160									4	5	6	7
Múltiple	32	∇		*						#	3	#	4
	64									0	3	1	5
	96									1	4	2	6
	128									2	5	3	7
	160									3	6	5	8
	192									4	6	7	9
	224									6	7	9	10
			Menos de 0.15			0.15		×		0.25		1.5	2.5

Niveles de calidad aceptables (inspección rigurosa)

Notas: Δ, use el código de letra de tamaño de muestra inmediatamente anterior, para el cual los números de aceptación y rechazo estén disponibles.

∇, use el código de letra de tamaño de muestra inmediatamente siguiente, para el cual los números de aceptación y rechazo estén disponibles.

Ac, número de aceptación.

Re, número de rechazo.

*, use el plan de muestra única de arriba (o alternativamente use la letra N).

#, aceptación no permitida en este tamaño de muestra.

la calidad promedio de largo plazo. El plan LTPD garantiza que un lote de mala calidad tendrá una menor probabilidad de aceptación, es decir, la probabilidad de aceptación (o riesgo del consumidor) es .1 para un lote con calidad LTPD. Los valores LTPD están en un rango de entre 0.5 y 10.0 por ciento de defectos. El plan AOQL garantiza que, después de toda la muestra y con la inspección al 100 por ciento de los lotes rechazados, la calidad *promedio* en relación con muchos lotes no excederá el AOQL. Los valores AOQL se encuentran en un rango de entre 0.1 y 10.0 por ciento. Cada plan LTPD enlista los AOQL correspondientes, y cada plan AOQL enlista el LTPD.

15.16

SELECCIÓN DE UN VALOR NUMÉRICO DEL ÍNDICE DE CALIDAD

El problema de elegir un valor del índice de calidad (como AQL, AOQL, o porcentaje de tolerancia de defectos por lote) es el de equilibrar el costo de encontrar y corregir defectos en relación con la pérdida en que se incurre si el defecto se cuele a través del procedimiento de inspección.

TABLA 15.6

Plan de muestra para un código de letra K de tamaño de muestra (cont.)

Niveles de calidad aceptables (inspección normal)														
×		4.0		×		...		×		10		Mayores que 10		Tamaño acumulativo de la muestra
Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	Ac	Re	
8	9	10	11	12	13	18	19	21	22	Δ	10			125
3	7	5	9	6	10	9	14	11	16	Δ			80	
11	12	12	13	15	16	23	24	26	27					160
0	4	0	5	0	6	1	8	2	9	Δ			32	
2	7	3	8	3	9	6	12	7	14					64
4	9	6	10	7	12	11	17	13	19					96
6	11	8	13	10	15	16	22	19	25					128
9	12	11	15	14	17	22	25	25	29					160
12	14	14	17	18	20	27	29	31	33					192
14	15	18	19	21	22	32	33	37	38					224
4.0		×		6.5		10		×		Mayores que 10				

Niveles de calidad aceptables (inspección rigurosa)

Enell (1954), en un documento clásico, sugirió emplear el punto de equilibrio (véase sección 15.9) en la selección de un AQL. El *punto de equilibrio* para inspección se define como el costo para inspeccionar una pieza dividido entre el daño ocasionado por un defecto. Para el ejemplo mencionado, el punto de equilibrio fue de 5 por ciento de defectos.

Tomando en cuenta que el nivel de calidad de 5 por ciento de defectos es el punto de equilibrio entre la clasificación y la muestra, el plan de muestra apropiado debe hacer que un lote tenga una probabilidad de 50 por ciento de ser clasificado o muestreado, es decir, la probabilidad de aceptación para el plan debe ser de 0.50 en un nivel de calidad con 5 por ciento de defectos. Las curvas OC en una serie de tablas de muestra como las ANSI/ASQC Z1.4 ahora pueden examinarse para determinar un AQL. Por ejemplo, supongamos que el dispositivo se inspecciona en lotes de 3 000 piezas. Las curvas OC para este caso (código de letra K) se muestran en ANSI/ASQC Z1.4 y la figura 15.12. El plan más cercano para tener un P_a de 0.50 para un nivel de 5 por ciento es el plan para un AQL de 1.5 por ciento. Por lo tanto, este es el plan que hay que adoptar.

Algunos planes incluyen una clasificación de defectos para ayudar a determinar el valor numérico de AQL. Los defectos se clasifican en primer lugar como críticos, mayores o menores de acuerdo con las definiciones dadas en el estándar. Se pueden designar diferentes AQL para grupos de defectos considerados colectivamente o para defectos individuales. Los defectos críticos pueden tener un 0 por ciento de AQL, donde a los defectos mayores se les asigna un AQL bajo, digamos de 1 por ciento, y a los menores uno más alto, digamos de 4 por ciento. Algunos fabricantes de productos complejos especifican la calidad en términos del número de defectos por millón de partes.

En la práctica, la cuantificación del índice de calidad es una cuestión de juicio con base en los siguientes factores: desempeño anterior en calidad, efecto del producto no conforme en los pasos de producción subsecuentes, efecto del producto no conforme en la aptitud para el uso, urgencia de los requerimientos de entrega y costo de alcanzar el nivel de calidad especificado.

Schilling (1982, pp. 571-586) ofrece una amplia discusión sobre este difícil tema en un libro clásico e integral sobre la muestra de aceptación.

15.17 CÓMO SELECCIONAR LOS PROCEDIMIENTOS DE MUESTRA ADECUADOS

Los procedimientos de muestra pueden cumplir con diferentes objetivos. Como lo detalla Schilling (1982), incluyen:

- Garantizar los niveles de calidad en los riesgos establecidos.
- Mantener un nivel de calidad AQL o mejor.
- Garantizar un AQL.
- Reducir la inspección después de un buen historial.
- Revisar la inspección.
- Garantizar el cumplimiento de los estándares obligatorios.
- Muestreo de confiabilidad.
- Revisión de la exactitud de la inspección.

Para cada objetivo, Schilling recomienda atributos específicos o planes de muestra de variables. La selección del plan depende del objetivo, el historial de calidad y la extensión del conocimiento del proceso.

Los pasos involucrados en la selección y aplicación de un proceso de muestra se detallan en la figura 15.15. El énfasis radica en la retroalimentación de la información necesaria para la aplicación adecuada, la modificación y la evolución de la muestra con objeto de alentar una mejora continua y reducir los costos de inspección. Esto puede lograrse cambiando de un sistema de muestreo de aceptación a uno de control de aceptación.

Cambiar de muestreo de aceptación a control de aceptación

El *muestreo de aceptación* es el proceso de evaluar una porción del producto en un lote con el objetivo de aceptar o rechazar el lote entero por estar hecho o no conforme a las especificaciones de calidad. El *control de aceptación* es una “estrategia continua de selección, aplicación y modificación de los procedimientos de aceptación de muestra en un ambiente de inspección cambiante” (Schilling, 1982, p. 564). Esta evaluación de la aplicación de un plan de muestra se ve en el ciclo de vida del control de aceptación (tabla 15.7). Este ciclo se aplica sobre el tiempo de vida de un producto para lograr (1) mejora en la calidad (usando los conceptos del control de proceso y la capacidad de éste) y (2) reducción y eliminación de la inspección (usando el muestreo de aceptación).

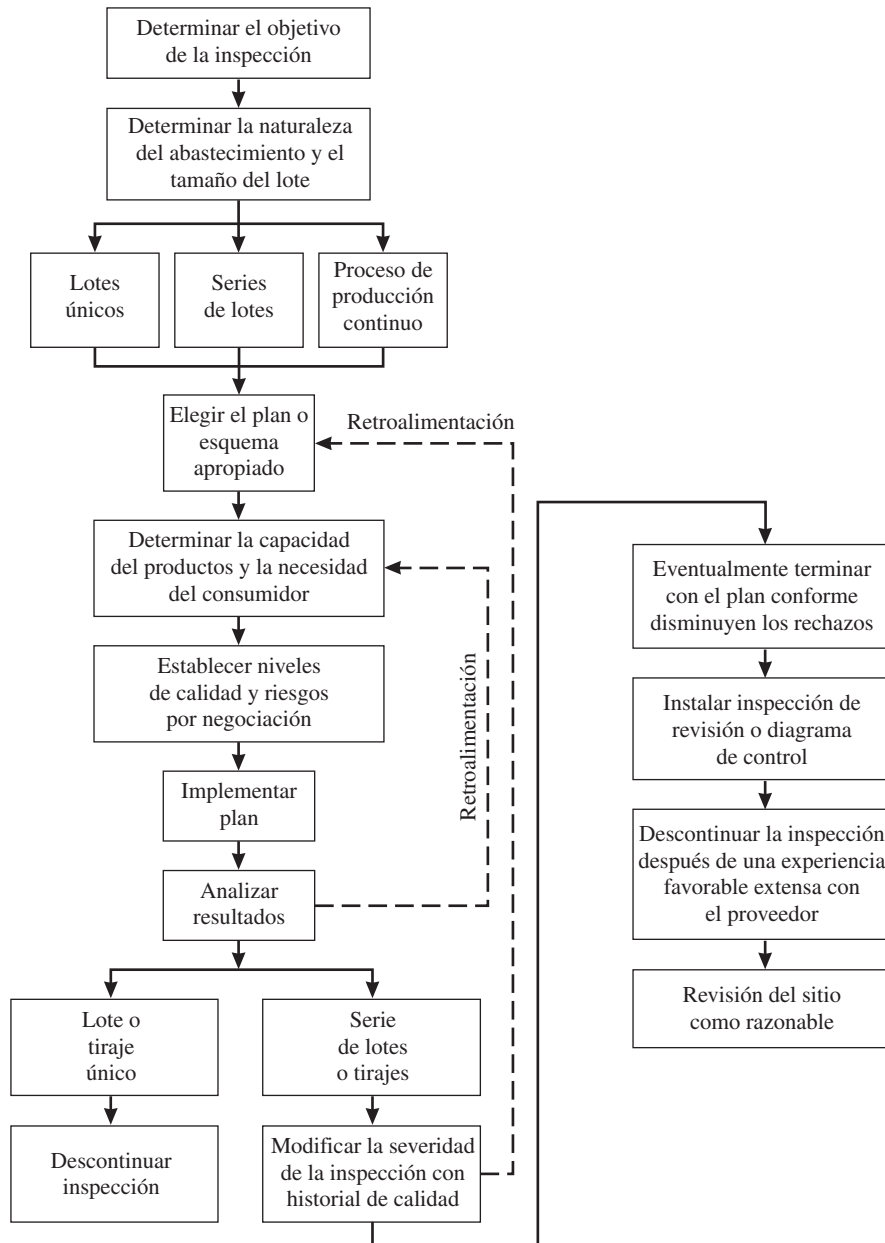


FIGURA 15.15

Secuencia de revisión para la implementación de un procedimiento de muestreo.
 (De Schilling, 1982. Reimpreso por cortesía de Marcel Dekker, Inc.)

TABLA 15.7
Ciclo de vida de la aplicación de control de aceptación

Etapa	Paso	Método
Preparatoria	Elegir un plan apropiado para el objetivo.	Análisis del sistema de calidad para definir la necesidad exacta del procedimiento.
	Determinar la capacidad del productor.	Evaluación del desempeño del proceso empleando diagramas de control.
	Determinar las necesidades de los consumidores.	Estudio de capacidad del proceso, usando diagramas de control
	Establecer niveles de calidad y riesgos.	Análisis económico y negociación.
	Determinar planes.	Procedimientos estándares si es posible.
Iniciación	Inspector de capacitación.	Incluir plan, procedimiento, registros y acción.
	Aplicar el plan adecuadamente.	Garantizar la muestra aleatoria.
	Analizar resultados.	Mantener registros y diagramas de control.
Operacional	Proteger activos.	Revisión periódica del historial de calidad y las curvas OC.
	Plan de ajuste.	Cuando sea posible, cambiar la severidad para reflejar el historial de calidad y costo.
	Reducir tamaño de muestra si está garantizada.	Modificar para usar planes de muestra adecuados tomando ventaja de la credibilidad del proveedor con resultados acumulativos.
Terminación	Eliminar esfuerzos de inspección donde sea posible.	Desmerecimiento en la calificación o en procedimientos de revisión de inspección cuando la calidad es consistentemente buena.
		Mantener diagramas de control.
Eliminación	Sólo revisión en el lugar.	Eliminar toda inspección cuando está garantizada por un amplio historial favorable.

Fuente: Schilling (1982, p. 566). Reimpreso por cortesía de Marcel Dekker, Inc.

RESUMEN

- La aceptación del producto implica tres decisiones: conformidad, aptitud para el uso y comunicación.
- Al decidir si un producto conforme es o no apto para el uso, se debe obtener información de diversas fuentes.
- La decisión de comunicación implica tanto a los de fuera (clientes) como a los de adentro.
- La planeación de la inspección incluye la designación de estaciones de inspección y la definición de instrucciones e instalaciones requeridas.
- Una clasificación de características es una lista de atributos de calidad que deriva de las especificaciones; una clasificación de defectos es una lista de síntomas de no conformidad durante la manufactura y el uso de campo.
- La cantidad de inspección necesaria depende principalmente de la cuantía de conocimientos previos respecto a la calidad del producto, la homogeneidad del lote y el riesgo permisible.

- Los errores humanos en la inspección surgen de errores técnicos, errores inadvertidos, errores conscientes o errores de comunicación.
- Los errores de medición tienen dos partes: precisión y sesgo. Ambas pueden ser cuantificadas.
- La muestra de aceptación es el proceso para evaluar una porción del producto en un lote con objeto de aceptar o rechazar el lote entero.
- Se tienen cuatro alternativas para evaluar lotes: no inspección, pequeñas muestras, grandes muestras o inspección al 100 por ciento.
- Hay dos tipos de riesgos en el muestreo: los lotes buenos pueden ser rechazados y los lotes malos pueden ser aceptados. Una curva de características operativas (OC) cuantifica estos riesgos.
- Los planes de muestreo publicados clasifican en categorías la calidad en términos de nivel de calidad aceptable (AQL), nivel de calidad restrictivo (LQL), nivel de calidad indiferente (IQL) o límite promedio de calidad saliente (AOQL).
- Los planes de muestra de atributos evalúan cada unidad de producto como simplemente aceptable o defectuosa: ANSI/ASQC Z1.4 (1993) y las tablas de muestra Dodge-Romig son ejemplos de los planes de atributos.
- Los planes de muestra de variables involucran mediciones de las unidades de producto.

PROBLEMAS

- 15.1.** Discuta la inspección de nuevas casas con el departamento municipal apropiado. Determine el objetivo de la inspección, la especificación usada y cómo se lleva a cabo la inspección. Haga comentarios sobre la inspección desde el punto de vista del comprador de una casa.
- 15.2.** En una gran compañía que fabrica productos de consumo duraderos, la jefa de inspección opera con base en el principio de que se debe disponer de los lotes de componentes no conformes sólo de tres maneras: (1) desechándolos, (2) reparándolos para hacer que estén conformes, o (3) consiguiendo un desistimiento por parte del departamento de diseño. Lo que ella no permitió fue una prueba para ver si los componentes podían usarse pese a la no conformidad. La razón que dio fue que si autorizaba dichas pruebas, la gente de producción dirigiría toda su energía hacia las pruebas en lugar de fabricar bien los componentes desde el inicio. ¿Qué piensa usted de este enfoque?
- 15.3.** Ciertas láminas estampadas en una prensa de impresión tienen agujeros para los que hay una tolerancia estrecha en relación con el diámetro y la distancia entre ellos. En la discusión sobre cuántas piezas medir para estas dimensiones, una propuesta es mensurar la primera y la última pieza de cada lote y aceptar éste si ambas están hechas conforme a la especificación. Un estadista se opone a esta propuesta sosteniendo que la muestra es de sólo dos piezas y que, si el lote tuviera 50 por ciento de defectos, podría ser fácilmente aceptado debido a la variación estadística. ¿Qué opina usted?
- 15.4.** Un gran fabricante de microcomputadoras está incurriendo en elevados costos debido a la necesidad de ensamblar y probar los equipos para descubrir y eliminar los defectos antes de que sean instalados en las salas de cómputo de los clientes. Después del ensamblaje, la prueba y la reparación, las computadoras se desensamblan, se envían a las instalaciones del cliente, se reensamblan y se revisan. ¿Cómo reduciría usted el costo del preensamblaje y de las pruebas preliminares?

- 15.5.** Usted es un gerente de calidad que está participando en un seminario para discutir problemas comunes con otros de sus homólogos. Se ha suscitado una animada discusión sobre algunos problemas asociados con la presión que se ejerce sobre los gerentes de calidad. Tal presión tiene que ver con los envíos de productos no conformes, no aptos o incluso inseguros. Además, la tensión tiene que ver con que el gerente de calidad firme un certificado de prueba o algún otro documento que asiente en el registro que él aprobó algo cuando en realidad estaba en contra.

He aquí algunas de las categorías de problemas que han sido identificadas por el grupo:

- Un lote de producto se fabricó no conforme con una especificación. Todos los gerentes de la compañía (incluyendo el gerente de calidad) están convencidos de que el producto no conforme es apto para usarse. No están de acuerdo en si deben informar o no al cliente acerca de la no conformidad. El gerente de mercadotecnia está en contra de informar al cliente, ya que algunos de ellos pueden usar estos datos para tratar de obtener una concesión de precio por parte del fabricante.
- Un lote de producto contiene un pequeño porcentaje de unidades que claramente no son aptas para el uso. Hay un debate sobre la posibilidad de clasificar o no el lote para retirar las unidades defectuosas o embarcar el lote como está y pagar las reclamaciones que puedan surgir. El gerente de producción (quien desea enviar el producto sin clasificarlo) sostiene que el problema es meramente económico y que las consideraciones respecto a la calidad son secundarias.
- Un gran sistema electromecánico ha sido fabricado siguiendo un contrato que incluye una cláusula de penalización por entrega tardía. El sistema ya ha cumplido con los requerimientos de pruebas y está siendo empacado para su envío. En este momento, se descubre que el equipo de pruebas que se empleó para examinar uno de los subsistemas no estaba calibrado al momento de hacer el análisis. De acuerdo con las prácticas aceptadas en la industria, dicho descubrimiento arroja dudas sobre la calidad del subsistema y, por lo tanto, sobre la calidad del sistema. Desafortunadamente, el subsistema no tiene fácil acceso. Está muy adentro del sistema, por lo que implicaría un retraso considerable, así como un gran gasto, desarmar el sistema, probar el subsistema y después volver a ensamblar todo. La gente de manufactura adopta la postura de que el subsistema está bien pese a las condiciones del equipo de pruebas. Destacan que otro subsistema construido por la misma gente utilizando el mismo proceso de prueba resultó bien. Insisten en que el sistema se envíe con base en esta evidencia de un proceso y una mano de obra confiables.
- Un producto con un buen historial de seguridad ha provocado graves lesiones a los usuarios. Las lesiones tienen que ver con una rara combinación de eventos y un evidente mal uso por parte de los usuarios. El gerente de diseño defiende el producto basándose en el historial, ya que el único caso de lesión sería que se tiene está asociado con el empleo incorrecto del producto por parte del usuario.

¿Cuáles son sus conclusiones respecto a la postura que debe adoptar el gerente de calidad en estos casos con respecto a *a)* el envío del producto y *b)* la firma de los documentos?

- 15.6.** Se ha usado un instrumento para medir la longitud de una parte. El resultado fue 6.70052 cm. Un estudio sobre el error de medición de este instrumento arrojó los siguientes resultados:

Sesgo: +0.00254 cm (en promedio, el instrumento mide 0.00254 cm de altura).

Repetición (precisión): 0.001016 cm (1σ).

Haga una declaración concerniente al verdadero valor de la parte que se acaba de medir. Plantee todas las presunciones necesarias.

- 15.7.** La precisión de un calibrador mecánico específico se indica mediante una desviación estándar (de mediciones individuales repetidas) de 0.00254 cm. Investigue el efecto en la precisión al

tomar muchas medidas. Considere 2, 3, 4, 5, 10, 20 y 30 como múltiplos. Haga una gráfica de los resultados.

- 15.8. Un cojinete de bolas fue medido por un inspector 13 veces con cada uno de los dos micrómetros vernier. Los resultados se muestran a continuación:

Número de medición	Modelo A	Modelo B
1	0.6557	0.6559
2	0.6556	0.6559
3	0.6556	0.6559
4	0.6555	0.6559
5	0.6556	0.6559
6	0.6557	0.6559
7	0.6556	0.6559
8	0.6558	0.6559
9	0.6557	0.6559
10	0.6557	0.6559
11	0.6556	0.6559
12	0.6557	0.6560
13	0.6557	0.6560

Supongamos que el diámetro verdadero es 0.65600. Calcule las medidas del sesgo y precisión de cada micrómetro. ¿Qué restricciones deben plantearse en cuanto a la veracidad de los números que usted determinó?

Respuesta: A: sesgo = -0.00035 , precisión = 1σ de 0.000075; B: sesgo = -0.000085 , precisión = 1σ de 0.000036.

- 15.9. Una gran muestra de producto ha sido medida. La media fue de 2.506 pulgadas y la desviación estándar fue 0.002 pulgadas. Un estudio separado de error de medición arrojó los siguientes resultados:

Sesgo = +0.001 pulgadas.

Precisión: 0.0005 pulgadas (1σ). El producto sólo tiene un límite de especificación mínima. ¿Cuál debería ser este límite para tomar en cuenta el sesgo y la precisión y rechazar sólo 5 por ciento del producto?

Respuesta: 2.502.

- 15.10. Una muestra de mediciones establece una desviación media y estándar de 2.000 pulgadas y 0.004 pulgadas, respectivamente. Estos resultados son para los valores *observados*. Un estudio separado de error de medición indica una precisión de 0.002 pulgadas (1σ). No hay error de sesgo. La dimensión tiene una especificación de 2.000 ± 0.006 pulgadas. ¿Qué porcentaje de la población tiene dimensiones *verdaderas* fuera de la especificación?

- 15.11. En una gran fundidora de hierro se vacía la base para unos molinos de precisión. Estas bases se producen a un ritmo de 18 por día y se inspección al 100 por ciento en la fundidora en busca de defectos en el metal. Las piezas se almacenan entonces y se envían posteriormente en lotes de 300 al fabricante

de molinos. Este último detectó que estos lotes tienen un 10 por ciento de defectos. Al recibir el lote, el fabricante inspecciona 12 de ellos y rechaza el lote si encuentra dos defectos o más. ¿Cuál es la posibilidad de que el fabricante rechace un determinado lote?

- 15.12.** El siguiente plan de doble muestra ha sido propuesto para evaluar un lote de 50 piezas:

Muestra	Tamaño de la muestra	Número de aceptación	Número de rechazo
1	3	0	3
2	3	2	3

Usando únicamente las reglas de adición y multiplicación probabilística, calcule la probabilidad de aceptar un lote que tiene 10 por ciento de defectos.

Respuesta: 0.984.

- 15.13.** Prepare las curvas de las características operativas para planes de muestra única con un número de aceptación de cero. Use tamaños de muestra de 2, 5, 10 y 20.

- 15.14.** Usted es un gerente de calidad de una compañía que recibe grandes cantidades de materiales de un proveedor en lotes de 1 000. El costo de la inspección de los lotes es de \$0.76/unidad. El costo en que se incurre si se introduce material malo en su producto es de \$15.20/unidad. Uno de sus ingenieros le ha presentado un plan de muestra de 75 con una cifra de aceptación igual a dos. Anteriormente, los lotes presentados por el proveedor tenían en promedio 3.4 por ciento de defectos.

- ¿Se justifica económicamente un plan de muestra?
- Prepare una curva de características operativas.
- Si quiere aceptar únicamente lotes con 4 por ciento de defectos o mejoras, ¿qué piensa del plan de muestra presentado por el ingeniero?
- Suponga que los lotes rechazados se inspeccionan al 100 por ciento. Si un proveedor presenta lotes con hasta 4 por ciento de defectos, ¿cuál sería la calidad promedio saliente de estos lotes?

- 15.15.** Refiérase a ANSI/ASQC Z1.4 con las siguientes condiciones:

- Tamaño de muestra = 10 000.
 - Nivel de inspección II.
 - Nivel de aceptación de calidad = 4 por ciento.
- Encuentre un plan de muestra única para inspección normal.
 - Suponga que se toma una muestra de un lote y se acepta. Alguien dice: “Esto significa que el lote tiene 4 por ciento o menos de defectos.” Comente esta afirmación. (Asuma que la muestra fue seleccionada aleatoriamente y que no se cometieron errores de inspección.)
 - Calcule la probabilidad de aceptar un lote con 4 por ciento de defectos bajo una inspección normal.

Respuesta: c) 0.98.

- 15.16.** Un fabricante vende su producto en grandes lotes a un cliente que utiliza un plan de muestra para la inspección de llegada. El plan exige una muestra de 200 unidades y un número de aceptación de dos. Los lotes rechazados se devuelven al fabricante. Si un lote es rechazado y devuelto, el fabricante decide jugársela y reenviarlo al cliente sin revisarlo (y sin decirle al cliente que se trata del lote devuelto). El fabricante espera que otra muestra al azar lleve a la aceptación del lote. ¿Cuál es la probabilidad de que un lote con 2 por ciento de defectos sea aceptado en alguna de las dos entregas al cliente?

Respuesta: 0.42.

- 15.17.** Un cliente se abastece de resistencias de acuerdo con el ANSI/ASQC Z1.4. Se especificó el nivel de inspección II con un AQL de 1.0 por ciento. El tamaño de los lotes varía entre 900 y 1 200.
- ¿Qué plan de muestra única se puede utilizar?
 - Calcule la calidad (en términos de porcentaje de defectos) que tenga la misma oportunidad de ser aceptada que rechazada.
 - ¿Cuál es la probabilidad de que un lote con 1 por ciento de defectos sea aceptado?
- Respuesta:* b) 3.4 por ciento; c) 0.95.
- 15.18.** Un plan de muestra basado en soluciones anteriores establece que, para cualquier tamaño de lote, el tamaño de la muestra debe ser equivalente a 10 por ciento de su tamaño y que el número de aceptación debe ser cero. Se cree que este procedimiento mantendrá los riesgos de la muestra en un nivel constante. Prepare las curvas de características operativas usando este plan para lotes con un tamaño de 100, 200 y 1 000. Calcule los puntos para los niveles de calidad de 0, 2, 4, 6, 10 y 14 por ciento de defectos. Compare las tres curvas y saque conclusiones respecto a los riesgos de las muestras.

REFERENCIAS

- Adams, R. (1987). "Moving from Inspection to Audit", *Quality Progress*, enero, pp. 30-31.
- ANSI/ASQC Z1.4 (1993). *Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes*, American Society for Quality Control, Milwaukee.
- Automotive Industry Action Group (1995). *Measurement Systems Analysis*, Southfield, MI.
- Baxter Travenol Laboratories (1986). *Statistical Process Control Guideline*, Baxter Travenol Laboratories, Deerfield, IL, p. 23.
- Burdick, R. K. y G. A. Larsen (1997). "Confidence Intervals on Measures of Variability in R&R Studies", *Journal of Quality Technology*, vol. 29, núm. 3, pp. 261-273.
- Case, K. E., G. K. Bennett y J. W. Schmidt (1975). "The Effect of Inspection Error on Average Outgoing Quality", *Journal of Quality Technology*, vol. 7, núm. 1, pp. 1-12.
- Chun, Y. H. y D. B. Rinks (1998). "Three Types of Producer's and Consumer's Risks in the Single Sampling Plan", *Journal of Quality Technology*, vol. 30, núm. 3, pp. 254-268.
- Cooper, J. (1997). "Implementing a Paperless Inspection System", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 231-235.
- Dodge, H. F. y H. G. Romig (1959). *Sampling Inspection Tables*, 2a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York.
- Durkee, D. y B. Gookins (1999). "The Inspector's Role in Organizational Quality", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 117-121.
- Eagle, A. R. (1954). "A Method for Handling Errors in Testing and Measuring", *Industrial Quality Control*, marzo, pp. 10-14.
- Enell, J. W. (1954). "What Sampling Plan Shall I Choose?", *Industrial Quality Control*, vol. 10, núm. 6, pp. 96-100.
- Engel, J. y B. DeVries (1997). "Evaluating a Well-Known Criterion for Measurement Precision", *Journal of Quality Technology*, vol. 29, núm. 4, pp. 469-476.
- Grant, E. L. y R. S. Leavenworth (1996). *Statistical Quality Control*, 7a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Harris, D. H. y F. B. Chaney (1969). *Human Factors in Quality Assurance*, John Wiley & Sons, Nueva York, pp. 77-85.
- Hoag, L. L., B. L. Foote y C. Mount-Campbell (1975). "The Effect of Inspector Accuracy on Type I and II Errors of Common Sampling Techniques", *Journal of Quality Technology*, vol. 7, núm. 4, pp. 157-164.

- Orkin, F. I. y D. P. Olivier (1999). En *JQH5*, tabla 10.2.
- Peach, R. W., ed. (1997). *The ISO 9000 Handbook*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Quality Engineering* (1990). "Letters to the Editor", vol. 3, núm. 2, pp. vii-xii.
- Riley, F. D. (1979). "Visual Inspection—Time and distance Method", *ASQC Annual Technical Conference Transactions*, Milwaukee, p. 483.
- Schilling, E. G. (1982). *Acceptance Sampling in Quality Control*, Marcel Dekker, Nueva York.
- Schilling, E. G. (1994). "The Importance of Sampling Inspection", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 809-812.
- Taylor, W. A. (1994). "Acceptance Sampling in the 90s", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 591-598.
- Tsai, P. (1988). "Variable Gauge Repeatability and Reproducibility Study Using the Analysis of Variance Method", *Quality Engineering*, vol. 1, núm. 1, pp. 107-115.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Inspección y pruebas: *JQH5*, sección 23.
- Concepto Pareto y errores de prueba: Gambino, R., P. Mallon y G. Woodrow (1990). "Managing for Total Quality in a Large Laboratory", *Archives of Pathology and Laboratory Medicine*, noviembre, pp. 1145-1148.
- Conceptos de medición en la industria automotriz: Automotive Industry Action Group (AIAG) (1990). *Measurement Systems Analysis Reference Manual*, AIAG, Southfield, MI.
- Error de medición en los procesos de lotes: Basnet, C. y K. E. Case (1993). "The Effect of Measurement Error on Accept/Reject Probabilities for Homogeneous Products", *Quality Engineering*, vol. 4, núm. 3, pp. 383-397.
- Muestra de aceptación, general: *JQH5*, sección 46.
- Shilling, E. G. (1982). *Acceptance in Sampling in Quality Control*, Marcel Dekker, Nueva York.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Referencia	Resumen
Dedhia, N. S. (2004). "ISO 9001:2000 Standard: Inspection Requirements", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , 58:17-27.	Requerimientos de inspección según ISO 9001:2000.
Knowles, G., J. Antony y G. Vickers (2000). "A Practical Methodology for Analysing and Improving the Measurement System", <i>Quality Assurance</i> 8:59-75.	Revisión y valoración crítica de los enfoques MSA desde una perspectiva técnica y práctica; concluye que Wheeler y Lyday (1989) ofrecen la mejor combinación de exactitud y utilidad.

SITIOS WEB

- División de inspección ASQ: http://www.asq.org/display_web.cgi?13
- Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés): www.astm.org
- Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST, por sus siglas en inglés): [icdb.nist.gov](http://www.icdb.nist.gov) o <http://www.bipm.fr/en/home/>

AUDITORÍAS DE GARANTÍA DE CALIDAD

16.1

DEFINICIÓN Y CONCEPTO DE GARANTÍA DE CALIDAD

En este libro, la *garantía de calidad* es la actividad de brindar evidencia y establecer confianza en el sentido de que se cumplirán los requerimientos de calidad. ISO define la garantía de calidad como todas las actividades sistemáticas planeadas que se llevan a cabo dentro de un sistema de calidad y se comprueban según sea necesario, para brindar la confianza adecuada de que una entidad cumplirá con los requerimientos de calidad. Se advierte a los lectores que hay otros significados comunes. Por ejemplo, “garantía de calidad” es en ocasiones el nombre que se da a un departamento preocupado por diversas actividades de gestión de calidad como la planeación de ésta, su control, mejora, auditoría y confiabilidad.

Muchas actividades de garantía de calidad ofrecen protección en contra de los problemas de calidad por medio de advertencias tempranas de los problemas que están por venir. La garantía proviene de la evidencia: una serie de hechos. Para productos simples, la evidencia es normalmente una forma de inspección o prueba del producto. Para productos complejos, la evidencia es la inspección y prueba de datos, y también la revisión de los planes y auditorías de los planes de ejecución. Está disponible una familia de técnicas de garantía que cubre un amplio rango de necesidades.

La garantía de calidad es similar al concepto de auditoría financiera, la cual provee garantía de la integridad financiera estableciendo, por medio de auditorías “independientes”, que el plan de contabilidad (1) está hecho de tal manera que, de seguirse, reflejará correctamente la condición financiera de la empresa y (2) se está siguiendo en realidad. Hoy en día, los auditores financieros independientes (contadores públicos certificados) se han convertido en una fuerza influyente en el campo de las finanzas.

Se ejercen muchas formas de garantía discutidas previamente en el libro dentro de los departamentos funcionales (tabla 16.1). Este capítulo discute tres formas de garantía de calidad en la empresa: auditorías de calidad, evaluaciones de calidad y auditorías de productos.

TABLA 16.1
Ejemplos de actividades departamentales de garantía

Departamento	Actividad de garantía
Mercadotecnia	Evaluación del producto mediante una prueba del mercado Uso controlado del producto Monitoreo del producto Actividad del servicio cautivo Encuestas especiales Evaluaciones competitivas
Desarrollo del producto	Revisión del diseño Análisis de confiabilidad Análisis de mantenimiento Análisis de seguridad Análisis de factores humanos Análisis de manufactura, inspección y transportación Ingeniería de valor Análisis de autocontrol
Relaciones con proveedores	Calidad del diseño del proveedor Calidad del proceso del proveedor Evaluación de las muestras iniciales Evaluación de los primeros envíos
Producción	Revisión de diseño Análisis de la capacidad del proceso Pruebas de preproducción Tirajes de preproducción Análisis de modo de falla, efecto e importancia para procesos Revisión de la planeación de manufactura (lista de control) Evaluación de las propuestas de herramientas de control de procesos Análisis de autocontrol Auditoría de producción de calidad
Inspección y prueba	Pruebas de interlaboratorio Medir la exactitud del inspector
Servicio a clientes	Auditoría de empaque, transportación y almacenamiento Evaluación de los servicios de mantenimiento

Fuente: JQH4, p. 9.3.

16.2 CONCEPTO DE AUDITORÍAS Y EVALUACIONES DE CALIDAD

Una *auditoría de calidad* es una revisión independiente que se lleva a cabo para comparar algunos aspectos del desempeño de calidad con un estándar para ese desempeño. El término *independiente* es decisivo y se usa en el sentido de que la persona que revisa (llamada el “auditor”) no es la responsable del desempeño que se está revisando ni el supervisor inmediato de dicha persona. Una auditoría independiente ofrece un panorama objetivo del desempeño. Los términos *evaluación de calidad* (o *valoración de la calidad*) y *auditoría de calidad* tienen significados similares, pero en el uso común, la *evaluación* se refiere al espectro total de las actividades de calidad e incluye con frecuencia asuntos administrativos tales como el costo de la mala calidad, la posición en el mercado y la cultura de calidad (véase el capítulo 2).

La definición de ISO 10011-2-1994 establece algunos aspectos adicionales: una auditoría de calidad es un examen sistemático e independiente para determinar si las actividades de calidad y los resultados vinculados cumplen con los arreglos planeados, y si estos arreglos se están implementando de manera efectiva y son adecuados para alcanzar los objetivos. (Una auditoría de producto, de la que se discutirá más adelante en este capítulo, es una revisión del *producto físico*; una auditoría de calidad es una revisión de la *actividad*.)

Una auditoría interna (como la que lleva a cabo dentro de una organización un auditor empleado por ella misma) recibe el nombre de auditoría de primera parte. Las auditorías externas son de segunda o tercera parte. Una auditoría de segunda parte la lleva a cabo dentro de la organización del proveedor la organización que está haciendo la compra. Una auditoría de tercera parte es conducida por una organización de auditoría que es independiente del comprador o de la organización proveedora.

Las empresas se sirven de las auditorías de calidad para evaluar su propio desempeño de calidad y el de sus proveedores, concesionarios, agentes y otros; las agencias reguladoras emplean las auditorías de calidad para evaluar el desempeño de las organizaciones que regulan.

El objetivo específico de las auditorías de calidad es brindar una garantía independiente de que:

- Los planes para alcanzar la calidad están hechos de tal manera que, si se siguen, se logrará la calidad deseada.
- Los productos son aptos para su uso y seguros para el usuario.
- Se están siguiendo los estándares y regulaciones definidos por las agencias gubernamentales, asociaciones industriales y profesionales.
- Hay conformidad con las especificaciones.
- Los procedimientos son adecuados y se están siguiendo.
- El sistema de datos ofrece información precisa y adecuada sobre la calidad para todos los involucrados.
- Se identifican las deficiencias y se aplican acciones correctivas al respecto.
- Se identifican las oportunidades para mejorar y se advierte al personal adecuado.

Una cuestión clave para establecer un programa de auditoría es si éstas deben estar orientadas hacia el cumplimiento, la efectividad o ambos. En la práctica, muchas auditorías de calidad están orientadas hacia el cumplimiento; las auditorías comparan las actividades relacionadas con la calidad con algunos estándares o requerimientos para dichas actividades (por ejemplo, “¿existen instrucciones escritas para las operaciones de producción y servicio?”). El énfasis radica en determinar la conformidad con los requerimientos de las instrucciones de trabajo escritas y en mantener los procedimientos para esas instrucciones como prueba de la conformidad. Las auditorías de efectividad evalúan si el requerimiento está logrando los resultados deseados (para los clientes internos y externos) y la actividad haciendo uso eficiente de los recursos (para más detalles, véase Russell y Regel, 1996).

En primera instancia, parece que las auditorías deberían estar orientadas tanto al cumplimiento como a la efectividad, y en algunos casos puede ser hacia ambos aspectos. Cuando las auditorías se llevan a cabo internamente, pueden y deben estar orientadas tanto hacia el cumplimiento como a la efectividad. Pero cuando las llevan a cabo partes externas, las empresas auditadas pueden tener problemas serios y razonables si una auditoría tiene que ver con asuntos de efectividad en las operaciones, incluyendo el uso de recursos. Las evaluaciones de efectividad de las operaciones internas hechas por auditores externos abren una amplia gama de consideraciones respecto a la satisfacción y los requerimientos de los clientes y los procesos de administración internos que dificultan llevar a cabo auditorías de una manera justa y útil.

16.3

PRINCIPIOS DE UN PROGRAMA DE AUDITORÍA DE CALIDAD

Cinco principios son esenciales para un programa de auditoría de calidad exitoso:

1. Un énfasis intransigente en las conclusiones basadas en los hechos. Cualquier conclusión que carezca de una base objetiva debe ser etiquetada así.
2. Una actitud por parte de los auditores en el sentido de que su tarea brinde garantías a la administración y también un *servicio* útil a los gerentes de línea en el manejo de sus departamentos. Así, los reportes de auditorías deben ofrecer suficientes detalles sobre las deficiencias para facilitar el análisis y las acciones por parte de los gerentes de línea.
3. Una actitud por parte de los auditores para identificar oportunidades de mejora. Dichas oportunidades incluyen destacar buenas ideas empleadas en la práctica que no son parte de los procedimientos formales. Algunas veces, una auditoría puede ayudar a superar las deficiencias comunicando a través de la jerarquía las razones de las que se hayan originado en otro departamento.
4. Enfrentar los asuntos de relaciones humanas al discutirlos.
5. Competencia de los auditores. La educación elemental y la experiencia de los auditores debería ser suficiente para permitirles aprender rápidamente los aspectos tecnológicos de las operaciones que van a auditar. Si carecen de este contexto, serán incapaces de ganarse el respeto del personal operativo. Además, deberían recibir capacitación especial en el aspecto de auditoría respecto a relaciones humanas. La Sociedad Estadounidense para la Calidad ofrece un programa para la certificación de auditores de calidad.

Estos cinco principios para una actividad exitosa de la auditoría de calidad son responsables del importante tributo que se da a las actividades auditoras dentro de una empresa. Los gerentes de línea ceden voluntariamente parte de su propio presupuesto cada año para aportar fondos a un grupo de auditoría de calidad.

16.4

TEMA DE LAS AUDITORÍAS

Para los productos simples, la gama de auditorías es también simple, y está dominada por las auditorías de producto (véase a continuación). Para los productos complejos, la auditoría es aún más compleja. En las empresas grandes, incluso la división en cuestión es un problema que causa perplejidad. Para dichas compañías, los programas de auditoría se sirven de uno o más de los siguientes enfoques para dividir el tema:

- *Unidades organizativas.* Las grandes empresas comprenden diversos niveles de organización, cada uno con una misión específica asignada: oficina corporativa, divisiones operativas, plantas, etc. Dichas compañías por lo general usan muchos equipos de auditores de calidad; cada uno revisa su tema de especialización y reporta los resultados a su propia “clientela”.
- *Líneas de producto.* Aquí las auditorías evalúan los aspectos de calidad de las líneas específicas de producto (como tableros de circuito impresos, bombas hidráulicas) desde el diseño hasta el desempeño en el campo.
- *Sistemas de calidad.* Aquí las auditorías están dirigidas hacia los aspectos de los diferentes segmentos del enfoque sistemático general hacia la calidad, como el diseño, manufactura, calidad del proveedor y otros procesos. Una auditoría orientada hacia el sistema revisa cualquier clase

de sistema en relación con la línea completa de producto. La tabla 16.2 presenta un ejemplo de Mallinckrodt Inc., un fabricante de productos médicos.

- *Actividades específicas.* Las auditorías también pueden estar diseñadas para destacar procedimientos específicos que tengan un significado especial para la misión de calidad: la disposición de los productos no conformes, la documentación, la calibración del instrumento, el software (véase la tabla 16.3).

TABLA 16.2
Evaluación de sistemas de calidad: componentes y elementos

<ul style="list-style-type: none"> A. Diseño organizacional <ul style="list-style-type: none"> 1. Responsabilidad de la dirección 2. Descripciones de puestos B. Prácticas de administración de clientes <ul style="list-style-type: none"> 1. Acción correctiva 2. Servir 3. Manejo de quejas y solicitudes 4. Devoluciones y corrección de campo C. Prácticas de desarrollo organizacional e individual <ul style="list-style-type: none"> 1. Capacitación 2. Higiene personal D. Prácticas de desarrollo de producto <ul style="list-style-type: none"> 1. Control de diseño de dispositivos 2. Generación de conceptos 3. Desarrollo de dispositivos 4. Transferencia a operaciones 5. Mantenimiento del ciclo de vida/vigilancia posterior al mercado E. Prácticas de control de productos y procesos <ul style="list-style-type: none"> 1. Control de procesos 2. Procesos especiales 3. Capacidad de procesos 4. Facilidades y equipo 5. Control de contaminación 6. Material recuperado F. Prácticas de procuración <ul style="list-style-type: none"> 1. Compras 2. Revisión de contrato G. Prácticas de almacenamiento y distribución <ul style="list-style-type: none"> 1. Manejo, almacenamiento, distribución e instalación H. Prácticas de garantía de calidad <ul style="list-style-type: none"> 1. Identificación y rastreo de producto 2. Actividades de aceptación 3. Artículos no conformes 4. Etiquetamiento 5. Auditorías de calidad interna 6. Procesamiento electrónico de datos I. Prácticas de análisis de información <ul style="list-style-type: none"> 1. Inspección, medición y prueba de equipo 2. Técnicas estadísticas 3. Métodos analíticos y laboratorios J. Prácticas de manejo de documentos <ul style="list-style-type: none"> 1. Control de documentos 2. Registros de calidad 3. Registro de producto y expedientes de aprobación
--

TABLA 16.3
Ejemplos de tareas de auditoría

Ámbito o actividad	Ejemplos de la tarea específica auditada
Documentación de ingeniería	Uso de la última versión de especificaciones de los operadores; tiempo requerido para que los cambios en el diseño lleguen al taller
Instrucciones de trabajo	Existencia y adecuación de las instrucciones de trabajo escritas
Máquinas y herramientas	Uso de máquinas y herramientas especificadas; suficiencia del mantenimiento preventivo
Calibración del equipo de medición	Existencia de procedimientos de calibración y grado en que se cumplen los intervalos de calibración
Producción e inspección	Adecuación del programa de certificación para habilidades críticas; adecuación de la capacitación
Instalaciones de producción	Limpieza general y control de las condiciones críticas del ambiente
Instrucciones de inspección	Existencia y adecuación de instrucciones escritas
Documentación de resultados de inspección	Adecuación del detalle; retroalimentación y uso por parte del personal de producción
Estatus del material	Identificación del estatus de inspección y configuración del producto; separación de productos defectuosos
Manejo y almacenamiento de materiales	Procedimiento para el manejo de materiales importantes; protección contra daños durante el manejo; control de los ambientes de almacenamiento dentro del proceso

Los sistemas de auditorías de calidad, así como las actividades específicas, pueden adoptar la forma de (1) auditoría de los planes o (2) auditoría de la ejecución en relación con los planes. Además, el tema puede incluir actividades internas o externas como las que llevan a cabo los proveedores.

Identificar oportunidades

Los auditores experimentados con frecuencia pueden descubrir oportunidades para mejorar, como un efecto secundario de su búsqueda de discrepancias. Estas oportunidades incluso pueden ser conocidas por el personal de operaciones, lo que haría que el auditor sólo esté haciendo un redescubrimiento. Sin embargo, este personal quizá no fue capaz de actuar debido a diversos impedimentos: preocupación por el control cotidiano, incapacidad para comunicarse a través de los niveles de jerarquía o falta de un apoyo para el diagnóstico.

El estatus relativamente independiente del auditor y la falta de preocupación por el control cotidiano pueden permitirle vencer esos impedimentos. Además, los reportes del auditor pasan por distintos niveles de jerarquía y, por lo mismo, tienen mayores posibilidades de llegar a oídos de alguien que tenga el poder de aprovechar la oportunidad. Por ejemplo, el auditor podría darse cuenta de que los reportes de costo de calidad se están retrasando considerablemente debido a la acumulación de trabajo en el departamento contable. Su recomendación de acelerar los reportes puede llegar a una persona que pueda tomar medidas al respecto, mientras que una propuesta similar del personal de operaciones nunca llegaría a ese nivel.

ISO 9000-2000 posiblemente tenga un énfasis claro y fuerte en la mejora continua.

16.5 ESTRUCTURACIÓN DE UN PROGRAMA DE AUDITORÍA

Las auditorías de tareas individuales o de sistemas de tareas normalmente se estructuran. Por ejemplo, están diseñadas para llevarse a cabo con miras a un objetivo acordado y se dirigen siguiendo reglas de conducta también acordadas. Llegar a un acuerdo en relación con estas reglas requiere la colaboración entre los principales grupos participantes:

- Los jefes de las actividades que están sujetas a auditoría.
- Los jefes de los departamentos que auditan.
- La alta dirección, que preside a ambos.

Sin dichos acuerdos colectivos, el programa de auditoría podría fracasar. Los modos comunes de falla son (1) una relación abrasiva entre los auditores y los gerentes de línea o (2) una falla de los auditores de línea al atender los reportes de auditoría.

La tabla 16.4 presenta el flujo típico de acontecimientos mediante los cuales se acuerdan los programas de auditoría y se llevan a cabo éstas. La publicación de una declaración de objetivos, políticas y métodos se convierte en la carta que legitima las auditorías y brinda continuamente lineamientos para todos los involucrados.

Las auditorías con frecuencia pueden hacerlas auditores de tiempo completo que están capacitados tanto en aspectos técnicos como de relaciones humanas. Los equipos de auditoría de alta dirección, gerencia media y especialistas también pueden resultar efectivos. Véase *JQH5*, pp. 41.16-41-19, para más detalles.

TABLA 16.4
Pasos en la estructuración de un programa de auditoría

	Departamento de auditoría	Departamento de línea	Alta dirección
Discusión de los objetivos que deben alcanzar las auditorías y el enfoque general para llevar a cabo éstas	X	X	X
Hacer una propuesta de políticas, procedimientos y otras reglas que se deberían seguir	X	X	
Aprobación final			X
Programación de auditorías	X	X	
Conducción de auditorías	X		
Verificación de los hallazgos objetivos		X	
Publicación de reporte con hechos y recomendaciones	X		
Discusión de los reportes	X	X	X
Decisiones respecto a las acciones que hay que emprender		X	
Seguimiento subsecuente	X		

16.6 PLANEACIÓN DE AUDITORÍAS DE ACTIVIDADES

Los principales pasos para llevar a cabo una auditoría son: la planeación, la ejecución, el reporte, el seguimiento de las acciones correctivas y la conclusión. El diagrama de flujo de la figura 16.1 describe estos pasos en detalle. Una referencia excelente para el proceso de auditoría es la División de Auditoría de Calidad de la ASQ (2000). Malsbury (1999) ofrece una guía específica durante las distintas fases de una auditoría.

Detrás de los pasos de la figura 16.1 se encuentra un número importante de asuntos sobre políticas:

Legitimidad

El derecho básico para llevar a cabo auditorías se deriva del “diagrama” aprobado por la alta dirección, siguiendo la participación de todos los involucrados. Más allá de este derecho se encuentran otras cuestiones de legitimidad: ¿cuál es el alcance y el objetivo? ¿Cuál debería ser el tema de la auditoría? ¿El auditor debe estar acompañado durante el recorrido? ¿A quién debería entrevistar? El volumen de práctica de auditoría contribuye a la legitimidad: el auditor actúa en el marco de las previsiones del diagrama y de los acuerdos complementarios a los que se llegó tras la discusión con todos los involucrados.

Programar *versus* no anunciar

La mayoría de las auditorías se hacen con base en un programa. “Sin sorpresas, sin secretos.” Esta práctica permite a todos los involucrados organizar la carga de trabajo, designar personal, etc., de una manera ordenada. También minimiza la irritación inevitable que surge con las auditorías no anunciadas.

Cliente

El *cliente* de la auditoría es todo aquel que se vea afectado por ella (véase la sección 1.3). El cliente clave es la persona responsable de la actividad que está siendo auditada. Otros clientes incluyen a la alta dirección y las funciones afectadas por la actividad. Cada cliente tiene necesidades que es preciso reconocer durante la planeación de la auditoría (véase el capítulo 10). Cabe destacar que esta orientación del servicio hacia los que son activamente auditados implica que la auditoría debe ir más allá del cumplimiento con los requerimientos. Dicha orientación *no* es practicada (ni aceptada) por todos los auditores, pero el autor cree que el concepto es básico para las auditorías exitosas.

Equipo de auditoría

Las auditorías son conducidas por individuos o por un equipo. Uno de éstos normalmente cuenta con un auditor principal que planea la auditoría; conduce las reuniones; revisa los hallazgos y comentarios de los demás; prepara el reporte de auditoría; evalúa las acciones correctivas, y presenta dicho reporte.

Evidentemente, los auditores deben poseer una mente abierta, y un juicio firme y confiable, confiar en y respetar a la gerencia de línea, y estar bien informados sobre el área auditada. ANSI/ASQ Q10011-2-1994 recomienda otros requisitos para los auditores, que incluyen educación, capacitación, experiencia, atributos personales y habilidades gerenciales.

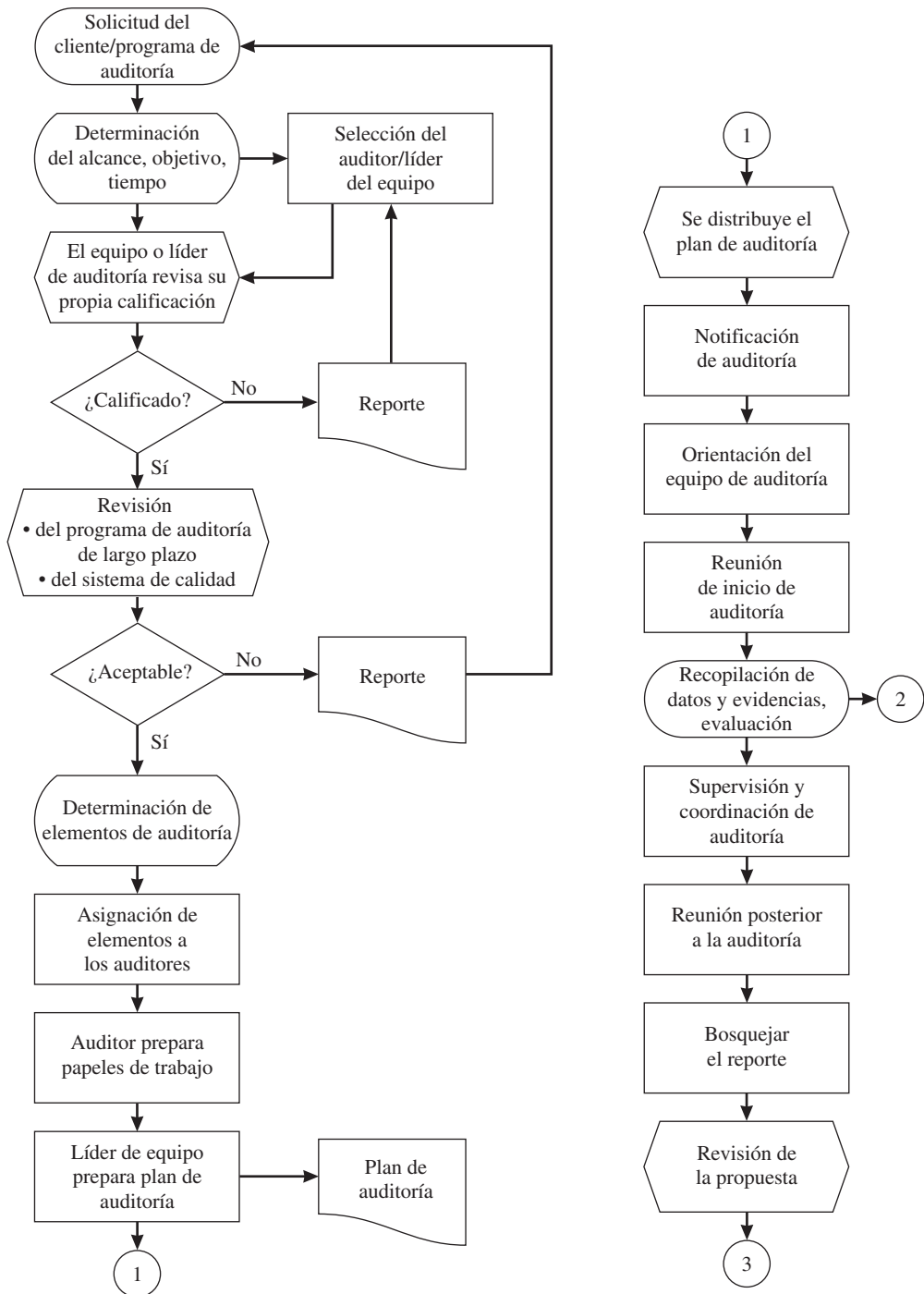


FIGURA 16.1
 Diagrama de flujo para una auditoría de calidad. (Adaptado de ANSI/ASQC, 1986, pp. 9-13.)

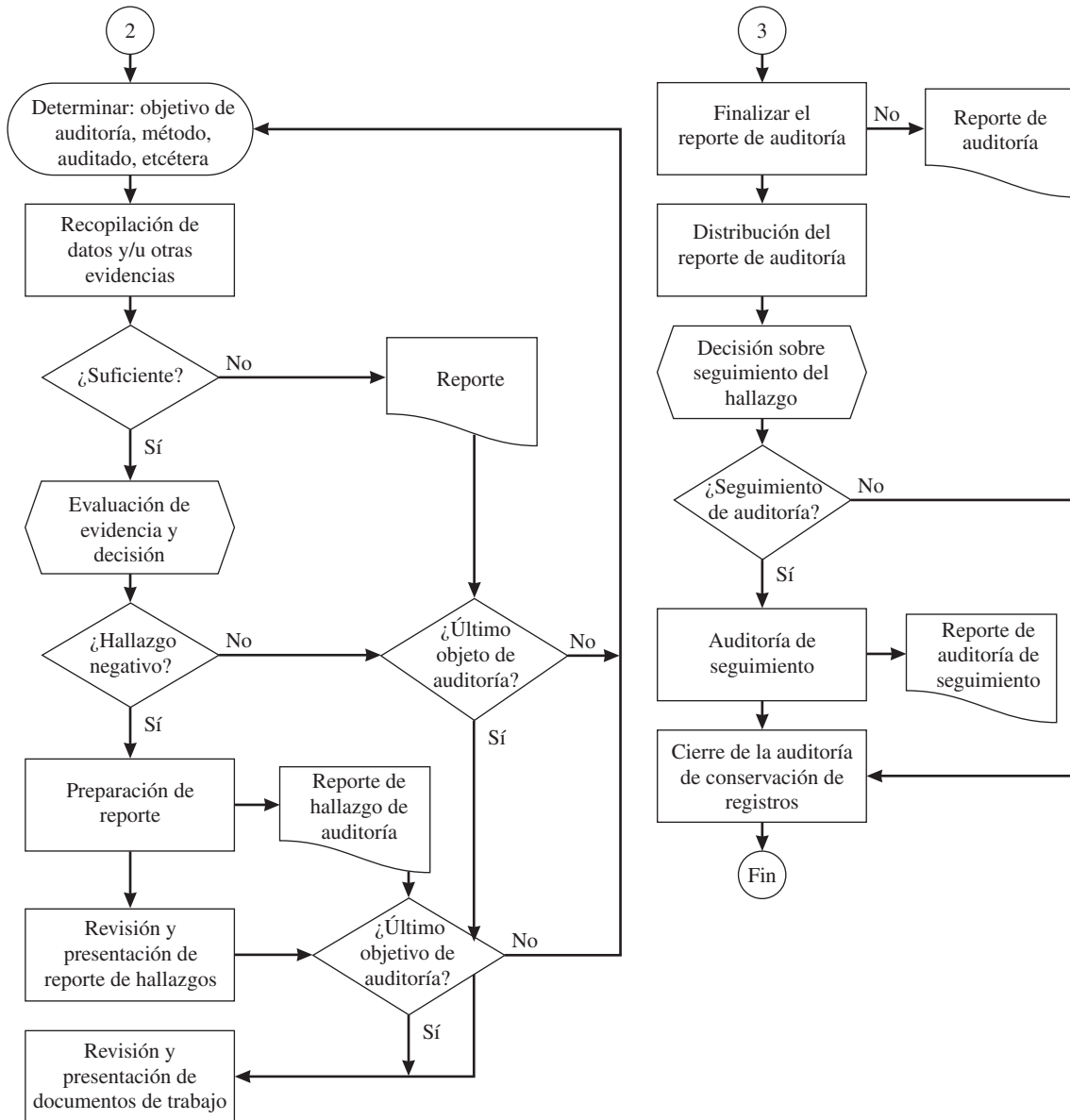


FIGURA 16.1 (continuación)

La auditoría es una tarea sensible. Una encuesta de auditores y auditados en la industria de servicios financieros investigó cinco cualidades de la auditoría y el auditor: profesionalismo; conocimiento del negocio; perspectiva de riesgo; planeación y conducción de la auditoría, y reporte de sus resultados. Y hubo varias sorpresas: los auditados consideran el profesionalismo (objetividad, conocimiento del área que está siendo auditada) como tres veces más importante que como lo con-

ciben los auditores; éstos pensaron que la perspectiva de riesgo (cobertura de las áreas de riesgo clave, auditoría con suficientes detalles) es tres veces más importante que como la consideran los auditados. Cabe destacar cómo esta disparidad ilustra la importancia de entender las necesidades de los clientes de auditoría.

Uso de estándares de referencia y listas de control

En la medida de lo posible, se espera que el auditor compare cómo se encuentran las actividades con algunos objetivos estándar de cómo deben estar. Cuando estos estándares están disponibles, existe menos necesidad de que el auditor haga un juicio subjetivo y, por ende, menos oportunidades para que se presenten amplias diferencias de opinión. No obstante, se deben tomar medidas para desafiar el propio estándar. Los estándares de referencia normalmente disponibles incluyen:

- Políticas escritas de la empresa en lo que concierne a la calidad.
- Objetivos definidos para presupuestos, programas, contratos, etcétera.
- Especificaciones de calidad para el cliente y la empresa.
- Especificaciones gubernamentales pertinentes y manuales.
- Estándares de calidad pertinentes sobre la empresa, la industria y otros sobre productos, procesos y software de cómputo.
- Guías publicadas para auditorías de conducta y calidad.
- Instrucciones departamentales pertinentes sobre calidad.
- Información general sobre auditoría.

Un tipo de lista de control identifica las áreas del tema que se va a auditar, dejando en manos del auditor la responsabilidad de proporcionar la lista detallada. Los ejemplos típicos de estas áreas son: el mantenimiento de máquinas y herramientas, o el control de las órdenes de cambio de ingeniería. Poseer un estándar para la comparación en las auditorías es un asunto importante. Steven Ehrhardt de Mallinckrodt Inc. emplea un principio perceptivo. Cuando se pide a su grupo de auditoría realizar una, primero determina si la empresa tiene un estándar o especificaciones de trabajo claros para la actividad. Si no los tiene, *antes* de hacer la auditoría pide a los responsables de la actividad que definan el estándar. Ehrhardt considera que sin un estándar la gente no sabe lo que supuestamente debe hacer (primer elemento de autocontrol, véase la sección 5.3) y, por ende, una auditoría no es apropiada. La aclaración de los estándares puede ser más importante que la auditoría misma. Imagine cómo esta iniciativa de brindar servicio por parte de un auditor ayuda a construir una relación confiable con la gente de operaciones.

Algunas listas de control tienen un alto nivel de detalle y requieren que el auditor revise diversos aspectos del desempeño operativo (y registre el hecho de que dichos aspectos fueron revisados). Por ejemplo, la revisión que elabora un auditor de una prueba realizada por un inspector tal vez requiera que el primero examine el trabajo del inspector para ver si fueron correctos el número de especificación que usó, la lista de las características que consideró, el tipo de instrumento que empleó, el tamaño de la muestra, los registros de datos, etc. En un hospital, una lista de control de auditoría podría incluir preguntas tales como “¿las soluciones intravenosas se guardan bajo refrigeración antes de la entrega?” “¿Todos los medicamentos y elementos químicos y biológicos se etiquetan clara, correcta y adecuadamente?” Para un ejemplo, véase la tabla 16.5.

La sección 13.9 discute las auditorías al proceso de calidad en las operaciones de manufactura. La sección 14.5 explica las aplicaciones de las mismas auditorías en las operaciones de servicios.

16.7 DESEMPEÑO DE LA AUDITORÍA

Existen diversas políticas que afectan el desempeño de una auditoría.

Verificación de hechos

En general, se espera que los auditores revisen junto con la supervisión de línea los hechos (síntomas externos) de cualquier deficiencia descubierta durante la auditoría. Se deben acordar previamente los hechos antes de que entren en un reporte que irá a un nivel más alto de la gerencia.

Descubrimiento de las causas

Muchas empresas esperan que el auditor investigue las grandes deficiencias para determinar sus causas. Esta investigación se convierte entonces en la base de la recomendación del auditor. Otras compañías esperan que el auditor deje esa investigación en manos de la gente de línea; las recomendaciones de auditoría incluyen entonces propuestas para dichas investigaciones.

Recomendaciones y soluciones

Se espera invariablemente que los auditores hagan recomendaciones para reducir las deficiencias y mejorar el desempeño. En contraste, se pide comúnmente a los auditores que eviten participar en el diseño de soluciones. Sin embargo, se espera que los auditores sigan recomendaciones para garantizar que se está haciendo algo específico, como, por ejemplo, que la recomendación fue aceptada o considerada y rechazada.

Los asuntos relacionados con políticas se incorporan frecuentemente a un “manual de auditoría de calidad”. Dicho manual también incluye detalles sobre el asunto que deberá ser cubierto en las auditorías; listas de control sobre los aspectos que hay que revisar y preguntas que hay que hacer; clasificación de la seriedad de las deficiencias observadas; uso de software para captura, procesamiento, almacenamiento y recuperación de los datos de auditoría, así como los lineamientos para los reportes de auditoría.

Estatus de la auditoría

Se debe mantener informado al cliente clave sobre el avance de la auditoría: lo que se ha cubierto y lo que falta por hacer. El estatus de las auditorías largas puede reportarse mediante reuniones informativas, discusiones informales y correo electrónico. El estatus de los reportes incluye la explicación de los problemas o deficiencias detectados, incluso antes de preparar un reporte preliminar de auditoría. El reporte de estatus permite a la empresa revisar la precisión de las observaciones del auditor y dar a la gente responsable de la actividad auditada la oportunidad de explicar su plan para corregir la deficiencia.

16.8 REPORTE DE LA AUDITORÍA

Las auditorías también deben documentarse en un reporte, y la versión preliminar del mismo debe ser revisada (de preferencia en una reunión posterior a la auditoría) con la gerencia de la actividad

que fue auditada. Los auditores y la actividad auditada deben estar de acuerdo desde antes en la distribución del reporte de auditoría. Si se desea, se puede presentar un reporte por parte del auditor y del auditado. Todos los miembros de un equipo de auditoría deben firmar el reporte.

El reporte debe incluir los siguientes aspectos:

- Resumen ejecutivo.
- Objetivo y alcances de la auditoría.
- Detalles del plan de auditoría, incluyendo personal, fechas, actividad auditada (personal contactado, material revisado, número de observaciones hechas, etc.). Los detalles pueden colocarse en el apéndice.
- Estándares, listas de control u otros documentos de referencia que se hayan usado durante la auditoría.
- Observaciones de auditoría, incluyendo evidencia de apoyo, conclusiones y recomendaciones, empleando la terminología del cliente del auditor.
- Recomendaciones para oportunidades de mejora.
- Recomendaciones de seguimiento para acciones correctivas propuestas e implementadas por la gerencia de línea, junto con las auditorías subsecuentes en caso necesario.
- Lista de distribución del reporte de auditoría.

Bucella (1988) describe, para la compañía farmacéutica Warner-Lambert, el enfoque de auditoría usado para “Diez Sistemas de Calidad” (por ejemplo, calidad de información). Un histograma brinda un panorama general de la efectividad de cada sistema. El histograma también muestra el tiempo de respuesta de la acción correctiva que requiere cada sistema.

Resumir datos de auditoría

En una auditoría se determina que la mayoría de los elementos de desempeño son adecuados, mientras que algunos muestran alguna discrepancia. Reportar estos hallazgos requiere dos niveles de comunicación.

1. *Reportes de cada discrepancia para garantizar las acciones correctivas.* Estos reportes se presentan rápidamente al responsable del personal operativo, con copias para algunos de los niveles administrativos.
2. *Un reporte del estatus general del asunto bajo revisión.* Para cumplir con estos requerimientos, el reporte deberá:
 - Evaluar el desempeño general en cuanto a calidad, de tal manera que se dé respuesta a las principales preguntas planteadas por la alta dirección, como por ejemplo: “¿Es seguro el producto?” “¿Estamos cumpliendo con los requerimientos legales?” “¿El producto puede usarse?” “¿Puede comercializarse?” “¿El desempeño del departamento está siendo revisado adecuadamente?”
 - Brindar evaluaciones sobre el estatus de las principales subdivisiones del desempeño general: sistemas y subsistemas de calidad, divisiones, plantas, procedimientos, etcétera.
 - Brindar alguna estimación sobre la frecuencia de las inadecuaciones en relación con el número de oportunidades para aquéllas (véase “Unidades de medida”).
 - Brindar alguna estimación sobre la tendencia de esta proporción (de inadecuaciones encontradas contra inadecuaciones posibles) y de la efectividad de los programas para controlar la frecuencia de la presencia de las inadecuaciones.

Clasificación de seriedad

Algunos programas de auditoría usan la clasificación de seriedad de las inadecuaciones. Este enfoque es bastante común en las auditorías de productos, donde los defectos se clasifican en términos de críticos, mayores y menores, cada uno con un “peso” en forma de demérito. Estos sistemas de clasificación de seriedad tienen un alto nivel de estandarización (véase la sección 15.5, “Clasificación de la seriedad”).

Algunos programas de auditoría también aplican clasificación de seriedad a las discrepancias detectadas en la planeación, los procedimientos, la toma de decisiones, los registros de datos y otras etapas. El enfoque se asemeja al que se emplea en las auditorías de producto. Para dichos términos se establecen definiciones como “seria”, “mayor” y “menor”; se asignan valores de demérito y se calculan los deméritos totales.

Unidades de medida

Para los planes de auditoría, procedimientos, documentación, etc., es deseable comparar las inadecuaciones encontradas contra algunas estimaciones sobre la oportunidad de inadecuaciones. Algunas empresas ofrecen un conteo real de oportunidades, como el número de criterios o puntos de revisión que se mencionan en los planes y procedimientos. Otra forma es contar las inadecuaciones por auditoría con un factor de corrección basado en la extensión del tiempo consumido en ella. La razón obvia es que entre más tiempo se dedica a la auditoría más terreno se cubre y más inadecuaciones se encuentran.

Distribución del reporte de auditoría

Es costumbre que se envíen copias del reporte de auditoría a la alta dirección para notificar, revisar y dar un posible seguimiento. Evidentemente, los gerentes de las actividades auditadas no están contentos con los reportes de auditoría que mencionan las diversas deficiencias y que son remitidos a sus superiores. Para promover la armonía y un punto de vista constructivo en las auditorías, algunas organizaciones han adoptado una política diferente. El reporte de auditoría se envía sólo a los gerentes cuya actividad es auditada, y se programa un seguimiento. Si las deficiencias son corregidas a tiempo para la auditoría de seguimiento, este expediente se cierra; de otra manera, se envía una copia de ambos reportes de auditoría a la alta dirección.

En el ánimo de promover la mejora continua, después de que se hace el reporte, se debe preguntar a los auditados qué valor tiene la información que recibieron.

Regel (2000) consigna una encuesta a auditores de calidad. De entre las siete preocupaciones principales que deseaban resolver en sus auditorías, la que obtuvo el primer lugar en importancia fue la de “problemas con los reportes”, que representó 25.3 por ciento de la inquietud total. Los ejemplos de las razones incluyen “detalles insuficientes”, “no vinculado a los objetivos del negocio”, “no planteado claramente” y “no planteado en lenguaje administrativo”.

16.9 SEGUIMIENTO DE LAS ACCIONES CORRECTIVAS

La fase final de la auditoría es el seguimiento para confirmar que se han emprendido acciones correctivas para la actividad auditada y que éstas son eficaces. Los pasos se muestran en la figura

16.2 (de Russell y Regel, 1996; reimpresso con autorización de la ASQ). La División de Auditoría de Calidad de la ASQ (2000) ofrece detalles sobre el proceso.

Es importante recordar el objetivo clave de una auditoría: la mejora. Si por alguna razón no se toman medidas correctivas, el auditor debe primero verificar que las conclusiones del reporte sean correctas y las acordadas con el área auditada. Si éste no es el caso, entonces se debe resolver la

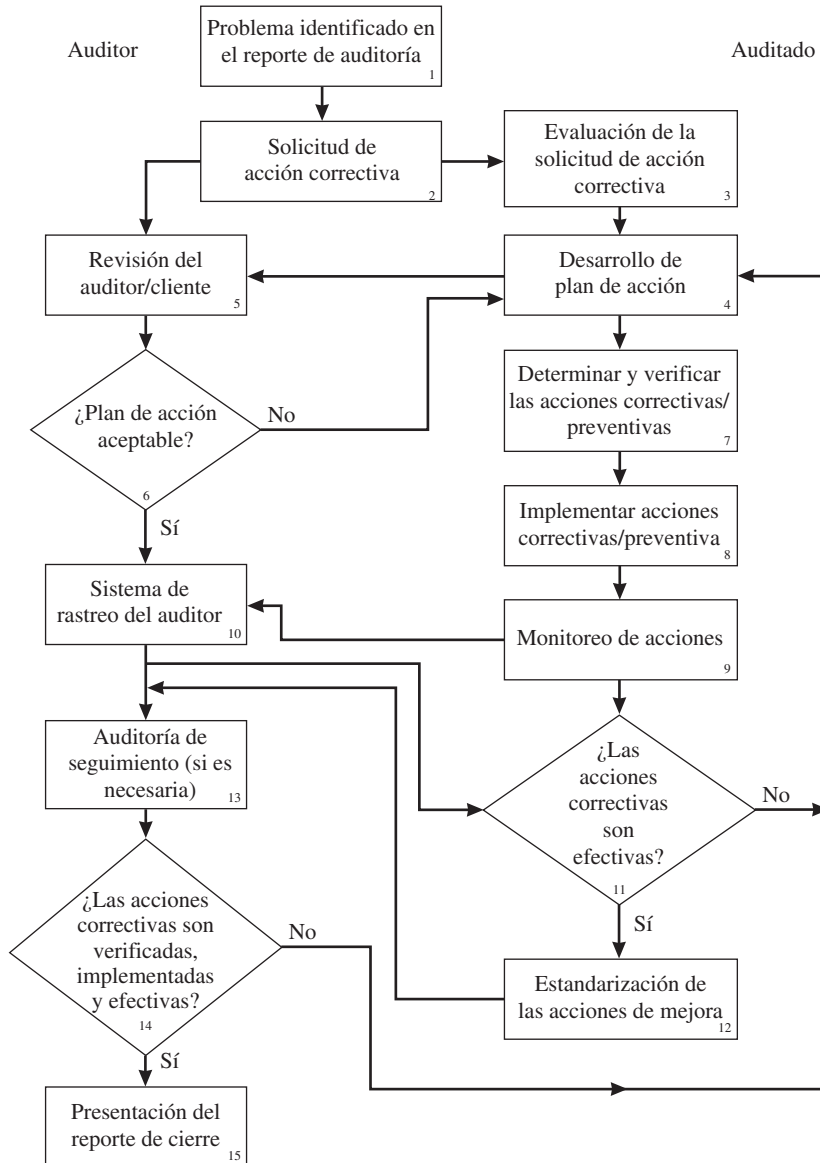


FIGURA 16.2
El proceso de mejora de la función de auditoría.

falta de acuerdo. Si se concuerda con el reporte pero el área auditada no ha sido capaz de implementar las acciones correctivas debido a una falta de recursos u otra razón, el auditor debe determinar si puede ayudarla. Una posibilidad es revisar cómo se presenta a la dirección la seriedad de la deficiencia. Redefinirla en términos monetarios o de otro tipo que tengan un impacto en la dirección puede ayudar a obtener los recursos necesarios o a remover los obstáculos para la implementación de las acciones correctivas. Para un ejemplo, véase la sección 16.14.

16.10 RELACIONES HUMANAS AL AUDITAR

En teoría, la auditoría es un instrumento conectado a las operaciones para garantizar una fuente independiente de información. Cuando se trata de un instrumento físico, como el indicador del propulsor de velocidad en el puente de un barco, no hay enfrentamiento de personalidades. Sin embargo, los auditores son seres humanos y, en la práctica, su relación con aquellos cuyo trabajo está siendo auditado puede volverse ligeramente tensa. Puede haber resentimiento debido a las deficiencias evidenciadas por la auditoría en la crítica implícita.

Las recomendaciones en la auditoría pueden ser consideradas como una invasión de las responsabilidades. En el sentido opuesto, los auditores pueden concebir la lenta respuesta a las solicitudes de información como una cooperación de mala gana. Éstos y otros problemas en las relaciones humanas son suficientemente importantes como para garantizar una discusión extensiva, además de un adoctrinamiento tanto del personal de auditoría como del de operaciones, en relación con los siguientes aspectos:

- *Las razones detrás de las auditorías.* Estas razones podrían haberse discutido también durante la formulación básica del programa de auditoría. Sin embargo, esa discusión la sostuvieron los administradores. También existe la necesidad de explicar tanto a los supervisores como a los no supervisores el “porqué” de las auditorías. (No es suficiente con explicar que la alta dirección quiere que se hagan.) Obviamente, todos los empleados también son clientes, consumidores, ciudadanos preocupados, así que es fácil destacar los beneficios que provienen de las auditorías conducidas en otras empresas. Además, se puede aclarar que los gerentes, clientes, reguladores, etc., de esta compañía también requieren garantías adicionales.
- *Evitar la atmósfera de culpa.* Una manera segura de causar un deterioro en las relaciones humanas es buscar a alguien a quién culpar en lugar de lograr una mejora. Los gerentes de línea, así como los auditores, pueden caer en esta trampa. Una atmósfera de culpa provoca resentimiento y también seca las fuentes de información. Los reportes de la auditoría y las recomendaciones deben estar orientados hacia los problemas y no contra las personas.
- *Balance en el reporte.* Una auditoría que reporta sólo deficiencias puede ser del todo objetiva. Aún así puede ser tomada a mal porque no dice nada acerca del gran número de elementos de desempeño que están bien hechos. (“Incluso un reloj descompuesto da la hora correcta dos veces al día”, anónimo.) Algunas empresas requieren que los auditores inicien sus reportes con “observaciones loables”. Otros han evolucionado hacia las síntesis o evaluaciones generales que consideran las deficiencias y también las oportunidades para deficiencias.

- *Despersonalizar el reporte.* En muchas empresas, los auditores adquieren gran influencia debido a que sus reportes son revisados por la alta dirección. Los departamentos de auditoría deberían ser cuidadosos para no hacer un mal uso de tal ascendiente. Lo ideal es despersonalizar los reportes y recomendaciones. La base real de éstas deberían ser los hechos y no las opiniones del auditor. Cuando hay lugar para una diferencia de opinión, el auditor tiene el derecho y la obligación de dar su parecer como una información para el proceso de toma de decisiones. No obstante, se debe evitar cualquier postura de defensa indebida, ya que tendería a reducir la credibilidad del auditor como observador objetivo. (La responsabilidad última por los resultados descansa en los gerentes de línea, no en los auditores.)
- *Reunión posterior a la auditoría.* Una parte importante de la fase de implementación es la reunión posterior a la auditoría que se lleva a cabo con el gerente de la actividad auditada. En esta reunión se presentan las observaciones de auditoría para que el gerente pueda planear las acciones correctivas. Además, éste puede hacer ver al auditor cualquier error en relación con los hechos que fueron recopilados.

Una auditoría propia y una independiente pueden combinarse para brindar una auditoría de dos terceras partes. Cada auditoría tiene un plan, una ejecución y un reporte. Las ventajas incluyen el uso del conocimiento de la persona responsable de la función, lo que garantiza la objetividad con un auditor independiente y minimiza algunos de los problemas sobre relaciones humanas.

El objetivo de tener tanto la auditoría propia como la independiente es crear una atmósfera de confianza basada en la reputación previa de los auditores, el enfoque usado durante la auditoría y el énfasis en ser útil para la actividad auditada. Incluso asuntos tan pequeños como el título del proceso de la auditoría deben considerarse con cuidado. Ocasionalmente, la gente trata de evitar el uso del término *auditoría* cuando lo que se hará *es* una observación y evaluación. La auditoría también puede estar oculta en un programa educativo de la empresa. Dichos subterfugios detractan la confianza que debe desarrollarse para que las auditorías sean efectivas y útiles.

Para una discusión sobre algunos aspectos únicos de las relaciones humanas en una actividad de investigación y desarrollo, véase Frank y Voigt (1988).

Los auditores deben funcionar dentro de una cultura de organización. La antropología es el estudio del origen, comportamiento y desarrollo físico, social y cultural de los seres humanos. Para los comentarios sagaces de un gerente de calidad (quien es un auditor de calidad certificado) con antecedentes formales en antropología, véase Hunt (1997).

Los auditores de calidad, por supuesto, deben adherirse a los más altos estándares de conducta ética y profesional. Para una discusión detallada que incluya el Código de Ética de la Sociedad Estadounidense para la Calidad y el Código de Ética del Instituto de Auditores Internos, véase la División de Auditoría de Calidad de la ASQ (2000).

16.11 EVALUACIONES DE CALIDAD

Las auditorías, como se describió con anterioridad, tienen que ver casi exclusivamente con el cumplimiento de diversos tipos: conformidad de los planes con los estándares de buena planeación y conformidad de la ejecución con el plan. Tales auditorías dan respuesta a algunas preguntas vitales y deben ser consideradas como un elemento esencial para garantizar la calidad. Sin embargo, éstas

no son suficientes como para brindar una garantía plena a la alta dirección en el sentido de que todo está bien con respecto a la calidad, porque comúnmente no tratan asuntos como:

- Los estándares relativos del mercado respecto a la calidad.
- El análisis de la situación de los usuarios con respecto al costo, conveniencia, etc., durante la vida del producto.
- Las oportunidades para reducir los costos de la mala calidad.
- Los desafíos para el desarrollo de productos, la ingeniería de diseño y otros departamentos “monopolísticos” sobre suficiencia de la calidad, perfeccionismo, costo, etcétera.
- Los desafíos de la alta dirección respecto a las políticas, los objetivos, las instalaciones y las creencias axiomáticas.
- La percepción de los empleados de la calidad.

Para proveer los elementos faltantes de garantía de calidad se requiere una visión más amplia que la auditoría estructurada. Tal revisión con frecuencia recibe el nombre de “evaluación de calidad”, “encuesta de calidad” o “auditoría de la empresa”. En esta sección, la palabra *auditoría* implica la existencia de criterios establecidos contra los cuales se pueden revisar los planes y su ejecución. En contraste, la palabra *encuesta* supone la inclusión de asuntos no cubiertos por los criterios acordados. (En este sentido, la auditoría descubre discrepancias y señales de alarma; la encuesta va más allá y también devela oportunidades y amenazas inesperadas.)

Dichas evaluaciones pueden llevarse a cabo de diversas maneras:

1. Usando un marco general que incluya una evaluación tanto de los resultados de calidad como del sistema de calidad. El capítulo 2 presentó dicho marco, que consta de cuatro componentes: *a)* costo de la mala calidad, *b)* posición en el mercado, *c)* cultura de la empresa sobre la calidad y *d)* evaluación de las actividades actuales de calidad.
2. Evaluar el sistema de calidad empleando los criterios publicados que hacen énfasis en los *resultados*. Uno de estos criterios es el Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige.
3. Evaluar el sistema de calidad empleando los criterios publicados que hacen énfasis en la definición de sus elementos. Uno de dichos criterios es la especificación del ISO 9000.
4. Evaluar el sistema de calidad empleando los criterios desarrollados dentro de una empresa para evaluar sus propias operaciones. Para un ejemplo, véase la tabla 16.2. Con frecuencia, dichos criterios provienen de los contemplados en el Premio Nacional de Calidad o en la especificación del ISO 9000.
5. Evaluar el sistema de calidad usando los criterios desarrollados dentro de una empresa para calificar a sus proveedores (véase la sección 12.5). Este enfoque puede involucrar una auditoría o encuesta de un tercero. Dos partes están involucradas en la adquisición de productos: el comprador y el proveedor. Anteriormente, el comprador evaluaba la calidad del proveedor. Los compradores usan ahora cada vez más el concepto de un tercero para evaluar la calidad del proveedor. El tercero (una persona u organización) lleva a cabo la evaluación para el comprador, pero es independiente de éste y del proveedor. Tal práctica libera al comprador de la necesidad de mantener un personal con las habilidades necesarias. Un tercero puede inspeccionar el producto y evaluar el sistema de calidad, o ambos.
6. Evaluar el sistema de calidad para un objetivo específico. Un ejemplo es la técnica de inspección del sistema de calidad (QSIT, por sus siglas en inglés) que emplea la Administración de Alimentos y Medicamentos para evaluar el sistema de calidad de los fabricantes de aparatos

médicos. Esta técnica se enfoca en los controles administrativos y de diseño; en las acciones correctivas y preventivas, y en los controles de producción y proceso. Para más detalles, véase Layloff (2000).

En un tipo diferente de encuesta, se pidió a un consultor que definiera las responsabilidades específicas en el programa de calidad para todos los grandes departamentos de una compañía de cuidado de la salud. El consultor usó cinco preguntas para entrevistar a los gerentes de departamento:

1. ¿Qué tareas de su departamento afectan la calidad?
2. ¿Hay alguna tarea adicional relacionada con la calidad que debería hacerse en su departamento?
3. ¿Hay alguna tarea adicional relacionada con la calidad que debería llevarse a cabo en otra parte de la empresa?
4. ¿Qué tareas relacionadas con la calidad tienen una responsabilidad poco definida?
5. ¿Qué tareas relacionadas con la calidad que se llevan a cabo actualmente en su departamento requieren procedimientos escritos más definitivos?

El consultor sintetizó sus hallazgos de la siguiente manera: (1) el programa de calidad consta de 178 tareas que se llevan a cabo en 26 áreas funcionales, (2) la responsabilidad de 19 de estas tareas no está claramente definida y (3), los gerentes expresaron su preocupación sobre la claridad de 27 tareas relacionadas con la calidad.

El reporte incluyó comentarios detallados sobre el panorama general del programa de calidad, las tareas clave que requieren una mejora, la organización para la calidad y el papel de la alta dirección.

Los estándares de referencia que brindan los criterios para los sistemas de calidad se revisan periódicamente. La “Standards Column” (Columna de estándares) de la revista *Quality Engineering* ofrece al profesional actualizaciones sobre los estándares actuales y descripciones de los nuevos.

16.12 AUDITORÍA DE PRODUCTO

Una auditoría de producto es una evaluación independiente de la calidad de un producto para determinar su aptitud para el uso y conformidad con la especificación. La auditoría de producto se lleva a cabo después de que se ha completado la inspección. Entre los objetivos de la auditoría de producto destacan:

1. Estimar el nivel de calidad que reciben los clientes.
2. Evaluar la efectividad de las decisiones de inspección para determinar la conformidad con las especificaciones.
3. Proporcionar información útil para mejorar el nivel de calidad del producto saliente y la efectividad de la inspección.
4. Brindar una garantía adicional más allá de las actividades de inspección de rutina.

Hay mucha lógica detrás de estas auditorías de producto. En muchos casos, el departamento de inspección y prueba está subordinado a una gerencia que también es responsable de cumplir con otros estándares (calendarios, costos, etc.). Adicionalmente, tiene un valor el hecho de revisar el desempeño de toda una función de control de calidad, que incluye la inspección y planeación de pruebas, así como la conducción de las mismas. Por último, entre más importante es el producto, más necesidad hay de cierta redundancia como una forma de garantía.

Etapas de evaluación

Idealmente, la auditoría de producto debe comparar el desempeño actual del servicio con las necesidades de servicio de los usuarios. Este ideal es tan difícil y costoso de administrar que la mayoría de las auditorías de producto consisten sólo en una aproximación (véase la tabla 16.5).

Para muchos productos simples y estables, la aproximación de los resultados de las pruebas en comparación con las especificaciones es una manera útil y económica de llevar a cabo una auditoría de producto. Incluso para los productos no tan simples, la mayoría de las características de calidad que es capaz de identificar el usuario también pueden ser identificadas por completo cuando el producto sigue en la fábrica. Así, las características del producto esenciales para el uso son evaluadas adecuadamente en algún momento apropiado, ya sea en la fábrica o en una etapa más avanzada.

A medida que los productos se van haciendo más complejos, su auditoría se lleva a cabo en distintas etapas, como lo muestra la tabla 16.5. La mayoría de las características pueden ser evaluadas en la etapa más económica, por ejemplo, poco después de la inspección de fábrica. No obstante, las características restantes (usualmente más sofisticadas) pueden ser evaluadas en otras etapas.

Alcance de la auditoría del producto

El alcance de algunas auditorías de producto olvida por completo medir la reacción del cliente.

Como un ejemplo, el gerente de planta de una empresa fabricante de electrónicos recibió una calificación de 98 por ciento en una auditoría de producto en la planta. A partir de esta calificación, la planta recibió un premio a la calidad. Cuando se midió la media de tiempo entre fallas del mismo producto en el campo, el valor fue de apenas 200 horas. Este problema fue una razón conocida para las quejas de los clientes, pero no había sido evaluado por la auditoría de producto.

En otro caso, un fabricante de vehículos tenía un sistema para tomar una muestra semanal de auditoría de producto de una producción. Una comparación de los resultados de una investigación de mercados separada de la auditoría interna del producto fue devastadora. Sólo 18 por ciento de

TABLA 16.5
Etapas potenciales de una auditoría de producto

Etapas en la que se lleva a cabo la auditoría de producto	Pros y contras de usar esta etapa
Después de la aceptación de los inspectores	La mayoría económicos, pero no reflejan los efectos en empaque, envío, almacenamiento o uso.
Después del empaque pero antes del envío al campo	Requiere desempaque y reempaque, pero evalúa el efecto del empaque original.
Al recibirlo los comerciantes	Dificultad para administrar en locaciones múltiples, pero refleja los efectos del envío y almacenamiento.
Al recibirlo los usuarios	Aún más difícil de administrar, pero evalúa los efectos añadidos del manejo del comerciante y el almacenamiento más los del envío al usuario y el desempaque.
Desempeño en el servicio	El ideal, pero también el más difícil de administrar debido al número de variedades de uso; puede simplificarse mediante el muestreo.

las características que los clientes calificaban como importantes para ellos habían sido revisadas en la auditoría de producto.

Para productos simples, se puede adquirir una muestra representativa de bienes terminados en el mercado abierto. Estas muestras se revisan entonces para comprobar su aptitud para el uso y su conformidad con las especificaciones. Algunas empresas llevan a cabo tales auditorías anualmente como parte de una amplia planeación anual para la línea del producto, que pueden incluir también una revisión del producto competitivo.

Para productos de consumo complejo, como aparatos electrodomésticos, es factible garantizar la información de la auditoría de producto en diferentes etapas de la progresión del mismo, como se muestra en la tabla 16.5. La auditoría más amplia del producto se lleva a cabo inmediatamente después de la inspección y las pruebas de fábrica. Los datos adicionales de auditoría se garantizan posteriormente a partir de distribuidores y vendedores selectos mediante una auditoría conjunta de “abrir y probar”. Se hacen arreglos similares para obtener información de algunos vendedores seleccionados. Adicionalmente, se emplean los datos de las “tarjetas de llegada” de los consumidores. Cuando se arreglan adecuadamente en relación con los retrasos de tiempo, todos estos datos pueden registrarse en un diagrama que muestre los niveles y las tendencias.

Los planes de auditoría deben definir u orientar la selección de dimensiones detalladas de los productos o propiedades que hay que revisar. Se toman medidas para hacer dos tipos de auditoría: al azar y dirigida. La primera se basa en una selección aleatoria de características de producto que arroje una imagen sin sesgo del estatus de calidad. Una auditoría dirigida, por otra parte, se concentra en un área específica del producto que según la experiencia sugiere la necesidad de ser estudiada. Muchas empresas emplean manuales de auditoría para definir al auditor el diseño de la auditoría, casi hasta el último nivel de detalle. Por ejemplo, el manual puede especificar categorías particulares de las dimensiones que serán auditadas (como longitud), pero puede confiar en el auditor para seleccionar qué dimensión de longitud hay que auditar.

16.13 MUESTREO PARA UNA AUDITORÍA DE PRODUCTO

Para los productos manufacturados mediante la producción en masa, el tamaño de las muestras para sus auditorías puede ser determinado usando métodos estadísticos convencionales. Estos métodos consideran el tamaño de la muestra que se requiere para los niveles de riesgo determinados (véase la sección 18.4). Los tamaños de la muestra para auditorías de producto calculados mediante estos métodos, cuando se aplican a la producción en masa, siguen representando una pequeña fracción del producto que requiere ser muestreado. En contraste, para los productos manufacturados como grandes unidades o en pequeñas cantidades, los conceptos convencionales de muestreo estadístico son prohibitivamente costosos. En dichos casos, los tamaños de muestra son con frecuencia arbitrarios, y parecen pequeños desde el punto de vista de la probabilidad. Por ejemplo, un fabricante de vehículos usa una muestra de auditoría de producto que consiste en 2 por ciento de la producción por turno con un mínimo de cinco vehículos, cualquiera que sea el número mayor. Aunque la cantidad de vehículos muestreados sea muy pequeña, el número total de características probadas es bastante grande. Los auditores revisan 380 artículos en cada vehículo, y la prueba de la auditoría de producto incluye un examen de circulación de 17 millas. En algunos casos de producción altamente homogénea, una muestra de una unidad del lote de producción puede ser adecuada para una auditoría de producto.

16.14

REPORTE DE RESULTADOS DE UNA AUDITORÍA DE PRODUCTO

Los resultados de una auditoría de producto aparecen en forma de presencia o ausencia de defectos, fallas, etc. Se prepara entonces un puntaje o “calificación” de la calidad con base en los resultados de la auditoría.

Los programas de auditoría de producto con frecuencia usan una clasificación de seriedad de los defectos. Los defectos se clasifican en términos de críticos, mayores, menores A y menores B, y cada uno de ellos tiene un “peso” en forma de demérito. En las auditorías de producto, la unidad usual de medida es *deméritos por unidad de producto*.

EJEMPLO 16.1. Un sistema de auditoría de producto usa cuatro clases de seriedad de defectos. Durante un mes, los auditores inspeccionaron 1200 unidades de producto terminado con los siguientes resultados:

Tipo de defectos	Número encontrado	Deméritos por defecto	Total de deméritos
Crítico	1	100	100
Mayor	5	25	125
Menor A	21	5	105
Menor B	<u>64</u>	1	<u>64</u>
Total	91		394

Aunque los 91 defectos encontrados representan muchos tipos y cuatro clases de seriedad, el total de 394 deméritos, al dividirse entre las 1 200 unidades inspeccionadas, da un solo número, como por ejemplo 0.33 deméritos por unidad.

El número real de deméritos por unidad para el mes actual es frecuentemente comparado con las cifras históricas para observar tendencias. (En ocasiones, se compara con productos de los competidores para juzgar la calidad de la empresa en relación con la calidad del mercado.) Un importante valor de una medición como los deméritos por unidad es que compara las discrepancias encontradas con la oportunidad para discrepancias. Dicho índice resulta eminentemente justo para el personal operativo.

Un marcador de deméritos por unidad no puede ser aceptado universalmente. Los gerentes de algunas industrias quieren un acceso fácil a las cifras sobre defectos críticos y mayores. Estos gerentes consideran que dichas figuras representan los problemas reales, sin importar los deméritos por unidad.

Con frecuencia, es útil sintetizar los resultados del producto en otros lenguajes. Un fabricante de productos de consumo clasifica los defectos en una auditoría como visuales (V), eléctricos (E) y de desempeño (D), y entonces predice los costos de servicio por producto en el campo. Esto se logra estableciendo clases para cada tipo de defecto en términos de probabilidad de recibir una queja de campo (por ejemplo, un defecto visual de clase 2 tiene 60% de probabilidad). Los costos de las llamadas de servicio se combinan entonces con los datos de auditoría. Verbigracia, la tabla 16.6 muestra los resultados de una auditoría de 50 unidades. El costo esperado es producto de la probabilidad, el número de defectos y el costo por llamada de servicio. El costo de servicio esperado por unidad se estima entonces en $\$269/50 = \5.38 . Alternativamente, como se indica en la tabla 16.6,

TABLA 16.6
Datos de auditoría de 50 unidades

Clase de defecto	Probabilidad	Número de defectos revelados por la auditoría	Costo por llamada de servicio, \$	Costos esperados, \$	Número de llamadas de servicio esperadas
V1	1.00	1	15.00	15.00	1.00
V2	0.60	3	15.00	27.00	1.80
E1	1.00	3	30.00	90.00	3.00
E2	0.60	4	30.00	72.00	2.40
P1	1.00	1	25.00	25.00	1.00
P2	0.60	2	25.00	30.00	1.20
P3	0.20	2	25.00	10.00	0.40
Totales				269.00	10.80

el número esperado de llamadas de servicio es producto de la probabilidad y el número de defectos. El número esperado de llamadas de servicio por unidad se estima entonces como $10.8/50 = 0.22$, es decir, se puede esperar que aproximadamente 22 de cada 100 productos entregados al campo tengan llamadas de servicio.

Además de sintetizar los defectos encontrados (tanto en el número como en la seriedad relativa), los resultados de la auditoría pueden ser contados por responsabilidad funcional (por ejemplo, diseño, compras, producción).

Los resultados de auditoría también pueden sintetizarse para mostrar la efectividad de las actividades previas de inspección. Normalmente se usa una proporción simple, tal como el porcentaje de los defectos totales detectados por inspección. Por ejemplo, si la inspección previa reveló un total de 45 defectos en una muestra de N piezas, y si la inspección de auditoría de producto reveló cinco defectos adicionales, la efectividad de la inspección sería de $(45/50)(100)$ o 90 por ciento.

Stravinskias (1989), Lane (1989) y Williams (1989) describen cómo AT&T Microelectronics cambió de un enfoque tradicional de auditoría de reinspección del producto (auditoría de producto) a un enfoque que emplea auditorías de sistema y de procesos combinadas con una cantidad reducida de auditoría de producto. Durante un periodo, los costos de inspección se redujeron en 12 por ciento, y lo economizado se usó entonces para actividades adicionales de prevención, lo cual resultó en un ahorro de \$2 en los costos de fallas por cada \$1 añadido a los costos de prevención.

RESUMEN

- La garantía de calidad es una actividad que consiste en brindar pruebas para establecer la confianza de que se cumplirán los requerimientos de calidad.
- Una auditoría de calidad es una revisión independiente que se conduce para comparar algunos aspectos del desempeño de calidad con el estándar para ese desempeño. Se conducen auditorías de calidad en actividades que tienen un impacto en la calidad del producto.

- Cinco ingredientes son esenciales para una auditoría exitosa: énfasis en los actos, actitud de servicio de parte de los auditores, identificación de las oportunidades de mejora, consignar los problemas de relaciones humanas y competencia de los auditores.
- Las encuestas de calidad brindan una revisión más amplia sobre las actividades de calidad que las auditorías de actividades específicas.
- Una auditoría de producto es una evaluación independiente de la calidad de éste para determinar su aptitud para el uso y su conformidad con las especificaciones.

PROBLEMAS

- 16.1. Visite un establecimiento minorista que venda electrónicos para el consumidor y observe en qué medida los clientes usan su juicio para obtener una garantía de calidad de los productos que compran. Presente un reporte de sus hallazgos.
- 16.2. Visite un edificio de departamentos y discuta con el superintendente los diversos medios que usan para vislumbrar advertencias tempranas de peligros potenciales, como robo o incendio. Presente un reporte de sus hallazgos.
- 16.3. Haga una lista de utensilios que se usan en una casa. Presente un reporte de sus hallazgos.
- 16.4. Usted es un gerente de calidad. En una de las líneas de producto de su empresa, un reporte muestra que se ha incrementado el consumo de energía del nivel usual de 33.5 W hasta uno de 35.9 W. Esta diferencia es, sin lugar a dudas, estadísticamente importante. No obstante, el gerente de línea no ha tomado medidas para investigar la razón del cambio con base en que (1) la producción sigue estando conforme con el límite de la especificación de 36.4 W y (2) él debe dar prioridad a muchos productos más en los que no se está cumpliendo con la especificación. ¿Qué medidas tomaría usted?
- 16.5. Visite alguna sucursal cercana que forme parte de una cadena —un supermercado, restaurante, motel o gasolinera, por ejemplo—. Muy probablemente, encontrará que está sujeta a auditorías de calidad periódicas por parte de sus oficinas centrales. Obtenga una copia de la lista de control del auditor, estúdiela y haga un reporte sobre sus contenidos con respecto a los diversos aspectos de calidad discutidos en este capítulo.
- 16.6. Para cualquier empresa de manufactura a la cual tenga acceso, obtenga una copia de la auditoría de calidad. Estúdiela y haga un reporte sobre su contenido con respecto a los diversos aspectos de calidad discutidos en este capítulo.

REFERENCIAS

- ANSI/ASQC 110011-1,2,3 (1994). *Guidelines for Quality Auditing Quality Systems*, ASQ, Milwaukee.
- Bucella, J. E. (1998). "Auditing—A New View", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 98-102.
- División de Auditoría de Calidad de la ASQ (2000). *The Quality Audit Handbook*, 2a. ed., ASQ, Milwaukee.

- Frank, N. C. y J. V. Voigt (1998). "Technical Auditors—A Positive Response for Auditing", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 94-97.
- Hunt, J. R. (1997). "The Quality Auditor: Helping Beans Take Root", *Quality Progress*, diciembre, pp. 27-33.
- Lane, P. A. (1989). "Continuous Improvement—AT&T QA Audits", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 772-775.
- Layloff, G. A. (2000). "The Quality System Inspection Technique", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 266-267.
- Malsbury, J. A. (1999). "Audits that Make a Difference", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 559-563.
- Regel, T. (2000). "Management Audit and Compliance Audit Compatibility", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, pp. 606-609.
- Russell, J. P. y T. Regel (1996). *After the Quality Audit: Closing the Loop on the Audit Process*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.
- Stravinskis, J. M. (1989). "Manufacturing System and Process Audits", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 91-94.
- Williams, C. A. (1989). "Improving your Quality Auditing Systems", *ASQC Quality Congress Transactions*, Milwaukee, pp. 797-799.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Auditoría de calidad: *JQH5*, pp. 22.60-22.62, pp. 27.35-27.36, pp. 29.18-29.19.
- Garantía de calidad: *JQH5*, pp. 2.13-2.15.
- ISO 9000: *JQH5*, sección 11.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Johnson, G. L. (2002). "ISO 19011:2002: A New Auditing Standard for QMS and EMS", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 783-789.	Auditoría de sistemas de administración ambiental reemplazando a seis estándares previos.
Liebesman, S. (2002). "New Methodology for Value Added Auditing", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 235-243.	Uso de ocho principios de administración de calidad en auditoría de ISO 9001:2000 y TL 9000.
Lowe, J. E. y R. Huber (2001). "Quality Audit Tool—Development, Advantages and Uses", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 392-405.	Calificación de nivel 5 del Instituto de Ingeniería de Software (SEI, por sus siglas en inglés) en Litton (un proveedor de sistemas TI y servicios de software).
Marguglio, B. W. (2002). "Evaluating the Effectiveness of Environmental Quality Audit", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 213-220.	Descripción de los indicadores de desempeño para evaluar el nivel de efectividad de un proceso de auditoría interna de calidad ambiental.

Citas

Moreau, N. P. (2002). "Auditing Software—Overcoming the Fear", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 203-211.

Russell, J. P. (2000). "Auditing for Prophet or Profit", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 610-612.

Resumen

Auditoría. Temor de que el software sea difícil de entender y auditar; análisis de asuntos y métodos para superarlo. Audiencia de los responsables de las auditorías internas.

Hacer de la auditoría una actividad de valor agregado.

SITIOS WEB

Sociedad Estadounidense para la Calidad, División de Auditoría de Calidad: www.asq.org/gad

CONCEPTOS BÁSICOS DE ESTADÍSTICA Y PROBABILIDAD

17.1 HERRAMIENTAS DE ESTADÍSTICA EN CALIDAD

La *estadística* es la metodología empleada para la recopilación, organización, análisis, interpretación y presentación de datos. La *probabilidad* es una medida que describe la posibilidad de que ocurra algo. Los profesionales experimentados nos recuerdan que los datos deben ser significativos, no sólo fáciles de recopilar.

Desde el inicio del movimiento por la calidad, los profesionales han debatido la importancia relativa de los métodos estadísticos en relación con los métodos administrativos para alcanzar la excelencia en la calidad. Para un intercambio de puntos de vista, véanse Gunter (1998) y las cartas subsecuentes al editor.

El autor de este libro considera el conocimiento necesario para la calidad de la siguiente manera: saber los métodos estadísticos es necesario pero no suficiente; conocer los métodos administrativos es necesario pero insuficiente. La integración de estas fuentes de conocimiento es la clave.

El cuerpo del conocimiento de los métodos estadísticos es una herramienta esencial para el enfoque moderno hacia la calidad. Sin la estadística, el hecho de sacar conclusiones de los datos se convierte en afortunado en el mejor de los casos y desastroso en otros.

17.2 EL CONCEPTO DE VARIACIÓN ESTADÍSTICA

El concepto de *variación* establece que no hay dos artículos que puedan ser perfectamente idénticos. La variación es un hecho de la naturaleza y también de la vida industrial. Por ejemplo, incluso los gemelos “idénticos” varían ligeramente en estatura y peso al momento del nacimiento.

Las dimensiones de un chip integrado a gran escala varían de uno a otro; las latas de sopa de tomate varían ligeramente de una lata a otra; el tiempo que se requiere para designar asiento en un mostrador de documentación de una aerolínea varía de un pasajero a otro. Ignorar la existencia de la variación (o racionalizar erróneamente que es pequeña) puede llevar a decisiones incorrectas sobre problemas mayores. Las estadísticas ayudan a analizar los datos adecuadamente y sacar conclusiones, tomando en cuenta la existencia de la variación.

La *variación estadística* —variación debida a causas aleatorias— es mucho mayor de lo que la mayoría de la gente piensa. Con frecuencia decidimos qué acción emprender con base en el punto más reciente, y olvidamos que el punto es parte de una historia de datos. Malcom Roberts dijo una vez: “Muchos administradores dirigen sus sistemas a partir del último punto”.

La síntesis de los datos puede adoptar diversas formas: tabular, gráfica y numérica. Algunas veces una forma brinda una síntesis útil y completa. En otras ocasiones, se requieren dos o hasta tres formas para una completa claridad.

17.3

SÍNTESIS TABULAR DE DATOS: DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA

Una *distribución de frecuencia* es una tabulación de datos ordenados de acuerdo con su tamaño. La tabla 17.1 muestra los datos en bruto de la resistencia eléctrica de 100 bobinas. La tabla 17.2 muestra la distribución de frecuencia de dichos datos con todas las mediciones tabuladas en su valor real. Por ejemplo, había 14 bobinas y cada una tenía una resistencia de 3.35 ohms (Ω), y 5 bobinas con una resistencia de 3.30 Ω cada una. La distribución de frecuencia refleja dónde están agrupados la mayoría de los datos (que están centrados alrededor de una resistencia de 3.35) y cuánta variación hay en ellos (la resistencia va desde 3.27 hasta 3.44 Ω). La tabla 17.2 muestra la distribución de frecuencia convencional y la acumulativa, en la que los valores de frecuencia se acumulan para mostrar el número de bobinas con resistencia igual o menor que un valor específico. El problema particular determina si se requiere una distribución convencional, una acumulativa o ambas.

TABLA 17.1
Resistencias de 100 bobinas, Ω

3.37	3.34	3.38	3.32	3.33	3.28	3.34	3.31	3.33	3.34
3.29	3.36	3.30	3.31	3.33	3.34	3.34	3.36	3.39	3.34
3.35	3.36	3.30	3.32	3.33	3.35	3.35	3.34	3.32	3.38
3.32	3.37	3.34	3.38	3.36	3.37	3.36	3.31	3.33	3.30
3.35	3.33	3.38	3.37	3.44	3.32	3.36	3.32	3.29	3.35
3.38	3.39	3.34	3.32	3.30	3.39	3.36	3.40	3.32	3.33
3.29	3.41	3.27	3.36	3.41	3.37	3.36	3.37	3.33	3.36
3.31	3.33	3.35	3.34	3.35	3.34	3.31	3.36	3.37	3.35
3.40	3.35	3.37	3.35	3.32	3.36	3.38	3.35	3.31	3.34
3.35	3.36	3.39	3.31	3.31	3.30	3.35	3.33	3.35	3.31

TABLA 17.2
Conteo de valores de resistencia de 100 bobinas

Resistencia, Ω	Tabulación	Frecuencia	Frecuencia acumulativa
3.45			
3.44		1	1
3.43			
3.42			
3.41		2	3
3.40		2	5
3.39		4	9
3.38		6	15
3.37		8	23
3.36		13	36
3.35		14	50
3.34		12	62
3.33		10	72
3.32		9	81
3.31		9	90
3.30		5	95
3.29		3	98
3.28		1	99
3.27		1	100
3.26			
Total		100	

TABLA 17.3
Frecuencia de valores de resistencia

Resistencia, Ω	Frecuencia
3.415-3.445	1
3.385-3.415	8
3.355-3.385	27
3.325-3.355	36
3.295-3.325	23
3.265-3.295	5
Total	100

Cuando hay un gran número de datos altamente variables, la distribución de frecuencia puede volverse demasiado grande para servir como síntesis de los datos originales. Los datos pueden agruparse en *celdas* para brindar una mejor síntesis. La tabla 17.3 muestra la distribución de frecuencia para estos datos agrupados en seis celdas, cada una con 0.03Ω de amplitud. Agrupar los datos en celdas condensa los datos originales, y por lo tanto se pierden algunos detalles.

El siguiente es un procedimiento común para construir una distribución de frecuencia:

1. Decidir el número de celdas. La tabla 17.4 puede constituir una guía.
2. Calcular el intervalo aproximado de celda i . El intervalo de celda es igual a la observación más grande menos la más pequeña dividido entre el número de celdas. Se redondea este resultado

TABLA 17.4
Número de celdas en
la distribución de frecuencia

Número de observaciones	Número de celdas recomendado
20-50	6
51-100	7
101-200	8
201-500	9
501-1 000	10
Mayor a 1 000	11-20

hasta un número conveniente (de preferencia el número *desigual* más cercano con el mismo número de dígitos significativos como datos reales).

3. Construir las celdas listando sus límites.
 - a) Cada límite de celda debe ser para un dígito más significativo que el dato real y debe terminar en un 5.
 - b) El intervalo de la celda debe ser constante a través de toda la distribución de frecuencia.
4. Contar cada observación en la celda apropiada y entonces listar la frecuencia total f para cada celda.

Este procedimiento debe ajustarse, cuando sea necesario, para brindar una síntesis clara de los datos y revelar el patrón subyacente de variación.

17.4 SÍNTESIS GRÁFICA DE DATOS: EL HISTOGRAMA

Un *histograma* es un diagrama de barras verticales para una distribución de frecuencia. La figura 17.1 muestra el histograma para los datos de resistencia eléctrica. Cabe destacar que como en la distribución de frecuencia, el histograma señala el centro y la cantidad de variación en la muestra de datos. La simplicidad de la construcción e interpretación del histograma lo hace una herramienta efectiva en el análisis elemental de los datos.

Los métodos gráficos son esenciales para el análisis efectivo de datos y la clara presentación de resultados. Muchos de estos métodos se usan a lo largo del libro. Hay más disponibles. Los profesionales experimentados están fascinados con las herramientas gráficas, con justa razón. La vivacidad de la imagen comparada con la fría lógica de los números tiene beneficios prácticos, como identificar relaciones sutiles y presentar los resultados de forma clara. La experiencia dicta que el primer paso en el análisis de datos es diagramarlos.

Una variación innovadora del histograma es el diagrama de tallo y hoja. Heyes (1985) presenta datos sobre la fuerza en gramos del rompimiento de alambre (véase tabla 17.5) para el proveedor A. El diagrama correspondiente de tallo y hoja se muestra en la figura 17.2. Cabe destacar que el tallo es el primer dígito de cada valor y la hoja son los dígitos restantes, es decir, para un valor de 216, el tallo es 2 y la hoja es 16. Este diagrama revela la forma del histograma y también hace posible recuperar los valores originales de los datos.

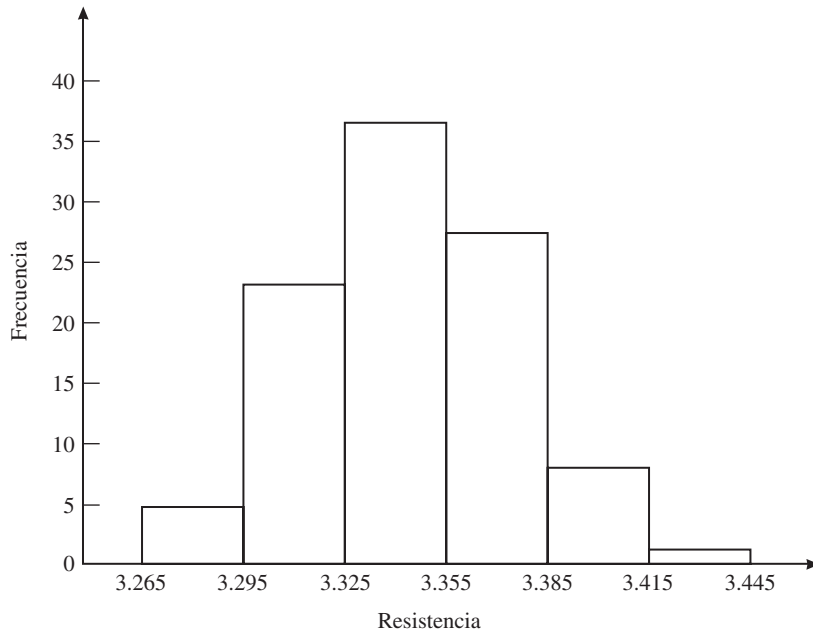


FIGURA 17.1
Histograma de resistencia

TABLA 17.5
Datos originales sobre la fuerza del rompimiento de alambre

1. 346	6. 402	11. 368
2. 338	7. 635	12. 376
3. 323	8. 281	13. 311
4. 438	9. 431	14. 379
5. 398	10. 390	15. 216

Tallo	Hoja
2	16, 81
3	11, 23, 38, 46, 68, 76, 79, 90, 98
4	02, 31, 38
5	—
6	35

FIGURA 17.2
Diagrama de tallo y hoja. (De Heyes, 1985.)

17.5 DIAGRAMAS DE CAJA Y BIGOTES

Una manera simple, clara y efectiva de sintetizar datos es un diagrama de caja y bigotes (comúnmente llamado un “boxplot”). El *boxplot* es una síntesis gráfica de datos de cinco números. En el *boxplot* básico (o “esquelético”), los cinco valores son la mediana, el valor máximo, el valor mínimo, el primer cuartil y el tercer cuartil. Los cuartiles son los valores por debajo de los cuales se encuentran las observaciones de un cuarto y tres cuartos.

Al usar los datos de fuerza del rompimiento de alambre, los datos se ordenan primeramente en orden de rango (véase la tabla 17.6). La mediana es el valor de en medio (el octavo rango, o 376). Los valores extremos son 216 y 635. Los cuartiles son 323 y 402, ya que estos valores dividen los datos en cuartos. La figura 17.3 muestra el *boxplot* que resulta. La caja, limitada por dos cuartiles con la mediana a su interior, sintetiza la parte media de los datos. Las líneas que se extienden hacia fuera de los valores extremos son los “bigotes”. El bigote más largo del lado derecho sugiere que los datos incluyen algunos valores que son mucho más grandes que otros. También, la ubicación de la mediana indica que los valores por encima de ella están, como grupo, más cerca de la mediana que los valores por debajo de la media.

Los métodos innovadores de análisis gráfico y presentación de datos se discuten en un texto que se ha convertido en un clásico escrito por Tukey (1977). Una excelente síntesis de los métodos gráficos, incluyendo el *boxplot*, se presenta en Wadsworth *et al.* (2001).

En otro ejemplo, una gran organización de servicios tuvo un problema de poca confiabilidad en las fotocopiadoras. Las máquinas eran reparadas por dos compañías diferentes (A y B). Un equipo de mejora llevó a cabo un estudio para determinar qué contratista ofrecía la respuesta más rápida y consistente a las llamadas de reparación. El tiempo de respuesta, en minutos, se registró para una

TABLA 17.6
Datos ordenados sobre la fuerza
del rompimiento de alambre

1. 216	6. 346	11. 398
2. 281	7. 368	12. 402
3. 311	8. 376	13. 431
4. 323	9. 379	14. 438
5. 338	10. 390	15. 635

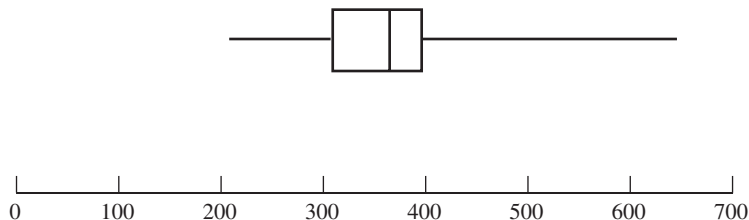
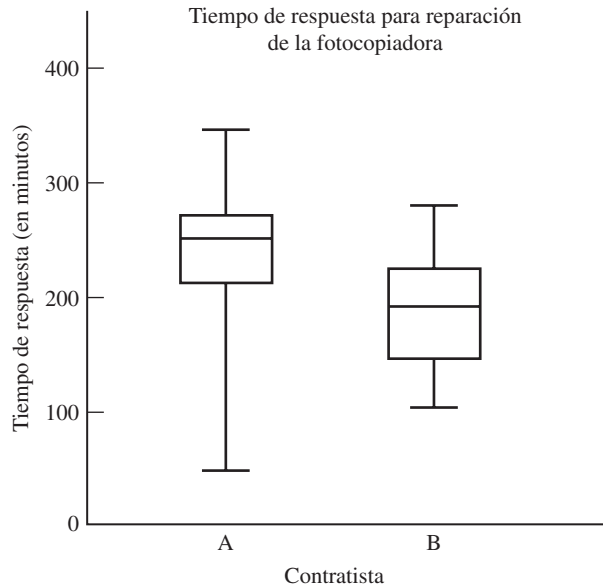


FIGURA 17.3
Boxplot. (De Heyes, 1985.)

**FIGURA 17.4**

Boxplots básicos de tiempo de respuesta para la reparación de una fotocopiadora.
(Fuente: Juran Institute, Inc.)

muestra de diez llamadas de reparación por cada contratista. Los *boxplots* resultantes se muestran en la figura 17.4. El equipo concluyó que el contratista B era superior porque fue normalmente más rápido y más consistente que A.

17.6

SÍNTESIS GRÁFICA DE DATOS ORIENTADOS POR EL TIEMPO: GRÁFICA DE COMPORTAMIENTO

El histograma es una manera simple y efectiva de sintetizar los datos de acuerdo con su tamaño. Pero olvida el tiempo, una dimensión de datos que con frecuencia es importante. La gráfica de comportamiento es una gráfica de datos en relación con el tiempo. Dichas gráficas pueden revelar tendencias, ciclos y otros cambios a lo largo del tiempo. Se presenta un ejemplo en la figura 17.5.

En el capítulo 20, “Control estadístico del proceso”, se presentan diagramas más robustos sobre datos en relación con el tiempo.

Los lectores deben ser cuidadosos al emplear ciertos métodos gráficos populares del proceso. Algunos de ellos (como las gráficas de barras tridimensionales) sacrifican la claridad por la ostentación. Un excelente resumen de los métodos gráficos para la calidad se presenta en Wadsworth *et al.* (2000). Harris (1996) provee amplias referencias sobre “gráficas de información”. Para ideas inusualmente creativas sobre la presentación de todo tipo de información, véase Tufte (1997).

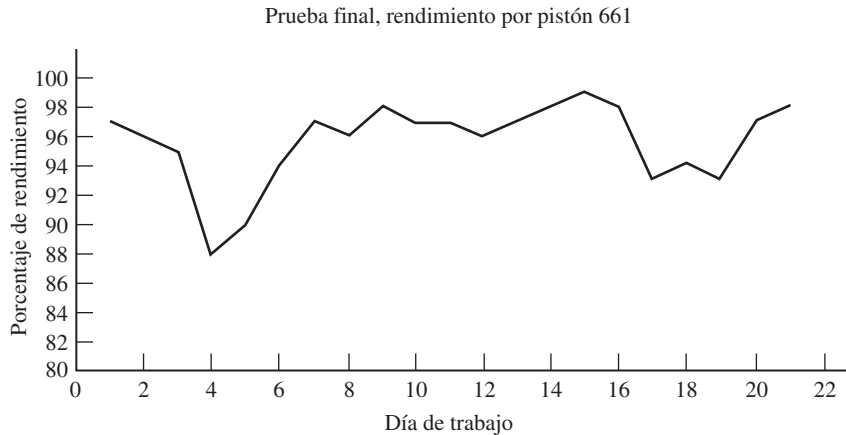


FIGURA 17.5
Gráfica de comportamiento. (Fuente: Juran Institute, Inc.)

17.7 MÉTODOS PARA RESUMIR DATOS: NUMÉRICOS

Los datos también pueden resumirse calculando: (1) una medida de la tendencia central para indicar dónde están centrados la mayoría de ellos y (2) la medida de dispersión para indicar la cantidad de datos dispersos. Con frecuencia estas dos medidas ofrecen un resumen adecuado.

La medida clave de la tendencia central es la *media aritmética*, o promedio. La definición de *promedio* es:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

donde \bar{X} = mediana de la muestra
 X_i = observaciones individuales
 n = número de observaciones

$$\sum_{i=1}^n X_i = \text{suma de } X_i$$

Otra medida de la tendencia central es la *mediana*: el valor medio cuando los datos se ordenan de acuerdo con su tamaño. La mediana es útil para reducir los efectos de los valores extremos o para los datos que pueden clasificarse pero que no son fáciles de medir, tales como el color o la apariencia visual.

Es común que se calculen dos medidas de dispersión. Cuando la cantidad de datos es pequeña (diez observaciones o menos), el rango es útil. El *rango* es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de los datos. Tomando en cuenta que el rango se basa sólo en dos valores, no es tan útil cuando el número de observaciones es grande.

En general, la *desviación estándar* es la medida más útil de dispersión. Como la media, la definición de desviación estándar es una fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

donde s es la muestra de la desviación estándar. El cuadrado de la desviación estándar, s^2 , se llama *varianza*.

La desviación estándar es la raíz cuadrada del promedio de desviaciones cuadradas de las observaciones a partir de su mediana. Normalmente existe cierta dificultad para entender el “significado” de desviación estándar. La única definición es una fórmula. No hay ningún significado oculto para la desviación estándar, y se considera mejor como un índice que muestra la cantidad de variación en una serie de datos. Posteriormente, las aplicaciones de la desviación estándar en las predicciones ayudarán a aclarar su significado.

Una técnica útil es calcular una medida relativa de variación como una desviación estándar dividida entre la mediana (el coeficiente de variación).

Un problema que surge en ocasiones en el resumen de datos es que uno o más valores extremos estén lejos del resto de los datos. Una simple (aunque no necesariamente correcta) solución está disponible: bajar dichos valores. La razón es que un error de medición o algún otro factor desconocido hace que los valores no sean “representativos”. Desafortunadamente, este enfoque puede ser racionalizar para eliminar un problema molesto del análisis de datos. La decisión de mantener o descartar los valores extremos depende del investigador. Sin embargo, hay pruebas estadísticas que ayudan a tomar esta decisión (véase *JQH5*, sección 44).

17.8

DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD: GENERAL

Se hace una distinción entre muestra y población. Una *muestra* es un número limitado de artículos tomados de una fuente más grande. Una *población* es una fuente grande de artículos de donde se toma una muestra. Se miden los artículos. Se toman medidas de una muestra y se le calcula una estadística, como, por ejemplo, la mediana. Una *estadística* es una cantidad calculada a partir de una muestra para estimar el parámetro de una población. Se asume normalmente que la muestra es aleatoria, es decir, cada muestra posible de n artículos tiene una oportunidad igual de ser seleccionada (o los artículos se seleccionan sistemáticamente a partir de material que también está al azar debido a las mezclas durante el proceso).

Una *función de distribución de probabilidad* es una fórmula matemática que relaciona los valores de una característica con su probabilidad de ocurrencia en la *población*. La recopilación de esta probabilidad recibe el nombre de distribución de probabilidades. La mediana (μ) de una distribución de probabilidad se llama frecuentemente valor esperado. Algunas distribuciones y sus funciones se resumen en la figura 17.6. Las distribuciones son de dos tipos:

1. *Continua* (para datos “variables”). Cuando las características que están siendo medidas pueden tomar cualquier valor (sujeto a la sutileza del proceso de medición), su distribución de probabi-

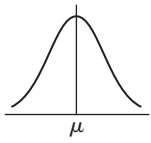
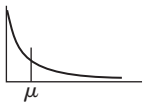
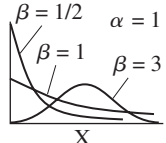
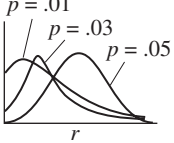
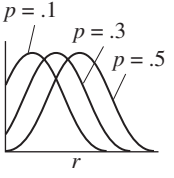
Distribución	Forma	Función de probabilidad	Comentarios sobre la aplicación
Normal		$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ $\mu = \text{Mediana}$ $\sigma = \text{Desviación estándar}$	Aplicable cuando hay una concentración de observaciones acerca del promedio y es igualmente probable que las observaciones ocurran por encima o por debajo del promedio. La variación en las observaciones normalmente es resultado de muchas pequeñas causas.
Exponencial		$y = \frac{1}{\mu} e^{-\frac{x}{\mu}}$	Aplicable cuando es probable que más observaciones ocurran por debajo del promedio que por arriba.
Weibull		$y = \alpha\beta(X - \gamma)^{\beta-1} e^{-\alpha(X-\gamma)^\beta}$ $\alpha = \text{Parámetro de escala}$ $\beta = \text{Parámetro de forma}$ $\gamma = \text{Parámetro de ubicación}$	Aplicable al describir una amplia variedad de patrones en variación, incluyendo desviaciones de la normal y exponencial.
Poisson*		$y = \frac{(np)^r e^{-np}}{r!}$ $n = \text{Número de pruebas}$ $r = \text{Número de ocurrencias}$ $p = \text{Probabilidad de ocurrencia}$	Igual que la binomial, mas particularmente aplicable cuando hay muchas oportunidades de ocurrencia de un evento pero una baja probabilidad (menos de .10) en cada intento.
Binomial*		$y = \frac{n!}{r!(n-r)!} p^r q^{n-r}$ $n = \text{Número de pruebas}$ $r = \text{Número de ocurrencias}$ $p = \text{Probabilidad de ocurrencia}$ $q = 1 - p$	Aplicable al definir la probabilidad de r ocurrencias en n intentos de un evento que tiene una probabilidad constante de ocurrencia en cada intento independiente.

FIGURA 17.6

Síntesis de las distribuciones comunes de probabilidad. (Los asteriscos indican que éstas son distribuciones discretas, pero las curvas se muestran como continuas para una fácil comparación con las distribuciones continuas. Estrictamente, los diagramas reales son discretos, no continuos.)

lidad se llama “distribución de probabilidad continua”. Por ejemplo, la distribución de probabilidad de los datos de resistencia de la tabla 17.1 es un ejemplo de una distribución de probabilidad continua, ya que la resistencia podría tener cualquier valor, limitado sólo por la adecuación del instrumento de medición. La mayoría de las características continuas siguen una de varias distribuciones comunes de probabilidad: la distribución normal, la distribución exponencial y la distribución Weibull. Estas distribuciones encuentran las probabilidades asociadas con la ocurrencia de los *valores reales* de una característica. Otras distribuciones continuas (como t , F

y chi cuadrada) son importantes en el análisis de datos, pero no ayudan a predecir directamente la probabilidad de ocurrencia de los valores reales.

2. *Discreta* (para datos de “atributos”). Cuando las características que están siendo medidas pueden tomar sólo ciertos valores específicos (como los números enteros 0, 1, 2, 3), su distribución de probabilidad se llama “distribución de probabilidad discreta”. Por ejemplo, la distribución del número de defectos r en una muestra de cinco artículos es una distribución de probabilidad discreta porque r sólo puede ser 0, 1, 2, 3, 4 o 5. Las distribuciones comunes discretas son la Poisson y la binomial (véase la figura 17.6).

Los siguientes párrafos explican cómo se pueden usar las distribuciones de probabilidad con una muestra de observaciones para hacer predicciones sobre una población más grande. Dichas predicciones asumen que los datos vienen de un proceso que es estable a través del tiempo, el cual no siempre es el caso. Diagramar los puntos de los datos en orden de producción provee una prueba de estabilidad; diagramar los datos en un diagrama de control estadístico provee una prueba rigurosa (véase el capítulo 20, “Control de proceso estadístico”).

17.9 LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD NORMAL

Es posible aproximarse a muchas características de ingeniería mediante la *función de densidad normal*:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}$$

donde $e = 2.718$ (aproximado)

$\pi = 3.141$ (aprox.)

μ = mediana de la población

σ = desviación estándar de la población

Los problemas se resuelven con una tabla, pero hay que destacar que la distribución requiere sólo el promedio μ y la desviación estándar de la población σ .¹ La curva para la distribución de probabilidad normal está relacionada con una distribución de frecuencia y su histograma. Conforme la muestra se va haciendo más y más grande, y la anchura de cada celda se vuelve más y más pequeño, el histograma se acerca a una curva suave. Si se midiera la población entera y si estuviera distribuida normalmente, el resultado sería el que aparece en la figura 17.6. Así, la *forma* de un histograma de una muestra de datos proporciona ciertos indicios sobre la distribución de probabilidad de la población. Si el histograma se asemeja² a la forma de una “campana” como la de la figura 17.6, ésta es una base para asumir que la población sigue una distribución de probabilidad normal.

¹ A menos que se indique de otra manera, los símbolos griegos serán usados para valores de población y los romanos para valores de muestra.

² El histograma de muestra no necesita verse como si viniera de una población normal. La suposición de la normalidad se aplica sólo a la población. Se esperan pequeñas desviaciones de la normalidad en las muestras aleatorias.

Usar la distribución de probabilidad normal para predicciones

Las predicciones requieren sólo dos estimaciones y una tabla. Las estimaciones son:

Estimación de μ es \bar{X}

Estimación de σ es s

Algunas veces se usa $\hat{\sigma}$ para denotar la estimación de σ . Los cálculos de la muestra \bar{X} y s se hacen mediante los métodos previamente discutidos.

Por ejemplo, a partir de experiencias pasadas, un fabricante llegó a la conclusión de que el tiempo de vida de una bombilla eléctrica sigue una distribución normal. Una muestra de 50 focos se puso a prueba, y el promedio de vida fue de 60 días, con una desviación estándar de 20 días. ¿Cuántas bombillas de la población entera de focos se puede esperar que sigan trabajando después de 100 días de vida?

El problema es encontrar un área debajo de la curva que vaya más allá de 100 días (véase la figura 17.7). El área debajo de una curva de distribución entre dos límites establecidos representa la probabilidad de que esto ocurra. Por lo tanto, el área debajo de 100 días es la probabilidad de que un foco dure más de 100 días. Para encontrar el área, calcule la diferencia Z entre un valor particular y el promedio de la curva en unidades de desviación estándar:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

En este problema $Z = (100 - 60) \div 20 = +2.0$. La tabla A del apéndice II muestra la probabilidad de .9773 para $Z = 2$. Las tablas de distribución estadística presentan las probabilidades que cubren el espacio hasta $-\infty$, e incluyendo el valor de Z incluido en la fórmula (como problemas acumulativos). Así, .9773 es la probabilidad de que un foco dure 100 días o menos. La curva normal es simétrica respecto al promedio y el área total es 1.000. La probabilidad entonces de que un foco dure más de 100 días es de $1.0000 - .9773$, o 0.227, o 22.7 por ciento de los focos de la población seguirán trabajando después de 100 días.

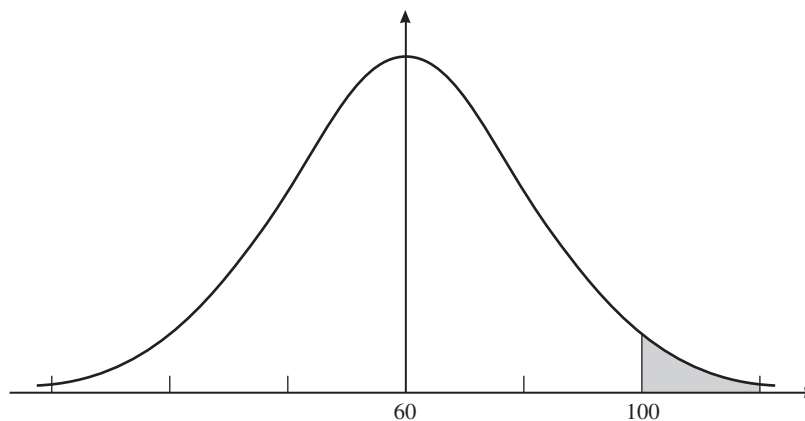


FIGURA 17.7
Distribución de la vida de un foco

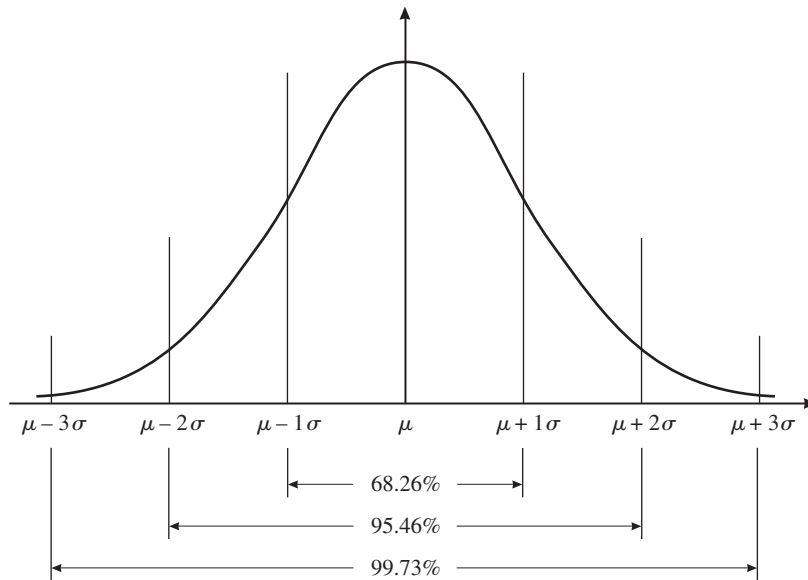


FIGURA 17.8
Áreas de la curva normal (derivada del apéndice II, tabla A)

De forma similar, si una característica se distribuye normalmente y se obtienen las estimaciones del promedio y la desviación estándar de la población, este método puede estimar el porcentaje total de producción que caerá dentro de los límites de las especificaciones de ingeniería.

La figura 17.8 muestra las áreas representativas debajo de la curva de distribución normal. Así, 68.26 por ciento de la *población* caerá entre el promedio de la población más o menos 1 desviación estándar de la población, 95.46 por ciento de la población caerá dentro del promedio y $\pm 2\sigma$, y por último, $\pm 3\sigma$ incluirá a 99.73 por ciento de la población. El porcentaje de una *muestra* dentro de un juego de límites puede ser bastante diferente al porcentaje dentro de los límites en la población.

17.10 EL ANÁLISIS DE LA CURVA NORMAL Y EL HISTOGRAMA

Debido a que muchos procesos arrojan resultados que siguen razonablemente una distribución normal, podemos combinar el concepto de histograma y el de curva normal para producir una herramienta de trabajo práctico conocida como *análisis de histograma*.

Se selecciona una muestra aleatoria del proceso y se toman medidas para las características de calidad seleccionadas. Se prepara un histograma y se añaden los límites de la especificación. El conocimiento del proceso de manufactura se combina entonces con los indicios que brinda el histograma para sacar conclusiones respecto a la capacidad del proceso para cumplir las especificaciones.

La figura 17.9 muestra 16 histogramas típicos. Los lectores podrían interpretar cada una de estas imágenes haciéndose dos preguntas:

1. ¿Puede el proceso cumplir con los límites de la especificación (capacidad del proceso)?
2. ¿Qué acción del proceso, si la hay, es apropiada?

Estas cuestiones se pueden contestar analizando las siguientes características:

1. *El centro del histograma.* Define el objetivo del proceso.
2. *El ancho del histograma.* Define la variabilidad respecto al objetivo.
3. *La forma del histograma.* Cuando se espera una curva normal o con forma de campana, entonces cualquier desviación significativa u otra aberración se debe usualmente a una condición de manufactura (u otra) que pueda ser la raíz del problema de calidad. Por ejemplo, los histogramas con dos o más picos pueden revelar que diversas “poblaciones” han sido mezcladas.

Hay que destacar que para la calidad six sigma necesitamos un proceso: (1) centrado entre los límites, (2) con una variación pequeña para que cada límite esté a seis desviaciones estándar y (3) distribuido de manera normal. Para más detalles, véase el capítulo 20.

Un ejemplo de histograma de una industria de servicio se presenta en la figura 17.10. Los datos fueron recopilados con cuatro cajeros de banco al momento en que llevaban a cabo una transacción durante el ocupado periodo de la hora de la comida. Hay que ver la similitud del histograma con el de la figura 17.9g. Los dos picos sugieren una combinación de dos distribuciones de forma de pera, lo cual a su vez sugiere dos procesos de trabajo diferentes. Incluso cuando se diagramaron dos histogramas separados por cajero dieron como resultado los mismos histogramas de doble pico. Entonces se examinaron los tipos de transacciones. Desarrollar histogramas por tipo de transacción reveló la razón de los histogramas de doble pico. Las transacciones simples como retiros y depósitos dieron como resultado tiempos más largos de transacción. Originalmente, la administración creyó que dos cajeros sin experiencia eran la razón de los retrasos en el servicio a los clientes. El análisis de histograma reveló como las verdaderas causas los pasos extra requeridos para transacciones complejas.

Los histogramas ilustran cómo los datos variables (o continuos) brindan mucha más información que los de atributos (o categóricos). Por ejemplo, las figuras 17.9b, d, g e i advierten de problemas potenciales, aunque todas las unidades de la muestra están dentro de los límites de la especificación. Con la medición de atributos, todas las unidades simplemente se clasificarán como aceptables y el reporte de la inspección dirá “50 inspeccionadas, 0 defectuosas” —por lo tanto, no hay problema—. Un cliente tuvo una experiencia dramática basada en un lote que arrojó un histograma de muestra similar a la figura 17.9i. Aunque la muestra indicaba que el lote cumplía con los requerimientos de calidad, el cliente se dio cuenta de que el proveedor debía haber producido muchos desechos y los había revisado antes de la entrega. Un cálculo aproximado indicó que la producción total debía tener cerca de 25 por ciento de defectos. El histograma permitió al cliente deducir esto *sin haber estado nunca dentro de la planta del proveedor*. Hay que notar cómo el “producto habla del proceso”. Como el cliente terminaría pagando por estos desechos (en el precio de venta), quiso que se corrigiera la situación. Se contactó al proveedor y se ofreció asesoría de manera constructiva.

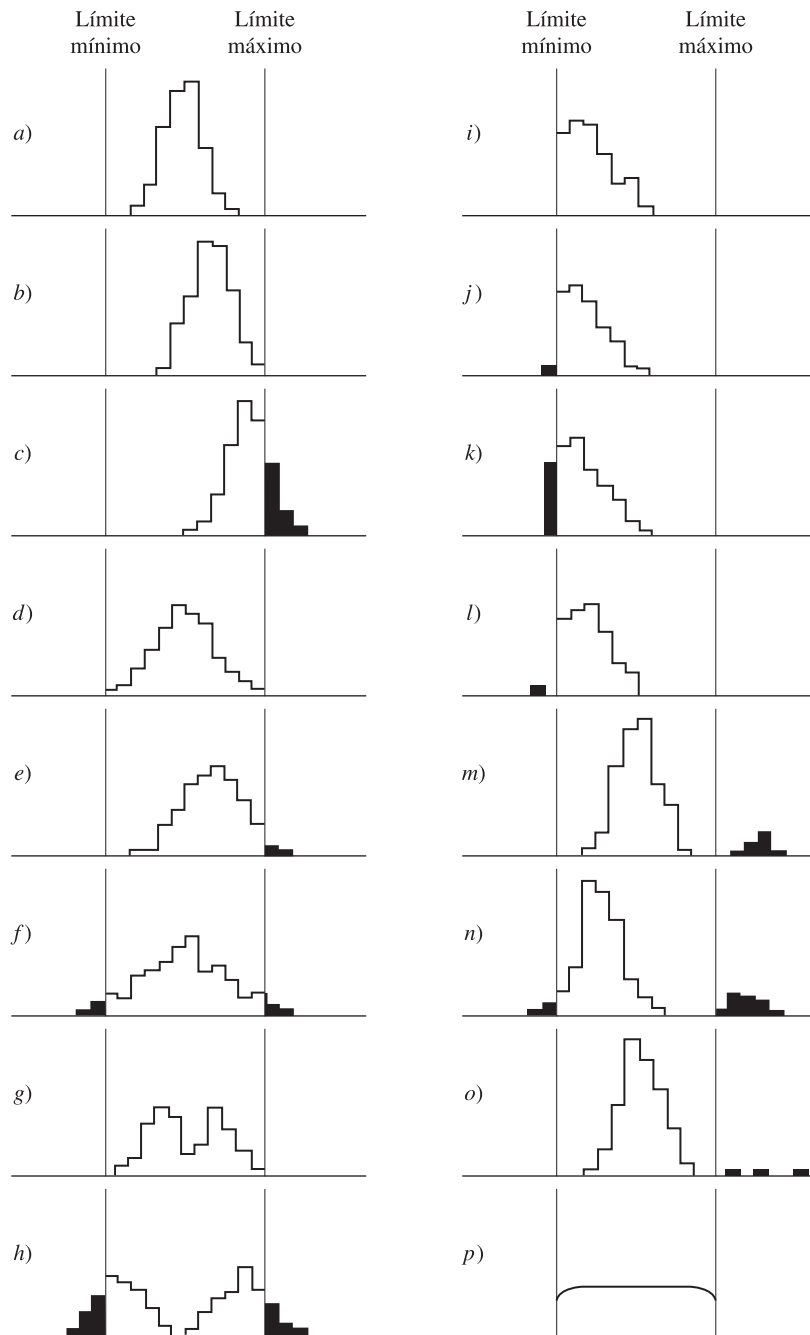
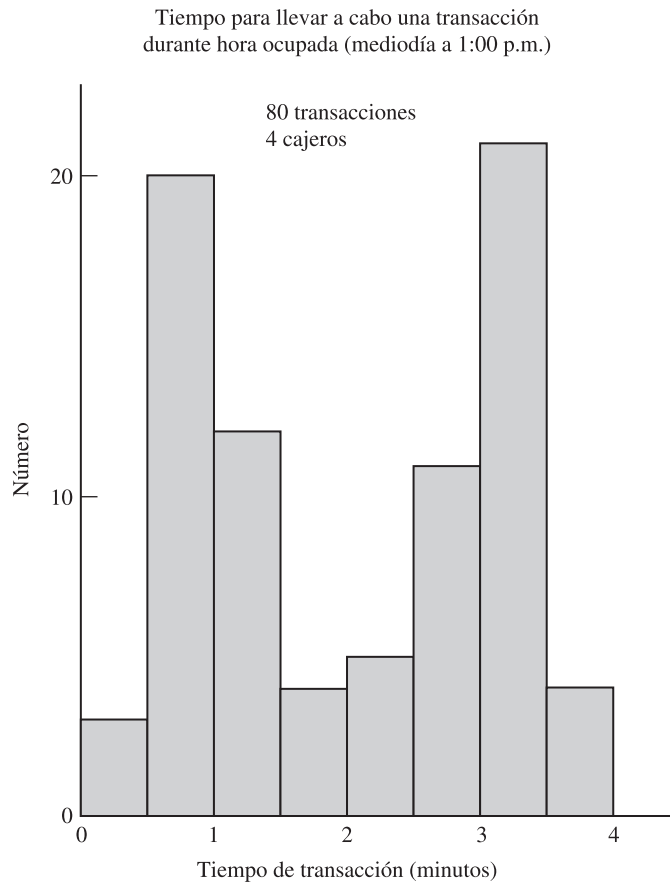


FIGURA 17.9
 Patrones de distribución relacionados con tolerancias.
 (Adaptado de Armstrong y Clarke, 1946.)

**FIGURA 17.10**

Histograma de tiempos de transacción de un cajero de banco. (*Juran Institute, Inc.*)

Como regla general, se necesitan al menos 50 mediciones para que un histograma revele el patrón básico de variación. Los histogramas basados en muy pocas mediciones pueden llevar a conclusiones erróneas debido a que su forma puede estar incompleta sin que el observador se dé cuenta. Hay que destacar que la discusión aquí se basa en la presunción de normalidad.

Los histogramas tienen limitaciones. Debido a que se toman muestras al azar en lugar de en el orden de manufactura, se desconoce la tendencia del proceso en el tiempo durante la manufactura. Por lo tanto la aparente tendencia central de un histograma puede ser ilusoria, y el proceso puede haberse desviado sustancialmente. De igual manera, el histograma no indica si el proceso del proveedor está operando en su mejor nivel, por ejemplo, si estaba en un estado de control estadístico (véase el capítulo 20).

Pese a estos inconvenientes, el histograma es una herramienta analítica efectiva. La clave de su utilidad es la simplicidad. Habla un lenguaje que todos entienden: comparación de las mediciones de un producto contra los límites de las especificaciones. Para sacar conclusiones útiles de esta

comparación se requiere poca experiencia en la interpretación de distribuciones de frecuencia y ninguna capacitación formal en estadística. La experiencia pronto se extiende para incluir aplicaciones en desarrollo, manufactura, relaciones con proveedores y datos de campo.

17.11 LA DISTRIBUCIÓN DE LA PROBABILIDAD EXPONENCIAL

La *función de la probabilidad exponencial* es

$$y = \frac{1}{\mu} e^{-x/\mu} \quad (x > 0)$$

La figura 17.6 muestra la forma de una curva de distribución exponencial. Debe destacarse que las distribuciones normal y exponencial tienen formas distintas. Un examen de las tablas de áreas muestra que 50 por ciento de la población normalmente distribuida ocurre por encima del valor promedio y 50 por ciento por debajo. En una población exponencial, 36.8 por ciento se encuentra por encima del promedio y 63.2 por ciento por debajo. Esto refuta la idea intuitiva de que la media siempre está asociada con una probabilidad de 50 por ciento. La curva exponencial describe el patrón de carga para algunos miembros estructurales, ya que las cargas más pequeñas son más numerosas que las más grandes. La curva exponencial también sirve para describir la distribución de los tiempos de falla en los equipos complejos. Cabe destacar la forma de salto de *ski* de esta curva.

Una propiedad fascinante de la distribución exponencial es que la desviación estándar es igual a la media.

Usar la distribución de probabilidad exponencial para predicciones

Las predicciones basadas en una población distribuida exponencialmente requieren sólo una estimación de la media de la población. Por ejemplo, se mide el tiempo entre las fallas sucesivas de una pieza compleja de equipo reparable y se determina que el histograma resultante se parece a la curva de probabilidad exponencial. Para la medición que se hizo, la *media del tiempo entre fallas* (llamada comúnmente MTBF, por sus siglas en inglés) es de 100 horas. ¿Cuál es la probabilidad de que el tiempo entre dos fallas sucesivas del equipo sea de al menos 20 horas?

El problema es encontrar el área bajo la curva por debajo de 20 horas (figura 17.11). La tabla B del apéndice II presenta el área debajo de la curva más allá de cualquier valor particular X que es sustituida por la proporción X/μ . En este problema

$$\frac{X}{\mu} = \frac{20}{100} = 0.20$$

De la tabla B, el área debajo de la curva más allá de 20 horas es 0.8187. La probabilidad de que el tiempo entre dos fallas sucesivas sea mayor a 20 horas es 0.8187, es decir, existe aproximadamente 82% de posibilidad que el equipo opere de manera continua sin fallas por al menos 20 horas o más. Cálculos similares arrojarían una probabilidad de .9048 para 10 horas o más.

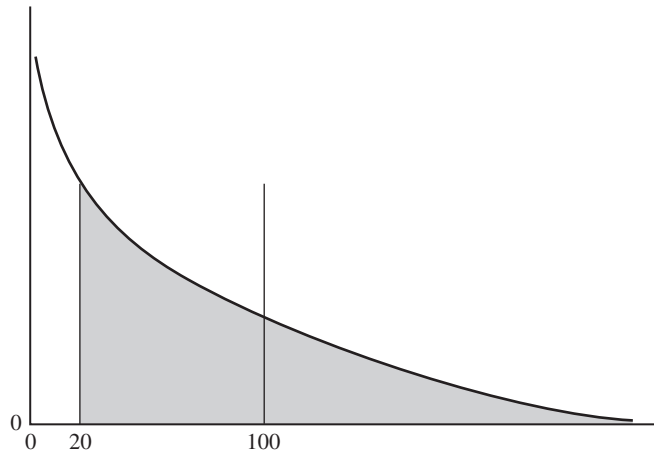


FIGURA 17.11
Distribución de tiempo entre fallas

17.12 LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD WEIBULL

La *distribución Weibull* es una familia de distribuciones que tienen una función general

$$y = \alpha\beta(X - \gamma)^{\beta-1} e^{-\alpha(X-\gamma)\beta} \quad (\text{para } x > 0)$$

donde α = parámetro de escala

β = parámetro de forma

γ = parámetro de ubicación

La curva de la función (figura 17.6) varía grandemente dependiendo de los valores numéricos de los parámetros. El más importante es el parámetro de la forma β , el cual refleja el patrón de la curva. Cabe destacar que cuando β es 1.0, la función Weibull se reduce al exponencial, y que cuando β es aproximadamente 3.5 (y $\alpha = 1$ y $\gamma = 0$), Weibull se aproxima a la distribución normal. En la práctica, β varía aproximadamente entre 1/3 y 5. El parámetro de escala α está vinculado al grado de apuntamiento de la curva, es decir, si α cambia, la curva se vuelve más plana o más apuntada. El parámetro de locación γ es el valor más pequeño posible de X . Éste con frecuencia se asume igual a 0, lo cual simplifica la ecuación. Comúnmente resulta innecesario determinar los valores de estos parámetros, ya que las predicciones se hacen directamente de la hoja de probabilidad Weibull, pero King (1981) explica los procedimientos para encontrar gráficamente a α , β y γ . La tabla J del apéndice II presenta una muestra de una hoja Weibull. Con este documento de muestra, se puede estimar β dibujando una línea paralela a la línea que mejor se

adapte y a través de un punto marcado en la escala vertical de 40.0. Entonces, la intersección con el arco da una estimación de β .

Weibull cubre muchas formas de distribución. Esta característica hace a Weibull popular en la práctica, ya que reduce los problemas de examinar una serie de datos y decidir cuál de las distribuciones comunes (como la normal o la exponencial) se adapta mejor. El software de cómputo como Excel o MINITAB es útil para llevar a cabo análisis Weibull.

Usar la distribución de probabilidades Weibull para predicciones

Un enfoque analítico para la distribución Weibull (incluso con tablas) es problemático, y las predicciones normalmente se hacen con la hoja de probabilidad Weibull. Por ejemplo, se sometieron a prueba siete mangos tratados con calor, hasta que cada uno de ellos fallara. La vida de fatiga (en términos de número de ciclos hasta la falla) fue como sigue:

11 251	40 122
17 786	46 638
26 432	52 374
28 811	

El problema es predecir el porcentaje de fallas de la población para varios valores de vida de fatiga. La solución es diagramar los datos en una hoja Weibull, observar si los puntos caen aproximadamente en una línea recta y, de ser así, leer la predicción de probabilidad (el porcentaje de fallas) en la gráfica.

En un diagrama Weibull, los datos originales normalmente³ se diagraman en comparación con las *calificaciones promedio*. (Así, la calificación promedio para el valor i en una muestra de n observaciones calificadas se refiere al valor medio del porcentaje de una población que sería menos que el valor i en experimentos repetidos de tamaño n .) La calificación media se calcula como $i/(n + 1)$. Las calificaciones medias necesarias para este ejemplo se basan en un tamaño de muestra de siete fallas, y se presentan en la tabla 17.7. Los ciclos de falla se diagraman entonces en una gráfica Weibull, en comparación con los valores correspondientes de la calificación media (véase la figura 17.12). Estos puntos caen aproximadamente en una línea recta, por lo que se asume que se

TABLA 17.7
Tabla de la mediana de calificaciones

Número de fallas (i)	Mediana de calificaciones
1	0.125
2	0.250
3	0.375
4	0.500
5	0.625
6	0.750
7	0.875

³Hay otras posiciones de diagramación (véase, por ejemplo, *JQH5*, p. 44.32).

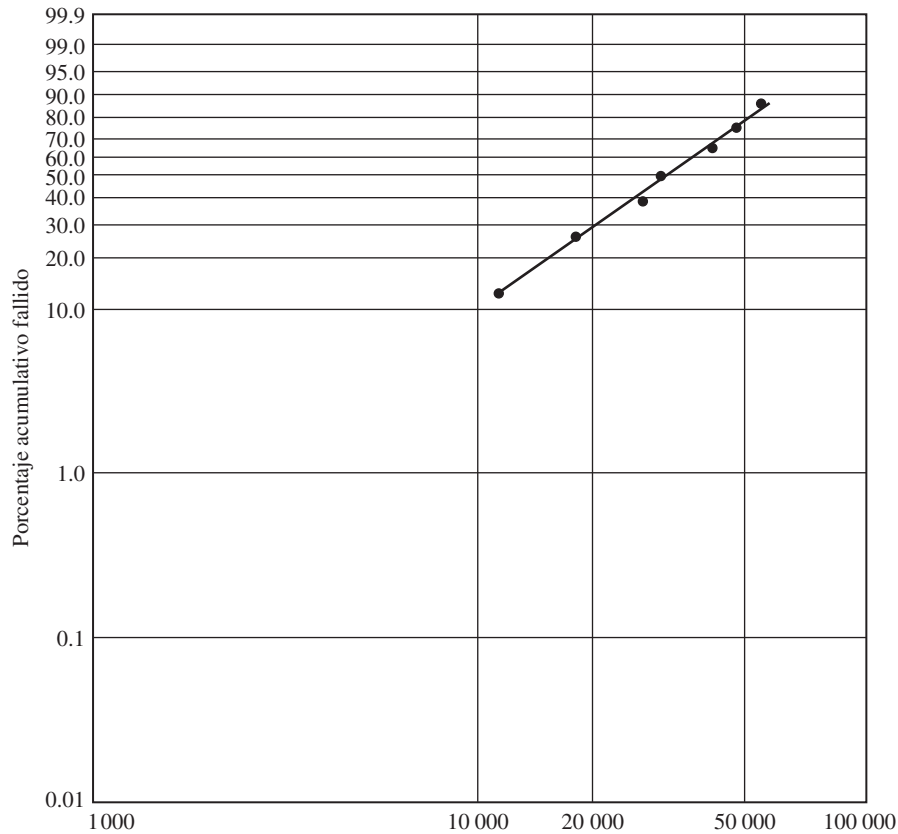


FIGURA 17.12
Distribución de la vida de fatiga

aplica la distribución Weibull. El eje vertical da el porcentaje acumulativo de fallas en la población correspondiente a la vida de fatiga que se muestra en el eje horizontal. Por ejemplo, cerca de 50 por ciento de la población de los mangos fallará en menos de 32 000 ciclos. Cerca de 80 por ciento de la población fallará en menos de 52 000 ciclos. Mediante las restas apropiadas, se pueden hacer predicciones de los porcentajes de fallas entre dos límites de vida de fatiga.

Es tentador extrapolar al papel de probabilidad, en particular para pronosticar la vida. Por ejemplo, supongamos que se especificó una vida mínima de fatiga de 8 000 ciclos y que las siete mediciones que se mostraron previamente fueron de pruebas llevadas a cabo para evaluar la capacidad del diseño para cumplir con los 8 000 ciclos. Tomando en cuenta que las siete pruebas excedieron los 8 000 ciclos, el diseño parece adecuado y debería, por lo tanto, ser entregado a producción. No obstante, la extrapolación de la hoja Weibull predice que cerca de 5 por ciento de la población de mangos fallará en menos de 8 000 ciclos. Esta información sugiere una revisión del diseño antes de entregarlo a producción. Así, la pequeña *muestra* (toda *dentro* de las especificaciones) arroja

un resultado desalentador, pero el diagrama Weibull actúa como una señal de alarma destacando un problema potencial.

La extrapolación puede ir en dirección contraria. Veamos que un diagrama de probabilidad de datos sobre prueba de vida *no* requiere completar todas las pruebas antes de iniciar la diagramación. A medida que falla cada unidad, el tiempo de falla se puede diagramar en comparación con la calificación media. Si los primeros puntos parecen estar siguiendo una línea recta, es tentador trazar una línea *antes* de terminar todas las pruebas. La línea se puede extrapolar más allá de los datos reales de la prueba, y se pueden hacer predicciones de vida sin acumular una gran cantidad de tiempo de prueba. Este enfoque ha sido aplicado para predecir, muy *a tiempo* en un periodo de garantía, los “pocos componentes vitales” de un producto complejo que resultarán más problemáticos. Sin embargo, la extrapolación conlleva riesgos. Requiere una presentación sensata de la teoría estadística, experiencia en ingeniería y juicio.

Para hacer un diagrama Weibull válido se requieren al menos siete puntos. Ciertas muestras pequeñas pueden tener una variabilidad significativa, y es conveniente calcular los límites de confianza —véase Wadsworth (1998) en las Lecturas complementarias—. Algunos cuantos dudan de la capacidad del diagrama para revelar el patrón subyacente de variación. Cuando se prepara el diagrama, se espera que los puntos se aproximen a una línea recta. Esta configuración implica una población única y estable, y la línea se puede usar para hacer predicciones. Sin embargo, los diagramas sin línea recta son con frecuencia muy valiosos (de la misma manera que los histogramas no normales) para sugerir que algunas poblaciones podrían haberse mezclado.

Hay disponible papel para gráficas de probabilidad, para distribuciones de probabilidad normal, exponencial, Weibull y otras. Aunque las funciones matemáticas y las tablas ofrecen la misma información, el papel para gráficas revela las *relaciones* entre probabilidades y valores de X que no son aparentes de inmediato a partir de los cálculos. Por ejemplo, la reducción en un porcentaje de defectos en una población como una función de límites de especificación más y más amplios puede representarse fácilmente en un papel para gráficas.

Otras distribuciones continuas incluyen la uniforme continua (en otras palabras, todos los valores con probabilidades iguales), normal de registro (los logaritmos de valores originales se distribuyen normalmente) y la multinormal (como, por ejemplo, un producto con dos parámetros de medición, cada uno distribuido normalmente, se llama normal bivariada). Para su elaboración, véase *JQH5*, sección 44.

La presunción de una distribución en particular puede ser evaluada usando una prueba de “buena aptitud”. Dicha prueba determina si la desviación de un resultado de la muestra de los valores de una población teórica tiene posibilidades de presentar una variación de muestra (véase *JQH5*, p. 44.70).

17.13 LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD POISSON

Si la posibilidad p de que ocurra un evento es constante en cada uno de los n intentos independientes del evento, la probabilidad de r ocurrencias en n intentos es

$$\frac{(np)^r e^{-np}}{r!}$$

TABLA 17.8
Tabla de probabilidades de Poisson

<i>r</i>	Probabilidad de <i>r</i> o menos en la muestra
0	.449
1	.809
2	.953
3	.991
4	.999
5	1.000

donde n = número de intentos

p = probabilidad de ocurrencia

r = número de ocurrencias

Usar la distribución Poisson para predicciones

La distribución Poisson es útil para calcular las probabilidades asociadas con los procedimientos de muestreo. La tabla C del apéndice III presenta las probabilidades acumulativas Poisson directamente, es decir, la probabilidad de r o menos ocurrencia en n intentos de un evento que tenga una probabilidad p . Por ejemplo, supongamos que un vendedor, cuya calidad pasada ha sido de aproximadamente 2 por ciento de defectos, presenta un lote de 300 unidades de producto. Se selecciona del lote una muestra aleatoria de 40 unidades. La tabla C del apéndice III presenta la probabilidad de encontrar r o menos defectos en una muestra de n unidades. Asignar a la tabla un valor de np igual a $40(0.02)$, o 0.8, para diversos valores de r da como resultado la tabla 17.8. Las probabilidades individuales se pueden determinar restando probabilidades acumulativas. Así, la probabilidad de que haya exactamente dos defectos es de $.953 - .809$, o $.144$. Por supuesto, también habría sido posible determinar las probabilidades de la tabla 17.8 sustituyendo la fórmula seis veces ($r = 0, 1, 2, 3, 4, 5$).

La distribución Poisson es una aproximación de distribuciones más exactas, y se aplica cuando el tamaño de la muestra es de al menos 16, el tamaño de la población de al menos 10 veces el tamaño de la muestra y la probabilidad de ocurrencia p en cada intento menor a $.1$. Estas condiciones se cumplen con frecuencia.

Poisson no es sólo una aproximación. Se puede usar como una distribución exacta cuando un evento tiene muchas oportunidades de ocurrir, pero la probabilidad de ocurrencia de cualquier oportunidad es extremadamente improbable.

17.14

LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD BINOMIAL

Si las condiciones de la distribución Poisson no se cumplen, la distribución binomial podría ser aplicable. Si la probabilidad de ocurrencia p de un evento es constante en cada uno de los n intentos independientes del evento, entonces la probabilidad de r ocurrencias en n intentos es

$$\frac{n!}{r!(n-r)!} p^r q^{n-r}$$

donde $q = 1 - p$.

TABLA 17.9
Probabilidades binomiales

r	P (exactamente r defectos en 6) $= \frac{6!}{r!(6-r)!}(0.05)^r(0.95)^{6-r}$
0	.7351
1	.2321
2	.0306
3	.0021
4	.0001
5	.000
6	.000

En la práctica, la presunción de una probabilidad constante de ocurrencia es considerada razonable cuando el tamaño de la población es de al menos 10 veces el tamaño de la muestra.⁴ (Cabe destacar que la distribución binomial tiene menos condiciones que la Poisson.)

Existen tablas para la distribución binomial (*JQH5*, apéndice II, pp.14-15).

Usar la distribución de probabilidad binomial para predicciones

Un lote de 100 unidades de producto se presenta a un vendedor cuya calidad pasada ha tenido 5 por ciento de defectos. Se selecciona una muestra aleatoria de seis unidades del lote. Las probabilidades de los diversos resultados de la muestra se dan en la tabla 17.9.

Al usar la fórmula, hay que notar que $0! = 1$.

Otras distribuciones discretas incluyen la hipergeométrica (usada cuando no se puede cumplir la presunción de Poisson o la binomial), la uniforme discreta (todos los valores tienen posibilidades iguales) y la multinomial (cuando se observan dos o más parámetros en una muestra). Véase *JQH5*, sección 44.

17.15 TEOREMAS BÁSICOS DE PROBABILIDAD

La *probabilidad* se expresa como un número que se encuentra entre 1.0 (certidumbre de que ese evento vaya a ocurrir) y .0 (imposibilidad de que ocurra).

Una definición conveniente de probabilidad es la que se basa en una interpretación de frecuencia: si un evento A puede ocurrir en s casos de un total de n casos posibles e igualmente probables, la probabilidad de que ese evento ocurra es:

$$P(A) = \frac{s}{n} = \frac{\text{Número de casos exitosos}}{\text{Número total de casos posibles}}$$

⁴ Bajo esta condición, el cambio en la probabilidad de un intento al siguiente es insignificante. Si la condición no se cumple, se debería usar la distribución hipergeométrica (véase *JQH5*, pp. 44.24, 44.25).

EJEMPLO 17.1. Un lote consta de 100 partes. Se selecciona una sola al azar, y así cada una de las 100 partes tiene las mismas posibilidades de ser seleccionada. Supongamos que el lote contiene un total de 8 defectos. Entonces la posibilidad de tomar una parte que esté defectuosa es de $8/100$, o $.08$.

Los siguientes teoremas son útiles para la solución de problemas.

TEOREMA 17.1. Si $P(A)$ es la probabilidad de que un evento A ocurra, entonces la probabilidad de que A no ocurra es $1 - P(A)$. Este teorema en ocasiones recibe el nombre de regla de probabilidad.

TEOREMA 17.2. Si A y B son dos eventos, entonces la probabilidad de que A o B , o ambos ocurran es:

$$P(A \text{ o } B) = P(A) + P(B) - P(A \text{ y } B)$$

Un caso especial de este teorema sucede cuando A y B no pueden ocurrir simultáneamente (por ejemplo, si A y B son *mutuamente excluyentes*). Entonces la probabilidad de que A o B ocurra es:

$$P(A \text{ o } B) = P(A) + P(B)$$

EJEMPLO 17.2. La probabilidad de que haya r defectos en un muestra de seis unidades que forman un lote con 5% de defectos fue determinada previamente gracias a la distribución binomial (la muestra es con reemplazo). La probabilidad de que haya cero defectos era de $.7531$; la probabilidad de un defecto era $.2321$. La probabilidad de cero o un defecto entonces es $.7531 + .2321$, o $.9672$.

TEOREMA 17.3. Si A o B son dos eventos, entonces la probabilidad de que los eventos A y B ocurran juntos es:

$$P(A \text{ y } B) = P(A) \times P(B | A)$$

donde $P(B | A)$ = probabilidad de que B ocurra asumiendo que A ya ha ocurrido.

Un caso especial de este teorema sucede cuando los dos eventos son independientes, por ejemplo, cuando la ocurrencia de un evento no tiene influencia en la probabilidad del otro evento. Si A y B son independientes, entonces la probabilidad de que tanto A como B ocurran es:

$$P(A \text{ y } B) = P(A) \times P(B)$$

EJEMPLO 17.3. Un sistema complejo consta de dos grandes subsistemas que operan independientemente. La probabilidad de un desempeño exitoso para el primer subsistema es $.95$; la probabilidad correspondiente para el segundo subsistema es $.90$. Ambos subsistemas deben operar exitosamente para lograr un éxito total del sistema. La probabilidad de la operación exitosa del sistema total es, por lo tanto, $.95 \times .90 = .855$.

Los teoremas recién mencionados se plantearon en términos de dos eventos, pero pueden expandirse a cualquier número de eventos.

17.16 ESTUDIOS ENUMERATIVOS Y ANALÍTICOS

Deming (1982) plantea una importante distinción entre dos tipos de estudios estadísticos: enumerativos y analíticos. En un estudio enumerativo, medimos una *muestra* y luego estimamos las características de la *población*. Por ejemplo, tomamos una muestra aleatoria de 20 unidades de un lote de 100. Medimos las 20 unidades y entonces hacemos predicciones respecto a la población de 100 unidades. Este enfoque implica una población definida ya existente. Por lo general, en

un estudio enumerativo no documentamos información sobre el orden de producción, lo que es una lástima.

En un estudio analítico, medimos muestras periódicas de un proceso que está fabricando productos continuamente, es decir, la población está cambiando. Supongamos que queremos predecir los resultados del próximo lote de un producto que está en proceso. Dicha predicción requiere dos supunciones: (1) el proceso se ha estabilizado conforme a una serie de condiciones que se repetirán en el futuro y (2) se conocen todos los cambios que tendrá el proceso con el tiempo, tales como tendencias o efectos cíclicos. Para predecir un resultado futuro del proceso, se deben documentar los datos sobre el orden de producción y usarse para analizar la estabilidad del proceso y los efectos relativos al tiempo. Técnicas como los diagramas de control estadístico (véase el capítulo 20, “Control de proceso estadístico”) pueden ser útiles para dicho análisis. En la práctica, predomina la predicción de resultados de procesos futuros y, por lo tanto, el estudio de tipo analítico adquiere gran relevancia.

17.17

PENSAMIENTO ESTADÍSTICO A TRES NIVELES EN UNA ORGANIZACIÓN

Ahora que entendemos los conceptos básicos de variación, es útil reflexionar en cómo puede utilizarse este conocimiento a través de toda una organización.

El pensamiento estadístico no sólo consiste en aplicar fórmulas a datos. Snee (1990) propone aplicar el pensamiento estadístico en tres niveles: estratégico, administrativo y operativo. En el nivel estratégico, el enfoque está en los conceptos:

- La variación está presente en todos los procesos.
- Todo el trabajo es una serie de procesos interconectados.
- Reducir la variación mejora la calidad.

En el nivel administrativo, el enfoque radica en los sistemas:

- Control de proceso estadístico.
- Experimentación.
- Robustez del producto y del proceso de diseño.

En el nivel operativo, el enfoque está en las herramientas:

- Diagramas de control.
- Diseño formal y análisis de experimentos.
- Mejora, planeación y herramientas de control.

En el nivel de la alta dirección, el pensamiento estadístico para reducir la variación puede adoptar la forma de ayudar a todos los grupos de trabajo en un objetivo común; proveer a la fuerza de trabajo de estándares, retroalimentación y un proceso capaz, que es necesario para el autocontrol, reducir el número de proveedores, brindar suficiente capacitación y muchas acciones más.

Las herramientas estadísticas han sido destacadas en el nivel operativo con diferentes grados de implementación. La necesidad primordial es que la alta dirección entienda el pensamiento estadístico en el nivel estratégico y que integre los conceptos a sistemas en los niveles administrativo y operativo. Para más detalles, véase Hoerl (1995).

17.18 SOFTWARE DE CÓMPUTO PARA ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Con la llegada de los paquetes de software estadístico, el profesional ahora puede usar muchas técnicas estadísticas que no fueron consideradas previamente debido a la dificultad para entenderlas o para hacer los cálculos. (Nota histórica: los términos “software” y “bit” fueron empleados por vez primera por el Dr. John Tukey, un estadista eminente.) Actualmente, la mayoría de los paquetes de software presentan una explicación básica de la técnica, definen los elementos que se requieren y posteriormente presentan los resultados. Pero dicha accesibilidad conlleva un riesgo. El profesional debe entender las presunciones detrás de los métodos, así como lo que los resultados finales significan o no. Con la prisa de obtener una respuesta y con tal de evitar los detalles tediosos, existe el peligro de aplicar una técnica de manera incorrecta o de entender mal el resultado. Hay que tener cuidado con estas serias consecuencias.

La figura 17.13 ilustra la efectividad de una hoja de cálculo. Aquí el software suministró 1 000 números normales generados aleatoriamente con una media de 100 y una desviación estándar de 10, y los agrupó en celdas de distribución de frecuencia. También se brinda la curva teórica de distribución normal. Incluso con la gran cantidad de información, la “adaptabilidad” no es perfecta, pero los datos siguen claramente una distribución normal.

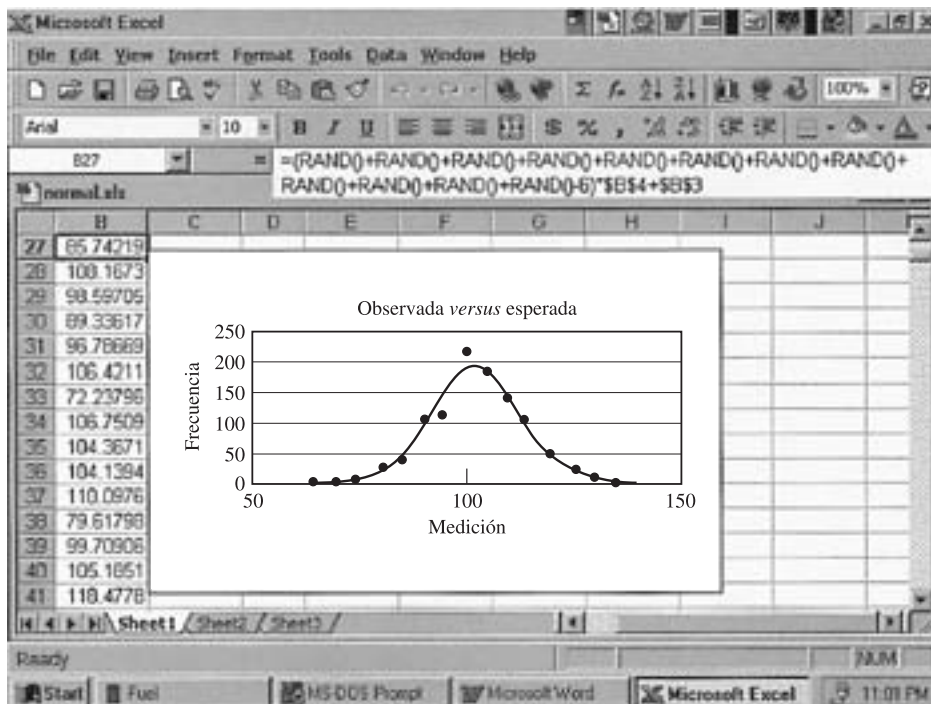


FIGURA 17.13

Gráfica de las cuentas de frecuencia observada contra las frecuencias esperadas para una distribución normal. (Zimmerman e Icenogle, 1999.)

Lo que sigue es una impresión usando MINITAB para describir la estatura de los alumnos en un salón de clase. En la figura 17.14a se encuentra una síntesis gráfica y una descripción estadística de la estatura de todos los estudiantes del salón.

Los paquetes estadísticos como MINITAB también pueden automatizar la aplicación de herramientas de calidad tales como la capacidad del proceso. Por ejemplo, en un ejercicio de aviones de papel, los “pilotos” debían aventar el avión para que llegara a un objetivo a una altura de 50 pulgadas, a seis pies de distancia, con un límite de especificación inferior (LSL, por sus siglas en inglés) (LSL) = 45 pulgadas, y un límite de especificación superior (USL, por sus siglas en inglés) (USL) = 55 pulgadas. Cada piloto debe “volar” cinco misiones y hacer dos rondas. Los datos en bruto se muestran en la tabla 17.10.

Las capacidades del proceso para todos los vuelos se sintetizan en la figura 17.14b con las estadísticas que describen la media, la desviación estándar, los índices de capacidad del proceso y las predicciones sobre los niveles de defectos. La figura 17.14c compara el desempeño de cada uno de los tres “pilotos”.

A partir de esta gráfica, podemos analizar los datos con más detalle para probar teorías o hipótesis tales como saber si existe una diferencia estadísticamente significativa en el desempeño de los pilotos en cuanto a su precisión (media o mediana) y consistencia (igualdad de la varianza). Éste es el tema del siguiente capítulo: Herramientas estadísticas para el análisis de datos.

Entre los paquetes estadísticos, MINITAB y JMP son populares. Algunas personas prefieren usar Microsoft Excel para el análisis de hojas de cálculo.

Los cálculos estadísticos que se presentan en este libro están disponibles en paquetes de software estadístico. La ASQ publica un directorio anual de software para garantía y control de calidad en la revista *Quality Progress*.

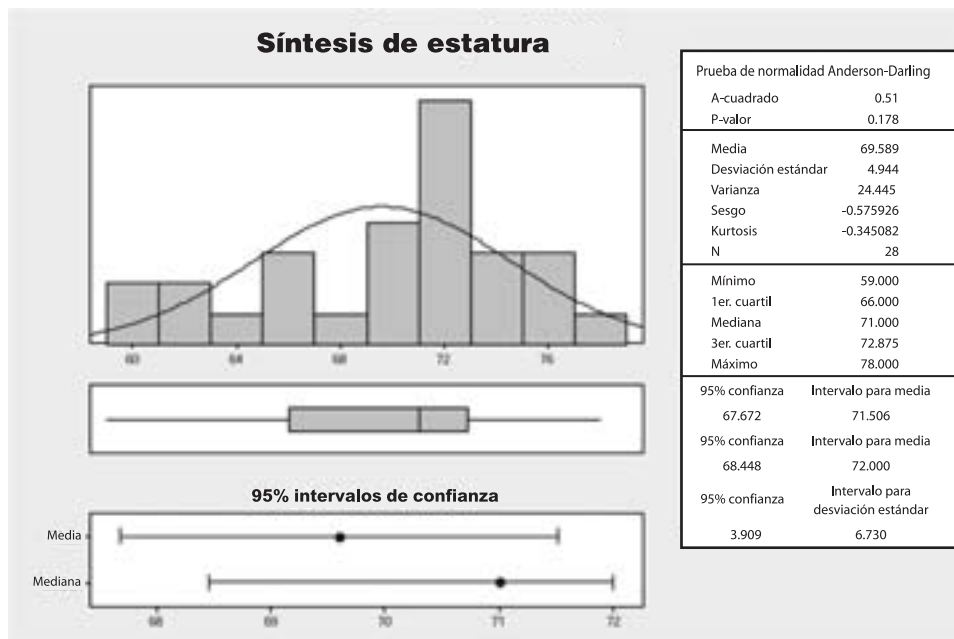


FIGURA 17.14a

TABLA 17.10

Ronda	Piloto	Resultado	Ronda	Piloto	Resultado
1	John	49	2	John	59
1	John	55	2	John	42
1	John	49	2	John	51
1	John	58	2	John	50
1	John	53	2	John	54
1	Mike	46	2	Mike	50
1	Mike	43	2	Mike	52
1	Mike	47	2	Mike	50
1	Mike	46	2	Mike	51
1	Mike	51	2	Mike	47
1	Tim	56	2	Tim	39
1	Tim	57	2	Tim	63
1	Tim	50	2	Tim	60
1	Tim	50	2	Tim	52
1	Tim	46	2	Tim	56

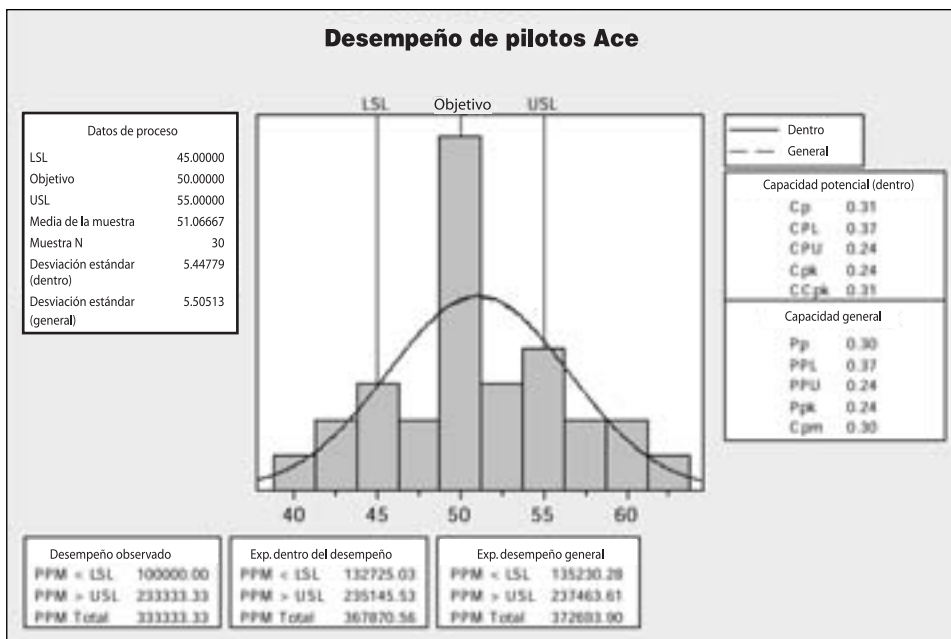


FIGURA 17.14b

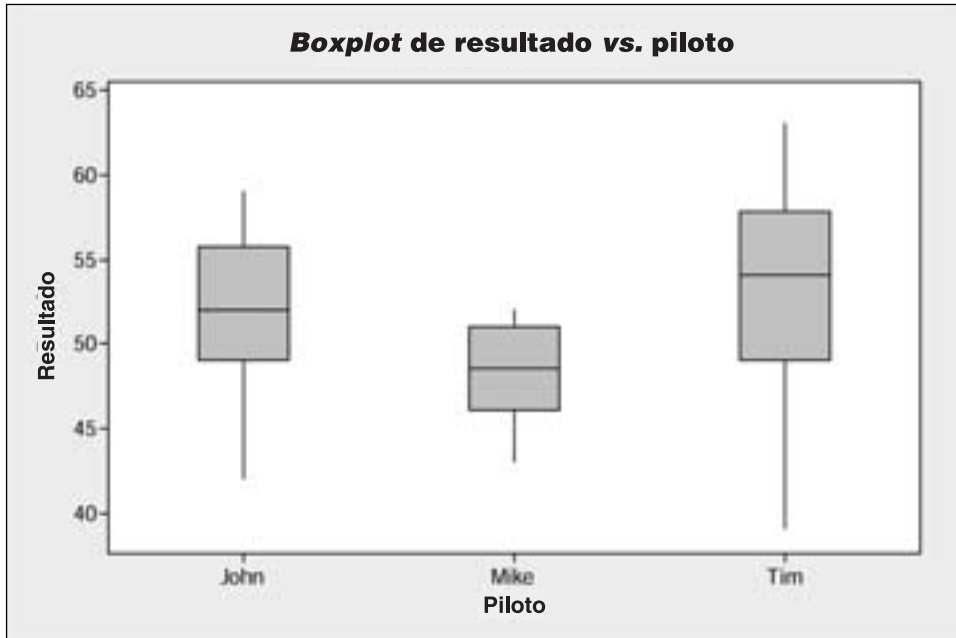


FIGURA 17.14c

RESUMEN

- Los métodos estadísticos son esenciales en el enfoque moderno de calidad.
- La variación es un hecho de la naturaleza y en la vida industrial.
- Al sintetizar los datos entre las herramientas tabulares y gráficas útiles, se incluyen la distribución de frecuencia, el histograma, el *boxplot* y el papel de probabilidad.
- Al sintetizar los datos, entre los índices numéricos útiles se incluyen el promedio, la mediana, el rango y la desviación estándar.
- Una muestra es un número limitado de artículos tomados de una fuente más grande a la que se llama población.
- Una función de distribución de probabilidad relaciona los valores de una característica con su probabilidad de ocurrencia en la población.
- Las distribuciones de probabilidad continua importantes son la normal, exponencial y Weibull; las distribuciones discretas importantes son la Poisson y binomial.
- Tres teoremas de probabilidad son básicos para el análisis de la probabilidad de eventos específicos.

PROBLEMAS

Nota: Muchos de los problemas estadísticos del libro se plantearon intencionalmente en lenguaje de negocios. Así, con frecuencia *no* se aclara la técnica estadística específica que se requiere. Con este enfoque, el estu-

diante debería adquirir cierta experiencia al traducir el problema de negocios a un planteamiento estadístico para elegir de esta forma la técnica estadística apropiada.

- 17.1.** Los siguientes datos son 80 mediciones de potencia del medicamento estreptomycin.

4.1	5.0	2.0	2.6	4.5	8.1	5.7	2.5
3.5	6.3	5.5	1.6	6.1	5.9	9.3	4.2
4.9	5.6	3.8	4.4	7.1	4.6	7.4	3.5
4.9	5.1	4.6	6.3	8.3	6.3	8.8	1.0
5.3	5.4	4.4	2.9	7.5	5.7	5.3	3.0
4.2	5.2	7.0	3.7	6.7	5.8	6.9	2.8
6.0	8.2	6.1	7.3	8.2	6.2	4.3	2.2
5.2	5.5	3.5	7.1	7.9	5.6	5.4	3.9
6.8	8.2	4.2	4.2	5.5	6.2	3.5	3.4
6.8	4.7	4.6	4.1	4.7	5.0	3.4	7.1

- a) Sintetice los datos en forma tabular.
b) Sintetice los datos en forma gráfica.
- 17.2.** Calcule la medida de una tendencia central y dos medidas de variación para los datos proporcionados en el problema 17.1. Calcule los tres juegos siguientes de límites: $X \pm 1s$, $X \pm 2s$, $X \pm 3s$. Para cada juego, calcule el porcentaje de valores de datos que caen dentro de los límites. Compárelos con los porcentajes teóricos basados en la distribución normal.
- 17.3.** Examine los histogramas de la figura 17.7. Para cada histograma, comente acerca de a) la capacidad del proceso para quedar dentro de los límites de la especificación y b) qué acción, en caso de que exista, es adecuada para el proceso.
- 17.4.** Heyes (1985) presenta los siguientes datos sobre la fuerza del rompimiento de alambre para el proveedor B:

470	425	438	620	452
573	382	486	526	300
520	450	389	371	598

- Prepare un *boxplot* con esos datos.
- 17.5.** Una compañía tiene una máquina para llenar cápsulas de oxígeno de baja presión. Los datos recolectados en los últimos dos meses muestran un peso promedio después del llenado de 1.433 g con una desviación estándar de 0.033 g. La especificación para el peso es 1.460 ± 0.085 g. El peso está distribuido normalmente.
- a) ¿Qué porcentaje no cumplirá con las especificaciones de peso?
b) ¿Sugeriría usted o no un cambio en el objetivo de la máquina de llenado? ¿Por qué?
- 17.6.** Una compañía que fabrica sujetadores tiene especificaciones del gobierno para una tuerca. La fuerza rotatoria de cierre tiene tanto un máximo como un mínimo especificado. La máquina empleada para fabricar estas tuercas ha estado produciendo piezas con una fuerza rotatoria de cierre promedio de 8.62 libra por pulgada y una variación σ^2 de 4.49 libras por pulgada cuadrada. La fuerza rotatoria está distribuida normalmente.
- a) Si la especificación superior es de 13.0 libras por pulgada y la especificación inferior de 2.25 libras por pulgada, ¿qué porcentaje de estas tuercas cumplirá con los límites de las especificaciones?
b) Otra máquina en el departamento de producción puede producir las tuercas con un promedio de 8.91 pulgadas por libra y una desviación estándar de 2.33 pulgadas por libra. En un lote de 1 000 tuercas, ¿cuántas tendrían una fuerza de rotación demasiado alta?

Respuesta: a) 97.95%. b) 40 tuercas.

- 17.7.** Una compañía energética define la continuidad del servicio como el hecho de brindar energía eléctrica dentro de la frecuencia especificada y los límites de voltaje hasta la entrada de servicio del cliente. La interrupción de este servicio puede ser causada por un mal funcionamiento del equipo, por los cortes en el suministro debido al mantenimiento planeado o por razones no programadas. Los registros de toda la ciudad indican que hubo 416 interrupciones no programadas en 1997 y 503 en 1996.
- Calcule la media de tiempo entre las interrupciones no programadas, asumiendo que hubo 416 en 1997 y 503 en 1996.
 - ¿Cuál es la posibilidad de que se suministre energía a todos los usuarios sin interrupción por al menos 24 horas? ¿Por al menos 48 horas? Suponga una distribución exponencial.
- 17.8.** Se hizo un análisis del tiempo de reparación para una servoválvula electrohidráulica empleada en las pruebas de fatiga del equipo. Las discusiones concluyeron que cerca de 90 por ciento de todas las reparaciones podrían hacerse en 6 horas.
- Asumiendo una distribución exponencial del tiempo de reparación, calcule el tiempo promedio de reparación.
 - ¿Cuál es la probabilidad de que una reparación tome entre 3 y 6 horas?
- Respuesta:* a) 2.6 horas. c) 0.217.
- 17.9.** Se están comparando tres diseños de un cierto mango. La información sobre los diseños se sintetiza de la siguiente manera:

	Diseño I	Diseño II	Diseño III
Material	Aleación de acero y carbón medio.	Acero y carbón medio sin aleación.	Análisis especial de acero y carbón bajo.
Proceso	Totalmente en máquina antes de tratamiento de calor, después calentado en hornaza, sofocado en aceite y templado.	Totalmente en máquina antes de tratamiento de calor, después inducción en calor, sofocado en agua y templado.	Totalmente en máquina antes de tratamiento de calor, después calentado en hornaza, sofocado en agua y templado.
	Diseño I	Diseño II	Diseño III
Costo del equipo	Ya disponible	\$125 000	\$500
Costo del eje terminado	\$57	53	55

Se hicieron pruebas de fatiga en seis mangos de cada diseño, con los siguientes resultados (en unidades de miles de ciclo por falla):

I	II	III
180	210	900
240	360	1 400
100	575	1 500
50	330	340
220	130	850
110	575	600

- Reordene los datos en forma ascendente y haga un diagrama de Weibull para cada diseño.
- Para cada diseño, estime el número de ciclos en que 10 por ciento de la población fallará. (Este valor se llama la vida B_{10} .) Haga lo mismo para 50 por ciento de la población.

- c) Calcule el promedio de vida de cada diseño con base en los resultados de la prueba. Haga entonces una estimación del porcentaje de la población que fallará dentro del promedio de vida. Note que no es 50 por ciento.
- d) Comente la posibilidad de reemplazar el diseño actual I con el II o III.

- 17.10.** Se llevaron a cabo pruebas de vida en una muestra de cinco unidades para evaluar un diseño de componente antes de que se entregara a producción. Las unidades fallaron las siguientes veces:

Número de unidad	Tiempo de falla, horas
1	1 200
2	1 900
3	2 800
4	3 500
5	4 500

Suponga que el componente estaba garantizado para durar 1 000 horas. Cualquier falla durante el periodo debe ser reemplazada por el fabricante a un costo de \$200 por cada componente. Aunque el número de datos de la prueba es pequeño, la gerencia quiere una estimación del costo de los reemplazos. Si se venden 4 000 componentes de éstos, dé una estimación en dólares del costo de reemplazo.

- 17.11.** Los siguientes datos son 24 mediciones (en segundos) del tiempo para responder una pregunta en una línea de ayuda de un *call center* de AT&T (AT&T, 1990).

24	24	21	24	24	24
27	26	25	23	23	23
26	22	22	28	21	25
25	27	25	26	22	20

- a) Sintetice los datos en forma tabular.
- b) Sintetice los datos en forma gráfica.

- 17.12.** Para los datos del problema 10.11, lleve a cabo los análisis planteados en el problema 10.2.

REFERENCIAS

- Armstrong, G.R. y P.C. Clarke (1946). "Frequency Distribution vs Acceptance Table", *Industrial Quality Control*, vol. 3, núm. 2, pp. 22-27.
- AT&T (1990). *Analyzing Business Process Data: The Looking Glass*, AT&T Bell Laboratories, Indianápolis, IN.
- Deming, W.E. (1982). *Out of the Crisis*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, p. 132.
- Gunter, B. (1998). "Farewell Fusillade", *Quality Progress*, abril, pp. 111-119.
- Harris, R.L. (1996). *Information Graphics*, Management Graphics, Atlanta, GA.
- Heyes, G.B. (1985). "The Box Plot", *Quality Progress*, diciembre, pp. 12-17.
- Hoerl, R.W. (1995). "Enhancing the Bottom-Line Impact of Statistical Methods", *Quality Management Journal*, verano, pp. 58-74.
- Juran Institute, Inc. (1989). *Quality Improvement Tools—Box Plots*, Wilton, CT, p. 7.

- King, J.R. (1981). *Probability Charts for Decision Making*, ed. rev., TEAM, Tamworth, NH.
- Snee, R.D. (1990). "Statistical Thinking and Its Contribution to Total Quality", *The American Statistician*, mayo, pp. 116-121.
- Tufte, E.R. (1997). *Visual Explanations*, Graphics Press, Cheshire, CT.
- Tukey, J.W. (1997). *Exploratory Data Analysis*, Addison-Wesley, Reading, MA.
- Wadsworth, H.M., K.S. Stephens y A.B. Godfrey (2001). *Modern Methods for Quality Control and Improvement*, 2a. ed., John Wiley and Sons, Nueva York.
- Zimmerman, S.M. y M.L. Icenogle (1999). *Statistical Quality Control using Excel*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Conceptos básicos: *JQH5*, sección 44.
- Conceptos básicos, intermedios y avanzados: Wadsworth, H.M. (1988). *Handbook of Statistical Methods for Engineering and Scientists*, 2a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Estándares internacionales sobre métodos estadísticos: Mundel, A.B. (1998). "Activities of ISOTC69: International Standards on Statistical Methods", *Proceedings of the Annual Quality Congress*, ASQ, Milwaukee, pp. 455-457.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Abate, M.L. (2000). "Data Torturing and the Misuse of Statistical Tools", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 673-680.	Malos usos de herramientas estadísticas (promedios, porcentajes, tabulación de distintas variables, allanamiento, análisis de tendencia, etcétera).
Balestracci, D. (2000). "Real World" Teaching through "Data Sanity", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 541-559.	Enseñanza de estadística básica mediante el uso de ejemplos de la vida real: ocho "trampas" comunes.
Imboden, J. y J. Oxenrider (2002). "A Toolkit for Teaching and Understanding Variation", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 25-32.	Estadística básica. Impacto de los diversos métodos para entender la variación y el diseño experimental; herramientas de enseñanza mecánicas y computarizadas para ayudar a entender, y capacidad para aplicarlas.
McClaskey, D.J. (2000). "Teaching Managers to Use 'Statistical Thinking'", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 560-564.	Estadística básica de calidad para la enseñanza gerencial.

SITIO WEB

División de estadística de la ASQ: www.asq.org/about/divisions/stats

HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

18.1 ALCANCE DE LA PLANEACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Éstos son algunos tipos de problemas que pueden beneficiarse del análisis estadístico:

1. Determinar la utilidad de un número limitado de resultados de pruebas para predecir el verdadero valor de la característica de un producto.
2. Determinar el número de pruebas requerido para contar con datos adecuados para la evaluación.
3. Comparar los datos de las pruebas entre dos alternativas de diseño.
4. Predecir la cantidad de producto que estará dentro de los límites de la especificación.
5. Predecir el desempeño del sistema.
6. Controlar la calidad del proceso mediante la detección temprana de los cambios en él.
7. Planear experimentos para descubrir los factores que influyen en una característica de un producto del proceso, como la experimentación exploratoria.
8. Determinar las relaciones cuantitativas entre dos o más variables.

El aspecto central de todos estos problemas es la *predicción* de los parámetros de la población con base en resultados de muestras. La estadística se vincula al método científico —para una discusión inteligente, véanse Box y Liu (1999), y Box (1999)—.

Estos métodos estadísticos implican técnicas tanto sencillas como complicadas. Afortunadamente, el software de cómputo ha eliminado el penoso trabajo de hacer cálculos detallados (y cometer errores en ellos). Es esencial entender el concepto básico para interpretar correctamente los datos que arroja la computadora, y este capítulo se enfoca tanto en los conceptos como en las herramientas.

Brindar capacitación en el uso de herramientas estadísticas dentro de una organización requiere una planeación cuidadosa para lograr que realmente se lleve a cabo. Finn (1995) identifica los problemas comunes y ofrece soluciones para una implementación exitosa.

18.2 INFERENCIA ESTADÍSTICA

Sacar conclusiones a partir de datos limitados es muy poco confiable. Las “murmuraciones” de una pequeña muestra pueden ser peligrosas. Examine los siguientes problemas relacionados con la evaluación de datos de pruebas. Para cada uno, conteste sí o no con base en su análisis intuitivo del problema. (Escriba sus respuestas en una hoja de papel *ahora* y verifique las respuestas correctas al final del capítulo.) Algunos de estos problemas se resuelven en este capítulo.

Ejemplos de problemas de ingeniería que pueden resolverse usando conceptos de inferencia estadística

1. Un proceso de moldeo con una sola cavidad ha estado produciendo aislantes con una fuerza promedio de impacto de 5.15 pies por libra [6.9834 Newton por metro (N-m)]. Un grupo de 12 aislantes de un nuevo lote muestran un promedio de 4.952 pies por libra (6.7149 N-m). ¿Es prueba suficiente para llegar a la conclusión de que el nuevo lote tiene una fuerza promedio menor?
2. Los datos pasados señalan que la dureza promedio de las partes de latón es 49.95. Un nuevo diseño asegura tener un nivel mayor de dureza. Una muestra de 61 partes del nuevo diseño arroja un promedio de 54.62. ¿El nuevo diseño tiene en realidad una dureza distinta?
3. Se probó la durabilidad de dos tipos de bujías. Una muestra de 10 del diseño 1 arrojó un desgaste promedio de 0.0049 pulgadas (0.0124 cm). Una muestra de 8 del diseño 2 presentó un desgaste promedio de 0.0064 pulgadas (0.0163 cm). ¿Son estos datos suficientes para concluir que el diseño 1 es mejor que el 2?
4. Sólo 11.7 por ciento de las 60 nuevas hojas de aleación en un rotor de turbina fallaron en la prueba en una turbina de gas en la que 20 por ciento habían presentado fallas en una serie de pruebas similares hechas con anterioridad. ¿Las nuevas hojas son mejores que las anteriores?
5. De 1 050 resistores provistos por un fabricante, 3.71 por ciento resultaron defectuosos. De 1 690 resistores similares de un fabricante diferente, 1.95 por ciento tuvieron defectos. ¿Es posible afirmar razonablemente que el producto de una planta es inferior al de la otra?

Usted probablemente tenga algunas respuestas incorrectas. Los métodos estadísticos para analizar estos problemas se llaman *inferencia estadística*. Comenzaremos el capítulo con el concepto de variación y distribuciones de muestra.

18.3 VARIACIÓN DE MUESTRA Y DISTRIBUCIONES DE MUESTRA

Supongamos que una batería va a ser evaluada para garantizar que los requerimientos de durabilidad se cumplen. Se busca una vida promedio de 30 horas. Los datos preliminares indican que la vida sigue una distribución normal y que la desviación estándar es igual a 10 horas. Se selecciona al azar una muestra de cuatro baterías del proceso y se ponen a prueba. Si la media de las cuatro está cerca de 30 horas, se concluye que la batería cumple con la especificación. La figura 18.1 muestra

el diagrama de la distribución de baterías *individuales* de una población, asumiendo que la *media* verdadera de tal población es exactamente 30 horas.

Si se prueba la durabilidad de una muestra de cuatro, se podrían obtener los resultados de vida siguientes: 34, 28, 38 y 24, lo que daría una media de 31.0. Sin embargo, esta muestra aleatoria se seleccionó de entre muchas baterías hechas durante el mismo proceso. Supongamos que se toma otra muestra de cuatro. La segunda muestra de cuatro probablemente será diferente a la primera. Quizás los resultados sean 40, 32, 18 y 29, lo que daría una media de 29.8. Si el proceso de tomar muchas muestras (con cuatro elementos en cada una) se repite una y otra vez, se obtendrán resultados diferentes en la mayoría de las muestras. El hecho que las muestras tomadas del *mismo* proceso puedan arrojar resultados diferentes ilustra el concepto de variación de la muestra.

Volviendo al problema de evaluar la batería, existe un dilema. En la evaluación real, sólo se puede tomar una muestra de cuatro (debido a limitaciones de tiempo y costo). Aun así, el experimento de tomar muchas muestras indica que éstas varían. La pregunta es: ¿qué tan confiable es la muestra de cuatro que será la base de la decisión? La decisión final puede verse influida por la suerte con la que se elija la muestra. El punto clave es que la existencia de una variación en la muestra implica que no es posible confiar en cualquier muestra para tomar una decisión adecuada. Un enfoque estadístico analiza los resultados de una muestra, *tomando en consideración la posible variación de la muestra que pueda ocurrir*. Se han desarrollado fórmulas para definir la cantidad esperada de variación en las muestras. Sabiendo esto, se puede tomar una decisión válida al evaluar una muestra de datos.

El problema, entonces, es definir cómo varían las medias de las muestras. Si la muestra es continua y se calcula la media para cada muestra de cuatro, estas medias se pueden compilar en un histograma. La figura 18.1 muestra la curva de probabilidad resultante superpuesta en la curva de la

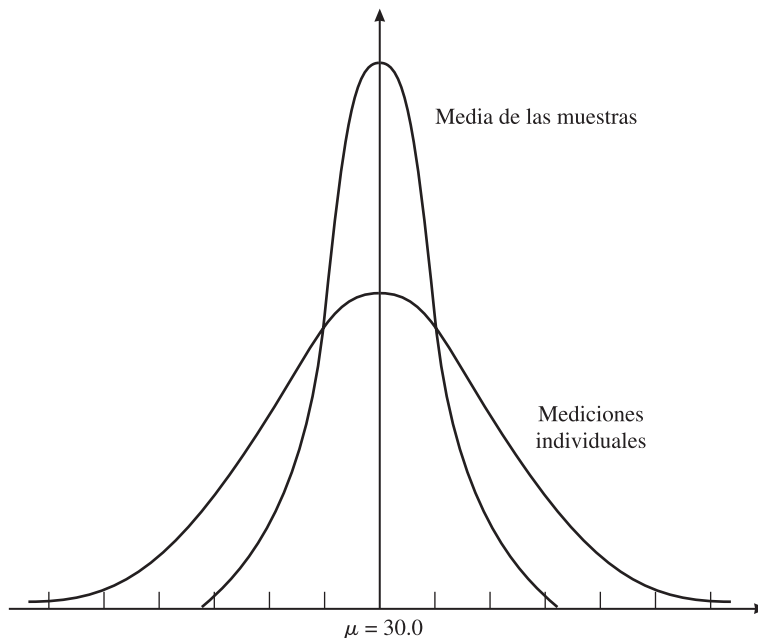


FIGURA 18.1

Distribución de las mediciones individuales y de las medias de la muestra.

población. La curva más estrecha representa la distribución de la vida para las *medias* de la muestra (donde cada promedio incluye cuatro baterías individuales). Esto se llama *distribución muestral de medias*. La curva de las medias es más estrecha que la de los valores individuales, porque al calcular las medias, se contrarrestan los valores individuales extremos. Las propiedades matemáticas de la curva de promedios han sido estudiadas y se desarrolló la siguiente relación:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

donde $\sigma_{\bar{x}}$ = desviación estándar de las medias de la muestra (algunas veces llamada error estándar de la media)

σ = desviación estándar de artículos individuales

n = número de artículos en *cada* muestra

La justificación matemática para esta relación es el teorema del límite central. Este límite establece que si x_1, x_2, \dots, x_n son resultado de una muestra de n observaciones independientes de una variable aleatoria X , entonces la media de las muestras de n seguirá aproximadamente una distribución normal con una media μ y una desviación estándar $\sigma_x = \sigma / \sqrt{n}$ cuando n es grande ($n > 30$).

La relación es significativa debido a que si se obtiene un estimado de la desviación estándar de un artículo *individual*, entonces las medias de la desviación estándar de la muestra se pueden calcular a partir de la relación previa, en lugar de hacer un experimento para generar promedios de muestra. Los problemas de evaluar la batería ahora se pueden representar gráficamente (figura 18.2).

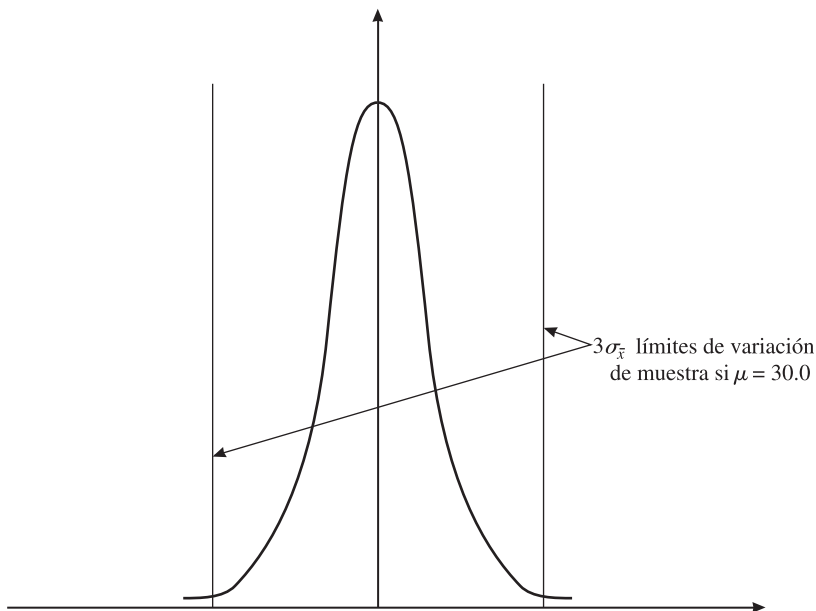


FIGURA 18.2
Distribución de las medias de la muestra.

Este concepto de distribución de muestra es básico para dos grandes áreas de la inferencia estadística: estimación y pruebas de hipótesis, las cuales se discuten a continuación.

18.4 ESTIMACIÓN ESTADÍSTICA: LÍMITES DE CONFIANZA

La *estimación* es el proceso de analizar el resultado de una muestra para predecir el valor correspondiente del parámetro de la población. En otras palabras, el proceso es estimar un parámetro de población deseado mediante una medición apropiada calculada a partir de los valores de la muestra. Por ejemplo, la muestra de cuatro baterías que se mencionó previamente tiene una vida promedio de 31.0 horas. Si ésta es una muestra representativa de un proceso, ¿qué estimación se puede hacer del verdadero promedio de vida para la población entera de baterías?

La declaración de la estimación tiene dos partes:

1. El *punto estimado* es un valor único usado para estimar un parámetro de la población. Por ejemplo, 31.0 horas es el punto estimado del promedio de vida de la población. La media de la muestra tiene algunas propiedades estadísticas importantes: en promedio, las medias de la muestra se igualarán a la media de la población, y la variabilidad de las medias de la muestra es menos que la de otras estimaciones “imparciales” cuando la distribución subyacente es normal. De manera más precisa, el punto estimado para un parámetro de población debería ser imparcial, es decir, el valor esperado del estimado debería igualar el parámetro de la población. Asimismo, el punto estimado debería tener una varianza mínima en comparación con otros estimadores del parámetro de la población. Por lo tanto, la media de la muestra es normalmente el mejor punto estimado de la media de la población.
2. El *intervalo de confianza* es un rango de valores que incluye (con una probabilidad preasignada llamada *nivel de confianza*) el verdadero valor de un parámetro de la población. Los *límites de confianza* son los límites superior e inferior del intervalo de confianza. Un nivel de confianza es la probabilidad de que una aserción respecto del valor de un parámetro de la población sea correcta.¹

Los límites de confianza no deberían confundirse con otros, como los límites de control o los de tolerancia estadística (véase el capítulo 19, “Herramientas estadísticas de diseño para la calidad”, para distinciones entre los distintos tipos de límites).

La tabla 18.1 sintetiza las fórmulas de los límites de confianza para los parámetros comunes. Los ejemplos siguientes ilustran algunas de estas fórmulas.

EJEMPLO 18.1. Media de una población normal. Veinticinco especímenes de latón tienen una dureza promedio de 54.62 y una desviación estándar estimada de 5.34. Determine los límites de confianza de 95% sobre la media. La desviación estándar de la población se desconoce.

Solución. Note que cuando se desconoce la desviación estándar y se estima a partir de una muestra, se debe usar la distribución t (tabla D en el apéndice III). El valor t para 95 por ciento de confianza se

¹En la práctica normalmente se usan niveles de confianza de 90, 95 o 99 por ciento.

TABLA 18.1
Síntesis de fórmulas de límite de confianza
 $(1 - \alpha) = \text{límite de confianza}$

Parámetros	Fórmulas
Media de una población normal (desviación estándar conocida)	$\bar{X} \pm Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ <p>donde \bar{X} = promedio de la muestra Z = coeficiente de distribución normal σ = desviación estándar de la población n = tamaño de la muestra</p>
Media de una población normal (desviación estándar desconocida)	$\bar{X} \pm t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$ <p>donde t = coeficiente de distribución (con $n - 1$ grados de libertad) $s = \sigma$ estimado (s es la desviación estándar de la muestra)</p>
Desviación estándar de una población normal	<p>Límite de confianza superior = $s \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{\alpha/2}}}$</p> <p>Límite de confianza inferior = $s \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{1-\alpha/2}}}$</p> <p>donde χ^2 = coeficiente de distribución chi-cuadrada con $n - 1$ grados de libertad $1 - \alpha$ = nivel de confianza</p>
Fracción defectuosa de la población	Véase tabla F en el apéndice II.
Diferencia entre la media de dos poblaciones normales (desviaciones estándar σ_1 y σ_2 conocidas)	$= s \sqrt{\frac{n-1}{\chi^2_{1-\alpha/2}}}$
Diferencia entre la media de dos poblaciones normales ($\sigma_1 = \sigma_2$ pero desconocidas)	$(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) \pm t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$ $\times \sqrt{\frac{\Sigma(X - \bar{X}_1)^2 + \Sigma(X - \bar{X}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}}$
Tiempo promedio entre fallas basado en la población exponencial de tiempo entre fallas	<p>Límite de confianza superior = $\frac{2rm}{\chi^2_{\alpha/2}}$</p> <p>Límite de confianza inferior = $\frac{2rm}{\chi^2_{1-\alpha/2}}$</p> <p>donde r = número de ocurrencias en la muestra (como número de fallas) m = tiempo promedio de la muestra entre fallas $DF = 2r$</p>

encuentra entrando a la tabla en 0.975 y $25 - 1$, o 24 , grados de libertad² y con una lectura del valor t de 2.064 .

$$\begin{aligned}\text{Límites de confianza} &= \bar{X} \pm t \frac{s}{\sqrt{n}} \\ &= 54.62 \pm (2.064) \frac{5.34}{\sqrt{25}} \\ &= 52.42 \text{ y } 56.82\end{aligned}$$

Existe 95% de confianza en que la verdadera media de dureza del latón esté entre 52.42 y 56.82.

EJEMPLO 18.2. Media de una población exponencial. Un sistema de radar reparable ha operado durante 1 200 horas, durante las cuales han ocurrido ocho fallas. ¿Cuáles son los límites de 90 por ciento de confianza en el tiempo medio entre fallas para el sistema?

Solución

$$\text{Muestra MTBF} = \frac{1\ 200}{8} = 150 \text{ h entre fallas}$$

$$\text{Límite de confianza superior} = 2(1\ 200)/7.962 = 301.4$$

$$\text{Límite de confianza inferior} = 2(1\ 200)/26.296 = 91.3$$

Los valores 7.962 y 26.296 se obtienen de una tabla chi-cuadrada (tabla E en el apéndice III). Existe un 90 por ciento de confianza en que la verdadera media de tiempo entre fallas esté entre 91.3 y 301.4 h.

Ha surgido confusión en la aplicación del término *nivel de confianza* para un índice de confiabilidad como el MTBF. Usando un ejemplo diferente: supongamos que la porción numérica de un requerimiento de confiabilidad se lee de la siguiente manera:

“El MTBF debe ser de al menos 100 horas en un nivel de confianza de 90 por ciento.” Esta afirmación significa que:

1. El MTBF mínimo debe ser 100 horas.
2. Se deben hacer pruebas reales sobre el producto para demostrar con un 90 por ciento de confianza que el MTBF de 100 horas se ha cumplido.
3. Los datos de las pruebas deben ser analizados calculando el MTBF observado y el límite de confianza inferior de 90 por ciento de un lado del MTBF. El verdadero MTBF yace por encima de este límite de 90 por ciento de confianza.
4. El límite de confianza inferior de un lado debe ser ≥ 100 horas.

El término *límite de confianza* desde un punto de vista estadístico tiene grandes implicaciones para un programa de prueba. El MTBF observado debe ser *mayor* que 100 si el límite de confianza inferior es ≥ 100 . El límite de confianza significa que se han llevado a cabo suficientes pruebas para demostrar, con validez estadística, que se ha cumplido con un requerimiento. El nivel de confianza

²Una derivación matemática de los grados de libertad está más allá del alcance de este libro, pero se puede establecer el concepto subyacente. Los *grados de libertad* (DF, por sus siglas en inglés) son el parámetro involucrado cuando, por ejemplo, se usa una desviación estándar para estimar la verdadera desviación estándar de un universo. DF es igual al número de mediciones de una muestra menos un número de restricciones estimado a partir de los datos para calcular la desviación estándar. En este ejemplo, fue necesario estimar sólo una constante (la media de la población) para calcular la desviación estándar. Por lo tanto, $DF = 25 - 1 = 24$.

no se refiere a la opinión cualitativa para cumplir con un requerimiento. *Tampoco* baja un requerimiento, es decir, un MTBF de 100 horas en un nivel de confianza de 90 por ciento *no* significa que 0.90×100 , o 90 horas, es aceptable. Han ocurrido serios malentendidos como éste. Cuando se usa el término *nivel de confianza*, se debe entender claramente y no asumir su significado.

18.5 IMPORTANCIA DE LOS LÍMITES DE CONFIANZA EN LA PLANEACIÓN DE PROGRAMAS DE PRUEBAS

Pruebas adicionales incrementarán la precisión de las estimaciones. La precisión aquí se refiere al acuerdo entre un estimado y el verdadero valor del parámetro de la población. El incremento en la precisión no varía linealmente con el número de pruebas, y duplicar el número de pruebas normalmente *no* duplica la precisión. Examine la gráfica (figura 18.3) del intervalo de confianza para la media en relación con el tamaño de la muestra (se asumió una desviación estándar de 50.0): cuando el tamaño de la muestra es pequeño, un incremento tiene un gran efecto en el ancho del intervalo de confianza; después de 30 unidades, un incremento tiene un efecto mucho menor. El efecto disminuye debido a la raíz cuadrada de la fórmula para los límites de confianza. Duplicar la precisión requiere un tamaño de muestra cuatro veces mayor. La inclusión del parámetro de costo es vital aquí. El costo de las pruebas adicionales debe evaluarse en relación con el valor de la precisión adicional.

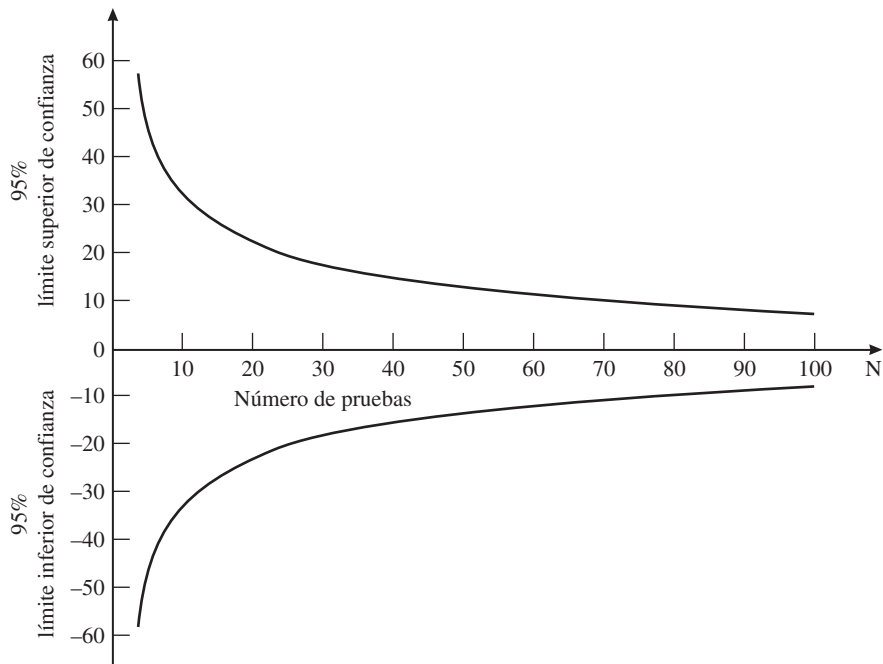


FIGURA 18.3
Ancho del intervalo de confianza vs. el número de pruebas.

Adicionalmente, si se selecciona la muestra al azar y si su tamaño es menor que 10 por ciento de la población, la precisión depende principalmente del tamaño absoluto de la muestra en lugar del tamaño de la muestra, expresado como un porcentaje del tamaño de la población. Así, un tamaño de muestra que equivale a 1 por ciento de la población de 100 000 puede ser mejor que una muestra de 10 por ciento de una población de 1 000.

18.6 DETERMINACIÓN DEL TAMAÑO DE MUESTRA REQUERIDO PARA UNA PRECISIÓN ESPECÍFICA EN UNA ESTIMACIÓN

Los límites de confianza pueden ayudar a determinar el tamaño de un programa de pruebas requerido para estimar la media de una característica de producto dentro de una precisión específica. Se desea estimar la media verdadera de la batería mencionada previamente donde $\sigma = 10$. El estimado debe estar entre 2.0 horas de la media verdadera si éste tiene algún valor. Un nivel de confianza de 95 por ciento es deseable en la declaración de confianza. El intervalo de confianza deseado es de ± 2.0 horas, o

$$2.0 = \frac{(1.96)(10)}{\sqrt{n}} \quad n = 96$$

Una muestra de 96 baterías dará un promedio que se encuentre entre 2.0 horas de la media verdadera (con 95 por ciento de confianza). Cabe destacar el tipo de información necesario para estimar la media de una población normal: (1) el ancho deseado del intervalo de confianza (la precisión deseada en el estimado), (2) el nivel de confianza deseado y (3) la variabilidad de las características que están siendo investigadas. El número de pruebas requerido no puede ser determinado hasta que el ingeniero proporcione estos elementos de información. La información anterior también podría desempeñar un papel importante en el diseño de un programa de prueba (véase la sección 18.11).

18.7 PRUEBA DE HIPÓTESIS

Conceptos básicos

Una hipótesis, como se usa aquí, es una afirmación acerca de una población. Típicamente, la hipótesis se establece como un par, de la siguiente manera: la *hipótesis nula* H_0 y una *hipótesis alternativa*, H_a . La hipótesis nula, H_0 , es una declaración de no cambio o no diferencia. De ahí el término “nula”. La hipótesis alternativa es la declaración de cambio o diferencia, es decir, si rechazamos la hipótesis nula, entonces la alternativa es verdadera por omisión.

Por ejemplo, para probar la hipótesis de que la media de una población de baterías es igual a 30 horas, establecemos que:

$$\begin{aligned} H_0: \mu &= 30.0 \text{ horas} \\ H_a: \mu &\text{ no igual a } 30.0 \text{ horas} \end{aligned}$$

Una prueba de hipótesis es una prueba de la validez de una afirmación que se lleva a cabo mediante el análisis de una muestra de datos.

Los resultados de la muestra deben ser evaluados cuidadosamente por dos razones. En primer lugar, existen muchas otras muestras que, sólo por suerte, podrían tomarse de esa población. En segundo, los resultados numéricos de la muestra finalmente seleccionada pueden ser fácilmente compatibles con diferentes hipótesis. Esos puntos se manejan reconociendo los dos tipos de errores de muestra.

Los dos tipos de errores de muestra

Al evaluar una hipótesis, pueden cometerse dos errores:

1. *Rechazar* la hipótesis nula cuando es *verdadera*. Esto se llama *error de tipo I* o *nivel de significación*. La probabilidad máxima del tipo de error I se denota con α .
2. *No rechazar* la hipótesis nula cuando es *falsa*. Esto se llama *error de tipo II* y la probabilidad se denota con β .

Estos errores se definen en términos numéricos y de probabilidad, y pueden ser controlados para valores deseados. Los posibles resultados de la prueba de hipótesis se sintetizan en la tabla 18.2. Las definiciones se encuentran en la tabla 18.2b.

El error de tipo I se muestra gráficamente en la figura 18.4 para la hipótesis $H_0: \mu_0 = 30.0$. El intervalo en el eje horizontal entre las líneas verticales representa la *región de no rechazo* para la prueba de una hipótesis nula. Si el resultado de la muestra (por ejemplo, la media) cae en esta región, la hipótesis nula es aceptada, no rechazada. De otra manera, es rechazada. Los términos

TABLA 18.2
Error de tipo I (α) y error de tipo II (β)

Supongamos que la decisión del análisis es	Supongamos que H_0 es	
	Verdadero	Falso
No rechazar H_0	Decisión correcta $p = 1 - \alpha$	Decisión incorrecta $p = \beta$
Rechazar H_0	Decisión incorrecta $p = \alpha$	Decisión correcta $p = 1 - \beta$

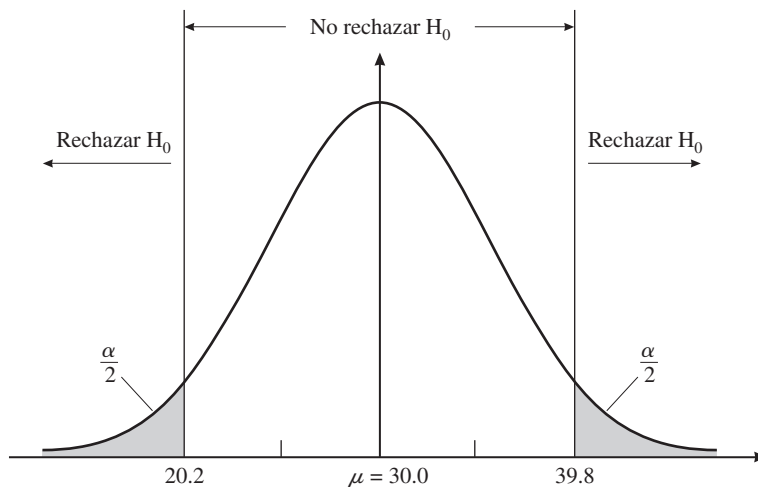


FIGURA 18.4
Regiones de rechazo para $H_0: \mu = 30.0$ y $H_a: \mu \neq 30.0$.

TABLA 18.2b
Definiciones para la prueba de hipótesis

-
- **Hipótesis nula (H_0):** declaración de no cambio o diferencia. Esta declaración se asume como verdadera hasta que se presenten pruebas suficientes para rechazarla.
 - **Hipótesis alternativa (H_a):** declaración de cambio o diferencia. Esta declaración se considera verdadera si se rechaza la H_0 .
 - **Error de tipo I:** el error de rechazar H_0 cuando es verdadera, o de decir que hay una diferencia cuando no es así.
 - **Riesgo alfa:** el riesgo máximo o la probabilidad máxima de cometer un error de tipo I. Esta probabilidad está preestablecida, basada en cuánto riesgo está dispuesto a correr el investigador al cometer un error de tipo I (rechazar erróneamente H_0), y se establece usualmente en 5 por ciento (o .05). Si el valor p es menor que alfa, entonces se rechaza H_0 .
 - **Nivel significativo:** el riesgo de cometer un error de tipo I.
 - **Error de tipo II:** el error de no rechazar H_0 cuando es falsa, o de decir que no hay diferencia cuando realmente la hay.
 - **Riesgo beta:** el riesgo o probabilidad de cometer un error de tipo II o de ignorar un tratamiento efectivo o una solución al problema.
 - **Diferencia significativa:** el término se usa para describir los resultados de una prueba de una hipótesis estadística donde la diferencia es demasiado grande como para ser atribuida a la suerte.
 - **Valor p :** la probabilidad de obtener muestras diferentes, donde en realidad no hay diferencia en la población, como, por ejemplo, la probabilidad real de cometer un error de tipo I. El valor p es la probabilidad real de rechazar incorrectamente una hipótesis nula H_0 (como la oportunidad de rechazar la nula cuando es verdadera). Cuando el valor p es menor a alfa, rechaza H_0 . Cuando el valor p es mayor que alfa, no rechaza H_0 .
 - **Poder:** la habilidad de una prueba estadística para detectar una diferencia real cuando realmente hay una, o la probabilidad de estar en lo correcto al rechazar H_0 . Comúnmente se usa para determinar si los tamaños de la muestra son suficientes para detectar una diferencia en los tratamientos, si es que existe una. Poder = $(1 - \beta)$ o 1 menos la probabilidad de cometer un error de tipo II.
-

no rechazar y *rechazar* requieren una interpretación cuidadosa. Los significados se explican en la sección 18.9 de este capítulo. Cabe destacar que una pequeña porción de la curva cae fuera de la región. Esta área (α) representa la probabilidad de obtener un resultado de la muestra fuera de la región, aunque la hipótesis nula sea correcta.

Supongamos que se ha decidido que el error de tipo I no debe exceder 5 por ciento. Este valor es la probabilidad máxima de rechazar una hipótesis cuando la media verdadera de vida sea 30.0. La región de rechazo se puede obtener localizando los valores de la vida media que sólo tienen 5 por ciento de probabilidad de ser excedidos cuando la media verdadera de vida es 30.0. Además, supongamos que se toma una muestra n de cuatro mediciones y que $\sigma = 10.0$.

Recordemos que la curva representa una población de medias de la muestra porque la decisión se tomará con base en la media de la muestra. Las medias de la muestra varían menos que las mediciones individuales de acuerdo con la relación $\sigma_x = \sigma/\sqrt{n}$ (véase la sección 18.3, “Variación de muestra y distribuciones de muestra”).

Además, la distribución de las medias de la muestra es aproximadamente normal incluso si la distribución de las mediciones individuales (que van en las medias) no es normal. La aproximación es mejor para los valores grandes de n , pero es adecuada para un valor de n tan bajo como 4.

La tabla A del apéndice III muestra que un área de 2.5 por ciento en cada extremo está en un límite que es 1.96 desviaciones estándar de 30.0. Entonces, siguiendo la hipótesis de que $\mu_0 = 30.0$, 95 por ciento de las medias de la muestra caerán entre $\pm 1.96 \sigma_x$ de 30.0, o

$$\text{Límite superior} = 30.0 + 1.96 \frac{10}{\sqrt{4}} = 39.8$$

$$\text{Límite inferior} = 30.0 - 1.96 \frac{10}{\sqrt{4}} = 20.2$$

La región de *no rechazar* H_0 se define por lo tanto como 20.2 a 39.8. Si la media de una muestra aleatoria de cuatro baterías se encuentra en esta región, la hipótesis no es rechazada. Si la media cae fuera de la región, la hipótesis es rechazada. La regla de decisión brinda un error de tipo I de .05.

En el error de tipo II, o β , la probabilidad de *no rechazar* una hipótesis cuando es falsa se muestra en la figura 18.5 como el área sombreada. Hay que destacar que es posible obtener un resultado de la muestra dentro de la región de *no rechazar* H_0 , aunque la población tenga una media verdadera que no es igual a la planteada en la hipótesis. El valor numérico de β depende del verdadero valor de la media de la población (y también de n , σ y α). Las diversas probabilidades se describen en la *curva de característica operativa* (OC, por sus siglas en inglés).

El problema ahora es construir una curva OC para definir la magnitud del error de tipo II (β). Debido a que β es la probabilidad de *no rechazar* la hipótesis original ($\mu_0 = 30.0$) cuando es *falsa*, debe encontrarse la probabilidad de que una media de la muestra caiga entre 20.2 y 39.8 cuando la media verdadera de la población es algo más que 30.0. Esto se logra encontrando el área debajo de la curva normal para todos los valores posibles de la media verdadera de la población.

Los resultados de la curva OC se muestran en la figura 18.6. La curva OC es un diagrama de la probabilidad de *no rechazar* la hipótesis original como una función del valor verdadero de un parámetro de la población (y los valores dados de n , σ y α). Cabe destacar que para una media igual a la hipótesis (30.0), la probabilidad de *no rechazar* es $1 - \alpha$. Esta curva no debe confundirse con una de distribución normal de mediciones. En algunos casos, la forma es similar, pero los significados de una curva OC y una de distribución son enteramente diferentes.

El uso de la curva de característica operativa al elegir una región de aceptación

La región de *aceptación* H_0 fue determinada dividiendo el 5 por ciento de error α permisible en dos partes iguales (ver figura 18.4). Este proceso se llama *prueba de dos extremos*. El error entero de 5 por ciento podría también ubicarse ya sea en el extremo derecho o en el izquierdo de la curva de distribución. Hay *pruebas de un extremo*.

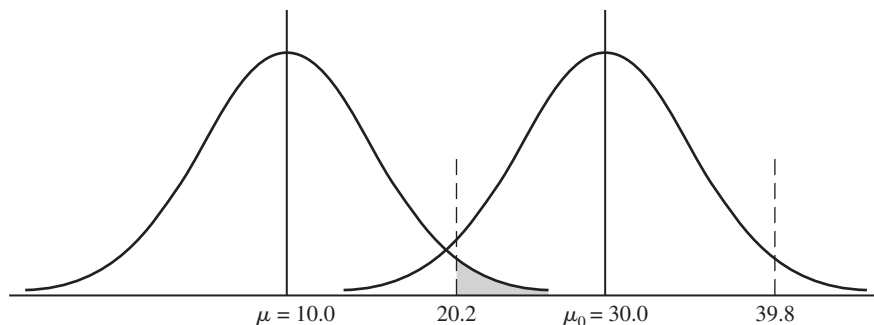


FIGURA 18.5
Error de tipo II, o β .

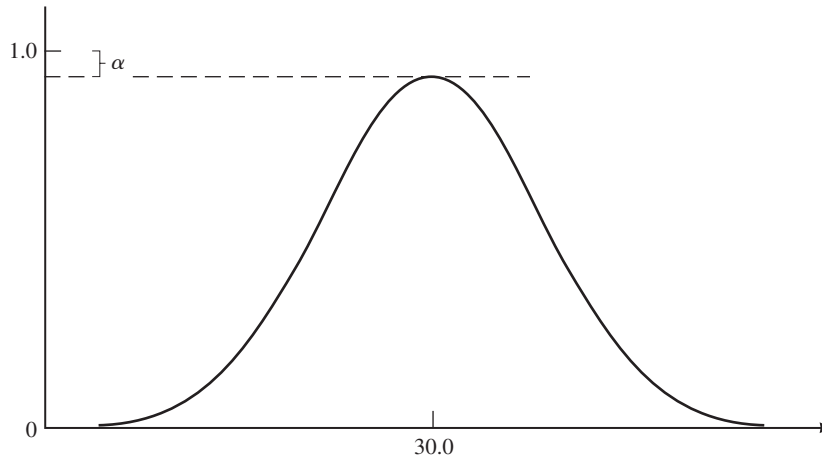


FIGURA 18.6
Curvas de características operativas.

Las curvas de características operativas para pruebas que tienen estas regiones de aceptación de un extremo se pueden desarrollar siguiendo el enfoque utilizado para la región de dos extremos. Aunque el error α es el mismo, el error β depende de si se está usando una prueba de uno o dos extremos.

En algunos problemas hay conocimientos que indican que si una media verdadera de la población *no* es igual al valor de la hipótesis, entonces está en uno de los lados del valor de la hipótesis. Por ejemplo, un material nuevo con una fuerza media supuestamente más alta tendrá un valor medio igual a *o mayor que* el del material presente. Dicha información ayudará a elegir una prueba de uno o dos extremos para hacer el error β tan pequeño como sea posible. Los siguientes lineamientos se basan en el análisis de las curvas OC:

Use una prueba de un extremo con el riesgo entero α del extremo derecho si (1) se sospecha que (si μ_0 no es verdad) la media verdadera es $>\mu_0$ o (2) los valores de la media de la población $<\mu_0$ son aceptables y sólo queremos detectar a la población media $>\mu_0$.

Use una prueba de un extremo con el riesgo entero α del extremo izquierdo si (1) se sospecha que (si μ_0 no es verdad) la media verdadera es $<\mu_0$ o (2) los valores de la media de la población $>\mu_0$ son aceptables y sólo queremos detectar a la población media $<\mu_0$.

Use una prueba de dos extremos si (1) no existen conocimientos previos respecto de la ubicación o la verdadera media de la población, o (2) queremos detectar una verdadera media de la población mayor o menor que el μ_0 planteado en la hipótesis original.³

La selección de una prueba de uno o dos extremos se ilustrará mediante algunos ejemplos en la sección 18.8. Cada prueba de la hipótesis tiene una curva OC. (Algunas referencias presentan curvas de “poder”, pero el poder es simplemente uno menos la probabilidad de aceptación, o $1 - \beta$.)

³ Con la prueba de dos extremos, la hipótesis a veces se plantea como la hipótesis original $H_0: \mu_0 \neq 30.0$, en contraste con la hipótesis alternativa $H_a: \mu_0 \neq 30.0$. Con una prueba de un extremo, se usa $H_0: \mu_0 \neq 30.0$ en comparación con la alternativa $H_a: \mu_1 < 30.0$ si α se coloca en el extremo izquierdo, o $H_a: \mu_1 > 30.0$ si α se coloca en el extremo derecho.

Con este panorama, la discusión ahora se dirige hacia los pasos para probar una hipótesis.

18.8 PROBANDO UNA HIPÓTESIS CUANDO EL TAMAÑO DE LA MUESTRA SE FIJA POR ANTICIPADO

Idealmente, los valores deseados para los errores de tipo I y II se definen por anticipado, y se determina el tamaño de la muestra requerida (ver sección 18.10). Si se fija el tamaño de la muestra por anticipado debido al costo o las limitaciones de tiempo, entonces normalmente se define el error de tipo I deseado y se sigue este procedimiento:

0. Establecer el problema práctico.
1. Establecer la hipótesis nula y la hipótesis alterna.
2. Elegir un valor para α (alfa). Los valores comunes son .01, .05 y .10.
3. Elegir la prueba estadística para probar la hipótesis.
4. Determinar la región de rechazo para la prueba, es decir, el rango de valores de la prueba estadística que resulten en una decisión para rechazar la hipótesis nula.
5. Obtener una muestra de observaciones, calcular la estadística de la estadística y comparar el valor con la región de rechazo para decidir si se rechaza o no la hipótesis.
6. Dibujar la conclusión práctica.

La tabla 18.3 sintetiza algunas pruebas comunes de hipótesis. El procedimiento se ilustra a través de los ejemplos siguientes. En éstos se asume un error de tipo I de .05.

1. Prueba para una media de población, μ . (La desviación estándar de la población se conoce.)

EJEMPLO 18.3. Una prensa para moldes de una sola cavidad ha estado fabricando aislantes con una fuerza de impacto media de 5.15 libras por pie (6.98 N-m) y con una desviación estándar de 0.25 libras por pie (0.34 N-m). Un nuevo lote muestra los siguientes datos para 12 especímenes:

Especímen	Fuerza
1	5.02
2	4.87
3	4.95
4	4.88
5	5.01
6	4.93
7	4.91
8	5.09
9	4.96
10	4.89
11	5.06
12	4.85
	$\bar{X} = 4.95$

TABLA 18.3
Síntesis de fórmulas de pruebas de hipótesis

Hipótesis	Estadística de prueba y distribución
$H_0: \mu = \mu_0$ (la media de una población normal es igual a un valor especificado μ_0 ; σ es conocido)	$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma / \sqrt{n}}$ <p>Distribución normal estándar</p>
$H_0: \mu = \mu_0$ (la media de una población normal es igual a un valor especificado μ_0 ; σ es estimado por s)	$t = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s / \sqrt{n}}$ <p>distribución t con $n - 1$ grados de libertad (DF)</p>
$H_0: \mu_1 = \mu_2$ (la media de la población 1 es igual a la media de la población 2; asumimos que $\sigma_1 = \sigma_2$ y que ambas poblaciones son normales)	$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{1/n_1 + 1/n_2} \sqrt{[(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2] / (n_1 + n_2 - 2)}}$ <p>distribución t con $DF = n_1 + n_2 - 2$</p>
$H_0: \sigma = \sigma_0$ (la desviación estándar de una población normal es igual a un valor especificado σ_0)	$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$ <p>distribución chi-cuadrada con $DF = n - 1$</p>
$H_0: \sigma_1 = \sigma_2$ (la desviación estándar de la población 1 es igual a la desviación estándar de la población 2; asumimos que ambas poblaciones son normales)	$F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$ <p>Distribución F con $DF_1 = n_1 - 1$ y $DF_2 = n_2 - 1$</p>
$H_0: \hat{p} = p_0$ (la fracción defectuosa en una población es igual al valor especificado p_0 ; asumimos que $np_0 \geq 5$) \hat{p} = proporción muestra	$Z = \frac{\hat{p} - p_0}{\sqrt{p_0(1-p_0)/n}}$ <p>Distribución estándar normal</p>
$H_0: p_1 = p_2$ (la fracción defectuosa en la población 1 es igual a la fracción defectuosa en la población 2; asumimos que $n_1 p_1$ y $n_2 p_2$ son cada uno ≥ 5)	$Z = \frac{X_1/n_1 - X_2/n_2}{\sqrt{\hat{p}(1-\hat{p})(1/n_1 + 1/n_2)}} \quad \hat{p} = \frac{X_1 + X_2}{n_1 + n_2}$ <p>Distribución estándar normal</p>
Para probar la independencia en una tabla de contingencia $J \times K$ que clasifica las variables A y B H_a : A es dependiente de B H_0 : A es independiente de B	$\chi^2 = \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k \frac{(f_{jk} - e_{jk})^2}{e_{jk}}$ <p>Distribución chi-cuadrada con $DF = (J - 1)(K - 1)$ donde: f_{jk} = la frecuencia observada de datos para la categoría j de la variable A y la categoría k de la variable B e_{jk} = la frecuencia esperada = $f_{j0}f_{0k}/f_{00}$ f_{j0} = frecuencia total para la categoría j de la variable A f_{0k} = frecuencia total para la categoría k de la variable B f_{00} = la frecuencia total de la tabla $J \times K$</p>

Para datos anormales, se usan pruebas no paramétricas. Como resultado, se comparan las medianas (en lugar de las medias). Para comparar la(s) mediana(s)

- con un objetivo: prueba Wilcoxon de una muestra
- de dos poblaciones: prueba Mann-Whitney
- de dos o más poblaciones: prueba Kruskal-Wallis

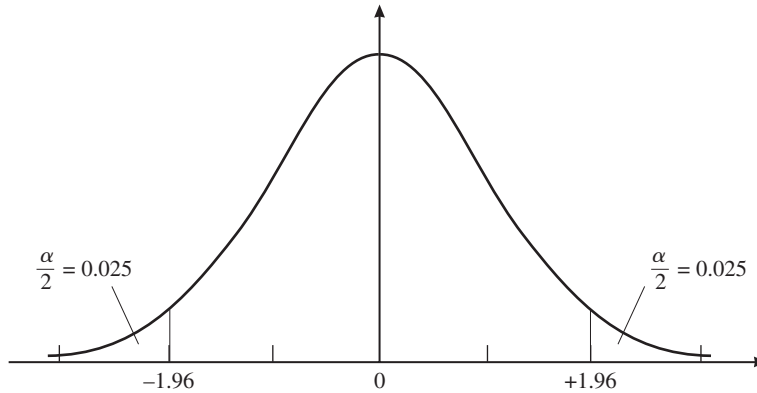


FIGURA 18.7
Distribución de Z (prueba de dos extremos).

¿El nuevo lote del cual se tomó la muestra de 12 es diferente en la fuerza de impacto medio en relación con el desempeño pasado del proceso? Asumir $\alpha = .05$.

Solución. $H_0: \mu_0 = 5.15$ libras por pie (6.98 N-m). (La media de la población de la que se tomó la muestra es la misma que el promedio del proceso anterior.) $H_a: \mu_0 \neq 5.15$ libras por pie (6.98 N-m).

Estadística de la prueba

$$Z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$$

Región de rechazo. Asumiendo que no hay información previa y que es importante detectar una desviación en cualquier lado del promedio de la hipótesis, se puede aplicar la prueba de dos extremos (figura 18.7). De la tabla A en el apéndice III, la región de *no rechazo* H_0 es Z entre -1.96 y $+1.96$.

Análisis de los datos de muestra

$$Z = \frac{4.95 - 5.15}{0.25/\sqrt{12}} = -2.75$$

Conclusión. Debido a que Z se encuentra en la zona de rechazo, se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, existen evidencias suficientes para concluir que la fuerza media del impacto del nuevo proceso es significativamente diferente de la media del proceso anterior. La respuesta a la primera pregunta de la sección 18.2 es sí.

- Prueba para la media de dos poblaciones, μ_1 y μ_2 , cuando se desconoce la desviación estándar pero se cree que es la misma para ambas poblaciones. (Esta presunción se puede evaluar con la prueba 4.)

EJEMPLO 18.4. Dos modelos de bujía se operan en cilindros alternos de un motor de avión durante 100 horas y se obtienen los siguientes datos:

	Modelo 1	Modelo 2
Número de bujías probadas	10	8
Desgaste promedio por 100 h (\bar{X}), pulgada	0.0049	0.0064
Variabilidad (s), pulgada	0.0005	0.0004

¿Se puede decir que el modelo 1 se desgasta menos que el modelo 2?

Solución. $H_0: \mu_1 = \mu_2.$
 $H_a: \mu_1 < \mu_2.$

Estadística de la prueba

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{1/n_1 + 1/n_2} \sqrt{[(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2] / (n_1 + n_2 - 2)}}$$

con grados de libertad = $n_1 + n_2 - 2$.

Región de rechazo. Sólo estamos preocupados con la posibilidad de que el modelo 1 se desgaste menos que el modelo 2; por lo tanto, usamos una prueba de un solo extremo (figura 18.8) con el riesgo entero en el extremo izquierdo. De la tabla D en el apéndice III, la región de *no rechazo* H_0 es $t > -1.746$.

Análisis de los datos de la muestra

$$t = \frac{0.0049 - 0.0064}{\sqrt{1/10 + 1/8} \sqrt{[(10 - 1)(0.0005)^2 + (8 - 1)(0.0004)^2] / (10 + 8 - 2)}} = -6.9$$

Conclusión. Tomando en cuenta que t está en la zona de rechazo, se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, existen evidencias suficientes para concluir que el modelo 1 se desgasta menos que el modelo 2. La respuesta a la tercera pregunta de la sección 18.2 es sí.

La prueba de comparación por pares es un caso especial de la prueba para dos medias de población. Aquí las dos muestras de mediciones provienen de una fuente que se considera homogénea y por ello se puede obtener mayor precisión al comparar las dos muestras. Los datos se toman en pares, se analizan las diferencias d , en pares, y se desarrolla una prueba t . Para más detalles, ver *JQH5*, página 44.65.

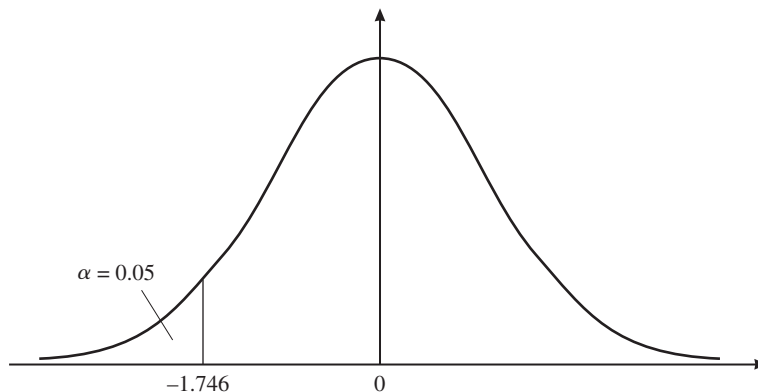


FIGURA 18.8
 Distribución de t con α en el extremo izquierdo.

3. Prueba de desviación estándar de una población, σ .

EJEMPLO 18.5. Para la fuerza de los aislantes que se tabularon en el primer ejemplo, la desviación estándar de la muestra es 0.036 libras por pie (0.049 N-m). La variabilidad previa, registrada durante el periodo, se estableció como una desviación estándar de 0.25 libras por pie (0.34 N-m). ¿El valor más bajo de 0.036 indica que el nuevo lote es significativamente más uniforme (es decir, que la desviación estándar es menor que 0.25)?

Solución. $H_0: \sigma_0 = 0.25$ pies por libra (0.34 N-m).
 $H_a: \sigma < 0.25$ pies por libra (0.34 N-m).

Estadística de la prueba

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$$

con grados de libertad = $n - 1$.

Región de rechazo. Creemos que la desviación estándar es más pequeña; por lo tanto, usaremos una prueba de un extremo (figura 18.9) con el riesgo entero en el extremo izquierdo. De la tabla E en el apéndice III la región de *no rechazo* H_0 es $\chi^2 \geq 4.57$.

Análisis de los datos de la muestra

$$\chi^2 = \frac{(12-1)(0.078)^2}{(0.25)^2} = 1.08$$

Conclusión. Tomando en cuenta que χ^2 está en la región de rechazo, la hipótesis nula se rechaza. Por lo tanto, existen evidencias suficientes para concluir que el lote nuevo es más uniforme que el viejo.

Cuando se usa la distribución chi-cuadrada para probar la varianza de una muestra, los datos originales deben provenir de una población distribuida normalmente.

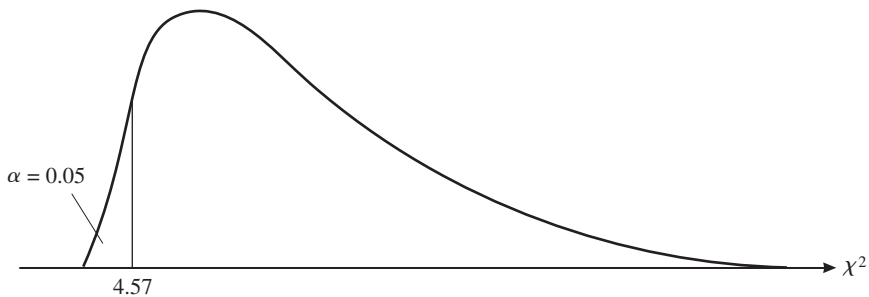


FIGURA 18.9
 Distribución de χ^2 con α en el extremo izquierdo.

4. Prueba de diferencia de la variabilidad (s_1 versus s_2) en dos muestras.

EJEMPLO 18.6. Un laboratorio de materiales está estudiando el efecto de la edad en la aleación de metal. Los investigadores quieren saber si la fuerza de las partes es más consistente con el tiempo que antes. Se obtuvieron los siguientes datos (asumiendo que $\alpha = .05$):

	Al inicio (1)	Después de 1 año (2)
Número de especímenes (n)	9	7
Fuerza promedio (\bar{X}), psi	41 350	40 920
Variabilidad (s), psi	934	659

Solución. $H_0: \sigma_1 = \sigma_2$.
 $H_a: \sigma_1 > \sigma_2$.

Estadística de la prueba

$$F = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad \text{con } DF_1 = n_1 - 1, DF_2 = n_2 - 1$$

Región de rechazo. Nos preocupa una mejoría en la variación; por lo tanto, usamos una prueba de un extremo (figura 18.10) con el riesgo entero α en el extremo derecho.

De la tabla G en el apéndice III, la región de *no rechazo* H_0 es $F \leq 4.15$.

Análisis de los datos de la muestra

$$F = \frac{(934)^2}{(659)^2} = 2.01$$

Conclusión. Tomando en cuenta que F está en la región de *no rechazo* H_0 , no rechazamos la hipótesis nula. Por lo tanto, no existen evidencias suficientes para concluir que la fuerza de las partes es más consistente después de un tiempo.

En esta prueba y otras que comparan dos muestras, las muestras deben ser independientes para garantizar conclusiones válidas.

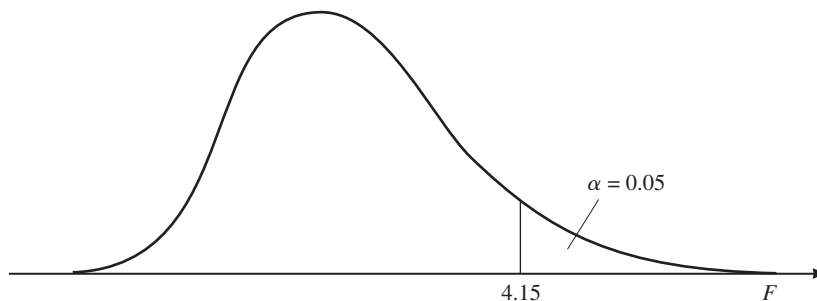


FIGURA 18.10
 Distribución de F con α en el extremo derecho.

5. Prueba de diferencia entre dos proporciones (usando MINITAB).

EJEMPLO 18.7. Los datos tabulados en la hoja de trabajo de Prueba de Control son de una prueba clínica para un medicamento. La prueba constó de 1 200 especímenes divididos en dos grupos de 600. Un “1” indica una instancia de la enfermedad, un “0” indica que no se detectó la enfermedad. Un grupo (Grupo de Prueba) recibió una nueva fórmula del medicamento, mientras que el otro no recibió ninguno. En el Grupo de Control hubo 141 instancias de la enfermedad que se está estudiando. En el Grupo de Prueba, hubo 117 instancias de la enfermedad.

- a) ¿Puede el fabricante asegurar, con 95 por ciento de confianza, que la nueva fórmula es más efectiva para combatir la enfermedad?
- b) ¿Cuál es el nivel máximo de error que tendría el fabricante al hacer esa afirmación?
- c) ¿Cuál es el intervalo de confianza para el efecto de la nueva fórmula ($p_1 - p_2$)? (El nombre del archivo MINITAB es Control-Test.mpj)

Respuesta. a) No. Ver proporciones de la prueba más abajo.

Conteo de variables discretas: grupo de prueba, grupo de control

Grupo de prueba	Conteo	Grupo de prueba	Conteo
0	483	0	459
1	117	1	141
N=	600	N=	600

Prueba y CI para dos proporciones: grupo de prueba, grupo de control

Evento = 1

Variable	X	N	Muestra p
Grupo de prueba	117	600	0.195000
Grupo de control	141	600	0.235000

Diferencia = p (Grupo de Prueba) - p (Grupo de Control)

Estimado de la diferencia: -0.04

95% CI para la diferencia: (-0.0864329, 0.00643295)

Prueba de la diferencia = 0 (vs no = 0): $Z = -1.69$ P-Valor = 0.091

b) El fabricante tendrá 91% de posibilidades de equivocarse al afirmar que el producto nuevo es más efectivo.

c) El intervalo de confianza es desde -8.6% (menos efectivo) hasta .64% (más efectivo).

6. Prueba de diferencia entre dos medias (usando MINITAB).

EJEMPLO 18.8. Para investigar un problema sobre el encorvamiento de paneles de madera, se propuso una teoría según la cual el encorvamiento se debe a la diferencia del contenido de humedad en las capas del producto laminado antes de secarse. Los datos que se muestran se tomaron entre las capas 1-2 y 2-3. ¿Existe una diferencia significativa en el contenido de humedad?

Capa 1-2		Capa 2-3	
4.43	4.40	3.74	5.14
6.01	5.99	4.30	5.19
5.87	5.72	5.27	4.16
4.64	5.25	4.94	5.18
3.50	5.83	4.89	4.78
5.24	5.44	4.34	5.42
5.34	6.15	5.30	4.05
5.99	5.14	4.55	3.92
5.75	5.72	5.17	4.07
5.48	5.00	5.09	4.54
5.64	5.01	4.74	4.23
5.15	5.42	4.96	5.07
5.64		4.21	

(Nombre del archivo: Moisture Content-mpj)

Respuesta. (MINITAB: Graph>Prob Plot; Stat>Basic Stats>Dos varianzas; Stat>Basic Stat>2 muestras t con varianzas iguales)

El diagrama de probabilidad indica que la presunción de normalidad en las series de datos es apropiada.

La prueba de equidad de varianza concluye que las varianzas son iguales.

Dos pruebas de muestra t concluyen que existe una diferencia significativa en el contenido de humedad en las dos áreas sometidas a prueba. Los boxplot se muestran en la figura 18.11.

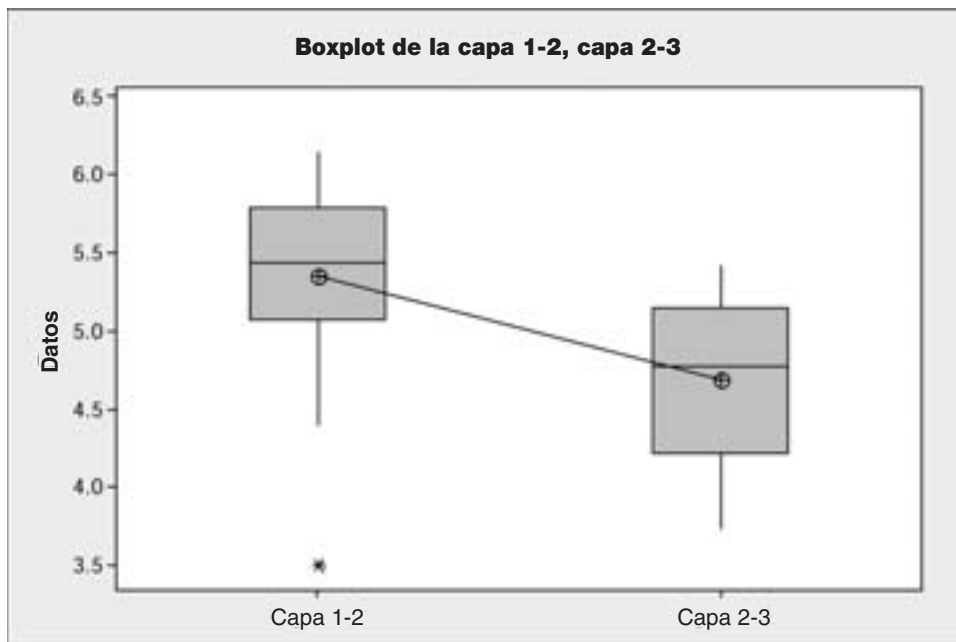


FIGURA 18.11

Prueba T y CI de dos muestras: Capa 1-2, capa 2-3

T de dos muestras para capa 1-2 vs. capa 2-3

	N	Media	Desviación estándar	Media de SE
Capa 1-2	25	5.350	0.613	0.12
Capa 2-3	25	4.689	0.499	0.10

Diferencia = μ (capa 1-2) - μ (capa 2-3)

Estimación de la diferencia: 0.660901

95% CI para la diferencia: (0.343158, 0.978644)

Prueba T de la diferencia = 0 (vs no =): Valor T = 4.18 P-Valor = 0.000

DF = 48

Ambos usaron la desviación estándar común = 0.5587

7. Probando la diferencia en las medias de tres grupos (usando MINITAB).

EJEMPLO 18.9. El supervisor de producción pensó que el tiempo de respuesta de un circuito estaba relacionada con el tipo de circuito. Es sólo una “corazonada”. Quiere saber a ciencia cierta si esto es verdad.

Tipo de circuito	Tiempo de respuesta
1	19
1	22
1	20
1	18
1	25
2	20
2	21
2	33
2	27
2	40
3	16
3	15
3	18
3	26
3	17

Para comparar las medias de las tres poblaciones, debemos usar un ANOVA. La hipótesis que se quiere probar es:

H_0 : No existe diferencia en la media de los tiempos de respuesta de los tres tipos de circuito.

H_a : Existe diferencia en la media de los tiempos de respuesta de los tres tipos de circuito.

Primero vamos a probar si las varianzas son iguales. Ver figura 18.12.

Nuestros valores p son altos, por lo que no podemos concluir que las varianzas sean diferentes.

Una vez que probamos que las varianzas son iguales, podemos usar ANOVA.

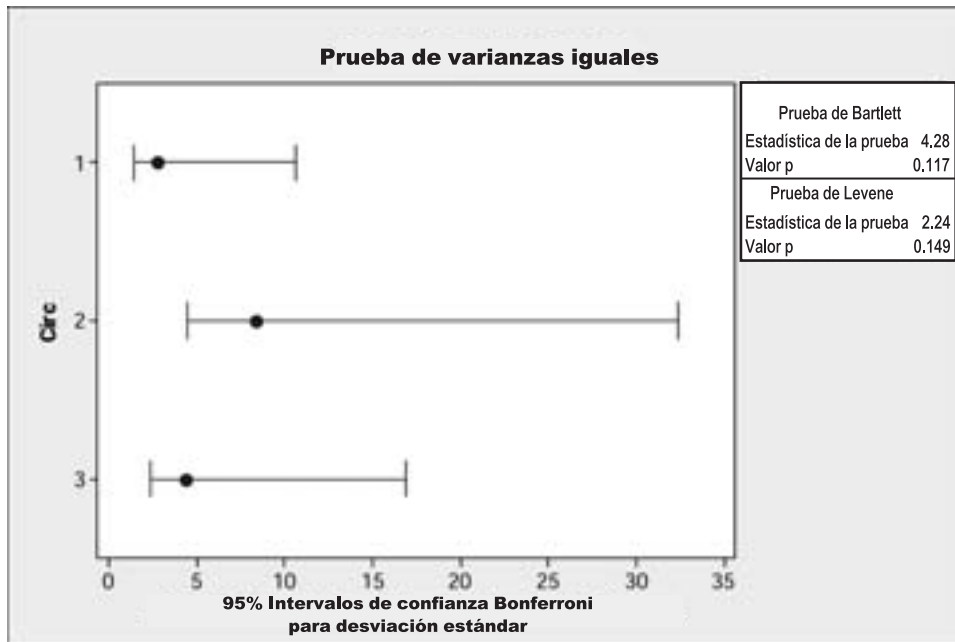


FIGURA 18.12

Nuestros resultados son:

ANOVA de un sentido: Resp_t versus Circ

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Circ	2	260.9	130.5	4.01	0.046
Error	12	390.8	32.6		
Total	14	651.7			

S = 5.707 R-Sq = 40.04% R-Sq(adj) = 30.04%

Individual 95% CI para la media basada en la desviación estándar conjunta

Nivel	N	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza
1	5	20.800	2.775	(----- * -----)
2	5	28.200	8.408	(----- * -----)
3	5	18.400	4.393	(----- * -----)

-----+-----+-----+-----+
18.0 24.0 30.0 36.0

Desviación estándar conjunta = 5.707

Aquí el valor p es menor que el riesgo aceptable de 0.05 (alfa), por lo que podemos rechazar la hipótesis nula.

Conclusión. El supervisor de producción está en lo correcto, es decir, existe una diferencia en el tiempo de respuesta entre los circuitos.

8. Probando la independencia entre los factores.

EJEMPLO 18.10. Un equipo de proyecto Six Sigma está intentando determinar si el resultado de un tratamiento para una enfermedad en particular depende del hospital donde los pacientes se sometieron a éste. La tabla que se presenta a continuación muestra el número de pacientes que siguieron el tratamiento en cada hospital el año pasado y el resultado correspondiente: total, parcial o no recuperación.

Resultado del tratamiento	Hospital			
	A	B	C	D
Recuperación parcial	98	113	82	32
Recuperación parcial	15	15	17	15
No recuperación	10	12	11	14

Para probar la independencia de los dos factores se usaron pruebas con tablas de contingencia chi-cuadrada. La hipótesis que se quiere probar es la siguiente:

H_0 : El resultado del tratamiento es independiente del hospital

H_a : El resultado del tratamiento es dependiente del hospital

Después de hacer las pruebas con las tablas chi-cuadrada usando MINITAB, los resultados fueron:

Prueba chi-cuadrada: Hospital A, Hospital B, Hospital C, Hospital D

Las cuentas esperadas aparecen por debajo de las cuentas observadas
 Las contribuciones chi-cuadrada aparecen debajo de las cuentas esperadas

	Hospital A	Hospital B	Hospital C	Hospital D	Total
1	98	113	82	32	325
	92.11	104.84	82.37	45.68	
	0.377	0.635	0.002	4.097	
2	15	15	17	15	62
	17.57	20.00	15.71	8.71	
	0.376	1.250	0.105	4.534	
3	10	12	11	14	47
	13.32	15.16	11.91	6.61	
	0.828	0.659	0.070	8.276	
Total	123	140	110	61	434

Chi-cuadrada 21.209, DF = 6, Valor p = 0.002

La chi-cuadrada calculada = 21.209. Ésta es mayor que la chi-cuadrada crítica = 12.59 (DF = 6 y asumiendo $\alpha = 0.05$) en la tabla E del apéndice III. Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula de independencia.

Alternativamente, tomando en cuenta que el valor p de 0.002 es menor que nuestro riesgo aceptable de $\alpha = 0.05$, rechazamos la hipótesis nula de independencia.

Conclusión. El resultado del tratamiento del paciente es dependiente del hospital donde se lleva el tratamiento.

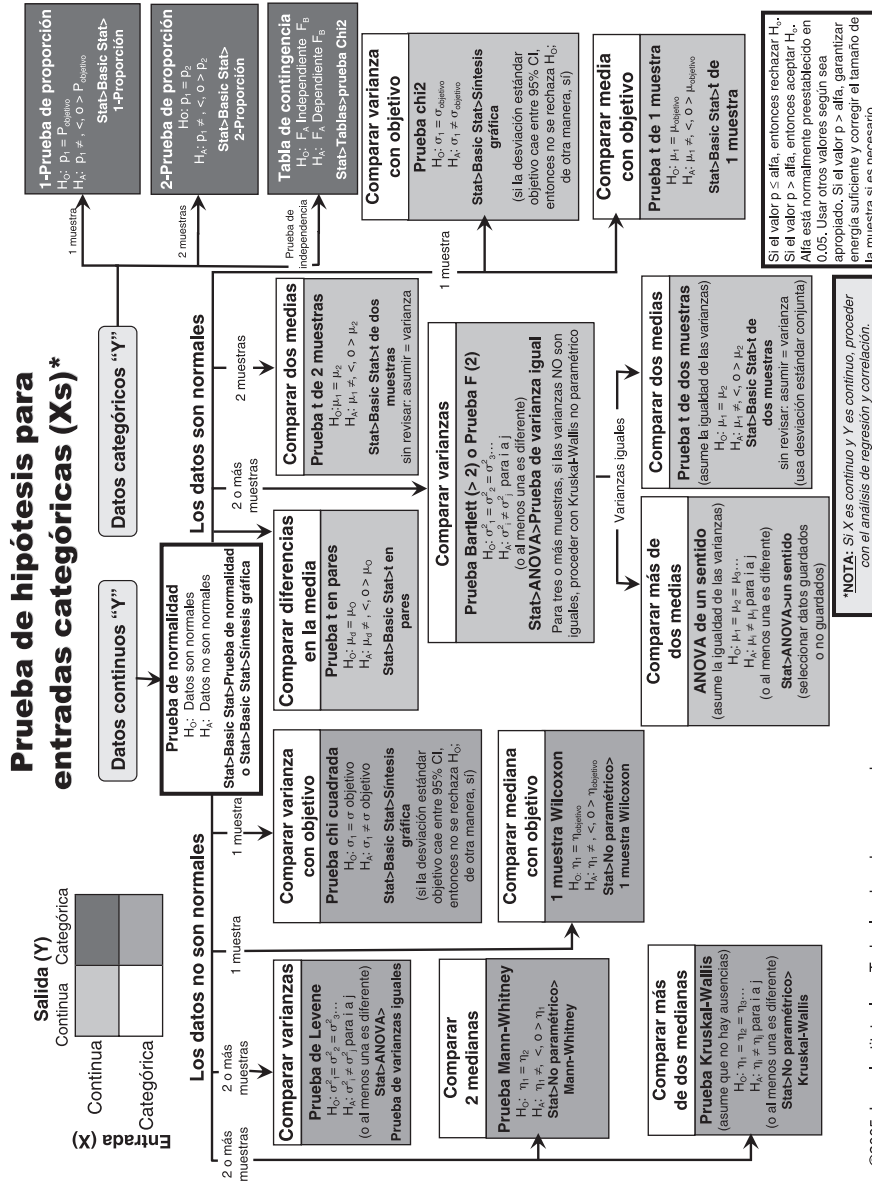


FIGURA 18.13

Hoja de ruta para la prueba de hipótesis (con MINTAB). Cortesía del Juran Institute Inc. Todos los derechos reservados.

18.9 SACAR CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS DE HIPÓTESIS

La retribución de todas las pruebas de hipótesis se obtiene al llegar a conclusiones útiles. El significado de *rechazar la hipótesis nula* o *no rechazar la hipótesis nula* se muestra en la tabla 18.4, junto con algunas analogías para explicar las sutilezas de los significados.

Cuando se rechaza una hipótesis nula, la conclusión práctica es que el valor del parámetro especificado en la hipótesis está equivocado. Se saca una conclusión con fuerte convicción, en otras palabras, con un nivel de confianza de $(1 - \alpha)$ por ciento. Entonces la pregunta clave es: ¿cuál sería una buena estimación del valor del parámetro para la población? Se puede obtener ayuda para esta pregunta calculando los límites de confianza para el parámetro (véase la sección 18.4).

Cuando una hipótesis nula no se rechaza, el valor numérico del parámetro planteado en la hipótesis no se ha probado, pero tampoco desaprobado. No es correcto decir que la hipótesis ha sido probada con un nivel de confianza de $(1 - \alpha)$ por ciento. Muchas otras hipótesis podrían ser aceptadas para la muestra dada de observaciones, y aun así sólo una puede ser verdadera. Por lo tanto, el no rechazar no significa una alta probabilidad de que una hipótesis específica sea correcta. (Todos los demás factores siendo iguales, entre más pequeño el tamaño de la muestra, más probable es que la hipótesis nula no sea rechazada. Menos evidencia ciertamente no implica una prueba.)

Al no rechazar una hipótesis, la pregunta clave es ¿qué conclusión, en caso de que la haya, se puede sacar acerca del valor del parámetro en la hipótesis? Se sugieren dos enfoques:

1. *Calcular los límites de confianza para el resultado de la muestra.* Estos límites de confianza definen un intervalo dentro del cual se encuentra el verdadero parámetro de la población. Si el intervalo es pequeño, la decisión de *no rechazar* en la prueba de la hipótesis significa que el verdadero valor de la población es igual o cercano al planteado en la hipótesis. Entonces es razonable actuar como si el valor del parámetro especificado en la hipótesis fuera correcto. Un intervalo de confianza relativamente amplio es una severa advertencia de que el valor real de la población podría ser muy diferente del especificado en la hipótesis. Por ejemplo, los límites

TABLA 18.4
El significado de una conclusión de pruebas de hipótesis

	Si se rechaza la hipótesis nula	Si no se rechaza la hipótesis nula
Adecuación de la evidencia en la muestra de observaciones.	Suficiente para concluir que la hipótesis es falsa.	Insuficiente para concluir que la hipótesis es falsa; la hipótesis es razonable, pero no se ha probado que sea cierta.
Diferencia entre el resultado de la muestra (por ejemplo \bar{X}) y valor de la hipótesis (por ejemplo, μ_0).	Poco probable que la diferencia se deba a la suerte en la variación (de la muestra).	La diferencia podría fácilmente deberse a la suerte en la variación (de la muestra).
Analogía de culpa o inocencia en la corte (juzgado).	Se ha establecido la culpa más allá de toda duda razonable.	No se ha establecido la culpa más allá de toda duda razonable.
Analogía de un promedio de bateo en béisbol.	Si el jugador obtuvo 300 hits en 1 000 oportunidades al bat, es suficiente para concluir que su promedio de bateo en general es de aproximadamente .300.	Si el jugador obtuvo 3 de cada 10 hits, no es suficiente para concluir que su promedio general es de aproximadamente .300.

de confianza de 21.2 y 40.8 en la vida de batería de la sección 18.4 podrían llevar a no rechazar la hipótesis de $\mu = 30.0$, pero hay que destacar que el intervalo de confianza es relativamente amplio.

2. *Construir y revisar la curva de característica operativa para la prueba de la hipótesis.* Esta curva define la probabilidad de que otros valores posibles para el parámetro de la población podrían haber sido aceptados por la prueba. Conocer estas probabilidades para valores relativamente cercanos a la hipótesis original puede ayudar a sacar conclusiones adicionales respecto a no rechazar la hipótesis original. Por ejemplo, la figura 18.6 muestra la curva OC para una hipótesis que especificó que la media de la población es de 30.0. Hay que subrayar que la probabilidad de no rechazar la hipótesis cuando la media de la población es 30.0 es .95 (o $1 - \alpha$). Pero también hay que ver que si μ realmente es 35.0, entonces la probabilidad de no rechazar $\mu = 30.0$ sigue siendo alta (aproximadamente .83). Si μ realmente es 42.0, la probabilidad de no rechazar $\mu = 30.0$ es sólo de .33.

Siempre se debe procurar sacar conclusiones de negocios a partir de conclusiones estadísticas, en particular cuando una hipótesis no es rechazada.

Una prueba de hipótesis determina si existe una diferencia estadística significativa entre el resultado de la muestra y el valor del parámetro de la población planteado en la hipótesis. La decisión de rechazar una hipótesis significa que la diferencia estadísticamente significativa está presente. Sin embargo, la diferencia no necesariamente tiene un significado práctico. Los tamaños de muestra grandes, aunque generalmente no están disponibles, pueden detectar pequeñas diferencias que podrían no tener importancia práctica. Por el contrario, el *no rechazar la hipótesis nula* significa que no se encontró una diferencia estadísticamente significativa, pero este resultado podría deberse a una muestra pequeña. Una muestra de mayor tamaño podría resultar en un “rechazo de hipótesis” y por ende detectar una diferencia significativa.

En lugar de determinar la región de rechazo para una prueba de hipótesis y buscar si la estadística de la prueba cae dentro de la región de rechazo, hay gente que prefiere determinar la probabilidad de significado (valor p). En este enfoque calculamos la estadística de la prueba (por ejemplo, el menor nivel de significado estadístico en que se rechaza una hipótesis). El software de cómputo con frecuencia provee el valor p como parte del análisis de datos. Este valor p se compara entonces con el nivel de significado (α) elegido originalmente: si p es igual a, o menor que el nivel de significado (α), la hipótesis se rechaza; si p es mayor que α , la hipótesis no se rechaza. Conocer el valor de la probabilidad añade información para la toma de decisión, pero el mismo valor de probabilidad podría presentarse para otros posibles resultados de muestra (véase *JQH5*, p. 44.81, para más detalles). Así, se pueden calcular al menos los límites de confianza del resultado de la muestra (véase más atrás).

18.10 DETERMINAR EL TAMAÑO DE LA MUESTRA REQUERIDO PARA PROBAR UNA HIPÓTESIS

Las secciones anteriores asumen que el tamaño de la muestra se establece mediante condiciones no estáticas y que sólo el error de tipo I está predefinido para la prueba. El procedimiento ideal es predefinir los errores de tipo I y II deseados, y calcular el tamaño de la muestra que se requiere para cubrir ambos tipos de errores.

El tamaño de la muestra requerido dependerá de (1) los riesgos de la muestra deseados (α y β), (2) el tamaño de la más pequeña diferencia verdadera que será detectada y (3) la variación en la característica que se va a medir. El tamaño de la muestra puede determinarse usando la curva OC para la prueba (véase *JQH5*, p. 44.78).

El tamaño de la muestra también puede calcularse directamente:

$$n = \left[\frac{(Z_{\alpha/2} + Z_{\beta})\sigma}{\mu - \mu_0} \right]^2$$

Supongamos que era importante detectar el hecho de que la vida media de las baterías que se mencionó anteriormente era de 35.0 horas. Específicamente, queremos estar 80 por ciento seguros de detectar este cambio ($\beta = .2$). Además, si la media verdadera era de 30.0 horas (como lo establece la hipótesis), queremos tener sólo 5 por ciento de riesgo de rechazar erróneamente la hipótesis ($\alpha = .05$). Entonces,

$$n = \left[\frac{(1.96 + 0.84)10}{35 - 30} \right]^2 = 31.4$$

El tamaño de muestra requerido es 32.

18.11 EL DISEÑO DE EXPERIMENTOS

En primer lugar, un poco de historia. El conjunto de conocimientos llamados diseño de experimentos (DOE, por sus siglas en inglés) tiene sus primeras raíces en el campo de la agricultura con el trabajo pionero de sir Ronald A. Fisher. En el mundo empresarial, la aplicación de DOE se enfocó en el sector manufacturero, particularmente en la industria química. Las aplicaciones parecían estar inhibidas tanto por las complejidades del diseño y el análisis como por las dificultades prácticas de la ejecución de los experimentos.

Diversos acontecimientos han provocado una creciente atención hacia el DOE. En primer lugar, el movimiento six sigma (capítulo 3) integra el DOE como una herramienta importante para prevenir y resolver problemas, y para reducir la variación en los procesos. En segundo lugar, se han desarrollado diversas adaptaciones alternativas del clásico DOE, mismas que simplifican los conceptos y hacen las aplicaciones más “prácticas”. Estas alternativas incluyen el enfoque Taguchi (véase p. 617). Así como la mayoría de los intentos por simplificar conceptos complejos, las adaptaciones han estimulado algunas controversias. Finalmente, el poder del software de cómputo para hacer los cálculos estadísticos elimina otra carga inhibitoria que existía anteriormente.

El futuro traerá excitantes aplicaciones para el DOE. Éstas se incrementarán en el sector manufacturero y el de servicios, con un fuerte énfasis en el elemento humano dentro de las operaciones, aprenderá cómo aplicar el DOE. Algunas aplicaciones tempranas en el sector de servicios incluyen el uso de DOE para reducir el tiempo del ciclo para la aprobación de solicitudes de préstamos hipotecarios en servicios financieros, y para mejorar la calidad y productividad en operaciones de los *call center* de las organizaciones de telecomunicaciones.

Los experimentos pueden tener numerosos objetivos, y la mejor estrategia depende del objetivo. En algunos experimentos, el objetivo es encontrar las variables más importantes que afectan

una característica de la calidad. El plan para llevar a cabo dichos experimentos es el *diseño del experimento*. En primer lugar vamos a cubrir un ejemplo que presenta diversas alternativas de diseño y define la terminología básica y los conceptos.

Supongamos que se comparará la capacidad de tres detergentes para limpiar la ropa en una lavadora automática. Las lecturas de “blancura” obtenidas mediante un procedimiento especial de medición son *variables*, o *respuestas*, *dependientes*. La variable independiente que se está investigando (el detergente) es un *factor*, y cada variación del factor se llama *nivel*, por ejemplo, hay tres niveles. Un tratamiento es un nivel único asignado a un factor único, detergente A. Una combinación de tratamiento es un juego de niveles para todos los factores en un determinado experimento. Un factor puede ser cualitativo (diferentes detergentes) o cuantitativo (temperatura del agua). Finalmente, algunos experimentos tienen un *modelo de efectos fijos*, es decir, los niveles investigados representan todos los niveles que conciernen al investigador (por ejemplo, tres marcas de lavadoras). Otros experimentos tienen un *modelo de efectos aleatorios*, es decir, los niveles elegidos son sólo una muestra de entre una población más grande (como tres operadores de lavadoras). Un *modelo de efectos mixtos* tiene factores tanto aleatorios como fijos.

La figura 18.14 detalla seis diseños de experimentos que comienzan con el diseño clásico en la figura 18.14a. Aquí todos los factores, excepto el detergente, se mantienen constantes. Así, se hacen nueve pruebas: tres con cada detergente con el tiempo de lavado, marca de la máquina, temperatura del agua y otros factores constantes. Un inconveniente del diseño es que las conclusiones sobre las marcas de detergente sólo se aplican a las condiciones específicas del experimento.

<p>a)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;"></th> <th style="width: 33%;">A</th> <th style="width: 33%;">B</th> <th style="width: 33%;">C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>–</td> <td>–</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td></td> <td>–</td> <td>–</td> <td>–</td> </tr> <tr> <td></td> <td>–</td> <td>–</td> <td>–</td> </tr> </tbody> </table>		A	B	C		–	–	–		–	–	–		–	–	–	<p>b)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;"></th> <th style="width: 33%;">I</th> <th style="width: 33%;">II</th> <th style="width: 33%;">III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table>		I	II	III		A	B	C		A	B	C		A	B	C				
	A	B	C																																		
	–	–	–																																		
	–	–	–																																		
	–	–	–																																		
	I	II	III																																		
	A	B	C																																		
	A	B	C																																		
	A	B	C																																		
<p>c)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;"></th> <th style="width: 33%;">I</th> <th style="width: 33%;">II</th> <th style="width: 33%;">III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>C</td> <td>B</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>C</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>A</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table>		I	II	III		C	B	B		A	C	B		A	A	C	<p>d)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;"></th> <th style="width: 33%;">I</th> <th style="width: 33%;">II</th> <th style="width: 33%;">III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>B</td> <td>A</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>C</td> <td>C</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> <td>B</td> </tr> </tbody> </table>		I	II	III		B	A	C		C	C	A		A	B	B				
	I	II	III																																		
	C	B	B																																		
	A	C	B																																		
	A	A	C																																		
	I	II	III																																		
	B	A	C																																		
	C	C	A																																		
	A	B	B																																		
<p>e)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;"></th> <th style="width: 25%;">I</th> <th style="width: 25%;">II</th> <th style="width: 25%;">III</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>C</td> <td>A</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> </tr> </tbody> </table>		I	II	III	1	C	A	B	2	B	C	A	3	A	B	C	<p>f)</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse; border-top: 1px solid black; border-bottom: 1px solid black;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%;"></th> <th style="width: 33%; border-bottom: 1px solid black;">I</th> <th style="width: 33%; border-bottom: 1px solid black;">II</th> <th style="width: 33%; border-bottom: 1px solid black;">III</th> </tr> <tr> <td></td> <td>ABC</td> <td>ABC</td> <td>ABC</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>		I	II	III		ABC	ABC	ABC	1	---	---	---	2	---	---	---	3	---	---	---
	I	II	III																																		
1	C	A	B																																		
2	B	C	A																																		
3	A	B	C																																		
	I	II	III																																		
	ABC	ABC	ABC																																		
1	---	---	---																																		
2	---	---	---																																		
3	---	---	---																																		

FIGURA 18.14
Algunos diseños experimentales.

La figura 18.14*b* reconoce un segundo factor en los tres niveles: las marcas de las lavadoras I, II y III. Sin embargo, en este diseño no se sabe si una diferencia observada se debe a los detergentes o al tiempo de lavado.

En la figura 18.14*c*, las nueve pruebas fueron designadas completamente al azar, de ahí el nombre de *diseño completamente aleatorio*. No obstante, el detergente A no se usa en la máquina de marca III, y el detergente B no se emplea en la máquina de marca I, lo que complica las conclusiones.

La figura 18.14*d* muestra un *bloque de diseño aleatorio*. Aquí cada bloque es una marca de máquina, y los detergentes se usan en orden aleatorio dentro de cada bloque. El diseño protege de posibles sesgos debido al orden en que se usa el detergente, y tiene ventajas en el análisis de datos subsecuente y en las conclusiones. En primer lugar, se puede hacer una prueba de hipótesis para comparar los detergentes y una prueba separada de hipótesis para comparar las máquinas; las nueve observaciones se usan en ambas pruebas. En segundo lugar, las conclusiones concernientes a los detergentes se aplican para las tres máquinas y viceversa, lo que ofrece conclusiones en un rango mayor de condiciones.

Ahora supongamos que también se va a estudiar otro factor, como la temperatura del agua, usando el *diseño de cuadro latino* que se muestra en la figura 18.14*e*. Cabe destacar que este diseño requiere el uso de cada detergente sólo una vez con cada máquina y sólo una vez con cada temperatura. Así los tres factores se pueden evaluar (mediante tres pruebas separadas de hipótesis) con sólo nueve observaciones. Sin embargo, existe un riesgo: este diseño no asume interacción entre los factores. Que no haya interacción entre el detergente y la máquina significa que el efecto de cambiar de detergente A a B o C no depende de qué máquina se usó, y lo mismo pasa con las demás combinaciones de factores. El concepto de interacción se muestra en la figura 18.15.

Finalmente, los principales factores y sus posibles interacciones se podrían investigar mediante el *diseño factorial* de la figura 18.14*f*. *Factorial* significa que se hace al menos una prueba para cada combinación de los principales factores, en este caso $3 \times 3 \times 3$ o 27 combinaciones. Se pueden hacer pruebas separadas de la hipótesis para evaluar los principales factores y las posibles interacciones. Nuevamente, todas las observaciones contribuyen a cada comparación. Cuando hay muchos factores, es útil una porción del factorial completo (por ejemplo, “factorial fraccional”). (Véase la sección 18.15.)

Diversas herramientas usadas en este ejemplo se explican a continuación.

La mayoría de los problemas pueden manejarse con uno de los diseños experimentales estándar. Los diseños pueden clasificarse por el número de factores a investigar, la estructura del diseño experimental y el tipo de información que el experimento intenta arrojar (tabla 18.5).

Para una descripción tanto del diseño como del análisis de las diversas estructuras de diseño, véase *JQH5*, sección 47, “Diseño y análisis de experimentos”. Un enfoque secuencial a la experimentación también puede ser útil. Para una serie de cuatro documentos, véase Carter (1996). Emmanuel y Palanisamy (2000) discuten la experimentación secuencial en dos niveles y un máximo de siete factores.

Cada vez más, el diseño experimental se concentra en la experimentación exploratoria como un medio para descubrir nuevos conocimientos (Box, 1999). Este énfasis puede requerir el uso tanto de diseños extensivos como plenamente factoriales, metodología de respuesta de superficie y otros diseños. Sí, existen diseños más complejos que otros, pero los beneficios son fuertes. Por ejemplo, un diseño factorial en dos niveles nos permite evaluar posibles interacciones de factores, y nos brinda también los datos para desarrollar un modelo matemático de variable de respuesta y factores causales. Así, los conocimientos más completos de los factores críticos y los mejores niveles de estos factores se vuelven disponibles.

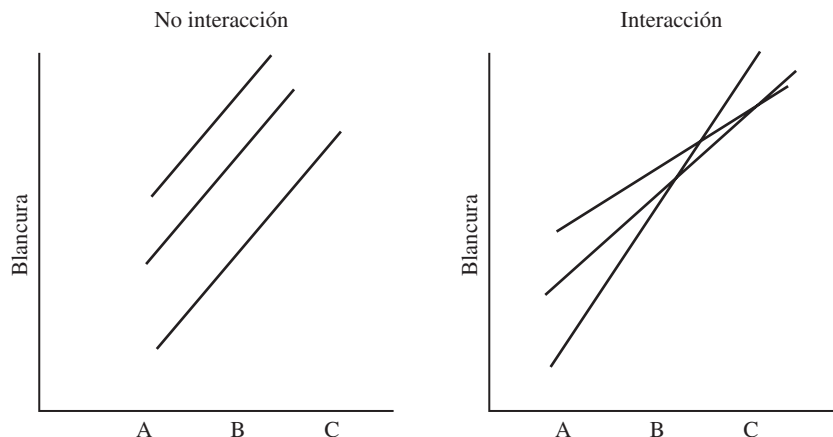


FIGURA 18.15
Interacción.

TABLA 18.5
Clasificación de diseños

Diseño	Tipo de aplicación
Completamente aleatorio	Apropiado cuando sólo se está investigando un factor experimental.
Factorial	Apropiado cuando se están investigando diversos factores y dos o más niveles de interacción pueden ser significativos.
Factorial bloqueado	Apropiado cuando el número de pruebas requerido para el factorial es demasiado grande para ser llevado a cabo bajo condiciones homogéneas.
Factorial fraccional	Apropiado cuando existen muchos factores y niveles, y resulta impráctico correr todas las combinaciones.
Bloqueo aleatorio	Apropiado cuando se está investigando un factor y el material experimental o el ambiente puede dividirse en bloques o grupos homogéneos.
Bloque incompleto balanceado	Apropiado cuando no todos los tratamientos pueden ser acomodados en un bloque.
Bloque incompleto parcialmente balanceado	Apropiado si un bloque incompleto balanceado requiere un número mayor de bloques que el práctico.
Cuadro latino	Apropiado cuando se está investigando un factor primario y los resultados pueden verse afectados por otras dos variables experimentales o por dos fuentes de no homogeneidad. Se asume que no existen interacciones.
Cuadro Youden	Igual que el cuadro latino, pero el número de filas, columnas y tratamientos no necesita ser el mismo.
Anidado	Apropiado cuando el objetivo es estudiar la variabilidad relativa en lugar del efecto medio de fuentes de variación (como varianza de pruebas en la misma muestra y varianza de diferentes muestras).
Superficie de respuesta	El objetivo es brindar mapas empíricos (diagramas de contorno) que ilustren cómo los factores bajo el control del experimentador influyen en la respuesta.
Diseños mixtos	Igual que los diseños factoriales.

Fuente: Adaptado de *JQH5*, tabla 47.3.

18.12 ALGUNAS HERRAMIENTAS PARA EXPERIMENTACIÓN SÓLIDA

Agrupación o bloqueo planeado

Más allá de los factores seleccionados para el estudio, otras variables incontrolables pueden afectar el resultado de los experimentos. Estas variables también reciben el nombre de “ruido”, “error experimental” o “variables de fondo”. Cuando el experimentador está consciente de estas variables, con frecuencia es posible planear el experimento para que:

1. Los posibles efectos debidos a las variables incontrolables no afecten la información obtenida respecto a los factores de interés primario.
2. Se pueda obtener alguna información acerca de los efectos de las variables incontrolables.

Al diseñar los experimentos, la uniformidad dentro de los bloques se usa ampliamente para minimizar el efecto de las variables no deseadas y para acentuar el de las variables en estudio. Los diseños que usan esta uniformidad dentro de los bloques se llaman “diseños de bloque”, y el proceso, “agrupación de bloque”. Un diseño específico garantiza que se pueden estimar directamente diferentes efectos sin el enredo (o “confusión”) de las variables no deseadas. En otras palabras, no existen correlaciones entre los factores que se estudian. Los diseños que tienen esta propiedad se llaman diseños “ortogonales”.

Aleatoriedad

La designación de especímenes para tratamientos de una manera simplemente aleatoria es llamada “aleatoriedad” en el diseño de experimentos. Dicha designación incrementa la probabilidad de que el efecto de las variables no controladas se equilibre. También mejora la validez de las estimaciones de errores experimentales y hace posible la aplicación de pruebas estadísticas significativas y la construcción de intervalos de confianza.

Réplica

La *réplica* es la repetición de una observación o medición. Se hace para incrementar la precisión y brindar los medios para medirla. (Algunos tipos de experimentos no tienen ninguna fuente externa para medir la precisión, por lo que la medida debe venir de la propia experimentación.) Además, la réplica brinda la oportunidad de que los efectos de factores no controlados se equilibren y auxilien a la aleatoriedad como una herramienta para reducir el sesgo. (En réplicas sucesivas, las características de aleatoriedad deben ser independientes.) La réplica también ayuda a detectar errores grandes en la medición.

Al diseñar un experimento, algunas de las preguntas clave que surgen son:

1. ¿Qué tan grande es una diferencia en las condiciones que se comparan para ser considerada significativa desde un punto de vista de ingeniería? (¿Qué tan grande es la diferencia que queremos que el experimento detecte?)

2. ¿Cuánta variación se ha experimentado en las características de calidad que se están investigando?
3. ¿Qué riesgo queremos correr de que el experimento concluya incorrectamente que existe una diferencia significativa cuando la conclusión correcta es que no existe? (Éste es error de tipo I.)
4. ¿Qué riesgo queremos asumir de que el experimento no detecte la diferencia que realmente existe? (Éste es un error de tipo II.)
5. ¿Tenemos algún conocimiento acerca de las posibles interacciones de estos factores? ¿Deseamos someter a prueba tales interacciones?

Ejemplo

Ejemplo de diseño de experimento en una línea de pintura para eliminar o reducir burbujas en el producto pintado¹

Factores “clave” para las burbujas:

- Peso en gramos de la capa base.
- Peso en gramos de la capa superior.
- Temperatura del horno para la capa base.
- Flujo de aire para la capa base.

Es preciso desarrollar un modelo matemático para determinar las mejores condiciones operativas.

Las siguientes figuras son del reporte DOE (figuras 18.16 a 18.22).

DOE de burbujas:

- 2⁴ factorial, media fraccional, 8 pruebas.
- Desarrollar método para aplicar aire forzado mediante un túnel.

DOE prueba #	Nivel del aire en la capa base (ventiladores)	Nivel del peso en gramos de la capa base	Nivel del peso en gramos de la capa superior	Temperatura del turno (marco)	Datos que se van a recopilar					
					Descripción/tipo de datos	Tamaño de la muestra, número de muestras	Dónde recopilar los datos	Quién va a recopilar los datos	Cómo se van a registrar los datos	Observaciones
1	On	12	13.8	90	% burbujas encontradas	Producción de un día	Línea de pintura	Inspectores OC	Hoja de datos	Temperatura del horno en la capa base a 135
2	On	13.8	12	90	% burbujas encontradas	Producción de un día	Línea de pintura	Inspectores OC	Hoja de datos	Temperatura del horno en la capa base a 135
3	Off	13.8	12	105	% burbujas encontradas	Producción de un día	Línea de pintura	Inspectores OC	Hoja de datos	Temperatura del horno en la capa base a 145
4	Off	12	13.8	105	% burbujas encontradas	Producción de un día	Línea de pintura	Inspectores OC	Hoja de datos	Temperatura del horno en la capa base a 145
5	Off	12	12	90	% burbujas encontradas	Producción de un día	Línea de pintura	Inspectores OC	Hoja de datos	Temperatura del horno en la capa base a 135
6	On	13.8	13.8	105	% burbujas encontradas	Producción de un día	Línea de pintura	Inspectores OC	Hoja de datos	Temperatura del horno en la capa base a 145
7	Off	13.8	13.8	90	% burbujas encontradas	Producción de un día	Línea de pintura	Inspectores QC/Green Belts	Hoja de datos	Temperatura del horno en la capa base a 135
8	On	12	12	105	% burbujas encontradas	Producción de un día	Línea de pintura	Inspectores OC	Hoja de datos	Temperatura del horno en la capa base a 145

FIGURA 18.16
Plan de recolección de datos.

¹Cortesía de Merillat Industries, cliente del Juran Institute.

DOE para burbujas: diagramas de interacción

Diagrama de interacción (medias de los datos) para % de burbujas

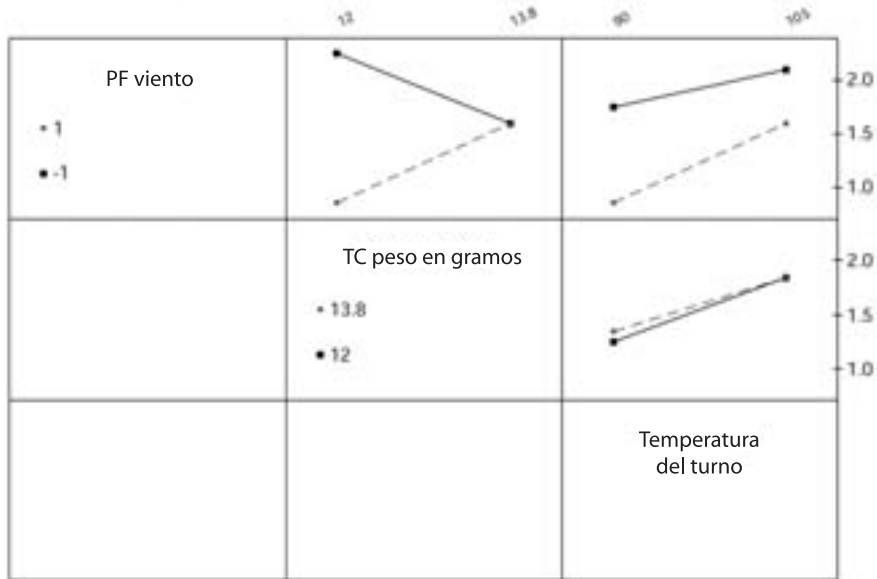


FIGURA 18.17

DOE para burbujas: diagramas de principales efectos

Diagrama de principales efectos (medias de los datos) para % de burbujas

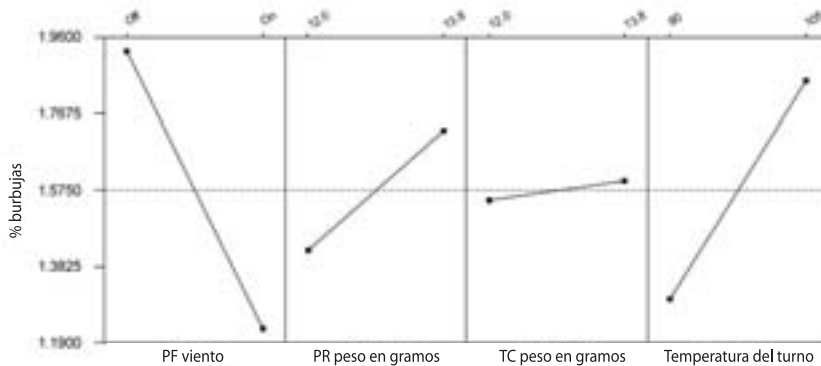


FIGURA 18.18

DOE para burbujas: diagramas de cubo

Diagrama de cubo (medias de los datos) para % de burbujas

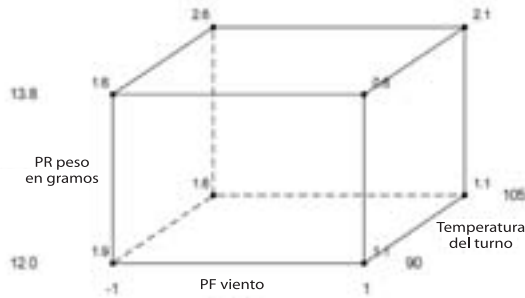


FIGURA 18.19

DOE para burbujas: resultados de la sesión de viento

Adaptación fraccional factorial: % de burbujas contra PF viento, PR peso en gramos, TC peso en gramos y temperatura del turno

Efectos estimados y coeficientes por % (unidades codificadas)

Término	Efecto	Coef.	SE Coef.	T	P	Conclusión
Constante		1.5750	0.07289	21.61	0.002	
PF viento	-0.7000	-0.3500	0.07289	-4.80	0.041	←
PR gramo	0.3000	0.1500	0.07289	2.06	0.176	←
TC gramo	0.0500	0.0250	0.07289	0.34	0.764	
Temperatura del turno	0.5500	0.2750	0.07289	3.77	0.064	←
PF viento*TC gramo	0.7000	0.3500	0.07289	4.80	0.041	←

Factores significativos*

Análisis de varianza por % (unidades codificadas)

Fuente	DF	Secuencia SS	Ajuste SS	Ajuste MS	F	P
Efectos principales	4	1.77000	1.77000	0.44250	10.41	0.090
Interacciones en dos sentidos	1	0.98000	0.98000	0.98000	23.06	0.041
Error residual	2	0.08500	0.04250	0.04250		
Total	7	2.83500				

P es <.10, rechazar Ho

Coefficientes estimados por % usando datos en unidades no codificadas

Término	Coef.
Constante	-3.40833
PF viento	-5.36667
PR gramo	0.16667
TC gramo	0.0277778
Temperatura del turno	0.0275000
PF viento*TC gramo	0.388889

Ho: Los factores sometidos a prueba no tienen efecto en la aparición de burbujas.

*Queremos incluir el peso en gramos de la capa base porque sentimos que tiene un efecto suficientemente significativo para garantizar el control 91

FIGURA 18.20

DOE para burbujas: ecuación modelo en las unidades no codificadas

$$\% \text{ de burbujas} = -3.408 - 5.367(\text{PF viento}) + .167(\text{PR gramo}) + .028 (\text{temperatura del turno}) + .389(\text{PF viento} * \text{TC gramo})$$

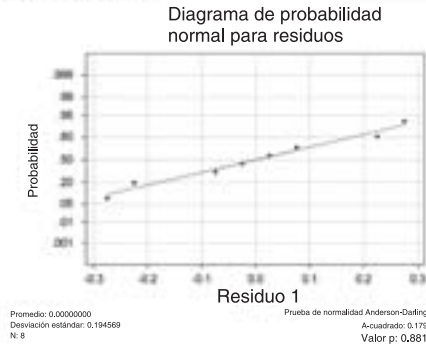
Veamos el ajuste y los residuos:

AJUSTE 1	RESIDUO 1
1.975	-0.075
1.125	-0.025
2.525	0.075
0.575	0.025
1.875	-0.275
1.325	-0.225
1.325	0.275
1.875	0.225

Ho: Los datos son normales

Ha: Los datos no son normales

P>.05, no rechazar, los datos son normales

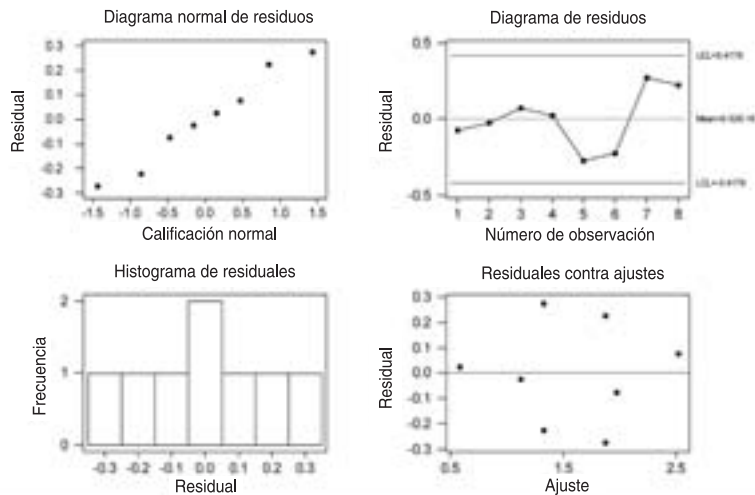


92

FIGURA 18.21

DOE para burbujas:

Diagnóstico de modelo residual



¡Todo se ve bien!

93

FIGURA 18.22

18.13

CONTRASTE ENTRE MÉTODOS CLÁSICOS Y MODERNOS DE EXPERIMENTACIÓN

El contraste entre el método clásico de experimentación (variando un factor a la vez y manteniendo constante todo lo demás) y el enfoque moderno es asombroso. La tabla 18.6 compara estos dos enfoques para un experimento en el que hay dos factores (o variables) cuyos efectos sobre una característica están siendo investigados. (Las mismas conclusiones se mantienen para un experimento con dos o más factores.)

Esta discusión ha quedado restringida para el diseño o planeación del experimento. Después de que se recopilan los datos, comienza la fase del análisis. Para experimentos simples, algunas de las pruebas básicas de la hipótesis y los límites de confianza (discutidas previamente) brindan herramientas para el análisis. Para experimentos más complejos usamos herramientas adicionales como el análisis analítico de la varianza y el análisis gráfico de las medias (véase Wadsworth, 1998).

Para una discusión en perspectiva sobre la relación del diseño de experimentos y el método científico, véase Box y Liu (1999).

TABLA 18.6
Comparación de los métodos de experimentación clásicos y modernos

Criterios	Clásico	Moderno
Procedimiento básico	Mantiene todo constante excepto el factor que está siendo investigado. Varía ese factor y anota el efecto en la característica correspondiente. Para investigar un segundo factor, conduce un experimento separado de la misma manera.	Planea el experimento para evaluar ambos factores en un experimento. Incluye, en el diseño, mediciones para evaluar el efecto de la variación simultánea de ambos factores.
Condiciones experimentales	Se cuida de mantener constantes el material, los trabajadores y la maquinaria a lo largo de todo el experimento.	Se da cuenta de la dificultad que implica mantener las condiciones razonablemente constantes a lo largo de todo el experimento. En cambio, el experimento se divide en diversos grupos o bloques de medición. Dentro de cada bloque, las condiciones deben ser razonablemente constantes (excepto la variación deliberada para investigar un factor).
Error experimental	Reconocido pero no planteado en términos cuantitativos.	Planteado en términos cuantitativos.
Bases de la evaluación	Se evalúa el efecto debido a un factor con sólo un vago conocimiento de la cantidad de error experimental.	Se evalúa el efecto debido a un factor, comparando la variación debida a éste con la medida cuantitativa del error experimental.
Posible sesgo debido a la secuencia de las mediciones	Con frecuencia se asume que la secuencia no tiene efectos.	Se observa en relación con la aleatoriedad.

(continúa)

TABLA 18.6 (continuación)

CrITERIOS	Clásico	Moderno
Efecto de la variación simultánea de ambos factores (“interacción”)	No se planeó adecuadamente en el experimento. Se asume frecuentemente que el efecto de variación del factor 1 (cuando el factor 2 se mantiene constante en algún valor) sería el mismo para cualquier valor del factor 2.	El experimento puede planearse para incluir una investigación de interacción entre factores.
Validez de los resultados	Equívoco y erróneo si existe interacción y no se reconoce.	Incluso si existe interacción, se puede hacer una evaluación válida de los principales factores.
Número de mediciones	Para una determinada cantidad de información útil y válida, se requieren más mediciones que en un enfoque moderno.	Se requieren menos mediciones para información útil y válida.
Definición del problema	Con frecuencia no se define el objetivo del experimento como es necesario.	Diseñar el experimento requiere definir el objetivo detalladamente (cuán grande es el efecto que queremos determinar, qué riesgos numéricos se pueden tomar, etcétera).
Aplicación de conclusiones	Algunas veces se asume que son aplicables sólo para las condiciones controladas en las cuales se lleva a cabo el experimento.	Se pueden planear condiciones amplias en el experimento, haciéndolas así aplicables a un rango más amplio de condiciones reales.

18.14 ANÁLISIS DE VARIANZA

El análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) es una herramienta importante empleada para analizar los resultados de un experimento. En este enfoque, la variación total de todas las mediciones en torno a una media general se divide entre las fuentes de variación que posteriormente se analizan para determinar su significado estadístico. El siguiente ejemplo explica esta técnica.

Se alimentó a 24 animales con cuatro tipos de dieta (1, 2, 3, 4). El tiempo de coagulación de la sangre (la variable de la respuesta) se registró y se muestra en la tabla 18.7.

El asunto es determinar si una dieta tiene un efecto en el tiempo de coagulación. La hipótesis nula es $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$, es decir, el tiempo de coagulación es el mismo para ambas dietas.

El análisis ANOVA (usando MINITAB®) se muestra en la figura 18.23. La variación total se divide entre la variación debida al número de dieta y error (el residuo cuando la variación es debida a la dieta se sustrae del total). La suma de los cuadrados (SS, por sus siglas en inglés) de la variación total es la suma de las desviaciones cuadradas de las 24 mediciones en torno al promedio general de 24. La SS de la dieta es la suma de las desviaciones cuadradas de las mediciones individuales para cada dieta en torno a los promedios para cada una. La SS para el error se determina restando el SS de la dieta del SS de la variación total. El cuadrado de la media (MS, por sus siglas en inglés) es la suma de los cuadrados dividido entre los grados de libertad (DF). El valor del cuadrado de la media

TABLA 18.7
Dieta y tiempo de coagulación

Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4
62	63	68	56
60	67	66	62
63	71	71	60
59	64	67	61
	65	68	63
	66	68	64
			63
			59

Fuente: Juran Institute, Inc.

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Número de dieta	3	228.00	76.00	13.57	0.000
Error	20	112.00	5.60		
Total	23	340.00			

Intervalos de confianza individuales de 95% para la media basada en la desviación estándar conjunta

Nivel	N	Media	Desv. estándar	-----+-----+-----+-----+---
1	4	61.000	1.826	(-----*-----)
2	6	66.000	2.828	(-----*-----)
3	6	68.000	1.673	(-----*-----)
4	8	61.000	2.619	(-----*-----)
Desviación estándar conjunta = 2.366				-----+-----+-----+-----+---
				59.5 63.0 66.5 70.0

FIGURA 18.23

Análisis de un sentido de la varianza y los intervalos de confianza para el tiempo de coagulación. (De Juran Institute, Inc.)

es esencialmente una varianza (cuadrado de la desviación estándar). La hipótesis se prueba comparando la MS de la dieta con la MS del error. Este paso se efectúa usando la prueba F (capítulo 17) y calculando F como $76.00/5.60$ o 13.57 . Si se usa un nivel significativo de $.05$, la región de aceptación sobre F es igual o menor a 3.10 . El F calculado es mucho mayor que 3.10 , y así se rechaza la hipótesis; por lo tanto, concluimos que la dieta no tiene un efecto en el tiempo de coagulación. Cabe destacar que los resultados de MINITAB muestran una probabilidad significativa (valor p) de cero, lo que significa que es altamente improbable que un valor de F de 13.57 haya ocurrido por suerte si las medias de las diferentes dietas eran iguales. Este resultado equivale a rechazar la hipótesis. También hay que destacar los intervalos de confianza que se dan para la media de las dietas. Los intervalos de confianza que no se superponen sugieren que la media de las dietas no es igual, y rechazamos la hipótesis. Hay que destacar cómo los intervalos de confianza brindan información útil más allá de la prueba básica F .

Este ejemplo presenta sólo el concepto básico de ANOVA y hace ciertas presunciones. Por ejemplo, las respuestas son independientes y están distribuidas normalmente, y las varianzas de la

población en todos los niveles del factor que se está estudiando son iguales. Véase *JQH5*, sección 47, para más detalles y otros ejemplos de ANOVA en diferentes diseños experimentales.

El análisis de varianza determina qué fuentes (factores) de variación contribuyen a una cantidad significativa de la variación total en la variable de respuesta, y . Saber qué factores son significativos puede llevar a un modelo matemático para y como una función de las variables dependientes, x , que resulte significativa; por ejemplo, $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Para más detalles, véase DeVor *et al.* (1992), sección 18.

18.15 ENFOQUE TAGUCHI PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL

El profesor Genichi Taguchi utiliza un enfoque para el diseño experimental, que tiene tres objetivos:

1. Diseñar productos y procesos que se desempeñen de manera consistente al objetivo y sean relativamente insensibles (“robustos”) ante factores difíciles de controlar.
2. Diseñar productos relativamente insensibles (robustos) ante la variación de los componentes.
3. Minimizar la variación en torno al valor objetivo.

Así, se busca que el enfoque brinde información valiosa para el diseño y desarrollo de un producto. Taguchi considera que el proceso de ingeniería de diseño consta de tres fases: diseño de sistemas, diseño de parámetros y diseño de tolerancia. Para una discusión de estas fases y también para los conceptos de robustez, véase la sección 11.4.

Taguchi propone que el diseño de experimentos puede ser particularmente útil en el diseño de parámetros y de tolerancia. Recomienda que los diseños fraccionales factoriales (“arraigos ortogonales”) son efectivos para obtener información útil a un costo mínimo. Los diseños fraccionales factoriales son apropiados cuando están presentes muchos factores y niveles, pero usar todas las combinaciones en un experimento es poco práctico.

En la figura 18.24 se muestra un diseño fraccional factorial con siete factores (A, B, C, D, E, F y G), cada uno en dos niveles (1 y 2). Este diseño requiere sólo ocho pruebas de las 128 combinaciones (las ocho están indicadas en negro). La matriz muestra el nivel (1 o 2) que se usará en cada uno de los siete factores. Los números de la columna (1 a 7) representan los factores (A a G). Por ejemplo, el número de prueba 1 usa cada factor del nivel 1.

Un fraccional factorial que requiere pruebas en sólo ocho combinaciones de las siete variables tiene claramente ventajas de costo y tiempo en relación con el diseño completamente factorial. No obstante, la información de un experimento tan pequeño se reduce sustancialmente en relación con la de uno completamente factorial. Específicamente con el diseño fraccional, sólo se pueden evaluar ciertos efectos de interacciones. Si bien los efectos de interacciones complican un experimento, la interacción de diversas variables es con frecuencia la clave para resolver un problema. La selección de un diseño de arraigo ortogonal específico depende del número de factores y niveles, las interacciones de interés y la cantidad de confusiones (mezcla de variables) que se pueden permitir. Para más detalles sobre el enfoque Taguchi y las tablas de diseños de arraigos ortogonales, véase Ross (1996).

Para una amplia bibliografía y una síntesis sobre algunos aspectos controvertidos del enfoque Taguchi, véase *JQH5*, pp. 47.58 y 47.59.

		A ₁								A ₂								
		B ₁				B ₂				B ₁				B ₂				
		C ₁		C ₂		C ₁		C ₂		C ₁		C ₂		C ₁		C ₂		
		D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	
E ₁	F ₁	G ₁	■															
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂						■										
E ₂	F ₁	G ₁																
		G ₂																
	F ₂	G ₁																
		G ₂																

Prueba núm.	Columna núm.						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

FIGURA18.24
 Diseño fraccional factorial con matriz de niveles. (De Ross, 1996.)

18.16 SHAININ Y EL ENFOQUE ROJO X PARA EL DISEÑO EXPERIMENTAL

Dorian Shainin desarrolló un enfoque llamado “ingeniería estadística”, el cual es una combinación de técnicas de ingeniería y estadística para la resolución de problemas de ingeniería. El objetivo es reducir la variación encontrando la mayor causa de ésta en un proceso. Tal causa —llamada “rojo X”— puede ser una sola variable o la interacción de dos o más.

El enfoque rojo X emplea técnicas relativamente simples y fáciles de entender por parte del personal operativo. La ingeniería estadística comprende 22 herramientas que combinan los DOE seleccionados, herramientas para la resolución de problemas y para el control de procesos estadísticos. Las herramientas de tipo DOE van desde el análisis de variables múltiples hasta los diseños factoriales. Para una descripción de las herramientas, véanse Shainin (1993) y Bhote (1991).

18.17 PLANEACIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Los estadistas experimentados saben desde hace tiempo que el diseño formal de experimentos implica mucho más que seleccionar un diseño y hacer cálculos estadísticos. Un experimento exitoso requiere una planeación cuidadosa de las actividades antes, durante y después del experimento. Una lista de control clásica y definitiva de las actividades de planeación se incluye en *JQH5*, pp. 47.7 y 47.8. La lista de control de 44 artículos cubre los siguientes aspectos: obtener una declaración clara del problema, recopilar información de fondo, diseñar el experimento, llevarlo a cabo, analizar los datos, interpretar los resultados y preparar el reporte. No se debería llevar a cabo ningún experimento sin revisar la lista de control.

Bisgaard (1999) describe los 11 puntos que se deben cubrir en una “propuesta previa al experimento” (reimpreso por cortesía de Marcel Dekker, Inc.).

1. Planteamiento de objetivo(s) del experimento.
2. Lista de factores y sus niveles.
3. Descripción de cómo se miden las respuestas.
4. Una tabla que muestre el diseño y las posibles confusiones.
5. Formato de las hojas para la recopilación de datos.
6. Descripción del procedimiento experimental.
7. Programa del experimento.
8. Esquema de cómo analizar los datos.
9. Presupuesto de tiempo, dinero y otros recursos.
10. Problemas anticipados y cómo lidiar con ellos.
11. Lista de los miembros del equipo y sus responsabilidades.

Esta lista se aplica particularmente a los experimentos factoriales que se conducen en modo secuencial.

Barton (1997) describe algunos métodos gráficos útiles en la planeación previa al experimento. Estos métodos muestran cómo se pueden preparar los diagramas gráficos con base en las discusiones previas al experimento con ingenieros que brinden información sobre el producto y el proceso. Estos diagramas ayudan a definir los objetivos del experimento; identificar variables dependientes, independientes y “perjudiciales”, y elegir la relación matemática (una regresión) entre las variables independientes y dependientes. Véase también Coleman y Montgomery (1993) para una discusión más amplia sobre la planeación de experimentos.

18.18 ANÁLISIS DE REGRESIÓN

Los problemas de calidad en ocasiones requieren un estudio de la relación entre dos o más variables, o un *análisis de regresión*. Los usos del análisis de regresión incluyen el pronóstico y la predicción; la determinación de variables importantes que influyen en algunos resultados, y la ubicación de las condiciones óptimas de operación.

TABLA 18.8
Velocidad de corte (X , en pies por minuto) vs. herramienta de vida (Y , en minutos)

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
90	41	100	22	105	21	110	15
90	43	100	35	105	13	110	11
90	35	100	29	105	18	110	6
90	32	100	18	105	20	110	10

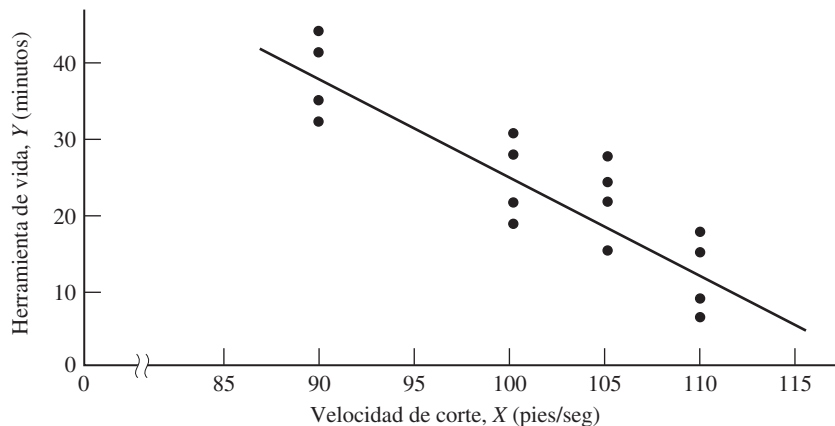


FIGURA 18.25
 Herramienta de vida Y vs. velocidad de corte X .

Los pasos en un estudio de regresión son:

1. Definir claramente los objetivos del estudio. Este paso debe incluir una definición de la variable dependiente o de respuesta y las variables independientes que se piensa están relacionadas con ella.
2. Recopilar datos sobre las variables independientes y dependientes.
3. Preparar diagramas aislados (gráficas de una variable en relación con otra).
4. Calcular la ecuación de regresión.
5. Estudiar la ecuación y ver qué tan bien se adapta a los datos.
6. Proveer medidas de precisión de la ecuación.

Los siguientes ejemplos ilustran estos pasos.

Supongamos que la vida de una herramienta varía con la velocidad de corte de la herramienta y queremos predecir la vida con base en la velocidad de corte. Así, la vida es la variable dependiente (Y) y la velocidad de corte es la variable independiente (X). Los datos se recopilan con cuatro velocidades de corte (tabla 18.8).

La gráfica de los datos es un *diagrama aislado* (figura 18.25). Siempre se debe preparar esta gráfica antes de seguir adelante con el análisis. La gráfica por sí sola puede proveer información suficiente sobre la relación entre las variables para sacar conclusiones respecto al problema inmediato, pero también es útil para sugerir posibles formas de una ecuación de estimación. La figura

18.25 sugiere que la vida varía con la velocidad de corte (por ejemplo, la vida se reduce con un incremento en la velocidad) y de manera lineal (por ejemplo, un incremento en la velocidad da como resultado un cierto decremento en la vida que es el mismo en el rango de datos). Cabe destacar que la relación no es perfecta: los puntos se dispersan alrededor de la línea.

Con frecuencia es importante determinar una ecuación de regresión. Para las relaciones lineales, eso se puede hacer de manera aproximativa al trazar una línea recta y después estimar gráficamente la intersección y la pendiente. El modelo de regresión lineal es:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \epsilon$$

donde β_0 y β_1 son la intersección y la pendiente desconocidas de la población, y ϵ es un término de azar-error que puede deberse a errores de medición y/o a efectos de otras variables independientes. El modelo se estima a partir de los datos de la muestra mediante la forma:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X$$

donde \hat{Y} es el valor que se predijo para Y para un determinado valor de X , y b_0 y b_1 son las estimaciones de la muestra de β_0 y β_1 .

Estas estimaciones se encuentran normalmente mediante el método de cuadrados mínimos, que recibe este nombre porque minimiza la suma de las desviaciones cuadradas entre los valores observados y predichos de Y . Los cuadrados mínimos son:

$$b_1 = \frac{\sum(X_m - \bar{X})(Y_m - \bar{Y})}{\sum(X_m - \bar{X})^2} = \frac{\sum X_m Y_m - (\sum X_m \sum Y_m)/N}{\sum X_m^2 - (\sum X_m)^2/N}$$

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X}$$

Las sumas están en un rango que va de $m = 1$ a $m = N$, donde N es el número total de juegos de valores de X y Y .

Los cálculos detallados son fáciles de manejar mediante un software o programa de regresión. Para estos datos,

$$b_1 = \frac{-1191.25}{875} = -1.3614$$

$$b_0 = 23.06 - (-1.3614)(101.25) = 160.9018$$

y entonces la ecuación de predicción es:

$$\hat{Y} = 106.90 - 1.3614X$$

Tras estimar los coeficientes de la ecuación de predicción, la ecuación puede diagramarse sobre los datos para revisar los errores de cálculo grandes. Aproximadamente la mitad de los datos deben estar por encima de la línea y la mitad por debajo de ella. Además, la ecuación debe pasar exactamente por el punto \bar{X} , \bar{Y} .

Existen distintos criterios para juzgar la adecuación de la ecuación de predicción. Una medida común de la adecuación de la predicción es R^2 , o el *coeficiente de determinación*, es la proporción

de la variación debida a la regresión, $\sum(Y_m - Y)^2$, la variación total, $\sum(Y_m - \bar{Y})^2$. \hat{Y}_m es el valor predicho de Y para X_m . La fórmula de cálculo es:

$$\begin{aligned} R^2 &= \frac{b_1 \sum(X_m - \bar{X})(Y_m - \bar{Y})}{\sum(Y_m - \bar{Y})^2} \\ &= \frac{(-1.3614)(-1\ 191.25)}{1\ 958.94} = 0.828 \end{aligned}$$

Así, para este ejemplo, la ecuación de predicción explica 82 por ciento de la variación en la vida de la herramienta. El coeficiente de determinación y todas las demás medidas de precisión de una relación de regresión deben interpretarse con mucho cuidado. El análisis de regresión no es un área para aficionados.

La figura 18.26 muestra un ejemplo de resultados de MINITAB para un análisis de regresión. Cabe destacar que el diagrama de regresión presenta dos juegos de límites de confianza. El juego interior muestra límites de confianza de 95 por ciento para el valor medio (por ejemplo, las predicciones que usan la relación representada por la línea) y el juego exterior muestra límites de predicción de 95 por ciento para valores individuales. También hay que subrayar que el coeficiente de determinación (“ R -sq”) es 69.5 por ciento y la tabla de ANOVA muestra que la regresión es significativa con un valor F de 43.29 (comparando la variación en la regresión con la variación en el error experimental).

La discusión anterior cubre la simple *regresión lineal*: la predicción de una variable dependiente, Y , a partir de una variable única de predicción, X . Los casos de *regresión múltiple* involucran dos o más variables de predicción. Para dos variables de predicción, el modelo de regresión lineal múltiple es

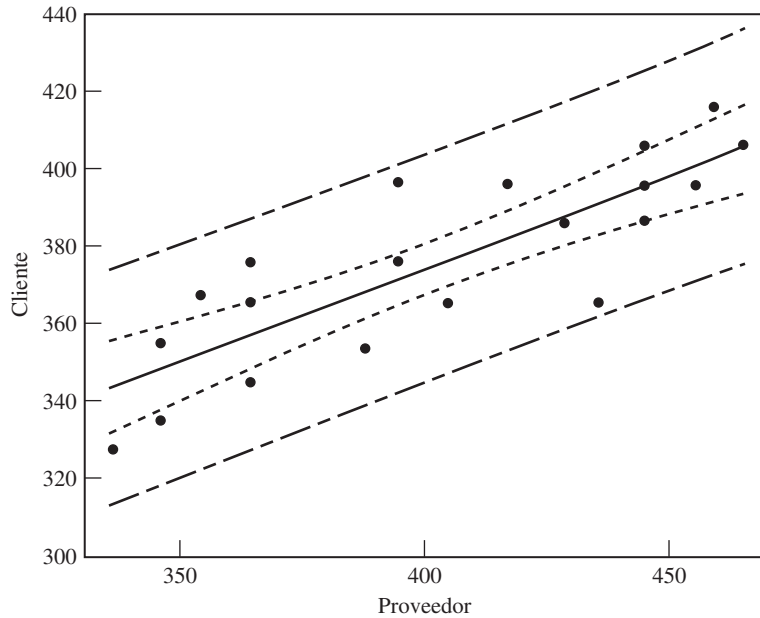
$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \epsilon$$

Para una discusión sobre cómo estimar y examinar la ecuación de predicción, véase *JQH5*, sección 44.

Otra medida para el grado de asociación entre dos variables es el *coeficiente de correlación lineal simple*, r . Este coeficiente varía entre -1.0 y $+1.0$. Los cálculos para r se explican en *JQH5*, sección 44. Muchos programas de software presentan r como un resultado. Los valores positivos indican que mientras una variable aumenta, la otra hace lo mismo; los valores negativos significan que mientras una variable disminuye, la otra también. Un coeficiente de cero significa que no existe ninguna asociación entre las dos variables; los valores de -1.0 o $+1.0$ indican una correlación perfecta.

La interpretación del coeficiente de relación requiere mucho cuidado. En primer lugar, r indica la fuerza de la relación *lineal*. Así, una r puede estar cerca de cero cuando en realidad existe una fuerte relación *no lineal*. Asimismo, un valor alto de r no necesariamente implica que una variable *cause* la otra. La variable X puede contribuir a la variable Y sin ser su única causa; tanto X como Y pueden resultar de alguna causa común (pero desconocida), y también otras razones pueden explicar la aparente correlación.

Este breve tratado de regresión es sólo una introducción a un tema complejo. Hay otros asuntos entre los que destacan los intervalos de confianza y otras medidas de precisión: la regresión múltiple y la regresión no lineal. Los textos al respecto brindan mayor información (véase *JQH5*, pp. 44.89-44.108).



Regresión

La ecuación de regresión es $y = 183 + 0.476x$

Pronosticador	Coef	Desv. Est.	T	P
Constante	182.81	29.36	6.23	0.000
x	0.47629	0.07239	6.58	0.000

S = 13.56 R-Sq = 69.5% R-Sq(adj) = 67.9%

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Regresión	1	7955.9	7955.9	43.29	0.000
Error	19	3492.1	183.8		
Total	20	11448.0			

FIGURA 18.26

Resultados en MINITAB para un análisis de regresión. (De Juran Institute, Inc.)

**18.19
HERRAMIENTAS AVANZADAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS**

El crecimiento de las bases de datos en computadora está dando como resultado grandes cantidades de información de fácil acceso para el análisis: el nuevo término que se usa para definir esto es *minería de datos*. Este ambiente nos lleva hacia el uso de diversas herramientas para el análisis de datos; algunas son nuevas, otras viejas, algunas fueron desarrolladas por estadistas y otras por los

profesionales. El área de análisis de variables múltiples incluye herramientas tales como análisis del componente principal, análisis de factor, análisis de cluster, análisis discriminatorio, regresión múltiple, redes neurales y análisis de series de tiempo. Otras herramientas incluyen el análisis bayesiano, la lógica vaga, el reconocimiento de imagen, el reconocimiento de voz y la inteligencia artificial. Una excelente fuente para describir herramientas avanzadas es Wadsworth (1998).

Afortunadamente, existe software de cómputo para muchas de estas herramientas, y el tiempo que se ahorra al hacer los cálculos se puede invertir en una comprensión profunda del significado de los resultados.

Las respuestas a las preguntas formuladas al principio del capítulo:

1. Sí
2. Sí
3. Sí
4. No
5. Sí

EJEMPLOS TRABAJADOS CON MINITAB

Herramientas estadísticas para analizar datos

1. Un grupo médico formó un equipo six sigma para reducir el tiempo que toma a los pacientes ver a un doctor. La media de días necesarios para obtener una cita se redujo de 8.6 a 6.2 días. Analice los datos que se presentan. ¿Representa esto una reducción estadísticamente significativa en tiempo?

DATOS

Momento en que se recopilaron los datos	Días para cita
Antes de la mejora	11, 9, 11, 13, 8, 8, 13, 10, 8, 8, 7, 10, 6, 10, 6, 7, 4, 8, 8, 7
Después de la mejora	6, 3, 11, 6, 5, 8, 7, 8, 9, 3, 7, 2, 6, 5, 6, 6, 7, 7, 5, 7

Análisis MINITAB

Los datos están distribuidos normalmente

$$H_0: \mu_{\text{antes}} = \mu_{\text{después}}$$

$$H_a: \mu_{\text{antes}} > \mu_{\text{después}}$$

Dos muestras t para antes y después (un sentido)

	N	Media	Desv. est.	Media SE
Antes	20	8.60	2.30	0.52
Después	20	6.20	2.09	0.47

Diferencia = μ (Antes) - μ (Después)

Estimación de la diferencia: 2.40000

95% límite inferior para la diferencia: 1.22603

prueba t de diferencia = 0 (vs >): valor t = 3.45 valor p = .001 DF = 37

Conclusiones. Rechazar la hipótesis nula y concluir que existe una diferencia significativa (reducción) en los días de cita.

2. Un fabricante de gabinetes está sufriendo errores en el proceso de colocación de pedidos. Se tomó la hipótesis de que ciertos errores están en función de la condición de los pedidos enviados por fax por los constructores o vendedores, es decir, que ellos escribieron o capturaron.

- Preguntas.** a) ¿El índice de errores de los constructores es independiente del formato (capturado o escrito a mano)?
b) ¿El índice de errores de los vendedores es independiente del formato (capturado o escrito a mano)?

Datos

Constructores		
Método de registro	Bueno	Malo
Escrito a mano	3 698	12
Escrito a máquina	7 261	45

Vendedores		
Método de registro	Bueno	Malo
Escrito a mano	700	9
Escrito a máquina	1 310	18

H_0 : el índice de error es independiente del formato

H_a : el índice de error es dependiente del formato

- Conclusiones.** a) No. La hipótesis nula de independencia no puede ser rechazada con base en el valor chi-cuadrada de 4.089 (grados de libertad = 1) y el valor p correspondiente de .43.
b) La hipótesis nula de independencia no puede ser rechazada tomando en cuenta el valor chi-cuadrada de 0.026 (grados de libertad = 1) y el valor p correspondiente de .872.

3. En una planta que fabrica productos farmacéuticos en tres recipientes de fermentación, un equipo de proyecto está intentando determinar si la calidad del producto es dependiente del recipiente de fermentación en el cual se hace éste. La siguiente tabla muestra el número de lotes producidos en cada recipiente y el desglose de los lotes conformes y no conformes (defectuosos).

- a) Plantee la prueba de hipótesis que debería usar el equipo. (Respuesta: prueba de tablas chi-cuadrada.)

b) Plantee la hipótesis nula y la alternativa.

H_0 : La calidad de los lotes es independiente del recipiente de fermentación utilizado.

H_a : La calidad de los lotes es dependiente del recipiente de fermentación utilizado.

c) Haga una prueba usando MINITAB. Plantee el valor p y las conclusiones tanto estadísticas como prácticas.

Datos

	Recipiente de fermentación		
	A	B	C
Número de lotes aceptables	98	113	82
Número de lotes descartados	5	12	14

Análisis MINITAB

Prueba de chi-cuadrada: Recipiente A, Recipiente B, Recipiente C

Las cuentas esperadas se presentan debajo de las cuentas observadas

Las contribuciones chi-cuadrada se presentan debajo de las cuentas esperadas

	Recipiente A	Recipiente B	Recipiente C	Total
1	98	113	82	293
	93.15	113.04	86.81	
	0.253	0.000	0.267	
2	5	12	14	31
	9.85	11.96	9.19	
	2.392	0.000	2.524	
Total	103	125	96	324

Chi-cuadrada = 5.436, DF = 2, Valor-p = 0.066

No rechazo de H_0 .

Conclusiones. Sometida a prueba en un nivel alfa de .05, la calidad de la producción, como la mide el número de lotes aceptados o descartados, no difiere entre los tres recipientes de fermentación. La calidad es independiente del recipiente de fermentación.

4. Un equipo de mejora de calidad está investigando si enfoques diferentes para el desarrollo de documentos arrojan tiempos distintos en él. Para diez escritores técnicos, el equipo midió el tiempo de trabajo (en horas) necesario para completar los documentos terminados de dos enfoques diferentes (opciones de diseño). Determine si existe una diferencia entre los enfoques.

Datos

Escritor técnico	Opción 1	Opción 2
A	6.7	5.8
B	5.4	5.0
C	5.1	4.0
D	3.2	2.7
E	5.8	5.6
F	6.1	5.4
G	4.9	5.3
H	4.7	4.2
I	5.5	4.1
J	6.8	5.1

Análisis MINITAB

Datos normales, varianza igual presunciones ok.

Prueba t en pares y CI: Opción 1, Opción 2

Prueba t en pares para opción 1 - opción 2

	N	Media	Desv. est.	Media SE
Opción 1	10	5.42000	1.05283	0.33293
Opción 2	10	4.72000	0.95545	0.30214
Diferencia	10	0.700000	0.607362	0.192065

95% CI para la diferencia de la media: (0.265519, 1.134481)

Prueba t de la diferencia de la media = 0 (vs no = 0): valor t = 3.64

Valor p = 0.005

Conclusión. Asumiendo un nivel alfa de .05, existe una diferencia significativa en el tiempo de desarrollo de un documento entre los dos enfoques (opción 1 y opción 2).

5. Un fabricante de ropa estaba interesado en la fortaleza de la fibra de algodón que le proporcionaban cuatro proveedores distintos. Se tomaron veinte muestras al azar y se midió en gramos su resistencia. ¿Existe una diferencia en la fuerza de la fibra entre los proveedores?

Datos

	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 4
	25.6	29.0	29.1	20.3
	24.7	26.6	21.3	18.6
	26.6	26.8	21.9	21.7
	23.2	28.7	27.8	22.6
	23.3	24.3	25.2	22.8
	29.5	24.7	24.0	21.8
	23.8	26.1	22.4	19.4
	26.9	29.6	26.8	18.7
	23.1	26.8	23.8	20.8
	22.7	27.6	24.9	19.6
	24.0	29.1	25.1	21.2
	28.0	28.0	26.4	24.4
	24.8	29.0	25.6	22.4
	27.5	25.7	27.8	21.5
	24.2	28.5	25.0	21.1
	22.1	27.6	22.3	17.7
	19.0	26.3	26.6	27.4
	24.2	32.6	28.2	25.4
	20.6	27.0	28.6	23.3
	19.6	28.0	23.2	22.0

Análisis MINITAB**ANOVA de un sentido: C1, C2, C3, C4**

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Factor	3	367.72	122.57	22.10	0.000
Error	76	421.43	5.55		
Total	79	789.15			

S = 2.355 R-SQ = 46.60% R-SQ(adj) = 44.49%

95% CI individuales para la media
basada en la desviación estándar
conjunta

Nivel	N	Media	Desviación estándar	-----+-----+-----+-----+
C1	20	24.164	2.720	(----*----)
C2	20	27.592	1.897	(---*---)
C3	20	25.304	2.361	(---*---)
C4	20	21.638	2.369	(----*--)
				-----+-----+-----+-----+
				22.5 25.0 27.5 30.0

Desviación estándar conjunta = 2.355

Conclusiones. Existe una diferencia significativa en la fuerza de la fibra entre los cuatro proveedores.

RESUMEN

- La estimación es el proceso de analizar un resultado de la muestra para predecir el valor correspondiente del parámetro de la población.
- El punto estimado es un valor único usado para calcular el parámetro de la población. El intervalo de confianza es un rango de valores que incluye (con una probabilidad preasignada llamada nivel de confianza) el verdadero valor del parámetro de la población.
- Una hipótesis es una afirmación hecha acerca de una población. La prueba de una hipótesis es una prueba de la validez de una afirmación, y se lleva a cabo analizando una muestra de datos.
- Al evaluar una hipótesis, se pueden cometer dos tipos de errores: errores de tipo I (rechazar la hipótesis cuando es verdadera) y errores de tipo II (no rechazar la hipótesis cuando es falsa).
- El diseño estadístico de experimentos provee planes para conducir experimentos a partir de los cuales se pueden hacer análisis estadísticos válidos.
- La aleatoriedad es la designación de especímenes a tratamientos de una manera meramente al azar.
- La réplica es la repetición de una observación o medición.
- El análisis de regresión es el estudio de la relación entre dos o más variables con datos continuos.

PROBLEMAS

Nota: Las preguntas específicas se plantearon intencionalmente con un lenguaje no estadístico para ofrecer al estudiante un poco de práctica para elegir las técnicas y hacer las presunciones. Cuando sea requerido, use un error de tipo I de .05 y un nivel de confianza de 95 por ciento. Plantee todas las demás presunciones que sean necesarias.

- 18.1.** En la industria de la fundición, la temperatura de un metal al momento del vaciado es importante. Para una aleación de aluminio, las experiencias anteriores muestran una desviación estándar de 15° . En un día en particular, se hicieron cinco pruebas de temperatura durante el tiempo de vaciado.
- Si el promedio de estas temperaturas era 1650° , haga una afirmación acerca de la temperatura promedio de vaciado.
 - Si tomó 25 mediciones y obtuvo los mismos resultados, ¿qué efecto tendría esto en su afirmación? Revísela.

- 18.2.** En la industria de fundición que se acaba de mencionar, se está vaciando una nueva aleación de aluminio. Durante el primer día de vaciado se hicieron cinco pruebas de su temperatura con los siguientes resultados:

1 705° 1 725° 1 685° 1 690° 1 715°

Haga una afirmación acerca de la temperatura de vaciado promedio de este metal.

- 18.3.** Un fabricante prueba con presión los empaques en busca de fugas. La presión en la que el empaque presentó una fuga en nueve intentos fue (en psi)

4 000	3 900	4 500
4 200	4 400	4 300
4 800	4 800	4 300

Haga una afirmación acerca de la presión promedio de “fuga” para este empaque.

- 18.4.** El tiempo aceptable para contestar una llamada en un *call center* es de 15 segundos. En una muestra de 500 llamadas, 427 fueron contestadas en el margen de 15 segundos. Haga una afirmación en lo que concierne a la verdadera proporción que sería aceptable.
- 18.5.** En una empresa empacadora de carne, de 600 piezas de res se encontró que 420 eran de grado A. Haga una afirmación acerca de la verdadera proporción de carne de grado A.
- 18.6.** Una especificación requiere que la resistencia promedio de un cierto material sea de al menos 180 psi. Los datos pasados indican que la desviación estándar de las mediciones individuales es de 5 psi. ¿Cuántas pruebas son necesarias para estar 99 por ciento seguro de detectar un lote que tenga una resistencia promedio de 170 psi?
- 18.7.** Se han hecho pruebas para estimar el promedio de vida de un producto. Con base en los datos pasados sobre productos similares, se asume que la desviación estándar de las unidades individuales es de aproximadamente 20 por ciento del promedio de vida.
- ¿Cuántas unidades deben probarse para estar 90 por ciento seguros de que el estimado de la muestra estará dentro del 5 por ciento del promedio real?

b) Supongamos que hay fondos disponibles para llevar a cabo sólo 25 pruebas. ¿Qué tan seguros podríamos estar de obtener una estimación dentro de 5 por ciento?

Respuesta: a) 44. b) 78.8%.

18.8. Un fabricante de agujas tiene un nuevo método para controlar la dimensión del diámetro. A partir de muchas mediciones del método actual, el diámetro promedio es 0.076 cm, con una desviación estándar de 0.010 cm. Una muestra de 25 agujas del nuevo proceso indica que el promedio era de 0.071. Si se desea un diámetro más pequeño, ¿debería adoptarse el nuevo método? (Asumamos que la desviación estándar de éste es la misma que la del método actual.)

18.9. En la industria del vestido, la resistencia de la ropa es importante. Una tela fuerte de algodón debe tener una resistencia promedio de al menos 200 psi. De un lote de algodón en particular, se obtuvieron las siguientes cinco mediciones de resistencia (en psi):

206
194
203
196
192

¿Este lote de tela cumple con los requerimientos de resistencia promedio de 200 psi?

Respuesta: $t = -0.67$.

18.10. En una compañía farmacéutica, la variación en el peso de un antibiótico de un lote a otro es importante. Con el proceso actual, la desviación estándar es de 0.11 g. El departamento de investigación ha desarrollado un nuevo proceso que considera podrá producir una variación menor. Con el nuevo proceso se obtuvieron las siguientes mediciones de peso (en gramos):

7.47
7.49
7.64
7.59
7.55

¿El nuevo proceso tiene menos variación que el anterior?

18.11. Un fabricante de papel tiene un nuevo método para recubrirlo. Entre más pequeña sea la variación en el peso de la cobertura, más uniforme y de mejor calidad será el producto. Las siguientes 10 muestras de cobertura se obtuvieron mediante el nuevo método:

Pesos de cobertura (en peso/área de unidad × 100)	
223	234
215	229
220	223
238	235
230	227

Si la desviación estándar anteriormente era de 9.3, ¿esta propuesta de método es mejor que la anterior?
 ¿La compañía debería cambiar a este método?

Respuesta: $\chi^2 = 5.43$.

- 18.12.** Un fabricante de productos de hule está tratando de decidir qué “receta” usar para una mezcla en particular. Se desea una alta capacidad de extensión. La receta 1 es más barata de mezclar, pero no está seguro de si tiene aproximadamente la misma fuerza que la de la receta 2. Se han fabricado cinco lotes de hule con cada receta y sometido a prueba para ver su capacidad de extensión. Éstos son los datos que fueron recopilados (en psi):

Receta 1	Receta 2
3 067	3 200
2 730	2 777
2 840	2 623
2 913	2 044
2 789	2 834

¿Qué receta recomendaría usted?

- 18.13.** Las pruebas de cinco modelos experimentales de un motor demuestran que operan, respectivamente, durante 20, 18, 22, 17 y 18 minutos con 1 galón de un cierto tipo de combustible. La especificación propuesta establece que el motor debe operar durante una media de al menos 22 minutos.
- ¿Qué podemos concluir acerca de la capacidad del motor para cumplir con la especificación?
 - ¿Cuál es la probabilidad de que la misma media de la muestra pudiera provenir de un proceso cuya media verdadera fuera igual a la media de la especificación?
 - ¿Qué tan baja tendría que ser la media de los minutos de operación (de la población de motores) para tener una probabilidad del 50 por ciento de concluir que el motor no cumple con la especificación?

Respuesta: a) $t = -3.4$. b) Aprox. 0.03. c) 20.1.

- 18.14.** Un fabricante sostiene que el largo promedio de un gran lote de partes es 2.680 pulgadas. Una gran cantidad de datos anteriores indica que la desviación estándar del largo individual es 0.002 pulgadas. Una muestra de 25 partes muestra un promedio de 2.678 pulgadas. El fabricante dice que el resultado sigue siendo consistente con su afirmación, puesto que sólo se tomó una pequeña muestra.
- Plantee una hipótesis para evaluar la afirmación.
 - Evalúe su afirmación usando el enfoque de prueba estándar de hipótesis.
 - Evalúe su afirmación usando el enfoque de límite de confianza.

- 18.15.** Una ingeniera quiere determinar si el tipo de horno de prueba o temperatura tiene un efecto significativo en la vida promedio de un componente. Ella propone el diseño de experimento siguiente:

	Horno 1	Horno 2	Horno 3
550°	1	0	1
575°	0	1	1
600°	1	1	0

Los números en el cuerpo de la tabla representan la cantidad de mediciones que se tomarán en el experimento. ¿Cuáles son las dos razones por las que la interacción no puede ser evaluada adecuadamente en este diseño?

- 18.16.** El departamento de moldeo de una planta de manufactura ha estado fabricando demasiados productos defectuosos. Existen muchas opciones respecto a las razones. Una de ellas establece que el tiempo de moldeo en cada registro tiene una relación causa-efecto con el número de defectos producidos por cada 100 unidades. Se hicieron diversos lotes de prueba con 100 unidades cada uno y con distintos tiempos de moldeo. Los resultados son los siguientes:

Tiempo, s	Número de defectos
2	16
4	13
5	8
7	8
10	4
11	6
13	5
17	3
17	5
20	3

Diagrame los datos y estime gráficamente la intersección Y y la pendiente.

Respuesta: Las estimaciones de los cuadrados mínimos son una intersección Y de 13.54 y una pendiente de -0.6076 .

- 18.17.** Junte un equipo de tres personas para preparar una propuesta de un experimento diseñado. Elija un problema sobre una característica específica de desempeño en una industria de servicio. Usando los 11 puntos de la sección 18.17, desarrolle el planteamiento de una propuesta.

REFERENCIAS

- Barton, R. R. (1997). "Pre-Experiment Planning for Designed Experiments: Graphical Methods", *Journal of Quality Technology*, julio, pp. 307-316.
- Bhote, K. (1991). *World Class Quality*, AMACOM, America Management Association, Nueva York.
- Bisgaard, S. (1999). "Quality Quandries", *Quality Engineering*, vol. 11, núm. 4, pp. 645-650.
- Box, G. E. P. (1999). "Statistics as a Catalyst to Learning by Scientific Method, Part I—An Example", *Journal of Quality Technology*, vol. 31, núm. 1, pp. 16-29.
- Box, G. E. P. y P. Y. T. Liu (1999). "Statistics as a Catalyst to Learning by Scientific Method, Part I—An Example", *Journal of Quality Technology*, vol. 31, núm. 1, pp. 1-15.
- Carter, C. W. (1996). "Sequenced-Level Experimental Designs", *Quality Engineering*, vol. 8, núm. 1 (pp. 181-188), núm. 2 (pp. 361-366), núm. 3 (pp. 499-504), núm. 4 (pp. 695-698).

- Coleman, D. E. y D. C. Montgomery (1993). "A Systematic Approach to Planning for a Designed Experiment" (con discusiones), *Technometrics*, vol. 35, pp. 1-27.
- Deming, W.E. (1982). *Out of the Crisis*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, p. 132.
- DeVor, R.E., T.-H. Chang y J. W. Sutherland (1992). *Statistical Quality Design and Control*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Emanuel, J.T. y M. Palanisamy (2000). "Sequential Experimentation Using Two-Level Fractional Factorials", *Quality Engineering*, vol. 2, núm. 3, pp. 335-346.
- Finn, L. M. (1995). "Getting Statistical Tools to the Masses: Common Problems in Training Design and Execution", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 356-364.
- Juran, J.M. y A.B. Godfrey (1998). *Juran's Quality Handbook* (5a. ed.), capítulo 24 "Basic Statistical Methods" por E. J. Dudelwicz, y capítulo 47 "Design of Experiments" por J. Stuart Hunter, McGraw-Hill, Nueva York.
- Ross, P.J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Shainin, R.D. (1993). "Strategies for Technical Problem Solving", *Quality Engineering*, vol. 5, núm. 3, pp. 733-448.
- Wadsworth, H.M., Jr. (1998). *Handbook of Statistical Methods for Engineers and Scientists*, 2a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Métodos estadísticos: *JQH5*, secciones 44, 47.

Balestracci, D. (1998). "Data 'Sanity': Statistical Thinking Applied to Everyday Data", publicación especial de la división de estadística de la ASQ.

Serie de libros "How To" de ASQ (serie de 16).

Diseño de experimentos: Box, G. E. P., J. S. Hunter y W. G. Hunter (2005), *Statistics for Experimenters*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

Estadística no paramétrica: Sprent, P. y N. C. Smeeton (2001), *Applied Nonparametric Statistical Methods*, 3a. ed., Chapman & Hall/CRC, Boca Ratón, FL.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
Abate, M. L. (2000). "Data Torturing and the Misuse of Statistical Tools", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 673-680.	Enfatiza la necesidad de usar herramientas estadísticas en el contexto correcto del proceso subyacente y la variabilidad. El mal uso de herramientas conduce a una "tortura de datos" o va más allá de la razón en la mala interpretación. Se presentan ejemplos reales.
Anderson, M. J. y S. L. Kraber (2002). "Cost-Effective and Information-Efficient Robust Design for Optimizing Processes and Accomplishing Six Sigma Objectives", <i>Annual Quality Congress</i> .	Diseño experimental. Comparación de métodos de 1 arraigo (diseños factoriales) y 2 arraigos (diseños de parámetros) mediante estudios de caso; discusión de métodos de superficie de respuesta y propagación de error.

Citas	Resumen
Box, G.E.P. (1988). "Signal-to-Noise Ratios Performance Criteria, and Transformations" (con discusiones), <i>Technometrics</i> 30, pp. 1-41.	Críticas del enfoque Taguchi.
Box, G.E.P. y S. Jones (1992a). "Designing Products that are Robust to the Environment", <i>Total Quality Management</i> 3, pp. 265-270.	Avance en DOE clásico que podría funcionar mejor que algunos diseños Taguchi en términos de control y variables de ruido (se puede hacer un solo diseño experimental con menos pruebas).
Box, G.E.P. y S. Jones (1992b). "Split-Plot Designs for Robust Product Experimentation", <i>Journal of Applied Statistics</i> 1, pp. 332-336.	Avance en DOE clásico que podría funcionar mejor que algunos diseños Taguchi en términos de control y variables de ruido (se puede hacer un solo diseño experimental con menos pruebas).
Box, G.E.P., S. Bisgaard y C. Fung (1988). "An Explanation and Critique of Taguchi's Contributions to Quality Engineering", <i>Quality and Reliability Engineering International</i> 4, pp. 123-131.	Críticas del enfoque Taguchi.
Chokshi, D. (2000). "Design of Experiments in Rocket Engine Fabrication", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 442-443.	Aplicación de DOE al proceso de encendido de la cámara de propulsión en motores de cohetes.
Joglekar, A.M. (2003). <i>Statistical Methods for Six Sigma in R&D and Manufacturing</i> , John Wiley & Sons, Nueva York.	Libro de texto.
Leysi-Derilou, Y. y J. Anthony (2002). "A New Insight into the Taguchi Method", <i>Quality Assurance</i> 9:55-62.	Modificación del método Taguchi para incorporar proporciones de niveles como un factor. Las proporciones son de interés en diversas industrias, como alimentación y biotecnología.
Loy, T. N. y M. X. Goh (2002). "Retrospective Factorial Fitting and Reverse Design of Experiments", <i>Total Quality Management</i> , 13(5):589-602.	Se presenta un método de DOE que usa datos históricos: el autor considera que esta técnica puede ser particularmente útil en la revisión de factores. Revisión de textos de métodos similares, pasos y ejemplos trabajados.
Montgomery, D.C. (1999). "Experimental Design for Product and Process Design and Development", <i>Journal of the Royal Statistical Society D</i> 48, pp. 159-177.	Críticas del enfoque Taguchi.
Montgomery, D.C. (2001). <i>Design and Analysis of Experiments</i> , 5a. ed., John Wiley & Sons, Nueva York.	Críticas de Taguchi.
Nair, V.N. (Ed.) (1992). "Taguchi's Parameter Designs: A Panel Discussion", <i>Technometrics</i> 34, pp. 127-161.	Críticas de Taguchi.
Parr, W. (2004). "A Small Library on Statistics for Six Sigma", <i>ASQ Six Sigma Forum Magazine</i> , febrero, pp 42-43.	Sugerencias de libros sobre estadística para profesionales de six sigma, organizados por tema. Muchos publicados en 2000, pero ninguno posterior.

Citas

- Pignatiello, J. J., Jr. y J. Ramberg (1992). "Top Ten Triumphs and Tragedies of Genichi Taguchi", *Quality Engineering* 4, pp. 211-225.
- Woodall, W. H., R. Koudelik, K.-L. Tsui, S. B. Kim, Z. G. Stoumbos y C. P. Carvounis (2003). "A Review and Analysis of the Mahalanobis Taguchi System", *Technometrics* 45, pp. 1-30.

Resumen

- Críticas del enfoque Taguchi.
- Evaluación y críticas del enfoque Taguchi.

SITIO WEB

División de estadística de la ASQ: www.asq.org/about/divisions/stats

HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE DISEÑO PARA LA CALIDAD

19.1 EL JUEGO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA DISEÑO

Las herramientas estadísticas para la calidad en el proceso de diseño y desarrollo incluyen técnicas como síntesis gráficas de datos, distribución de probabilidades, teoremas de probabilidades, límites de confianza, pruebas de hipótesis, diseño de experimentos y análisis de regresión. Éstas se explican en el capítulo 17, “Conceptos básicos de estadística y probabilidad”, y el capítulo 18, “Herramientas estadísticas para el análisis de datos”.

Para complementar estas técnicas, este capítulo explica algunas herramientas estadísticas para la confiabilidad y disponibilidad, así como para establecer límites de especificación para las características de un producto.

Procederemos a examinar algunas herramientas estadísticas que son útiles en diseño.

19.2 PATRONES DE FALLA PARA PRODUCTOS COMPLEJOS

La metodología para cuantificar la confiabilidad se desarrolló por primera vez para productos complejos. Supongamos que se pone a prueba una pieza de un equipo, se hacen pruebas hasta que falla y se registra la hora en la que se produjo la falla. El equipo se repara, se pone nuevamente a prueba y se registra el tiempo en que se produce la siguiente falla. El procedimiento se repite para acumular los datos que se presentan en la tabla 19.1. Se calcula el índice de fallas, para intervalos de tiempo iguales, como el número de fallas por unidad de tiempo. Cuando un índice de fallas se diagrama en relación con el tiempo, el resultado (figura 19.1) sigue con frecuencia un patrón de falla familiar conocido como *curva de la bañera*. Hay tres periodos aparentes. Éstos difieren en la frecuencia de falla y en el patrón de la causa de ésta:

TABLA 19.1
Historia de fallas para una unidad de equipo de apoyo electrónico de tierra

Tiempo de falla, periodo de mortalidad infantil		Tiempo de falla, periodo de índice constante de falla		Tiempo de falla, periodo de desgaste	
1.0	7.2	28.1	60.2	100.8	125.8
1.2	7.9	28.2	63.7	102.6	126.6
1.3	8.3	29.0	64.6	103.2	127.7
2.0	8.7	29.9	65.3	104.0	128.4
2.4	9.2	30.6	66.2	104.3	129.2
2.9	9.8	32.4	70.1	105.0	129.5
3.0	10.2	33.0	71.0	105.8	129.9
3.1	10.4	35.3	75.1	106.5	
3.3	11.9	36.1	75.6	110.7	
3.5	13.8	40.1	78.4	112.6	
3.8	14.4	42.8	79.2	113.5	
4.3	15.6	43.7	84.1	114.8	
4.6	16.2	44.5	86.0	115.1	
4.7	17.0	50.4	87.9	117.4	
4.8	17.5	51.2	88.4	118.3	
5.2	19.2	52.0	89.9	119.7	
5.4		53.3	90.8	120.6	
5.9		54.2	91.1	121.0	
6.4		55.6	91.5	122.9	
6.8		56.4	92.1	123.3	
6.9		58.3	97.9	124.5	

1. *El periodo de mortalidad infantil.* Este periodo se caracteriza por altos índices de fallas que se presentan al poco tiempo de uso (véase la mitad inferior de la figura 19.1). Comúnmente, estas fallas son resultado de desaciertos en el diseño o manufactura, de mal uso o de aplicación equivocada. Por lo general, una vez que se corrigen, no vuelven a ocurrir, como por ejemplo un agujero para aceite que no se perforó. Algunas veces es posible “depurar” el producto mediante una prueba de uso simulado o sobreestimulando (en electrónica, esto se conoce como *burn-in*). Las unidades débiles siguen fallando, pero la falla se produce durante las pruebas y no en el servicio. O’Connor (1995), capítulo 9, explica el uso de las pruebas de *burn-in* y de revisión ambiental.
2. *El periodo de índice constante de falla.* Aquí las fallas son resultado de limitaciones inherentes al diseño, cambios en el ambiente y accidentes provocados por el uso o mantenimiento. Los accidentes pueden limitarse mediante un buen control de los procesos de operación y mantenimiento. No obstante, una reducción en el índice de fallas requiere un rediseño básico.
3. *El periodo de desgaste.* Estas fallas se deben a la edad, como cuando un metal se vuelve quebradizo o cuando el aislante se seca. Una reducción en el índice de fallas requiere el reemplazo preventivo de estos componentes viejos antes de que resulten en una falla catastrófica.

La parte superior de la figura 19.1 muestra el diagrama Weibull correspondiente cuando se aplica $\alpha = 2.6$ a los datos originales (véase la sección 17.12, “La distribución de probabilidad Weibull”). Los valores del parámetro de forma, β , fueron aproximadamente 0.5, 1.0 y 6.0, respectiva-

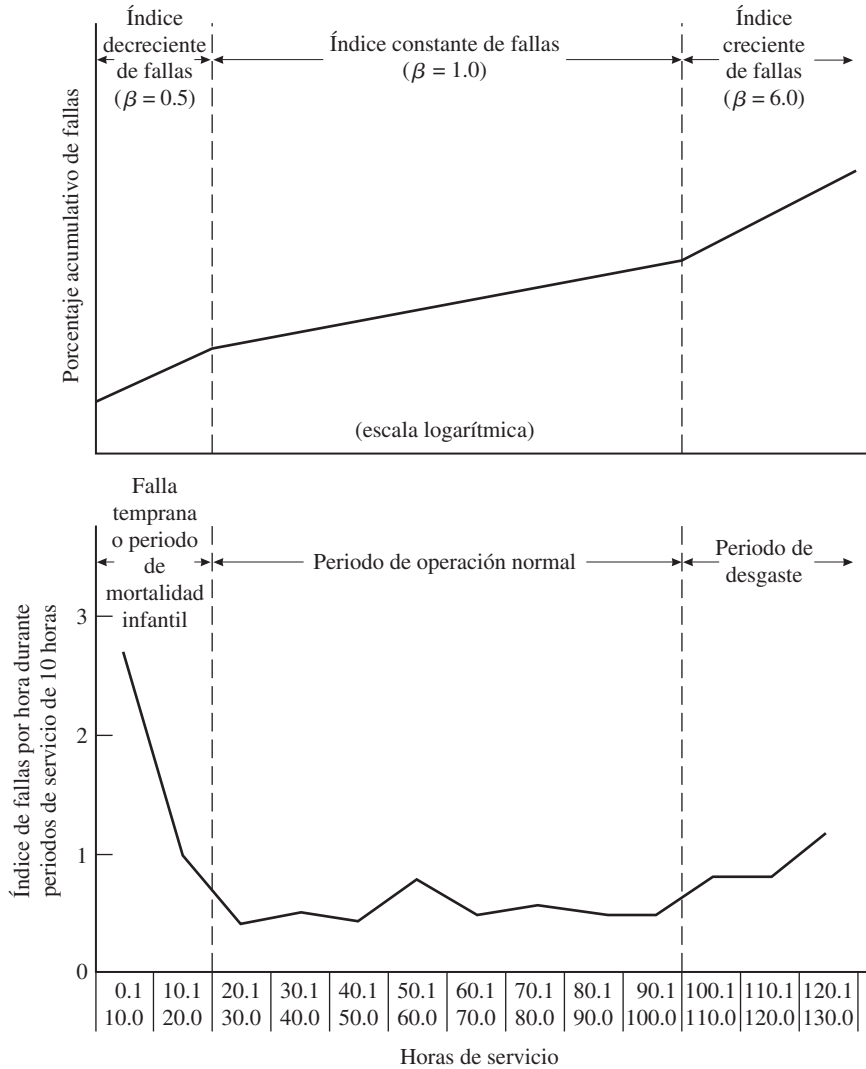


FIGURA 19.1
Índice de fallas vs. tiempo.

mente. Un parámetro de forma menor a 1.0 indica un índice de falla decreciente, un valor de 1.0 un índice de fallas constante y uno mayor a 1.0 un índice de fallas creciente (véase la figura 19.1).

La distribución del tiempo entre fallas

Junto con los bajos índices de fallas durante el periodo de mortalidad infantil, a los usuarios les preocupa el periodo en que un producto funcionará sin fallas. Así, para productos reparables, el

tiempo entre fallas (TBF, por sus siglas en inglés) es una característica crítica. La variación en el tiempo entre fallas puede estudiarse estadísticamente. La característica correspondiente para los productos no reparables recibe usualmente el nombre de *tiempo antes de la falla*.

Cuando el índice de fallas es constante, la distribución del tiempo entre fallas se distribuye exponencialmente. Consideremos los 42 tiempos de fallas en la porción de índice de fallas constante de la tabla 19.1. El tiempo entre fallas para las fallas sucesivas se puede contar, y los 41 TBF resultantes se pueden formar en una distribución de frecuencia como la que se muestra en la figura 19.2a. La forma de esta distribución es aproximadamente exponencial, lo que indica que cuando el índice de fallas es constante, la distribución del tiempo entre ellas (no de la *media del tiempo* entre fallas) es exponencial. Esta distribución es la base de la *fórmula exponencial de confiabilidad*.

19.3 LA FÓRMULA EXPONENCIAL DE CONFIABILIDAD

La distribución del TBF indica la posibilidad de una operación libre de fallas para un periodo específico. La posibilidad de obtener una operación libre de fallas para un periodo específico o *más largo* se puede mostrar cambiando la distribución TBF a una que muestre el número de intervalos igual o mayor a un tiempo específico (figura 19.2b). Si las frecuencias se expresan como frecuencias relativas, se convierten en estimados de la probabilidad de supervivencia. Cuando el índice de fallas es constante, la probabilidad de supervivencia (o confiabilidad) es:

$$P_s = R = e^{-t/\mu} = e^{-t\lambda}$$

donde $P_s = R$ = probabilidad de operación libre de fallas para un periodo igual o mayor a t

$e = 2.718$

t = periodo específico de operación libre de fallas

μ = media de tiempo entre fallas (la media de la distribución TBF)

λ = índice de fallas (el recíproco de μ)

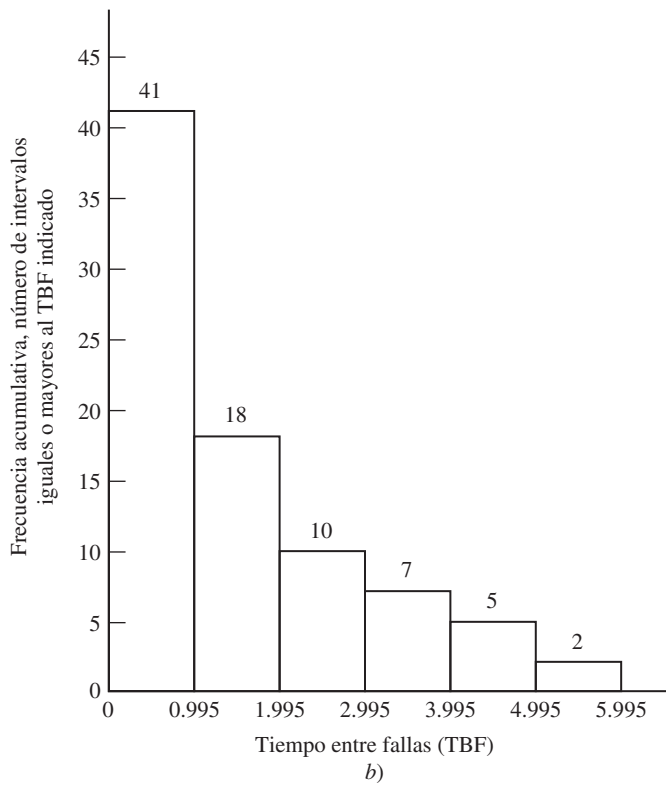
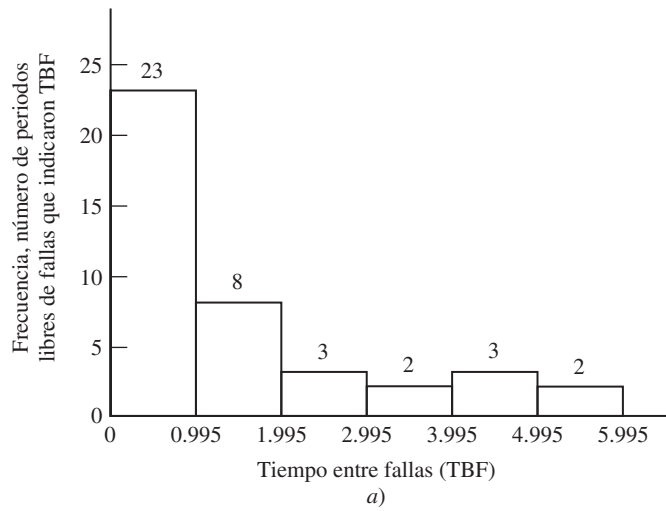
Cabe destacar que esta fórmula es simplemente la distribución exponencial de probabilidad replanteada en términos de confiabilidad.

EJEMPLO 19.1. Una lavadora requiere 30 minutos para limpiar una carga de ropa. La media de tiempo entre fallas de la máquina es de 100 horas. Asumiendo un índice constante de fallas, ¿cuál es la probabilidad de que esta máquina complete un ciclo sin una falla?

$$R = e^{-t/\mu} = e^{-0.5/100} = 0.995$$

Existe un 95 por ciento de probabilidad de completar un ciclo de lavado.

¿Y qué hay respecto a la presunción de un índice de fallas constante? En la práctica, normalmente no hay datos suficientes para evaluar dicha presunción. Sin embargo, la experiencia sugiere que con frecuencia ésta resulta verdadera, particularmente cuando (1) se han eliminado las fallas de tipo mortalidad infantil antes de entregar el producto al usuario, y (2) éste reemplaza el producto o sus componentes específicos antes de que inicie la fase de desgaste.

**FIGURA 19.2**

a) Histograma de TBF. b) Histograma acumulativo de TBF.

El significado de la media de tiempo entre fallas

Existe cierta confusión en torno al significado de la *media de tiempo entre fallas* (MTBF, por sus siglas en inglés). A continuación se dan explicaciones adicionales:

1. La *MTBF* es la media (o promedio) de tiempo entre fallas sucesivas de un producto. Esta definición asume que el producto en cuestión se puede reparar y poner de nuevo en operación después de cada falla. Para productos no reparables, se usa el término *media de tiempo hasta la falla* (MTTF, por sus siglas en inglés).
2. Si el índice de fallas es constante, la probabilidad de que el producto opere sin fallas durante un tiempo igual o mayor a su MTBF es de sólo 37 por ciento. Este resultado se basa en la distribución exponencial. (R es igual a 0.37 cuando t es igual al MTBF.) El resultado es contrario a la sensación intuitiva de que existe una posibilidad de 50-50 de exceder el MTBF.
3. La MTBF no es lo mismo que “vida operativa”, “vida de servicio” u otros índices, los cuales generalmente se refieren al tiempo de reparación total o reemplazo.
4. Un incremento en la MTBF no da como resultado un incremento proporcional en la confiabilidad (la probabilidad de supervivencia). Si $t = 1$ hora, la tabla siguiente muestra el MTBF requerido para obtener diferentes niveles de confiabilidad:

MTBF	R
5	0.82
10	0.90
20	0.95
100	0.99

Se requiere quintuplicar el MTBF, de 20 a 100 horas, para incrementar la confiabilidad en cuatro puntos porcentuales, en comparación con duplicar el MTBF de 5 a 10 horas para obtener un incremento de ocho puntos porcentuales en la confiabilidad.

La MTBF es una medida útil de confiabilidad, pero *no* es correcta para todas las aplicaciones. La sección 11.5, “Diseño para el desempeño orientado en el tiempo (confiabilidad)”, incluye una lista de otros índices de confiabilidad.

19.4

RELACIÓN ENTRE PARTE Y CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

Con frecuencia se asume que la confiabilidad del sistema (es decir, la probabilidad de supervivencia P_s) es producto de la confiabilidad individual de n partes dentro del sistema:

$$P_s = P_1 P_2 \dots P_n$$

Por ejemplo, si un sistema de comunicaciones tiene cuatro subsistemas con confiabilidad de 0.970, 0.989, 0.995 y 0.996, la confiabilidad del sistema es 0.951. La fórmula asume que (1) la falla de cualquier parte causa la del sistema y (2) la confiabilidad de cada parte es independiente entre sí, es decir, la confiabilidad de una parte no depende del funcionamiento de otra.

Estas presunciones *no* siempre son verdaderas, pero en la práctica la fórmula cumple dos objetivos. En primer lugar, muestra el efecto de la creciente complejidad del equipo en la confiabilidad total. Al incrementarse el número de partes en un sistema, la confiabilidad de éste disminuye de manera drástica (véase la figura 19.3). En segundo lugar, la fórmula es con frecuencia una aproximación conveniente que puede refinarse a medida que se vuelve disponible la información sobre las relaciones entre las partes.

Pyzdek (1994) discute el diseño de los servicios de ambulancia para manejar llamadas de emergencia. La figura 19.4 muestra el diagrama de bloque sobre confiabilidad para el sistema de rescate. En este ejemplo, la confiabilidad del sistema es $(0.998)(0.999) \dots (0.994) = 0.9195$, es decir, el sistema tendría éxito en su misión aproximadamente 92 por ciento de las veces.

Cuando se puede asumir que (1) la falla de cualquier parte causa falla en el sistema, (2) las partes son independientes y (3) cada parte sigue una distribución exponencial, por lo cual:

$$P_s = e^{-t_1\lambda_1} e^{-t_2\lambda_2} \dots e^{-t_n\lambda_n}$$

Además, si t es la misma para cada parte,

$$P_s = e^{-t\Sigma\lambda}$$

Así cuando el índice de fallas es constante (y por lo tanto se puede aplicar la distribución exponencial), la confiabilidad de un sistema se puede predecir con base en la suma de los índices de fallas en las partes (véase la sección 19.5).

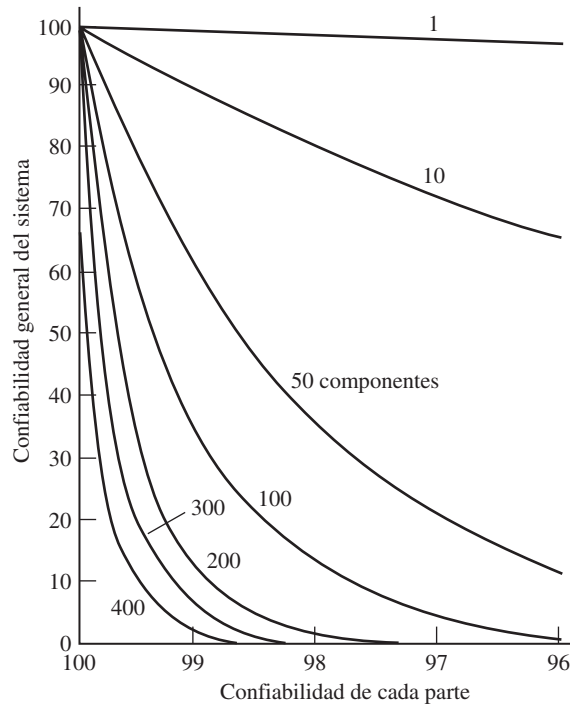


FIGURA 19.3
Relación de confiabilidad de parte y sistema.

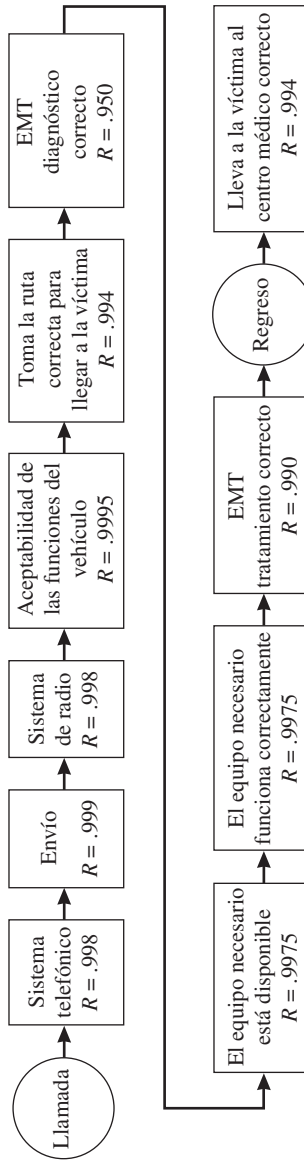


FIGURA 19.4 Diagrama de bloque de confiabilidad de un sistema de rescate de emergencia. (Reimpreso con la autorización de la ASQ.)

Algunas veces los diseños se planean con redundancias para que las fallas de una parte no provoquen una falla en el sistema. La redundancia es una vieja regla de diseño inventada mucho antes de la llegada de las técnicas de predicción de confiabilidad. No obstante, el diseñador ahora puede predecir el efecto de la redundancia en la confiabilidad del sistema en términos *cuantitativos*.

La redundancia es la existencia de más de un elemento para llevar a cabo una determinada tarea, en donde todos los elementos deben fallar antes de que haya una falla generalizada del sistema. En la *redundancia paralela* (uno de los diversos tipos de redundancia), dos o más elementos operan al mismo tiempo para ejecutar la tarea, y cualquier elemento por sí solo es capaz de manejar el mismo trabajo en caso de falla de los demás. Cuando se usa la redundancia paralela, la confiabilidad general se calcula de la siguiente manera:

$$P_s = 1 - (1 - P_1)^n$$

donde P_s = confiabilidad del sistema

P_1 = confiabilidad de elementos individuales en la redundancia

n = el número de elementos redundantes idénticos

EJEMPLO 19.2. Supongamos que una unidad tiene una confiabilidad de 99.0 por ciento para un tiempo específico de misión. Si dos unidades idénticas se usan en una redundancia paralela, ¿qué confiabilidad general se obtiene?

$$R = 1 - (1 - 0.99)(1 - 0.99) = 0.9999, \text{ o } 99.99\%$$

19.5 PREDICCIÓN DE LA CONFIABILIDAD DURANTE EL DISEÑO

En la sección 11.5 se presentó el método para la predicción de confiabilidad. Los métodos de predicción de confiabilidad siguen evolucionando. En este capítulo se discutirán distintos métodos. Ireson *et al.* (1996) presentan una amplia discusión sobre el tema.

Los siguientes pasos son los que conforman un método de predicción de confiabilidad:

1. *Definir el producto y su operación funcional.* El sistema, subsistemas y unidades deben ser definidos con precisión en términos de sus configuraciones operativas y sus límites. Esta definición precisa es auxiliada por la preparación de un diagrama de bloque funcional que muestre los sistemas y productos de menor nivel, y sus correspondientes interrelaciones e interfases con otros sistemas.
Tomando en cuenta un diagrama de bloque funcional y un planteamiento bien definido de los requerimientos funcionales de un producto, se pueden definir las condiciones que constituyen una falla o un desempeño no satisfactorio.
2. *Preparar un diagrama de bloque de confiabilidad.* Para sistemas en los que hay redundancias y otras interrelaciones especiales entre las partes, es útil contar con un diagrama de bloque de confiabilidad. Éste es similar a un diagrama de bloque funcional, pero muestra exactamente lo que debe funcionar para la operación exitosa del sistema. El diagrama de bloque de confiabilidad muestra las redundancias y los modos alternos de operación. Es la base para desarrollar el modelo de probabilidad para confiabilidad. O'Connor (1995) presenta una discusión más amplia.
3. *Desarrollar el modelo de probabilidad para predecir la confiabilidad.* Un simple modelo podría añadir únicamente índices de fallas; un modelo complejo puede hacer un recuento de las redundancias y otras condiciones.

4. *Recopilar información relevante para la confiabilidad de las partes.* Los datos incluyen información como la función y la calificación de las partes; tensión; ambientes internos y externos, y tiempo de operación. Muchas fuentes de información sobre el índice de fallas presentan estos índices como una función de los parámetros de operación. Por ejemplo, los índices de fallas para los condensadores fijos de cerámica se plantean como una función de (1) la temperatura esperada de operación y (2) la proporción del voltaje de operación con el voltaje calificado. Dichos datos muestran el efecto de no operar al máximo de la capacidad (cuando se asigna una parte para que trabaje por debajo de su voltaje determinado) en la reducción del índice de fallas.
5. *Seleccionar los datos de confiabilidad de las partes.* Los datos requeridos de las partes consisten en información sobre fallas catastróficas y las variaciones de tolerancia, con respecto al tiempo bajo las condiciones operativas y ambientales conocidas. Adquirir estos datos es un gran problema para el diseñador, ya que no existe un solo banco de datos de confiabilidad comparable con manuales como los de propiedades físicas de los materiales. En cambio, el diseñador debe crear una base de datos garantizando la confiabilidad de aquéllos provenientes de diversas fuentes:
 - Estudios de desempeño de campo conducidos en condiciones controladas.
 - Pruebas de vida específicas.
 - Datos provenientes de fabricantes de partes o asociaciones industriales.
 - Calificación de las partes por el cliente y pruebas de inspección.
 - Bancos de datos de agencias gubernamentales tales como el Programa de Intercambio de Datos Industriales del Gobierno (GIDEP, por sus siglas en inglés) y el Centro de Análisis de Confiabilidad (RAC, por sus siglas en inglés).
6. *Combinar todo lo anterior para obtener la predicción numérica de confiabilidad.* La sección 11.5 muestra un ejemplo de un método de predicción relativamente simple. Otros métodos de predicción se basan en diversas distribuciones estadísticas, como se explica en las siguientes secciones.

El concepto del crecimiento de confiabilidad es una técnica para predecir el desempeño futuro a partir de pruebas y datos de campo. Asume que un producto está pasando por un proceso de mejora continua en diseño y refinamiento en las operaciones y procesos de mantenimiento. Así, el desempeño del producto mejorará (“crecerá”) con el tiempo. Véase a continuación.

Ireson *et al.* (1996) y O’Connor (1995) son excelentes referencias para la predicción de confiabilidad. Incluidos están los métodos básicos de predicción; los sistemas reparables *versus* no reparables; la confiabilidad electrónica y mecánica; la prueba de confiabilidad, y la confiabilidad de software. La sección 48 de *JQH5* presenta una discusión extensa sobre el análisis de datos de confiabilidad, incluyendo temas como datos de vida censurados (no todas las unidades de prueba han fallado durante ésta) y análisis de datos de prueba de vida acelerada. Dodson (1999) explica cómo el uso de las hojas de cálculo de la computadora puede simplificar el moldeo de la confiabilidad mediante el uso de diversas distribuciones estadísticas.

Las técnicas de predicción de confiabilidad basadas en los datos de falla de los componentes para estimar los índices de falla de los sistemas han generado controversia. Jones y Hayes (1999) presentan una comparación de desempeños pronosticados y observados para cinco técnicas de predicción usando análisis de conteo de partes. Las predicciones difirieron de manera importante del comportamiento de campo observado y también entre sí. ANSI/IEC/ASQ D60300-3-1 (1997) compara cinco técnicas de análisis: FMEA/FMECA, análisis del árbol de fallas, diagrama de bloque de confiabilidad, análisis Markov y predicción de confiabilidad con conteo de partes.

La confiabilidad de un sistema evoluciona durante el diseño, el desarrollo, la prueba, la producción y el uso en campo. El concepto de *crecimiento de confiabilidad* asume que se descubren

TABLA 19.2
Ejemplo de índices de fallas en partes mecánicas y subsistemas

Descripción de parte	Cantidad	Índice genérico de fallas por millón de horas	Índice total de fallas por millón de horas
<i>Ball bearing</i> de uso rudo	6	14.4	86.4
Ensamblaje de frenos	4	16.8	67.2
Leva (mecánica)	2	0.016	0.032
Manguera neumática	1	29.28	29.28
Bomba fija de desplazo	1	1.464	1.464
Compresor	1	8.80	8.80
Clavija de guía	5	13.0	65.0
Válvula de control	1	15.20	15.20
Índice total de fallas de ensamblaje			273.376

MTBF = $1/0.000273376 = 3\ 657.9$ h.

Fuente: Adaptado de Ireson *et al.*, p. 19.9.

las causas de las fallas del producto y se toman medidas para eliminar esas causas, lo que resulta en una confiabilidad mejorada para unidades futuras (“prueba, análisis y solución”). Los modelos de crecimiento de confiabilidad ofrecen predicciones de ésta debido a dichas mejoras. Para más detalles, véase O’Connor (1995). También ANSI/IEC/ASQ D 11664-1997, describe diversos métodos para estimar el crecimiento de confiabilidad.

19.6 PREDICCIÓN DE LA CONFIABILIDAD CON BASE EN LA DISTRIBUCIÓN EXPONENCIAL

Cuando el índice de fallas es constante y el estudio de un diagrama de bloque funcional revela que todas las partes deben funcionar para que el sistema tenga éxito, entonces se predice la confiabilidad para que sea el total simple del índice de fallas. La tabla 19.2 muestra un ejemplo de un sistema de predicción. La predicción para el subsistema se hace sumando los índices de fallas de las partes; el MTBF se calcula entonces como el recíproco del índice de fallas.

Para más discusiones sobre la predicción de confiabilidad, incluyendo un ejemplo de un sistema electrónico, véase la sección 11.5.

19.7 PREDICCIÓN DE LA CONFIABILIDAD CON BASE EN LA DISTRIBUCIÓN WEIBULL

La predicción de la confiabilidad en general con base en la simple suma de los índices de falla de los componentes, sólo es válida si el índice de fallas es constante. Cuando no se puede hacer esta presunción, se puede emplear un enfoque alternativo basado en la distribución Weibull.

1. Gráficamente, usar la distribución Weibull para predecir la confiabilidad R para un periodo específico. $R = 100 - \%$ fallas. Hacer esto para cada componente. (Véase el tema de “La distribución de probabilidad Weibull” en la sección 17.12.)

- Combinar la confiabilidad de los componentes usando la regla del producto y/o las fórmulas de redundancia para predecir la confiabilidad de un sistema.

Las predicciones de confiabilidad usando la distribución exponencial o la distribución Weibull se basan en la confiabilidad como una función de tiempo. Después consideraremos la confiabilidad como una función de presión y fuerza.

19.8 CONFIABILIDAD COMO UNA FUNCIÓN DE PRESIÓN APLICADA Y FUERZA

Las fallas no siempre son una función de tiempo. En algunos casos, una parte funcionará indefinidamente si la fuerza es mayor que la presión que se le aplica. Los términos *fuerza* y *presión* se usan aquí en el sentido amplio de capacidad inherente y condiciones operativas aplicadas a una parte, respectivamente.

Por ejemplo, la temperatura de operación es un parámetro crítico, y la temperatura máxima esperada es 145°F (63°C). Además, la capacidad se indica mediante una distribución de fuerza cuya media es de 172°F (78°C) y una desviación estándar de 13°F (7°C) (véase la figura 19.5). Conociendo únicamente dos temperaturas, el margen de seguridad es

$$\frac{172 - 145}{13} = 2.08$$

El margen de seguridad dice que la fuerza promedio está 2.08 desviaciones estándar por encima de la temperatura máxima esperada de 145°F (63°C). La tabla A del apéndice III se puede usar para calcular una confiabilidad de 0.981 [el área más allá de 145°F (63°C)].

Este cálculo ilustra la importancia de la *variación* además del valor *promedio* durante el diseño. Los diseñadores siempre han reconocido la existencia de la variación mediante el uso de un *factor de seguridad* en el diseño. Sin embargo, el factor de seguridad con frecuencia se define como la relación entre la fuerza promedio y la peor presión esperada.

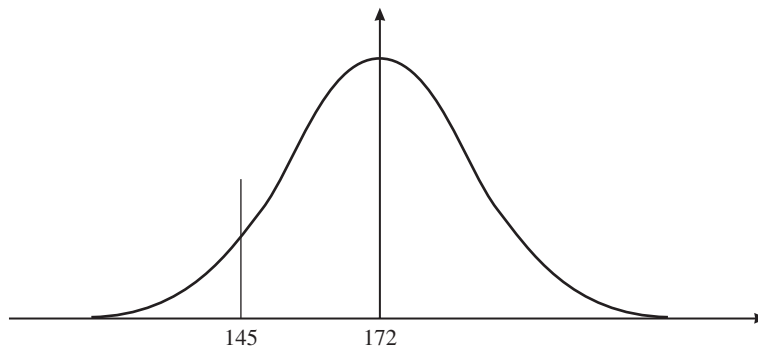


FIGURA 19.5
Distribución de fuerza.

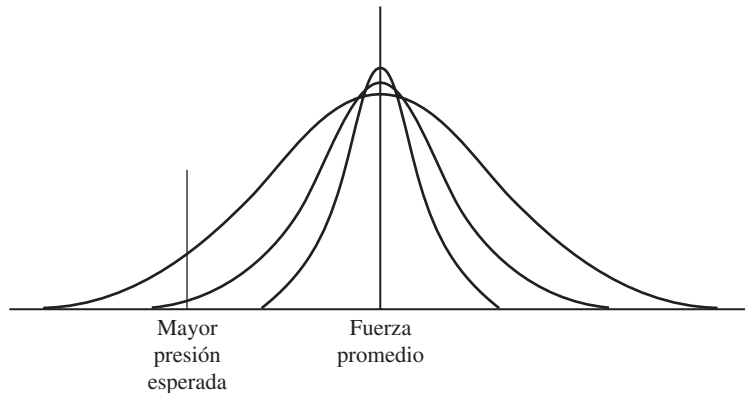


FIGURA 19.6
Variación y factor de seguridad.

Cabe destacar que en la figura 19.6 todos los diseños tienen el mismo factor de seguridad. También hay que señalar que la confiabilidad (probabilidad de que una parte tenga una fuerza mayor a la presión) varía considerablemente. Así, la incertidumbre con frecuencia asociada a la definición de factor de seguridad se debe en parte a su imposibilidad para reflejar la *variación*, tanto en la fuerza como en la presión. Dicha variación se refleja parcialmente en el margen de seguridad, definido como

$$\frac{\text{Fuerza promedio} - \text{Peor presión}}{\text{Desviación estándar de la fuerza}}$$

Esto reconoce la variación en la fuerza, pero tiene una postura conservadora, puesto que no reconoce la variación en la presión.

El énfasis reciente del enfoque six sigma tiene que ver con un acontecimiento histórico fascinante. Hace casi medio siglo, Lusser (1958) propuso el empleo de márgenes de seguridad como una manera de diseñar con un alto grado de confiabilidad productos críticos, tales como misiles guiados. Sugirió el uso de márgenes de seguridad tanto para la fuerza como para la presión. Específicamente, el límite de confiabilidad (presión máxima) se define como seis desviaciones estándar (de presión) por encima de la presión promedio. También propuso que la fuerza promedio debería ser de al menos cinco desviaciones estándar (de fuerza) por encima del límite de confiabilidad. Se tiene alta confiabilidad porque es poco probable que una fuerte presión (con probabilidades extremadamente bajas de ocurrencia) se combinara con baja fuerza (también con bajas probabilidades de ocurrencia). Quizás Lusser fue uno de los pioneros del enfoque six sigma.

19.9 DISPONIBILIDAD

La *disponibilidad* se ha definido como la probabilidad de que un producto, cuando se usa bajo determinadas condiciones, tenga un desempeño satisfactorio cuando se le pida. La disponibilidad

considera el tiempo de operación del producto y el necesario para reparaciones. El tiempo muerto, durante el cual el producto no es necesario, se excluye.

La disponibilidad se calcula como la proporción del tiempo de operación, con el tiempo de operación más el tiempo muerto. Sin embargo, el tiempo muerto puede ser considerado de dos maneras:

1. *Tiempo muerto total*. Este periodo incluye la reparación activa (diagnóstico y tiempo de reparación), y el tiempo de mantenimiento preventivo y de logística (tiempo que se pasa esperando al personal, refacciones, etc.). Cuando se usa el tiempo muerto total, la proporción resultante se llama *disponibilidad operativa* (A_0).
2. *Tiempo de reparación activa*. La proporción resultante se llama *disponibilidad intrínseca* (A_i). Bajo ciertas condiciones, la disponibilidad se puede calcular como:

$$A_0 = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} \quad \text{y} \quad A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

donde MTBF = media de tiempo entre fallas

MDT = media de tiempo muerto

MTTR = media de tiempo para la reparación

Ésta se conoce como la fórmula de estado estable.

Garrick y Mulvihill (1974) presentan datos sobre ciertos subsistemas de un sistema mecanizado de correo masivo (véase la tabla 19.3). Si se pueden estimar la confiabilidad y el sostenimiento durante el proceso de diseño, la disponibilidad se puede evaluar antes de que el diseño sea entregado a producción.

La fórmula de estado estable para la disponibilidad tiene la virtud de la simplicidad. Sin embargo, ésta se basa en diversas presunciones que no siempre se cumplen en el mundo real. Las presunciones son:

- El producto está operando en un periodo de índice constante de fallas de la vida en general. Así, la distribución del tiempo de fallas es exponencial.
- La distribución del tiempo muerto y el de reparación es exponencial.
- Los intentos para ubicar las fallas del sistema no cambian el índice de fallas generales del sistema.
- No hay crecimiento de confiabilidad. (Tal crecimiento puede deberse a mejoras en el diseño o a la eliminación de errores en las partes malas.)
- El mantenimiento preventivo está programado fuera del marco de tiempo incluido en los cálculos de disponibilidad.

Fórmulas más precisas para calcular la disponibilidad dependen de las condiciones operativas y de las presunciones estadísticas. Estas fórmulas se detallan en Ireson *et al.* (1996).

TABLA 19.3
Datos de disponibilidad para equipo de sistema de correo

Equipo	MTBF, h	MTTR, h	Disponibilidad (%)
Clasificador de costales	90	1.620	98.2
Clasificador de paquetes	160	0.8867	99.4
Cinta transportadora, inducción	17 900	1.920	100.0
Desviador, transporte	3 516	3.070	99.9

19.10

ESTABLECIMIENTO DE LOS LÍMITES DE LA ESPECIFICACIÓN

Un paso importante en el desarrollo de productos físicos es la conversión de los *rasgos* del producto en *características* dimensionales, químicas, eléctricas o de otro tipo del mismo producto. Así, un sistema de calefacción para un automóvil tendrá muchas características para el calentador, los conductos de aire, el ensamblaje del ventilador, enfriador del motor, etcétera.

Para cada característica, el diseñador debe especificar (1) el promedio deseado (o “valor nominal”) y (2) los límites de la especificación (o “límites de tolerancia”) por encima y por debajo del valor nominal con que deben cumplir las unidades del producto. Estos dos elementos se relacionan con el diseño de parámetro y el de tolerancia de los que se habla en la sección 11.4, “Diseñar para los requerimientos funcionales básicos”.

Los límites de especificación deben reflejar las necesidades funcionales del producto, la variabilidad de la manufactura y las consecuencias económicas. Estos tres aspectos se abordan en las siguientes tres secciones.

Anand (1996) describe diversos casos del papel de la estadística en la determinación de los límites de la especificación.

19.11

LÍMITES DE LA ESPECIFICACIÓN Y NECESIDADES FUNCIONALES

Algunas veces se desarrollan datos para vincular el desempeño del producto con las mediciones de un componente crítico. Por ejemplo, se puede requerir un termostato para encender o apagar una fuente de poder en valores de temperatura específicos altos y bajos, respectivamente. Diversos elementos del termostato se construyen y ponen a prueba. Los principales datos que se registran son (1) temperatura de encendido, (2) temperatura de apagado y (3) características físicas de los elementos del termostato. Se pueden preparar entonces diagramas aislados (figura 19.7) y ecuaciones de regresión para ayudar a establecer la tolerancia de los componentes críticos, partiendo de una base científica y dentro de los límites de confianza para los números involucrados. Idealmente, el tamaño de la muestra es suficiente y los datos provienen de procesos controlados estadísticamente: dos condiciones que rara vez se cumplen.

O'Connor (1995), en el capítulo 7, explica cómo este enfoque se relaciona con el de Taguchi para desarrollar un diseño más robusto.

19.12

LÍMITES DE LA ESPECIFICACIÓN Y VARIABILIDAD EN LA MANUFACTURA

Generalmente, los diseñadores no cuentan con información sobre la capacidad del proceso. Su problema será obtener una muestra de los datos del proceso, calcular los límites en los que el proceso puede funcionar y comparar éstos con los límites que van a especificar. (Si no tienen ninguno de estos límites en mente, los límites de capacidad calculados a partir de los datos del proceso ofrecen una serie de limitaciones realistas desde el punto de vista de la productividad. Estos límites deben evaluarse entonces en relación con las necesidades funcionales del producto.)

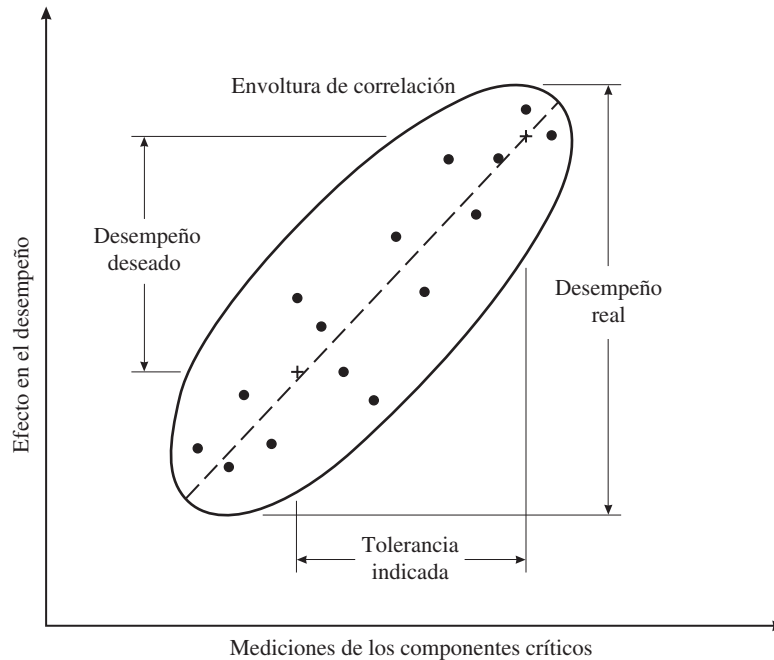


FIGURA 19.7
Enfoque a la tolerancia funcional.

Estadísticamente, el problema es predecir los límites de variación de artículos individuales en la población total con base en una muestra de datos. Por ejemplo, supongamos que una característica de un producto se distribuye normalmente con una población promedio de 5.000 pulgadas (12.7 cm) y una desviación estándar de la población de 0.001 pulgadas (0.00254 cm). Los límites se pueden calcular entonces para incluir cualquier porcentaje dado de la población. La figura 19.8 muestra la ubicación de los límites de 99 por ciento. La tabla A del apéndice III indica que las desviación estándar de ± 2.575 incluirán a 99 por ciento de la población. Así, en este ejemplo, un juego realista de límites de tolerancia sería:

$$5.000 \pm 2.575(0.001) = \begin{matrix} 5.003 \\ 4.997 \end{matrix}$$

Noventa y nueve por ciento de las piezas individuales en la población tendrán valores entre 4.997 y 5.003.

En la práctica, el promedio y la desviación estándar de la población no se conocen, pero deben estimarse a partir de una muestra de producto del proceso. Como una primera aproximación, los límites de tolerancia se establecen algunas veces en:

$$\bar{X} \pm 3s$$

Aquí el promedio \bar{X} y la desviación estándar s de la muestra se usan directamente como estimaciones de los valores de la población. Si el promedio verdadero y la desviación estándar de la población resultan iguales a los de la muestra, y si la característica se distribuye normalmente, entonces 99.73

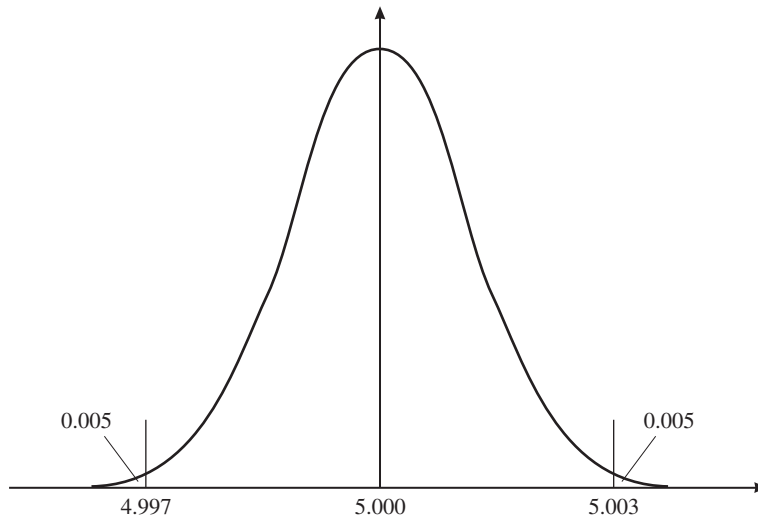


FIGURA 19.8
Distribución con límites de 99 por ciento.

por ciento de las piezas de la población estarán dentro de los límites calculados. Éstos se llaman con frecuencia *límites de tolerancia naturales* (límites que reconocen la variación real del proceso y que por lo tanto son realistas). Esta aproximación ignora el posible error tanto en el promedio como en la desviación estándar, según se estimó a partir de la muestra.

Se ha desarrollado metodología para establecer los límites de tolerancia de una manera más precisa. Por ejemplo, existen fórmulas y tablas para determinar los límites de tolerancia con base en una población distribuida normalmente. La tabla H del apéndice III presenta factores para calcular los límites de tolerancia que reconocen la incertidumbre en la media de la muestra y su desviación estándar. Los límites de tolerancia son determinados de la siguiente manera:

$$\bar{X} \pm Ks$$

El factor K es una función del límite de confianza deseado, el porcentaje de la población que se debe incluir dentro de los límites de tolerancia y el número de valores de datos en la muestra.

Por ejemplo, supongamos que una muestra de 10 resistencias de un proceso dio como resultado un promedio y una desviación estándar de 5.04Ω y 0.016Ω , respectivamente. Los límites de tolerancia deben incluir a 99 por ciento de la población, y el planteamiento de tolerancia deberá tener un nivel de confianza de 95 por ciento. Haciendo referencia a la tabla H del apéndice III, el valor de K es 4.433, y los límites de tolerancia se calculan entonces como:

$$5.04 \pm 4.433(0.016) = \begin{matrix} 5.11 \\ 4.97 \end{matrix}$$

Tenemos una confianza de 95 por ciento en que al menos 99 por ciento de las resistencias de la población poseerán una resistencia entre 4.97Ω y 5.11Ω . Los límites de tolerancia calculados de

esta manera se llaman con frecuencia límites de tolerancia estadística. Este enfoque es más riguroso que los límites de tolerancia naturales de $\pm 3s$, pero los dos porcentajes en el planteamiento son un misterio para aquéllos sin antecedentes estadísticos.

Para productos de algunas industrias (como la electrónica), el número de unidades fuera de los límites de especificación se plantea en términos de partes por millón (ppm). Así, si los límites se establecen como ± 3 desviaciones estándar, 2 700 ppm (100% – 99.73%) caerán fuera de los límites. Para muchas aplicaciones (como una computadora personal con muchas puertas lógicas), dicho nivel es totalmente inaceptable. La tabla 19.4 muestra las ppm de diversas desviaciones estándar. Estos niveles de ppm asumen que el promedio del proceso es constante en la especificación nominal. Una desviación del valor nominal dará como resultado un valor mayor de ppm. Para permitir cambios moderados en el promedio del proceso, algunos fabricantes siguen un lineamiento para definir los límites de especificación en $\pm 6\sigma$. Véase el tema “Concepto six sigma de capacidad de proceso” en la sección 20.15.

Turmel y Gartz (1997) describen cómo Kodak integra conceptos de six sigma durante el desarrollo de un producto. Como parte de este proceso, los ingenieros de desarrollo de producto deben enfocarse en las medidas de capacidad del proceso de manufactura (véase la sección 20.10) para optimizar las características del diseño y evitar defectos. Además, los diseñadores deben estudiar los datos del proceso (desde los internos de Kodak a los del proveedor) para garantizar que los procesos de manufactura tengan tanto la capacidad como la estabilidad para alcanzar los niveles de defectos de six sigma. Este análisis implica tanto las características críticas del producto como las variables críticas del proceso.

Los diseñadores con frecuencia deben establecer los límites de tolerancia con sólo unas cuantas medidas del proceso (o probablemente a partir de las pruebas de desarrollo que se llevaron a cabo en condiciones de laboratorio). Al desarrollar una fórmula de pintura, se obtuvieron los siguientes valores de brillo: 76.5, 75.2, 77.5, 78.9, 76.1, 78.3 y 77.7. Se preguntó a un grupo de químicos dónde establecerían un límite mínimo de especificación. Su respuesta fue 75.0 —una respuesta razonable para aquéllos sin conocimientos estadísticos—. La figura 19.9 muestra un diagrama de los datos sobre un documento de probabilidad normal. Si la línea se extrapola a 75.0, el diagrama predice que cerca de 11 por ciento de la población estará por debajo de 75.0 —aunque todos los datos de la muestra exceden 75.0—. Por supuesto, se prefiere un tamaño de muestra más grande y se podría hacer un análisis estadístico más detallado, pero el diagrama ofrece una herramienta sencilla para evaluar una muestra pequeña de datos.

Todos los métodos para establecer los límites de tolerancia con base en los datos del proceso asumen que la muestra de datos representa un proceso suficientemente estable para ser predecible. En la práctica, la presunción se acepta con frecuencia sin ninguna evaluación formal. Si existen datos suficientes, la presunción se puede comprobar mediante un diagrama de control.

TABLA 19.4
Desviaciones estándar y PPM (proceso centrado)¹

Número de desviaciones estándar	Partes por millón (ppm)
$\pm 3\sigma$	2 700
$\pm 4\sigma$	63
$\pm 5\sigma$	0.57
$\pm 6\sigma$	0.002

¹Si el proceso no está centrado y la media cambia en hasta 1.5σ , entonces $\pm 6\sigma$ será 3.4 ppm.

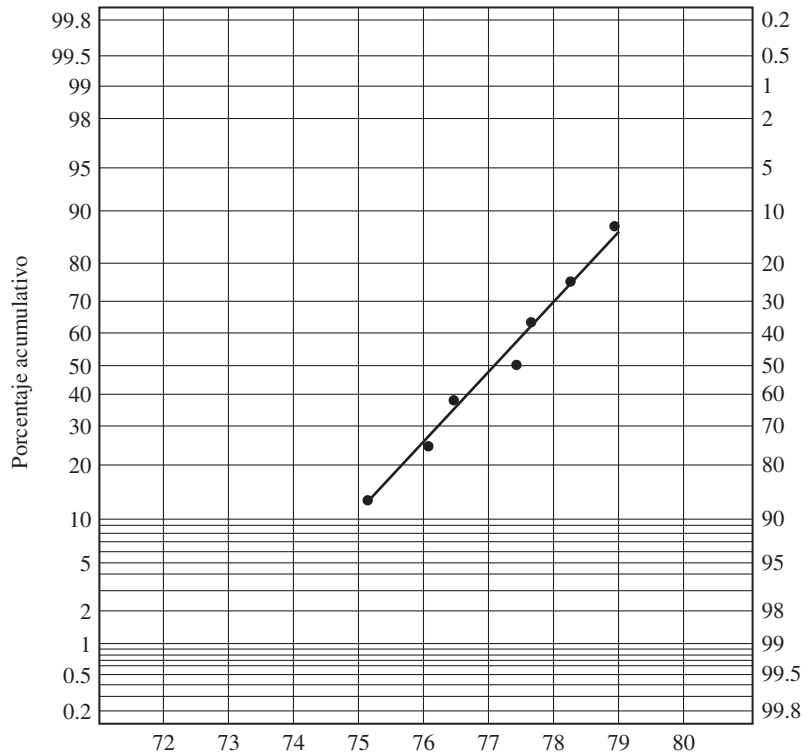


FIGURA 19.9
Gráfica de probabilidad de los datos de desarrollo.

Los límites de tolerancia estadística se confunden a veces con otros usados en ingeniería y estadística. La tabla 19.5 sintetiza la distinción entre cinco tipos de límites (véase también *JQH5*, pp. 44.47-44.58).

19.13 LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN Y CONSECUENCIAS ECONÓMICAS

Al establecer los límites tradicionales de especificación en torno a un valor nominal, asumimos que no hay pérdida monetaria si un producto no cumple con ellos. Para el producto que está fuera de los límites de la especificación, la pérdida es el costo de reemplazarlo.

Otro punto de vista sostiene que *cualquier* desviación del valor nominal provoca una pérdida. Así, existe un valor (nominal) ideal que los clientes desean, y cualquier desviación a partir de este ideal da como resultado la insatisfacción de los clientes. Esta pérdida se puede describir como una función perdida (figura 19.10).

TABLA 19.5
Distinciones entre límites

Nombre del límite	Significado
Tolerancia	Establecido por la función de diseño de ingeniería para definir los valores mínimo y máximo permitidos para que el producto trabaje adecuadamente.
Tolerancia estadística	Calculada a partir de los datos del proceso para definir la cantidad de variación que el proceso presenta; estos límites contienen una proporción específica de la población total.
Predicción	Calculada a partir de los datos del proceso para definir los límites que contendrán todas las futuras observaciones de k .
Confianza	Calculada a partir de los datos para definir un intervalo dentro del cual se encuentra el parámetro de una población.
Control	Calculado a partir de los datos de un proceso para definir los límites de variación de la posibilidad (aleatorios) en torno a un valor central.

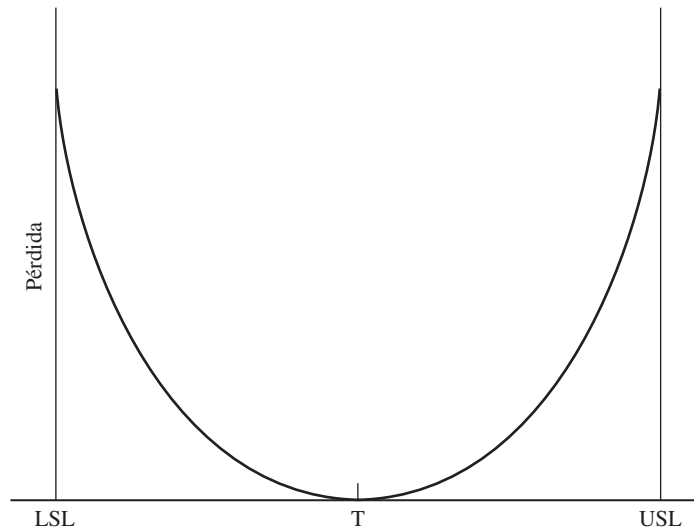


FIGURA 19.10
Función de pérdida.

Muchas fórmulas pueden predecir la pérdida como una función de desviación de un objetivo. Taguchi propone el uso de una simple función cuadrática de pérdida:

$$L = k(X - T)^2$$

donde L = pérdida en términos monetarios

k = coeficiente de costo

X = valor de la característica de calidad

T = valor objetivo

Ross (1996) presenta un ejemplo que ilustra cómo la función de pérdida puede ayudar a determinar los límites de la especificación. En las transmisiones automáticas de los camiones, los puntos de cambio de velocidad se diseñan para que ocurran a una cierta velocidad y posición de la válvula. Suponiendo que al fabricante le cuesta \$100 ajustar una válvula en garantía cuando el cliente se queja de los cambios. La investigación indica que el cliente promedio solicitará un ajuste si el punto de cambio está 40 rpm alejado del valor nominal en la velocidad de transmisión de la primera a la segunda velocidad. La función de pérdida, entonces, es:

$$\begin{aligned} \text{Pérdida} &= k(X - T)^2 \\ 100 &= k(40)^2 \\ k &= \$0.0625 \end{aligned}$$

Este ajuste se puede hacer en la fábrica a un costo menor, de aproximadamente \$10. La función de pérdida se usa ahora para calcular los límites de la especificación:

$$\begin{aligned} \$10 &= 0.00625(X - T)^2 \\ (X - T) &= \pm 12.65 \text{ o } \pm 13 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Los límites de la especificación deben establecerse en ± 13 rpm alrededor del valor nominal deseado. Si el punto de cambio en la transmisión está más lejos que 13 rpm del valor nominal, es menos costoso hacer el ajuste en la fábrica que esperar a que el cliente se queje y pida un ajuste de garantía en el campo. Ross discute cómo la función de pérdida puede aplicarse a límites de especificación de un extremo, por ejemplo, a un valor mínimo o un valor máximo.

19.14

LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN PARA DIMENSIONES QUE INTERACTÚAN

Las *dimensiones que interactúan* se adaptan o se unen a otras para crear un resultado final. Consideremos el ensamblaje mecánico simple que se muestra en la figura 19.11. El largo de los componentes A, B y C son dimensiones que interactúan, ya que determinan el largo total del ensamble.

Supongamos que los componentes fueron fabricados conforme a las especificaciones indicadas en la figura 19.11. Una especificación lógica para el largo del ensamblaje sería de 3.500 ± 0.0035 , dando límites de entre 3.5035 y 3.4965. Esta lógica se puede verificar desde los dos extremos del ensamblaje:

Máximo	Mínimo
1.001	0.999
0.5005	0.4995
<u>2.002</u>	<u>1.998</u>
3.5035	3.4965

El enfoque de añadir tolerancias de componentes es matemáticamente correcto, pero es con frecuencia demasiado conservador. Supongamos que se espera que cerca de 1 por ciento de las piezas del componente A se encuentren por debajo del límite de tolerancia inferior para el compo-

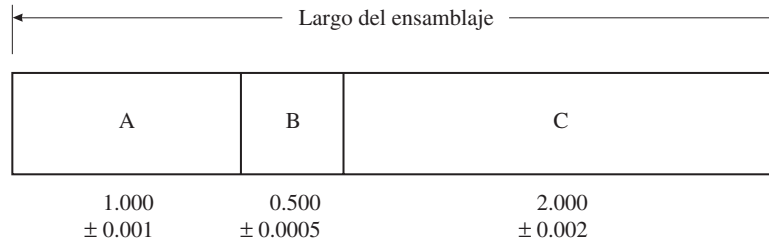


FIGURA 19.11
Ensamblaje mecánico.

nente A y consideremos lo mismo para los componentes B y C. Si un componente A se selecciona al azar, habrá, en promedio, 1 posibilidad en 100 de que se encuentre del lado inferior, y lo mismo para los componentes B y C. El punto clave es el siguiente: si los ensamblajes se hacen al azar y los componentes se manufacturan de manera independiente, entonces la posibilidad de que los *tres* componentes de un ensamblaje estén simultáneamente por debajo del límite de tolerancia menor será

$$\frac{1}{100} \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{100} = \frac{1}{1\,000\,000}$$

Sólo existe aproximadamente una posibilidad en un millón de que los tres componentes sean demasiado pequeños, lo que resultaría en un ensamblaje pequeño. Así, establecer las tolerancias de los componentes y el ensamblaje con base en la simple fórmula de adición es algo conservador, puesto que no reconoce la probabilidad extremadamente baja de que todos los componentes de un ensamblaje estén bajos (o altos).

El enfoque estadístico se basa en la relación entre las varianzas de diversas causas independientes y la varianza del resultado dependiente o general. Lo anterior se puede formular de la siguiente manera:

$$\sigma_{\text{resultado}} = \sqrt{\sigma^2_{\text{causa A}} + \sigma^2_{\text{causa B}} + \sigma^2_{\text{causa C}} + \dots}$$

En términos del ejemplo de ensamblaje, la fórmula es:

$$\sigma_{\text{ensamblaje}} = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 + \sigma_C^2}$$

Ahora supongamos que, para cada componente, el rango de tolerancia es igual a ± 3 desviaciones estándar (o cualquier constante múltiple de la desviación estándar). Tomando en cuenta que σ es igual a T dividido entre 3, la relación de varianza se puede reescribir como

$$\frac{T}{3} = \sqrt{\left(\frac{T_A}{3}\right)^2 + \left(\frac{T_B}{3}\right)^2 + \left(\frac{T_C}{3}\right)^2}$$

o

$$T_{\text{ensamblaje}} = \sqrt{T_A^2 + T_B^2 + T_C^2}$$

Así, los cuadrados de tolerancia se suman para determinar el cuadrado de la tolerancia para el resultado total. Esta fórmula se compara con la simple suma de las tolerancias que comúnmente se usa.

El efecto del enfoque estadístico es dramático. A continuación se enlistan dos posibles series de componentes de tolerancia que arrojarían una tolerancia conjunta igual a ± 0.0035 cuando se usan con la fórmula anterior.

Componente	Alternativa 1	Alternativa 2
A	± 0.002	± 0.001
B	± 0.002	± 0.001
C	± 0.002	± 0.003

Con la alternativa 1, la tolerancia para el componente A se duplicó, para el componente B se cuadruplicó y para el C se mantuvo igual que la tolerancia del componente original con base en el enfoque de la suma simple. Si se elige la alternativa 2, se pueden obtener incrementos significativos similares en las tolerancias del componente. Esta fórmula, por lo tanto, puede resultar en una mayor tolerancia del componente *sin* cambios en los procesos de manufactura *ni* en la tolerancia del ensamblaje.

El riesgo de este enfoque es que un ensamblaje pueda caer fuera de la tolerancia. Sin embargo, esta probabilidad puede calcularse expresando las tolerancias del componente como desviaciones estándar, estimando la desviación estándar del resultado y determinando el área debajo de la curva normal fuera de los límites del ensamblaje. Por ejemplo, si la tolerancia de cada componente es igual a 3σ , entonces 99.73 por ciento de los ensamblajes estarán dentro de la tolerancia de ensamblaje, es decir, 0.27 por ciento o cerca de 3 ensamblajes de cada 1 000 tomados al azar se encontrarán dentro de la tolerancia de ensamblaje. El riesgo se puede eliminar cambiando los componentes por los pocos ensamblajes que no cumplan con la tolerancia de ensamblaje.

La fórmula de tolerancia no está restringida a las dimensiones exteriores de los ensamblajes. Generalizando, el lado izquierdo de la ecuación contiene la variable dependiente o *resultado físico*, y el lado derecho las variables independientes o *causas físicas*. Si el resultado se coloca a la izquierda y las causas a la derecha, la fórmula siempre tiene signos *positivos* bajo la raíz cuadrada, aunque el resultado sea una dimensión interna (como el despeje entre el mango y el agujero). Las causas de variación son *aditivas* siempre que los resultados físicos fallen.

La fórmula ha sido aplicada a diversos productos mecánicos y electrónicos. El concepto puede implementarse en distintas variables interactivas en una relación de ingeniería. La naturaleza de la relación no necesita ser aditiva (ejemplo del ensamblaje) ni sustractiva (ejemplo del mango y el agujero). La fórmula de tolerancia se puede adaptar para predecir la variación de resultados que son producto y/o división de diversas variables.

Presunciones de la fórmula

La fórmula se basa en diversas presunciones:

- Las dimensiones del componente son independientes y los componentes son ensamblados aleatoriamente. Esta presunción normalmente se cumple en la práctica.

- Cada dimensión de componente debe ser distribuida normalmente. No se puede permitir la desviación de esta presunción.
- El promedio real de cada componente es igual al valor nominal planteado en la especificación. Para el ejemplo del ensamblaje original, los promedios reales para A, B y C deben ser 1.000, 0.500 y 2.000, respectivamente. De otra manera, el valor nominal de 3.500 no se alcanzaría para el ensamblaje, y los límites de tolerancia establecidos alrededor de 3.500 no serían realistas. Así, es importante controlar el valor promedio para las dimensiones que interactúan. Consecuentemente, se necesitan técnicas de control de proceso que usen la medición de variables.

Hay que ser cautelosos en caso de que se viole cualquier presunción. Las desviaciones razonables de las presunciones podrían permitir de todas formas que se aplique el concepto de la fórmula. Cabe destacar que en el ejemplo la fórmula dio como resultado que se duplicaron ciertas tolerancias. Semejante incremento podría no ser necesario desde el punto de vista de capacidad del proceso.

Bender (1975) estudió estas presunciones para el caso de algunos ensamblajes complejos, y concluyó, con base en una “combinación de probabilidad y experiencia”, que debe incluirse un factor de 1.5 para contabilizar las presunciones:

$$T_{\text{resultado}} = 1.5\sqrt{T_A^2 + T_B^2 + T_C^2 + \dots}$$

Graves (1997) sugiere el desarrollo de diferentes factores para comparar una producción inicial contra una madura; un volumen de producción alto contra uno bajo, y procesos de tecnología y medición maduros contra incipientes.

Por último, el análisis de simulación de la variación es una técnica que emplea simulación de computadora para analizar tolerancias. Esta técnica puede manejar las características del producto que tengan distribuciones normales o anormales.

Dodson (1999) describe el uso de la simulación en el diseño de tolerancia para circuitos; Gomer (1998) demuestra la simulación para analizar tolerancias en un diseño de motor.

RESUMEN

- Los productos complejos por lo general experimentan tres periodos de vida: mortalidad infantil, índice de falla constante y desgaste.
- Cuando el índice de falla es constante, la distribución de tiempo entre fallas es exponencial. Esta distribución es la base de la fórmula exponencial de confiabilidad.
- Si la falla de cualquiera de las partes causa la del sistema y si las confiabilidades de las partes son independientes, entonces la confiabilidad del sistema es el producto de la de las partes.
- La redundancia es la existencia de más de un elemento para llevar a cabo una tarea.
- Para productos orientados al tiempo, la confiabilidad se puede predecir durante el diseño usando la distribución exponencial o Weibull.
- Para los productos no orientados al tiempo, la confiabilidad se puede predecir como una función de presión y fuerza.

- La disponibilidad es la probabilidad de que un producto, cuando se usa en determinadas circunstancias, tenga un desempeño satisfactorio.
- Los límites de la especificación deben basarse en las necesidades funcionales del producto y la variabilidad del proceso de manufactura. El análisis estadístico cuantifica la variabilidad del proceso para el diseñador.
- Los límites de la especificación para dimensiones que interactúan deben reconocer las características de probabilidad para formar el resultado final.

EJEMPLOS TRABAJADOS CON MINITAB

1. Un ingeniero de diseño de pequeñas herramientas eléctricas está estudiando el espacio entre un ventilador interno y la caja donde se encuentra. Se construyeron herramientas iniciales para el ventilador de plástico y se estableció el proceso para crear el diámetro de la caja. Se proporcionaron al ingeniero de diseño los siguientes datos para su evaluación.
 - a) ¿Cuál es la desviación estándar de la distribución de los valores de interferencia?
 - b) Si el espacio es menor a 0.002, es probable que haya interferencia entre el ventilador y la caja cuando las partes se calienten. ¿Qué porción del producto podría tener este problema?

(Nombre del archivo: Fan-Housing Clearance.mpj)

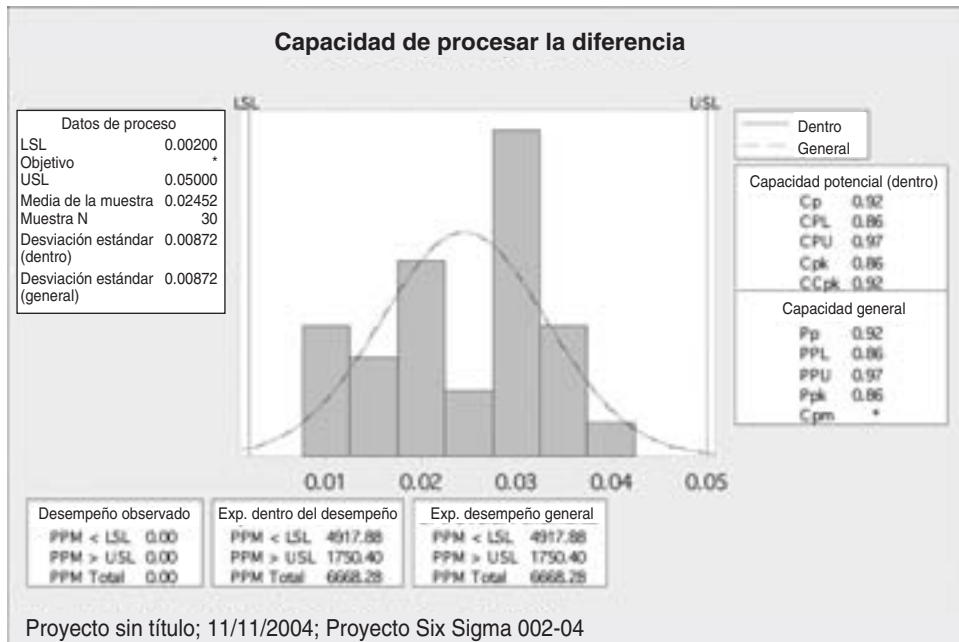
Diámetro del ventilador		Diámetro de la caja	
2.628	2.630	2.655	2.650
2.642	2.622	2.650	2.651
2.624	2.621	2.646	2.652
2.632	2.620	2.653	2.653
2.632	2.626	2.652	2.651
2.638	2.619	2.651	2.650
2.627	2.621	2.649	2.655
2.639	2.622	2.651	2.656
2.638	2.624	2.653	2.650
2.620	2.627	2.654	2.652
2.634	2.626	2.646	2.652
2.638	2.617	2.651	2.657
2.616	2.639	2.653	2.654
2.631	2.609	2.652	2.650
2.624	2.630	2.654	2.651

Respuesta:

- a) (MINITAB Calc>Calculadora para tomar las diferencias entre la caja y el ventilador; entonces Stat>Basic Stats>Estadísticas para obtener:

Variable	N	Media	Desviación estándar
Diferencia	30	0.02452	0.00865

- b) (MINITAB Stat>Herramientas de calidad>Análisis de capacidad>Normal en la columna de diferencias) A partir del diagrama de capacidad de MINITAB, la porción de componentes que se conjuntaron en un producto terminado que puede tener un problema de interferencia (diferencia < 0.002) es 4 917 ppm (0.4917%).



2. Al estudiar el tiempo del ciclo para la operación de completar una orden en una pequeña distribuidora, el equipo se concentró en un tipo de orden que tenía propiedades muy similares. Examinando las cinco etapas principales para completar una orden, se midieron y registraron los tiempos del ciclo. Tras un examen, se determinó que la distribución de tiempos en el ciclo podía considerarse como normal. ¿Cuál sería el promedio y la variación del tiempo del ciclo total?

Paso	Promedio	Rango de variación
1	1.5 h	± 20 min
2	1 h	± 10 min
3	2.5 h	± 30 min
4	0.5 h	± 5 min
5	2 h	± 20 min

Respuesta: El promedio es la suma de los promedios anteriores = 7.5 h. Se puede calcular la variación tomando el cuadrado de cada medición de variación, sumándolas y después sacando su raíz cuadrada. Rango de variación = 42.7 min.

3. Un ingeniero de diseño está considerando la relación presión-fuerza entre dos componentes críticos estructurales. Después de tomar algunos datos sobre la presión determinó que los datos estaban distribuidos normalmente con un valor medio de 1 200 libras y una desviación estándar de 50. Los datos de fuerza del componente revelaron que también estaba distribuido normalmente y que tenía una media de 1 500 libras con una desviación estándar de 40. Si se considera apropiado un factor de seguridad de 300 libras, ¿hasta qué grado este diseño ha alcanzado su objetivo? (¿Cuál es la probabilidad de que el factor de seguridad sea menor a 300 libras?)

Respuesta: La Z calculada para esto es $[(1\ 500 - 1\ 200)/(50^2 + 40^2)^{1/2}] = 4.68$. El uso de MINITAB o de una tabla de valores normales estándar arroja una probabilidad de 1.5 ppm.

PROBLEMAS

- 19.1.** Un juego de radar tiene un MTBF de 240 horas basado en una distribución exponencial. Supongamos que una determinada misión requiere una operación libre de fallas durante 24 h. ¿Cuál es la posibilidad de que el juego complete la misión sin fallas?

Respuesta: 0.91.

- 19.2.** Una pieza de equipo de apoyo terrestre para un misil tiene un MTBF específico de 100 h. ¿Cuál es la confiabilidad para una misión que dure 1 hora?, ¿10 horas?, ¿100 horas?, ¿200 horas?, ¿300 horas? Grafique las respuestas diagramando el tiempo de la misión *versus* la confiabilidad. Asuma una distribución exponencial.

- 19.3.** El promedio de vida de un subensamblaje A es 2 000 horas. Los datos indican que esta característica de vida está distribuida exponencialmente.

- a) ¿Qué porcentaje de los subensamblajes de la población durará al menos 200 horas?
 b) La vida promedio del subensamblaje B es de 1 000 horas, y la vida está distribuida exponencialmente. ¿Qué porcentaje de los subensamblajes en la población durará al menos 200 horas?
 c) Estos subensamblajes son manufacturados independientemente y se conectan después en series que forman el ensamblaje total. ¿Qué porcentaje de ensamblajes de la población durará al menos 200 horas?

Respuesta: a) 90.5%. b) 81.9%. c) 74.1%.

- 19.4.** Se espera que el tiempo promedio para reparar una falla de un cierto producto sea de 4 horas. Asumamos que el tiempo de reparación está distribuido exponencialmente. ¿Cuál es la posibilidad de que el tiempo para una reparación se encuentre entre 3 y 5 horas?

- 19.5.** La siguiente tabla sintetiza los datos del índice de fallas en componentes de un subsistema electrónico:

Componente	Cantidad	Índice de fallas por hora
Transistor de silicón	40	74.0×10^{-6}
Resistor de película	100	3.0×10^{-6}
Capacitor de papel	50	10.0×10^{-6}

Estime el MTBF. (Asuma una distribución exponencial. Todos los componentes son críticos para el éxito del subsistema.)

Respuesta: 267 horas.

- 19.6.** Un sistema consta de subsistemas A, B y C. El sistema se usa principalmente para una cierta misión que dura 8 horas. Se ha recopilado la siguiente información:

Subsistema	Tiempo requerido de operación durante la misión, h	Distribución de tipo de falla	Información sobre confiabilidad
A	8	Exponencial	50% de los subsistemas durarán al menos 14 horas
B	3	Normal	La vida promedio es de 6 horas con una desviación estándar de 1.5 horas
C	4	Weibull con $\beta = 1.0$	El promedio de vida es de 40 horas

Asumiendo la independencia de los subsistemas, calcule la confiabilidad para la misión.

- 19.7. Un subsistema hidráulico consta de dos subsistemas en paralelo; cada uno de ellos tiene los siguientes componentes y características:

Componentes	Fallas/10 ⁶ hora	Número de componentes
Bomba	23.4	1
Desconexión rápida	2.4	3
Válvula de revisión	6.1	2
Válvula de apagado	7.9	1
Líneas y partes	3.13	7

Los componentes dentro de cada subsistema son todos necesarios para su éxito. Los dos subsistemas paralelos operan simultáneamente, y cualquiera de los dos puede llevar a cabo la misión. ¿Cuál es la confiabilidad de la misión si el tiempo de la misión es 300 horas? (Asuma una distribución exponencial.)

- 19.8. Las siguientes estimaciones, basadas en la experiencia de campo, están disponibles en tres subsistemas:

Subsistema	Porcentaje de fallas a 1 000 mi	Valor Weibull β
A	0.1	2.0
B	0.2	1.8
C	0.5	1.0

Si se asume que estas estimaciones se pueden aplicar a subsistemas similares que serán usados en un nuevo sistema, pronostique la confiabilidad (en términos de porcentaje exitoso) al final de 3 000 mi, 5 000 mi, 8 000 mi y 10 000 mi.

- 19.9. Se desea que una planta energética esté en condiciones operativas 95 por ciento del tiempo. El tiempo promedio requerido para reparar una falla es de aproximadamente 24 horas. ¿Cuál debe ser el MTBF para que la planta energética alcance el objetivo de 95 por ciento?

Respuesta: 456 horas.

- 19.10. Un proceso de manufactura trabaja de manera continua 24 horas al día y 7 días a la semana (excepto durante los cierres programados). Los datos anteriores indican una probabilidad de 50 por ciento de que el tiempo entre fallas sucesivas sea de 100 horas o más. El tiempo promedio de reparación es de 6 horas. Los tiempos de falla y reparación están distribuidos exponencialmente. Calcule la disponibilidad del proceso.

- 19.11. La siguiente tabla sintetiza los datos sobre componentes de un sistema hidráulico:

Componente	Calidad	Índice de fallas por hora
Válvula de escape	1	200×10^{-6}
Válvula de revisión	1	150×10^{-6}
Filtro	1	100×10^{-6}
Cilindro	1	50×10^{-6}

Asuma que todos los componentes deben operar para el éxito del sistema y que éste se usa continuamente a lo largo de 8 760 horas al año, sin cierres excepto en caso de fallas. El tiempo de reparación varía con el tipo de falla, pero 50 por ciento de las reparaciones requieren 3 horas o más. Se recurre a la siguiente estimación sobre el costo promedio:

$$\begin{aligned} \text{Costo del material/falla} &= \$400.00 \\ \text{Costo del trabajo de reparación/hora} &= \$20.00 \end{aligned}$$

Asuma que el tiempo de falla y el de reparación están distribuidos exponencialmente. Calcule el costo promedio anual de reparar las fallas.

Respuesta: \$2 029.

- 19.12.** Se tomaron medidas de la dimensión de la perforación de un rotor. Una muestra de 20 de una producción piloto mostró un valor medio de 25.038 cm y una desviación estándar de 0.000381 cm. Todas las unidades funcionaron adecuadamente, por lo que se decidió usar los datos para establecer los límites de la especificación para la producción regular.
- Suponga que se asume que las estimaciones de la muestra eran exactamente iguales a la media de la población y la desviación estándar. ¿Qué límites para la especificación se deberían establecer para incluir a 99 por ciento de la producción?
 - Existe incertidumbre respecto a que los valores de la muestra y la población sean iguales. Con base en la muestra de 20, ¿qué límites se deberían establecer para estar 95 por ciento seguros de incluir a 99 por ciento de la producción?
 - Explique el significado de la diferencia en *a)* y *b)*.
 - ¿Qué presunciones fueron necesarias para determinar ambos juegos de límites?
- 19.13.** Un circuito contiene tres resistores en serie. Los datos anteriores muestran la siguiente información sobre la resistencia:

Resistor	Media, Ω	Desviación estándar, Ω
1	125	3
2	200	4
3	600	12

- ¿Qué porcentaje de circuitos cumpliría con las especificación de resistencia total para $930 \pm 30 \Omega$?
 - Pregunte a un distribuidor local si sería razonable asumir que la resistencia de un resistor está normalmente distribuida.
- 19.14.** Un fabricante de cortadoras de césped recibió numerosas quejas en relación con el esfuerzo necesario para empujar el producto. Los estudios pronto determinaron que el pequeño orificio entre el cilindro de la rueda y el mango era la causa. Los diseñadores eligieron hacer este espacio suficientemente grande para permitir una rotación fácil de la rueda (o para una fuerte capa de lubricante), pero al mismo tiempo “suficientemente ajustado” como para impedir que se tambalee. Tomando en cuenta el gran inventario de ruedas y mangos, se tomó la decisión de cambiar los cilindros por unos de mayor diámetro interno y conservar los mangos. Se propusieron las siguientes especificaciones:

$$\begin{aligned} \text{Diámetro del cilindro} &= 0.800 \pm 0.002 \text{ pulgadas} \\ \text{Nuevo espacio} &= 0.800 \pm 0.003 \text{ pulgadas} \\ \text{Diámetro interno del cilindro} &= 0.800 \pm 0.001 \text{ pulgadas} \end{aligned}$$

La gente de producción dijo que económicamente no era posible mantener la tolerancia del diámetro interno del cilindro. ¿Qué comentarios haría sobre esta afirmación?

Respuesta: La tolerancia del diámetro interno de ± 0.0022 pulgadas se puede permitir.

- 19.15.** Un ensamblaje consta de dos partes (*A* y *B*) que se unen de “extremo a extremo” para formar el largo total, *C*. Se desea que el largo total, *C*, cumpla con una especificación de 3.000 ± 0.005 cm. La especificación nominal de *A* es 2.000, y de *B* es 1.000.

El proceso de manufactura de B tiene mucha más variabilidad que el de A . Específicamente, la tolerancia para la parte B debe ser dos veces más grande que para la parte A . Los ensamblajes se harán aleatoriamente, y las partes A y B son fabricadas independientemente. Asumiendo que sólo queremos un pequeño riesgo de no cumplir con la especificación C , ¿qué niveles de tolerancia se deberían fijar para A y B ?

- 19.16.** Una fábrica empaadora decidió establecer límites de tolerancia para el llenado de latas de un nuevo producto mediante una muestra de una producción piloto de 30 latas. Los resultados de esa producción arrojaron un promedio de 446 gramos con una desviación estándar de 1.25 gramos. ¿Qué límites de tolerancia tendrían una certidumbre de 95 por ciento de incluir 99 por ciento de la producción? La etiqueta de la lata establece que contiene 453 g de producto. ¿Cuántos gramos de producto contendrá la lata promedio si la compañía está 95 por ciento segura de que 99 por ciento de la producción contiene al menos 453 gramos?

REFERENCIAS

- Anand, K.N. (1996). "The Role of Statistics in Determining Product and Part Specifications: A Few Indian Experiences", *Quality Engineering*, vol. 9, núm. 2, pp. 187-193.
- ANSI/IEC/ASQ D60300-3-1-1997 (1997). *Dependability Management Part 3: Application Guide—Section 1: Analysis Techniques for Dependability: Guide on Methodology*, ASQ, Milwaukee.
- Bender, A. (1975). "Statistical Tolerancing as It Relates to Quality Control and the Designer", *Automotive Division Newsletter of ASQC*, abril, p. 12.
- Dodson, B. (1999). "Reliability Modeling with Spreadsheets", *Proceedings of the Annual Quality Congress*, ASQ, Milwaukee, pp. 575-585.
- Endres, A. (1997). *Improving R&D Performance the Juran Way*, John Wiley and Sons, Nueva York.
- Garrick, J.B. y R.J. Mulvihill (1974). "Reliability and Maintainability of Mechanized Bulk Mail Systems", *Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium*, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Nueva York.
- Gomer, P. (1998). "Design for Tolerance of Dynamic Mechanical Assemblies", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 490-500.
- Graves, S.B. (1997). "How to Reduce Costs Using a Tolerance Analysis Formula Tailored to Your Organization", *Report No. 157*, Center for Quality and Productivity Improvement, Universidad de Wisconsin, Madison.
- Ireson, W.G., C. F. Coombs, Jr., y R.Y. Moss (1996). *Handbook of Reliability Engineering and Management*, 2a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Jones J. y J. Hayes (1999). "A Comparison of Electronic Reliability Prediction Models", *IEEE Transactions on Reliability*, vol. 48, núm. 2, pp. 127-134.
- Lusser, R. (1958). *Reliability Through Safety Margins*, United States Army Ordnance Missile Command, Redstone Arsenal, AL.
- O'Connor, P.D.T. (1995). *Practical Reliability Engineering*, 3a. ed. revisada, John Wiley and Sons, Nueva York.
- Pyzdek, T. (1994). "Service Systems Reliability Engineering", *Proceedings of the Annual Quality Congress*, ASQ, Milwaukee, pp. 174-187.
- Ross, P.J. (1996). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Turmel, J. y L. Gartz (1997). "Designing in Quality Improvement: A Systematic Approach to Designing for Six Sigma", *Proceedings of the Annual Quality Congress*, ASQ, Milwaukee, pp. 391-398.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

Diseño de experimentos:

Box, G. E. P., J. S. Hunter y W. G. Hunter (2005). *Statistics for Experimenters*, 2a. ed., John Wiley and Sons, Hoboken, Nueva Jersey.

Meyers, R. H. y D. C. Montgomery (1995). *Response Surface Methodology*, John Wiley and Sons, Nueva York.

Cuantificación de confiabilidad, mantenimiento y disponibilidad: *JQH5*, secciones 19 y 48.

McLinn, J. A. (1997). *Weibull Analysis Primer*, 3a. ed., Williams Enterprises, Cool, CA.

Raheja, D. G. (1991). *Assurance Technologies*, McGraw-Hill, Nueva York.

Límites de tolerancia estadística: *JQH5*, pp. 44.47-44.54.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Cita	Resumen
Anderson, M. J. y S. L. Kraber (2002). "Cost Effective and Information Efficient Robust Design for Optimizing Processes and Accomplishing Six Sigma Objectives", <i>ASQ Annual Quality Congress Proceedings</i> .	Se determina que los diseños factoriales estándar (de un solo arreglo) son más eficientes que los diseños con parámetros de dos arreglos en un estudio de caso industrial. Se muestran diseños robustos avanzados que implican la aplicación de métodos de superficie de respuesta (RSM, por sus siglas en inglés).
Daniels, S. E., D. Arter, H. Bajaria, M. Ono <i>et al.</i> (2000). "Tire Failures, SUV Rollovers, Put Quality on Trial", <i>Quality Progress</i> 33(12):30-46.	Temas sobre seguridad del producto y confiabilidad en el caso Firestone y Ford.
Larsen, M. y J. Kim (2001). "Integrating Statistics into Product Development", <i>Annual Quality Congress Proceedings</i> , pp. 549-560.	Encuesta de técnicas estadísticas apropiadas durante el ciclo de desarrollo de un producto; estrategia para el despliegue de estas herramientas; integración de herramientas y estrategias dentro de un sistema de calidad. Con base en experiencia con aparatos médicos.
Schnoll, L. (2003). "Ensure Medical Safety", <i>Quality Progress</i> 36(2):73-75.	Recomendación para el manejo formal de riesgos en la seguridad de aparatos médicos, incluyendo identificación y análisis de riesgos, evaluación y control.
Graves, Spencer (2001). "Tolerance Analysis Tailored to Your Organization", <i>Journal of Quality Technology</i> , julio, vol. 33, núm. 3, p. 293.	Discusión de las deficiencias de los métodos de tolerancia tradicional que presenta un método mejorado de tolerancia estadística por medio de la inclusión de un factor de inflación.

SITIOS WEB

División de confiabilidad de la ASQ: www.asq-rd.org

División de estadística de la ASQ: www.asq.org/

Programa de Intercambio de Datos Industriales del Gobierno (GIDEP, por sus siglas en inglés): www.gidep.org

Centro de Análisis de Confiabilidad (RAC, por sus siglas en inglés): <http://rac.allionscience.com>

Calidad en el cuidado de la salud, estándares y recursos en Internet: <http://www.bettyjung.net/Hcquality.htm>

CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

20.1 DEFINICIÓN E IMPORTANCIA DEL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

Fecha 1950: Estaba instalando diagramas como parte de un sistema de control estadístico del proceso para vigilar la variación en el peso de los paquetes de mezcla en polvo para sopa de Lipton Company. Instalamos el sistema y lo sometimos a prueba tranquilamente en una línea de llenado, haciendo que el operador pesara muestras de paquetes y diagramando el promedio y rango de las muestras. En un día, los operadores de las otras líneas nos pidieron con entusiasmo que les enseñáramos cómo hacer y utilizar los diagramas. Su mensaje para nosotros era claro: querían tener una mejor capacidad para controlar el proceso (autocontrol) y divertirse diagramando los datos. Moraleja: el control estadístico del proceso no es solamente números.

Se define como *control estadístico del proceso* la aplicación de métodos estadísticos para la medición y análisis de la variación en un proceso. Esta técnica se aplica tanto a los parámetros dentro del proceso como a los del final de éste (producto). Sin embargo, nos gustaría que el lector esté consciente de que el término *control estadístico del proceso* también ha asumido otras definiciones, ¡incluso algunas que implican poco o nulo uso de la estadística!

Un proceso es un conjunto de actividades que convierte entradas en salidas o resultados. Más específicamente, un proceso es una combinación única de máquina, herramientas, métodos, materiales y gente que alcanza un resultado en productos, software o servicios: el chip de un circuito, un programa de cómputo o las respuestas que se brindan a los clientes en una línea de ayuda.

Los métodos para recopilar, sintetizar y analizar datos se discuten en el capítulo 17, “Conceptos básicos de estadística y probabilidad”, y en el 18, “Herramientas estadísticas para el análisis de datos”. En éste, examinamos la importancia de la variación; el uso de diagramas de control para el análisis y la minimización de la variación; la cuantificación de la capacidad del proceso; las bases estadísticas del enfoque six sigma, y la relación de estos conceptos con otras técnicas para la mejora de procesos.

Hay evidencias claras de que estas técnicas fascinantes pueden hacer una contribución importante en el logro de objetivos de calidad. En la mayoría de las organizaciones, las técnicas de control de proceso estadístico son esenciales. Para ayudar a garantizar una aplicación exitosa y continua de estos conceptos en la realidad de los bajos presupuestos operativos, las técnicas de control estadístico del proceso no pueden convertirse en un fin en sí mismas.

Los gerentes de operaciones pragmáticos piden que cada aplicación potencial muestre una oportunidad tangible para obtener importantes beneficios, situación que los profesionales de la calidad no deberían olvidar nunca.

20.2

VENTAJAS DE REDUCIR LA VARIABILIDAD DEL PROCESO

Reducir la variación en un proceso puede acarrear grandes beneficios:

- Menor variabilidad puede resultar en un mejor desempeño del producto que el consumidor pueda discernir. Sullivan (1984) describe dos plantas Sony que fabrican el mismo aparato de televisión (figura 20.1). La planta de San Diego no tuvo productos fuera de las especificaciones, pero la distribución fue prácticamente rectangular, con un gran porcentaje de productos cercanos a los límites de la especificación. En contraste, la planta de Japón sí tuvo productos fuera de los límites de la especificación, pero la distribución fue normal y se concentró en torno a un valor objetivo. La experiencia de campo reveló que el producto cercano a los límites de la especificación generó quejas entre los consumidores. Ésta y otras razones llevaron a una gran pérdida por unidad en San Diego, aunque la planta fuera superior en lo que concierne al cumplimiento de las especificaciones. La pérdida interna mayor debida a las quejas podría, por supuesto, resultar en una posible reducción de ventas a futuro.
- La menor variabilidad de las características de un componente puede ser la única manera de compensar la gran variabilidad en otros componentes y, por lo tanto, cumplir con los requerimientos de desempeño en un ensamblaje o sistema. Lograr estos requerimientos podría tam-

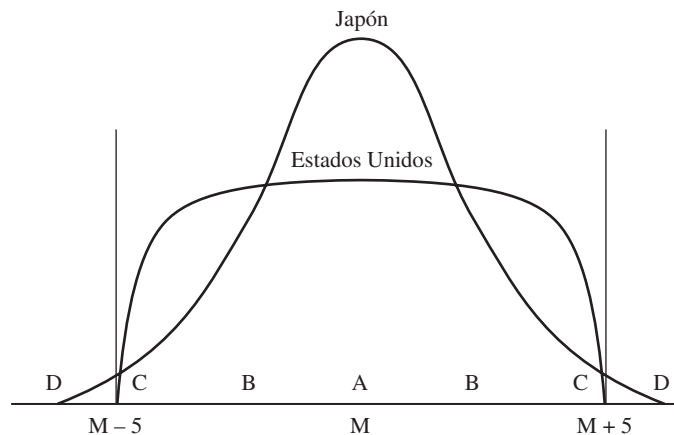


FIGURA 20.1

Uniformidad y calidad de producción de un aparato de televisión producido en Japón y en Estados Unidos. (De Sullivan, 1984.)

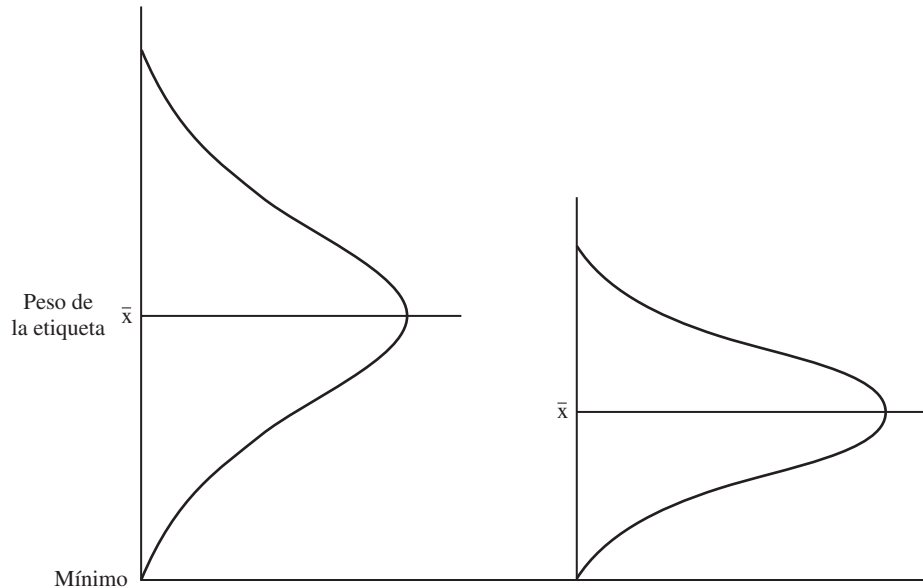


FIGURA 20.2

Disminuir el llenado promedio mediante la reducción de la desviación estándar.

bién requerir un control estricto de los valores promedio de cada componente, como fue en el caso del diseño y manufactura de un cable submarino.

- Para algunas características como el peso, una menor variabilidad puede ofrecer la oportunidad de cambiar el promedio del proceso. Así, la reducción de la desviación estándar al llenar el contenido de un paquete de alimento permite una reducción en el llenado *promedio*, lo que resulta en una reducción de costo (figura 20.2). ¡Imagine la reducción de costo acumulada con millones de paquetes!
- Una menor variabilidad resulta en una menor necesidad de inspección. En el extremo, si *no* hay variabilidad, la inspección de sólo una unidad de producto puede contar la historia completa.
- Una menor variabilidad puede significar un alto precio del producto. El precio de algunos componentes electrónicos tradicionalmente se ha fijado como una función de la cantidad de variabilidad.
- Una menor variabilidad puede ser un factor competitivo al determinar la participación de mercado. Cada vez más, estar dentro de los límites de la especificación no es suficiente. Los consumidores industriales en particular se dan cuenta de que una gran variabilidad en el producto y los componentes que compran seguido requiere frecuentes (y costosos) ajustes a sus propios procesos para compensar la variabilidad de los productos adquiridos. El resultado es que los consumidores comparan a los proveedores tomando en cuenta la variabilidad de características importantes del producto.

EJEMPLO 20.1. El gerente de mercadotecnia de un fabricante de productos químicos describe dos escenarios —viejo y nuevo— entre un cliente y un vendedor.

Viejo escenario:

Cliente: “La calidad de su producto no es buena.”

Vendedor: “Le rebajaré el precio.”

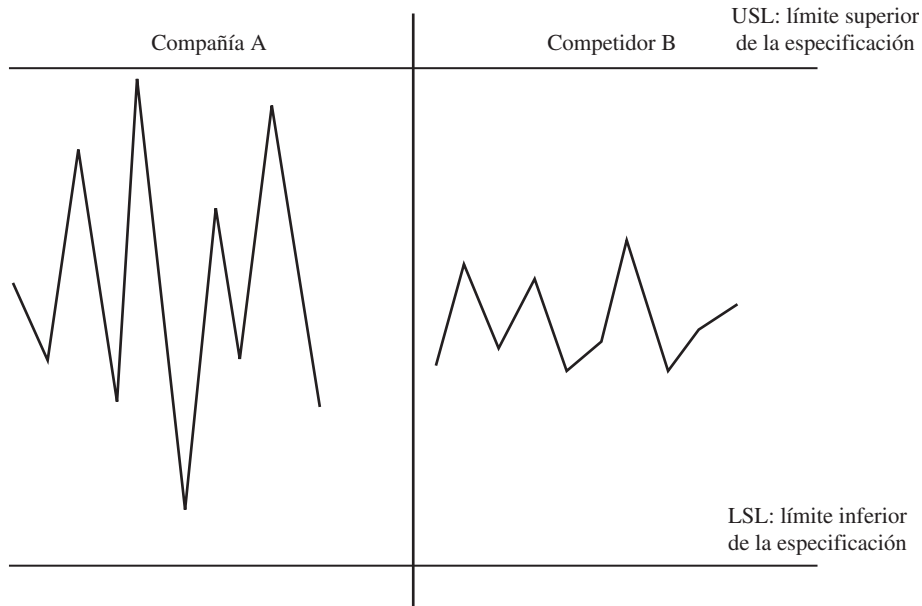


FIGURA 20.3
Variación y competencia.

Cliente: “Bien, eso es lo que quería oír.”

Nuevo escenario:

Cliente: “La calidad de su producto no es buena.”

Vendedor: “Le rebajaré el precio.”

Cliente: “El precio es aceptable; le dije que la calidad no es buena.”

Vendedor: “¿Algún producto estaba fuera de la especificación?”

Cliente: “No.”

Vendedor: “No entiendo.”

Cliente: “Mire estos datos.” (Véase la figura 20.3.)

Cliente: “No es suficiente con cumplir con la especificación. Su competencia cumple con la misma especificación con menor variabilidad.”

Al buscar reducir la variabilidad, la Hughes Company publicó una lista de 219 “especialistas en reducción de variabilidad”, quienes ofrecen asesoría en toda la organización.

20.3 GRÁFICAS DE CONTROL ESTADÍSTICO: GENERAL

Una *gráfica de control estadístico* compara los datos del desempeño del proceso con los “límites de control estadístico” computados, que en la gráfica se presentan como líneas límite. Los datos sobre

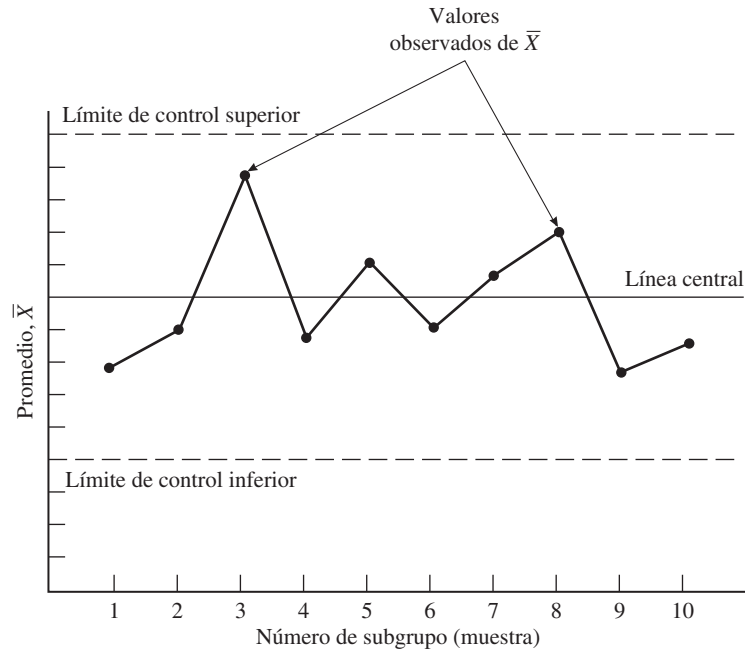


FIGURA 20.4
Gráfica generalizada de control para promedios.

el desempeño del proceso normalmente constan de grupos de mediciones (subgrupos racionales) de una secuencia regular de producción que conservan el orden de los datos.

Uno de los principales objetivos de una gráfica de control es detectar las causas *especiales* (o asignables) de variación en un proceso, mediante el análisis de datos tanto del pasado como del futuro. Conocer el significado de las “causas especiales” es esencial para entender el concepto de la gráfica de control (véase la tabla 5.5).

Las variaciones de un proceso pueden deberse a dos causas: (1) comunes (aleatorias o de suerte), las cuales son inherentes al proceso, y (2) especiales (o asignables), las cuales causan una variación excesiva. Idealmente, sólo debería haber causas comunes en los procesos, porque representan un proceso predecible y estable que lleva a un mínimo de variación. Se dice que un proceso que opera sin causas especiales de variación está en “un estado de control estadístico”. En una gráfica de control para dicho proceso, todos los puntos de los datos se encuentran dentro de los límites de control estadístico. El objetivo de una gráfica de control no es alcanzar un estado de control estadístico como un fin en sí mismo, sino reducir la variación.

La gráfica de control distingue entre las causas comunes y especiales de variación mediante la elección de límites de control (figura 20.4). Éstos se calculan usando las leyes de probabilidad para que se presuma que las causas altamente improbables de variación se deben a causas especiales y no aleatorias. Cuando la variación *excede* los límites de control estadístico, es señal de que las causas especiales han entrado al proceso y éste debe ser estudiado para identificar estas causas de variación excesiva. La variación aleatoria *dentro* de los límites de control significa que

sólo hay causas comunes (aleatorias); la cantidad de variación se puede estabilizar y se deben evitar ajustes menores al proceso. Cabe destacar que una gráfica de control detecta la presencia de una causa especial pero no la *determina*; esta tarea debe ser manejada mediante una investigación subsecuente del proceso.

20.4 VENTAJAS DEL CONTROL ESTADÍSTICO

Existe un estado del control estadístico en el que sólo hay causas comunes de variación en un proceso. Esta condición presenta diversas ventajas importantes:

- El proceso es estable, lo que hace posible predecir su comportamiento, al menos en el corto plazo.
- El proceso tiene una identidad en términos de una determinada serie de condiciones necesarias para hacer predicciones. Puede ser útil una analogía con el béisbol. Si decimos que un jugador tiene una capacidad de bateo de aproximadamente .250, queremos decir que, en promedio, hará un *hit* por cada cuatro veces que esté al bate. Por supuesto, esta afirmación asume que el jugador se encuentra en condiciones normales de salud, es decir, que está libre de cualquier causa especial o asignable que pueda desvirtuar su capacidad de bateo. Las predicciones de cualquier tipo deben estar vinculadas a una serie de condiciones asumidas. Para los procesos de manufactura y negocios, estas condiciones están representadas por un estado de control estadístico. Idealmente, se debería seguir un proceso de control estadístico antes de sacar conclusiones de cualquier serie de datos.
- Un proceso en control estadístico opera con menos variabilidad que uno que tenga causas especiales. Una menor variabilidad se ha convertido en una herramienta importante de competencia (véase la sección 4.11, “Planeación para que la calidad del producto genere ingresos por ventas”).
- Un proceso que posea causas especiales es inestable, y la variación excesiva puede ocultar el efecto de los cambios introducidos para lograr una mejora. La eliminación de ciertas causas especiales y la consiguiente rediagramación de las gráficas de control también puede revelar que aún existen causas especiales ocultas anteriormente.
- Saber que un proceso tiene control estadístico es útil para los trabajadores que laboran en él. Se dice que cuando los datos caen dentro de los límites de control estadístico, *no* se deben hacer ajustes. Hacer dichos ajustes incrementaría la variabilidad, no la reduciría. Por otra parte, las gráficas de control ayudan a evitar un subajuste, ya que los puntos que están fuera de control señalan la presencia de causas especiales.
- Saber que un proceso tiene control estadístico ofrece una dirección a quienes intentan hacer reducciones a largo plazo en la variabilidad del proceso. Para reducir éste, se debe analizar y cambiar el sistema del proceso, en lugar de que la dirección espere que sean los trabajadores, que llevan el proceso, quienes reduzcan la variabilidad por sí mismos.
- Un análisis del control estadístico, que incluye la diagramación de datos en el orden de producción, permitirá fácilmente identificar las tendencias en el tiempo que permanecen ocultas por otras síntesis de datos tales como los histogramas.

- Un proceso estable (como se verifica con el control estadístico) que también cumple con las especificaciones del producto ofrece pruebas de que el proceso tiene condiciones que, de mantenerse, resultarán en un producto aceptable. Dichas evidencias son necesarias *antes* de que un proceso se transfiera de la etapa de producción a la producción de lleno.

Estas ventajas del control estadístico ayudan a los objetivos principales del proceso de control estadístico, que son: reducir la variación en el proceso y evitar problemas. La prevención real se logra teniendo procesos capaces que se mantengan en un estado de control estadístico. Es muy probable que la variación del proceso se balancee como un péndulo. ¿No sería bueno poder reducir la extensión del arco?

20.5 PASOS PARA CREAR UN DIAGRAMA DE CONTROL

Para crear un diagrama de control se requiere seguir los siguientes pasos:

1. Elegir las características que se van a diagramar.
 - Dar una gran prioridad a las características que están funcionando actualmente con un alto nivel de defectos. El análisis de Pareto puede establecer prioridades.
 - Identificar las variables y condiciones del proceso que contribuyen a las características del producto final, con objeto de definir las aplicaciones potenciales del diagrama desde la materia prima hasta las etapas del proceso y las características finales. Por ejemplo, el pH, la concentración de sal y la temperatura de una solución de enchapado son variables del proceso que contribuyen a la suavidad de la chapa.
 - Verificar que el proceso de medición tenga suficiente exactitud y precisión (véase sección 15.8) para brindar datos que no oscurezcan la variación en el proceso de manufactura o servicio. La variación observada en un proceso refleja a su vez la variación en el proceso de manufactura y la variación *combinada* en los procesos de manufactura y medición. Anthis *et al.* (1991) describen cómo el proceso de medición fue un obstáculo para la mejora, al ocultar pistas importantes sobre las fuentes de variación en un proceso de manufactura. Dechert *et al.* (2000) explican cómo se puede controlar una gran variación en la medición y dar como resultado métodos efectivos de control estadístico de proceso.
 - Determinar el punto más temprano en un proceso de producción en el cual se pueden realizar pruebas que obtengan información sobre las causas asignables, para que el diagrama sirva como un mecanismo efectivo de advertencia temprana para evitar defectos.
2. Elegir el tipo de diagrama de control. La tabla 20.1 compara tres diagramas de control básicos. Schilling (1990) ofrece orientación adicional para la elección del tipo de diagrama de control.
3. Decidir sobre la línea central que se usará y la base para el cálculo de los límites. La línea central puede ser el promedio de los datos anteriores o un promedio deseado (como un valor estándar). Los límites se establecen normalmente en $\pm 3\sigma$, pero se pueden elegir otros múltiplos para diferentes riesgos estadísticos.
4. Elegir el “subgrupo racional”. Cada punto de un diagrama de control representa un subgrupo (o muestra) que consta de diversas unidades del producto. Para el control de procesos, se deben

TABLA 20.1
Comparación de algunos diagramas de control

Medida estadística diagramada	Promedio \bar{X} y rango R	Porcentaje no conforme (p)	Número de no conformidades (c)
Tipo de dato requerido	Datos variables (valores medidos de una característica)	Datos de atributo (número de unidades defectuosas de producto)	Datos de atributo (número de defectos por unidad de producto)
Campo general de aplicación	Control de características individuales	Control de fracción defectuosa total de un proceso	Control de número total de defectos por unidad
Ventajas significativas	Ofrece un uso máximo de la información disponible de los datos Ofrece información detallada sobre el proceso promedio y la variación para el control de dimensiones individuales	Los datos requeridos con frecuencia ya están disponibles en los registros de inspección Fácil de entender por todo el personal Ofrece un panorama general de calidad	Mismas ventajas que el diagrama p , pero también ofrece una medida de defectos
Desventajas significativas	No se entiende a menos que se reciba capacitación; puede crear confusión entre los límites de control y de tolerancia No se puede usar con información de tipo va/no va	No brinda información detallada para el control de características individuales No reconoce los distintos grados de defectos en las unidades de producto	No brinda información detallada para el control de características individuales
Tamaño de la muestra	Normalmente entre cuatro y cinco	Usa los resultados de las inspecciones realizadas o muestras de 25, 50 o 100	Cualquier unidad de producto conveniente tal como 100 pies de alambre o un aparato de televisión

elegir subgrupos para que las unidades *dentro* de éstos tengan la mayor posibilidad de parecerse y aquéllas entre subgrupos tengan la mayor posibilidad de ser diferentes.

5. Brindar un sistema para la recopilación de datos. Si el diagrama de control servirá como una herramienta de uso cotidiano en el taller, debe ser conveniente y fácil de usar. Las mediciones se tienen que simplificar y mantener libres de error. Se deben diseñar instrumentos indicadores que den lecturas rápidas y confiables. Mejor aún, los instrumentos tendrían que estar diseñados para así registrar e indicar al mismo tiempo. El registro de datos se puede simplificar mediante un diseño ingenioso de los datos o las hojas de registro. Las condiciones de trabajo también son un factor.
6. Calcular los límites de control y brindar instrucciones específicas para la interpretación de resultados y las acciones que van a emprender diversos miembros del personal de producción (véase más adelante). Las fórmulas para el límite de control de los tres tipos básicos de diagramas de control se presentan en la tabla 20.2. Estas fórmulas se basan en $\pm 3\sigma$ y emplean una

TABLA 20.2
Límites del diagrama de control: el alcance de un estado de control

Diagrama para	Línea central	Límite inferior	Límite superior
Promedios \bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$	$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$
Rangos R	\bar{R}	$D_3\bar{R}$	$D_4\bar{R}$
Proporción de no conformidad p	\bar{p}	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Número de no conformidades c	\bar{c}	$\bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$	$\bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$

línea central igual al promedio de los datos usados al calcular los límites de control. Los valores de los factores A_2 , D_3 y D_4 usados en las fórmulas se presentan en la tabla I del apéndice III. Cada año, la revista *Quality Progress* publica un directorio que incluye software para calcular parámetros de muestra y límites de control, así como para diagramar los datos.

7. La diagramación de datos y la interpretación de resultados.

El diagrama de control es un poderoso concepto estadístico, pero su uso debe mantenerse en perspectiva. El fin último de un proceso de operaciones es hacer un producto apto para su uso, no fabricar un producto que simplemente esté dentro de los límites de control estadístico. Una vez que los diagramas han cumplido su objetivo, muchos se deben descartar y el esfuerzo debe trasladarse a otras características que necesiten mejorarse. Schilling (1990) hace un registro del ciclo de vida de las aplicaciones de un diagrama de control (tabla 20.3). Una determinada aplicación puede usar distintos tipos de diagramas de control. Cabe destacar que, en la etapa de “retiro”, el control estadístico se ha logrado, y algunos de los diagramas se reemplazan por revisiones de puntos.

20.6 GRÁFICA DE CONTROL PARA DATOS DE VARIABLES

Para los datos de variables (o datos continuos), la gráfica de control para muestras de promedios y rangos constituye una poderosa técnica en el análisis de los datos de un proceso.

Se toma periódicamente una pequeña muestra (por ejemplo, cinco unidades) de un proceso, y se calculan el promedio (\bar{X}) y el rango (R) de cada muestra. Un total de al menos 50 mediciones individuales (por ejemplo, 10 muestras de cinco cada una) deben recopilarse antes de calcular los límites de control. Los límites de control se establecen en $\pm 3\sigma$ para promedios de muestras y rangos. Los valores \bar{X} y R se diagraman en gráficas de control separadas en relación con sus límites de $\pm 3\sigma$.

Modernas calculadoras determinan las desviaciones estándar, pero los cálculos se pueden evitar usando atajos.

TABLA 20.3
Ciclo de vida de las aplicaciones de una gráfica de control

Etapas	Paso	Método
Preparatoria	Establecer el objetivo de la investigación	Relacionar con el sistema de calidad
	Determinar el estado de control	Diagrama de atributos
	Determinar las variables críticas	<i>Fishbone</i>
	Determinar los candidatos del control	Pareto
	Elegir el tipo de gráfica adecuado	Depende de los datos y el objetivo
	Decidir cómo tomar la muestra	Subgrupos racionales
	Elegir el tamaño y la frecuencia del subgrupo	Sensibilidad deseada
Iniciación	Garantizar cooperación	Enfoque de equipo
	Capacitar al usuario	Acciones de captura
	Analizar resultados	Buscar patrones
Operativo	Evaluar efectividad	Revisa periódicamente el uso y la relevancia
	Mantener el interés	Cambiar el diagrama, involucrar a los usuarios
	Modificar el diagrama	Mantener frecuencia y naturaleza del diagrama al día con los resultados
Salida	Eliminar el diagrama después de que se ha cumplido el objetivo	Revisar los puntos, inspección periódica de muestras, p general, diagramas c

Fuente: Schilling (1990).

Las fórmulas breves para el límite de control superior (UCL, por sus siglas en inglés) y el límite de control inferior (LCL, por sus siglas en inglés) para promedios de las muestras son:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

donde $\bar{\bar{X}}$ = gran promedio = promedio de los promedios de muestra

\bar{R} = promedio de los rangos de muestra

A_2 = constante encontrada en la tabla I del apéndice III

El atajo consiste en (1) calcular el rango (diferencia entre el mayor y el menor) de los individuos de cada muestra, (2) sacar un promedio de los rangos obtenidos así y entonces (3) multiplicar el rango promedio por un factor de conversión para obtener la distancia del promedio esperado para la línea límite. La línea central es meramente el promedio de todas las observaciones individuales.

Las fórmulas cortas para los límites de control de los rangos de muestra son:

$$UCL = D_4 \bar{R}$$

$$LCL = D_3 \bar{R}$$

donde D_3 y D_4 son las constantes encontradas en la tabla I del Apéndice III.

TABLA 20.4
Constantes para el diagrama de \bar{X} y R

n	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1.880	0	3.268	1.128
3	1.023	0	2.574	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078

Una tabulación parcial de los factores A_2 , D_3 y D_4 se reproduce en la tabla 20.4 para conveniencia del lector al seguir el texto.

Consideremos los datos para las máquinas N-5 y N-7 en la figura 20.5. Para cada máquina, los datos constan de 10 muestras (con seis unidades cada una) diagramadas siguiendo el orden del tiempo de producción (número muestra). La figura 20.5 muestra las gráficas \bar{X} y R de cada máquina. La parte superior de la figura presenta las observaciones individuales.

Para la máquina N-5 se calculó el UCL y el LCL de la siguiente manera:

PROMEDIOS:

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 9.59 + 0.483(6.6) = 12.77$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 9.59 - 0.483(6.6) = 12.77$$

RANGOS:

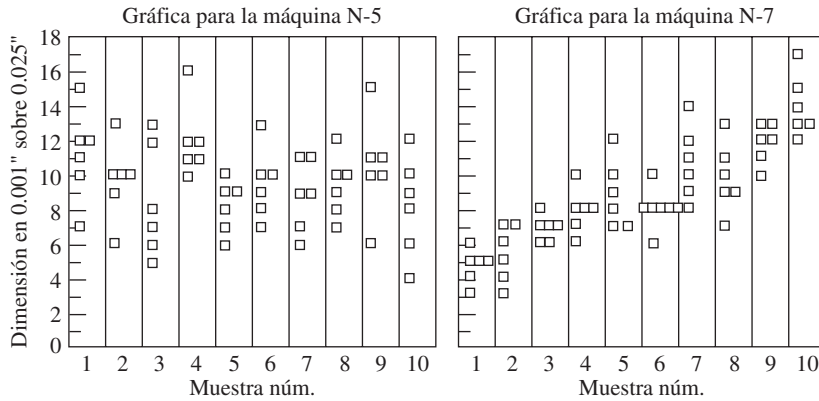
$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.004(6.6) = 13.23$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0(6.6) = 0$$

Tomando en cuenta que todos los puntos caen dentro de los límites de control, se concluyó que el proceso está libre de causas de variación asignables.

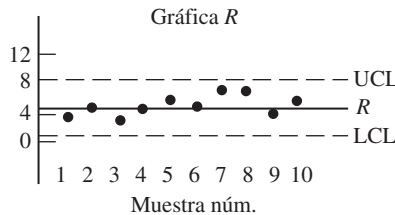
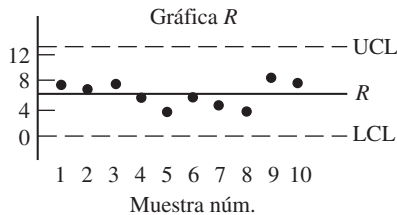
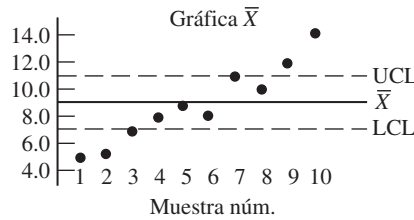
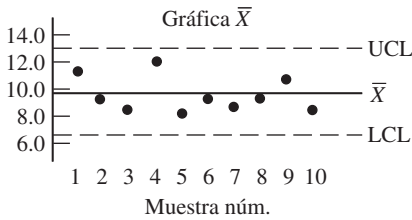
Los límites de control para una gráfica de promedios representan tres desviaciones estándar de los *promedios* de la muestra (no de los valores individuales). Debido a que los límites de la especificación normalmente se aplican a valores *individuales*, los límites de control *no pueden* compararse con los límites de la especificación, los promedios inherentemente varían menos que las mediciones individuales que se convierten en promedios (véase la figura 18.1). Por lo tanto, los límites de la especificación *no* deben colocarse en una gráfica de control para promedios. Los promedios de muestra, en lugar de los valores individuales, se diagraman porque los promedios son más sensibles para detectar cambios en los procesos que los valores individuales.

Otro ejemplo se presenta en la figura 20.5 para la máquina N-7. Esta máquina tiene la variación interna de la muestra que aparece en la gráfica de rango, así como la variación entre muestras, como lo ilustra la gráfica para los promedios de muestra. La gráfica \bar{X} indica que algún factor, como el desgaste de una herramienta, está presente y resulta en valores más grandes de la característica con el paso del tiempo (cabe destacar la importancia de conservar el orden de las mediciones). En



Para la máquina N-5:

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\bar{X}	11.2	9.7	8.5	12.0	8.2	9.5	8.8	9.3	10.5	8.2
R	8.0	7.0	8.0	6.0	4.0	6.0	5.0	5.0	9.0	8.0



la gráfica \bar{X} para la máquina N-5 no muestra efectos con el tiempo

la gráfica \bar{X} para la máquina N-7 muestra un efecto definido con el tiempo

FIGURA 20.5
Las gráficas \bar{X} y R confirman las diferencias sugeridas entre las máquinas.

dichos casos, la medición de la capacidad del proceso debe reflejar ambas fuentes de variación. La capacidad inherente se puede estimar de la manera habitual como 6σ (donde $\sigma = \bar{R}/d_2$), y esto mostrará una variación en relación con un objetivo del proceso ya determinado. Además, la variación con el tiempo puede expresarse por separado como la diferencia en el objetivo del proceso a lo largo de un periodo cubierto por los promedios diagramados en la gráfica de control.

Interpretación de las gráficas

Coloque las gráficas de \bar{X} y R (o s) una encima de la otra para que el promedio y el rango de cualquiera de los subgrupos estén en la misma línea vertical. Observe si alguno de los dos o ambos indican una falta de control para ese subgrupo.

El hecho de que \bar{X} esté fuera de los límites de control es prueba de un cambio general que afecta todas las piezas después del primer subgrupo fuera de los límites. El registro que se mantuvo durante la recopilación de datos, la operación del proceso y la experiencia del trabajador deberían estudiarse para descubrir una variable que pueda haber ocasionado los grupos fuera de control. Las causas típicas son un cambio en el material, personal, ajustes de la máquina, desgaste de las herramientas, temperatura o vibración.

El hecho de que la R esté fuera de los límites de control es evidencia de que la uniformidad del proceso ha cambiado. Las causas típicas son un cambio en el personal, un aumento en la variabilidad del material o el desgaste excesivo en la maquinaria del proceso. En un caso, un incremento repentino de R advirtió de un posible accidente en la máquina.

Una sola R fuera de control puede ser provocada por un cambio en el proceso ocurrido mientras se estaba tomando el subgrupo.

Hay que buscar patrones inusuales y hechos que no sean aleatorios. Nelson (1984, 1985) presenta ocho pruebas para detectar dichos patrones en gráficas de control usando límites de control 3σ (figura 20.6). Cada una de las zonas que se muestran tiene un ancho de 1σ . (Cabe destacar que la prueba 2 de la figura 20.6 requiere nueve puntos en una fila; otros autores sugieren siete u ocho puntos en una fila; véase Nelson, 1985, para más detalles.)

AT&T (1990) presenta un ejemplo de la industria de servicios:

EJEMPLO 20.2. Un gerente de una base de datos personal de AT&T recopiló datos sobre el tiempo promedio para implementar una notificación de cambio de un empleado.

La gráfica de control del promedio y el rango se muestra en la figura 20.7. El gerente aprendió de la gráfica que el tiempo promedio para implementar empezó en un rango de entre 2 y 3 días que, a lo largo de 30 días, se incrementó continuamente hasta un rango de entre 10 y 12 días. El incremento inició gradualmente y después se aceleró, lo que sugiere que el proceso cambió. Las investigaciones revelan que cada vez más solicitudes de notificaciones de cambio llegan con la información incompleta, lo que obliga a los trabajadores a llamar a la organización de origen e incrementa el tiempo para la implementación.

Ott y Schilling (1990) proporcionan un texto definitivo sobre un análisis después de las gráficas de control iniciales, presentando una amplia colección de casos con un análisis estadístico innovador claramente descrito.

Introducir las gráficas de control

Para los especialistas en calidad, las gráficas de control son mecanismos sensibles para detectar cambios en los procesos; para las fuerzas operativas, las gráficas representan un importante cambio a partir de la tradicional “ley del taller”, es decir, de los límites de especificación. Al introducir las gráficas de control, es esencial evitar la confusión sobre el papel de los límites de control en relación con los de la especificación. Los trabajadores reaccionan ante los productos no conformes, ya que los límites de la especificación han sido la ley del taller; no responden ante los límites de control de la misma manera porque la legitimidad de los límites de control quizás no se estableció ni se especificó plenamente. Por ejemplo, ¿qué debe hacer un trabajador si una gráfica de control está frecuentemente fuera de éste pero el producto está bien dentro de los límites de la especificación? Véase la sección 20.16.

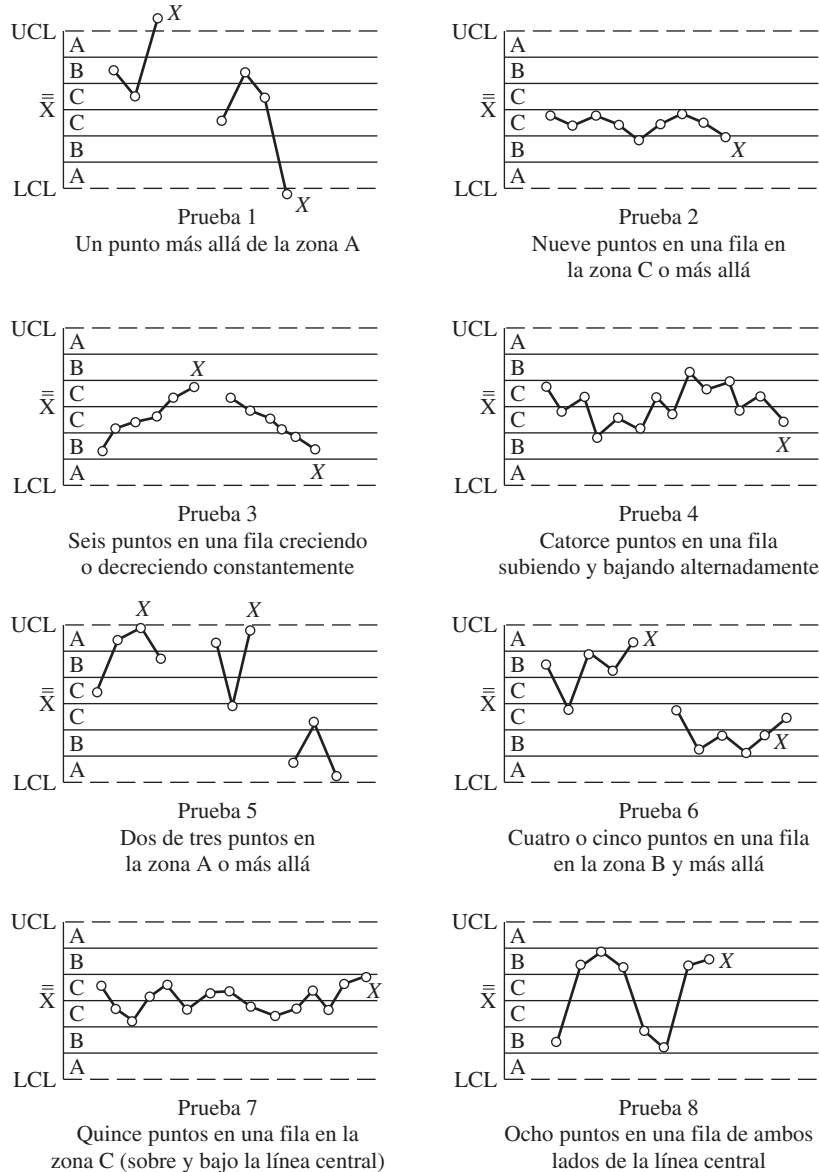


FIGURA 20.6

Ilustraciones de pruebas para causas especiales aplicadas a gráficas de control \bar{X} . (De Nelson, 1984.)

Gráficas para valores o lecturas individuales

Una alternativa para la gráfica de \bar{X} y R es la gráfica para los valores individuales de X . Ésta, con frecuencia llamada gráfica de tiro, es un diagrama de observaciones individuales en relación con el tiempo. En el caso más simple, los límites de la especificación se añaden a la gráfica; en otros, se

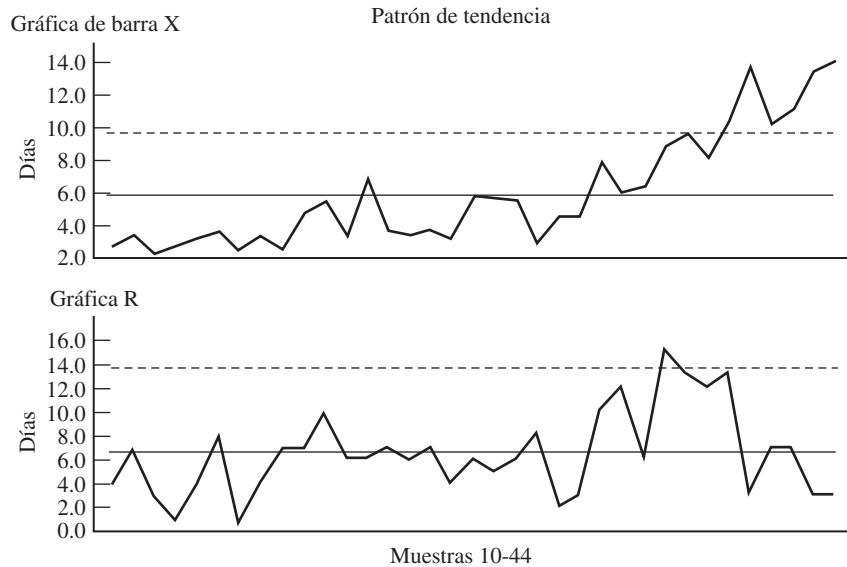


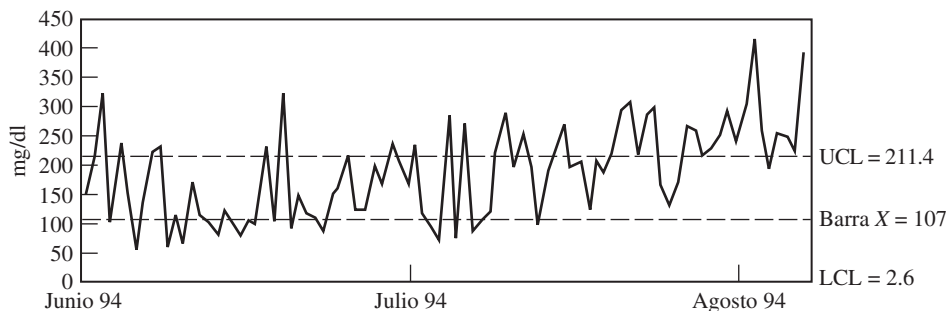
FIGURA 20.7
Promedio y rango de las gráficas de control.

añaden los límites de $\pm 3\sigma$ de los valores individuales. Una gráfica de valores individuales no es tan sensible como la gráfica de \bar{X} . Véase la sección 17.6 para mayor detalle.

EJEMPLO 20.3. Tom Pohlen, un especialista en ingeniería de calidad, ofrece un ejemplo personal de una gráfica de valores individuales (Pohlen, 1999). Su esposa es diabética y necesitaba controlar la variabilidad en su nivel de glucosa en la sangre. Para los no diabéticos, el rango normal de glucosa está entre 70 y 120 miligramos/decilitro; el nivel de la esposa de Pohlen a veces variaba desde menos de 70 hasta más de 300 en un periodo de 24 horas: eso es variabilidad. Los altos niveles pueden deberse a una gran variedad de factores, incluyendo diferentes alimentos, ejercicio, enfermedad, infecciones y estrés emocional.

La figura 20.8 muestra la gráfica de control para varios meses de lectura de glucosa. Con ayuda de su médico y de la gráfica, la pareja aprendió las causas de la alta glucosa en sangre y desarrolló exitosamente una “estrategia de control” para reducir la variabilidad. Este caso no es el pasatiempo de un ingeniero, cualquier persona diabética puede confirmar la seriedad de este asunto. La referencia nos da una lectura fascinante y un testimonio del poder que tiene el entender la variación, y de la determinación de la esposa de Pohlen.

Una gráfica de mediciones individuales puede ser útil cuando las mediciones del proceso normal están espaciadas en el tiempo, por ejemplo, una medida diaria de un proceso químico o una semanal para datos contables.



Límites basados en el lapso del 29/11/94 al 03/01/95: un periodo futuro de buen control

FIGURA 20.8

Glucosa en la sangre, verano de 1994. (Pohlen, 1999. Reimpreso con autorización de la ASQ.)

TABLA 20.5

Tipos de gráficas de control

Gráficas de control común para datos (o variables) continuos:

- **Barra X y gráfica R:** También llamada gráfica de “promedio y rango”. La “barra-x” significa el promedio de una muestra o subgrupo. Mide la tendencia central de la variable de respuesta en el tiempo. Las gráficas de R miden la ganancia o pérdida de uniformidad dentro de un subgrupo que representa la variabilidad en la variable de respuesta en el tiempo.
- **Barra X y gráfica S:** La gráfica de promedio y de desviación estándar son similares, pero la desviación estándar (en lugar del rango) se usa en la gráfica S para llevar un registro de la variabilidad dentro de un subgrupo.
- **Gráfica X-mR (además llamada gráfica I-mR):** También conocida como una gráfica individual y de rango en movimiento. Similar a la barra X y a la gráfica R. En lugar de diagramar el promedio y rango del subgrupo en el tiempo, esta gráfica diagrama cada lectura individual (tamaño del subgrupo = 1) y un rango en movimiento.
- **Gráfica Z-mR:** Gráfica de individuales estandarizados y rango en movimiento. Ésta se usa para tiros cortos. Los valores individuales están codificados o estandarizados (transformación Z) para que el desempeño del proceso pueda ser monitoreado constantemente en los diferentes productos que fabrica el proceso.

Gráficas comunes de control para datos de atributos (o categóricos):

- **Gráfica P:** También llamada gráfica de proporciones. Lleva un registro de la proporción o porcentaje de unidades no conformes (o el porcentaje defectuoso) en cada muestra durante el tiempo.
- **Gráfica nP:** Una gráfica usada para llevar un registro del número de unidades no conformes (o defectuosas) en cada muestra a lo largo del tiempo.
- **Gráfica C:** Se usa para llevar un registro del número de no conformidades (por ejemplo, defectos, unidades no defectuosas). Es especialmente útil cuando una sola unidad (extensión o área) del producto puede tener posibilidades infinitas de defectos. Por ejemplo, el número de defectos de un automóvil.
- **Gráfica U:** Ésta es una variación de la gráfica c. Lleva un registro del número de no conformidades (o defectos) por unidad en una muestra de n unidades.

20.7

PRECONTROL

El precontrol es una técnica estadística para detectar las condiciones del proceso y los cambios que pueden causar defectos (en lugar de los cambios estadísticamente significativos).

Se enfoca en el control de la conformidad con las especificaciones, en lugar del control estadístico. El precontrol inicia como un proceso centrado entre los límites de la especificación y detecta los cambios que puedan dar como resultado que algunas de las partes queden fuera del límite de la especificación. El precontrol no requiere diagramación ni cálculos, y sólo necesita tres mediciones para dar información de control. La técnica usa la curva de distribución normal para determinar los cambios significativos, ya sea en el objetivo o la extensión de un proceso de producción que pueda resultar en una mayor producción de trabajo defectuoso.

El principio del precontrol se demuestra asumiendo la peor condición que pueda ser aceptada en un proceso capaz de producción de calidad, es decir, cuando la tolerancia natural es la misma que permite la especificación y cuando el proceso está precisamente centrado y cualquier cambio podría resultar en algún trabajo defectuoso.

Si trazamos dos líneas de precontrol (PC), cada una a la cuarta parte del camino de cada límite de especificación (figura 20.9), se puede demostrar que 86 por ciento de las partes estarán dentro de las líneas PC, con 7 por ciento en cada una de las secciones externas. En otras palabras, 7 por ciento, o una parte de 14, se encontrará fuera de una línea de PC en circunstancias normales.

La posibilidad de que dos mediciones en una fila queden fuera de la línea de PC es de $1/14$ veces $1/14$, o $1/196$. Por lo tanto, sólo una vez cada 200 mediciones, aproximadamente, debemos esperar tener dos en una fila en una determinada banda exterior. Cuando se da la situación de dos en una fila, la posibilidad de que el proceso haya cambiado es mucho mayor ($195/196$). Resulta entonces aconsejable reiniciar el proceso en el centro. Igualmente es poco probable tener una medición que vaya más allá de una determinada línea PC y la siguiente fuera de la otra línea PC. En ese caso, la indicación no es que el proceso haya cambiado, sino que se introdujo algún factor que amplió el patrón a un grado en que resulta inevitable tener piezas defectuosas. Se debe dar un remedio inmediato a la causa del problema antes de que el proceso pueda continuar con seguridad.

La zona entre las líneas PC es la verde; entre las líneas PC y los límites de la especificación, la amarilla; afuera de los límites de la especificación, la roja.

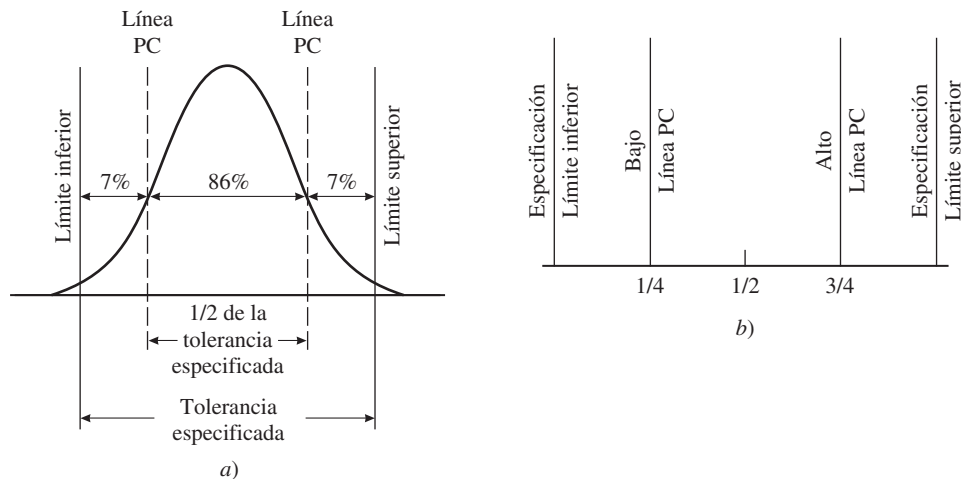


FIGURA 20.9

a) Presunciones en las que destaca el precontrol. b) Ubicación de las líneas de precontrol.

Para calificar un proceso de precontrol:

1. Tómense las mediciones individuales consecutivas de una característica hasta que cinco de éstas caigan dentro de la zona verde.
2. Si ocurre un amarillo, reiniciar el conteo.
3. Si ocurren dos amarillos consecutivos, ajustar el proceso.
4. Cada vez que ocurra un ajuste u otro cambio en el proceso, vuélvase a calificar a este último.

Cuando el proceso ya está calificado, las siguientes reglas de precontrol se aplican al correr el proceso:

1. Usar una muestra de dos mediciones consecutivas, A y B. Si A es verde, continuar corriendo el proceso. Si A es amarillo, tomar una segunda medida de B.
2. Si tanto A como B son amarillos, detener el proceso e investigar.

Si ocurre un rojo en la etapa de calificación o durante el proceso, detener el proceso e investigar.

La mayoría de los procesos requieren ajustes periódicos para mantenerse dentro de la especificación. Seis pares de medidas A, B entre ajustes se consideran suficientes para brindar un producto que no esté fuera de la especificación. Así, si un proceso requiere en general un ajuste cada dos horas, entonces debe tomarse un par de medidas A, B cada 20 minutos.

El precontrol es un ejemplo de un concepto conocido como “criterio de límite estrecho”. El concepto más amplio ofrece procedimientos de muestra (tamaño de la muestra, ubicación de los límites estrechos y número permisible de unidades fuera de los límites estrechos) para cumplir con los riesgos predefinidos de aceptar un mal producto. Los criterios de control estrecho son abordados por Ott y Schilling (1990, capítulo 7).

La relativa simplicidad del precontrol en relación con las gráficas de control estadístico puede tener ventajas importantes en muchas aplicaciones. El concepto, no obstante, ha generado cierta controversia. Para una comparación del precontrol contra otros enfoques y las aplicaciones más apropiadas de precontrol, véanse Ledolter y Swersey (1997), y Steiner (1997) en las Lecturas complementarias. Para una historia completa, también véanse las referencias en estos dos artículos.

20.8 GRÁFICAS DE CONTROL PARA ATRIBUTOS

Las gráficas de control \bar{X} , R y X requieren mediciones numéricas reales, como, por ejemplo, el ancho de línea de un proceso de fotorresistencia. Las gráficas de control para los datos de atributos sólo requieren una cuenta de las observaciones de una característica, como el número de artículos no conformes en una muestra.

Ejemplos de gráficas de atributos

La gráfica de la fracción no conforme (p) puede ilustrarse con datos sobre los imanes usados en un *relay* (relé) eléctrico. En cada una de 19 semanas, se registró el número de imanes inspeccionados

y el número de aquéllos no conformes. El número total de imanes probados fue 14 091. El número total no conforme fue 1 030. El tamaño de la muestra promedio era:

$$\bar{n} = \frac{14\,091}{19} = 741.6$$

La fracción promedio no conforme era:

$$\bar{p} = \frac{1\,030}{14\,091} = 0.073$$

Los límites de control para la gráfica se ubicaron en:

$$\begin{aligned} \bar{p} \pm 3\sigma_p &= \bar{p} \pm 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} = 0.073 \pm 3\sqrt{\frac{0.073(1-0.073)}{741.6}} \\ &= 0.073 \pm 0.0287 = 0.102 \text{ y } 0.044 \end{aligned}$$

Cabe destacar que estos límites de control se basan en el tamaño *promedio* de la muestra.

La gráfica de control que resulta se muestra en la figura 20.10. La última muestra se encuentra por debajo del LCL, lo que indica una fracción significativamente baja de no conformidad. Aunque esta muestra podría representar que alguna causa asignable está resultando en una mejor calidad, dicho punto también podría deberse a que (1) un inspector haya cometido el error de aceptar algunas unidades no conformes o (2) se usó una muestra de un tamaño bastante diferente al promedio para calcular los límites. Hay que notar que tres puntos se encuentran más allá de los límites de control aunque los datos se incluyeron al calcular tales límites. Una característica fascinante y poderosa de los límites de control es su capacidad para detectar la presencia de (al menos algunas) causas especiales, aunque los límites de control fueron influidos por esas causas.

Leonard (1986) hace un reporte sobre la aplicación de una gráfica p para reclutar nuevos empleados en Rogers Corporation. La figura 20.11 muestra un diagrama del porcentaje de vacantes

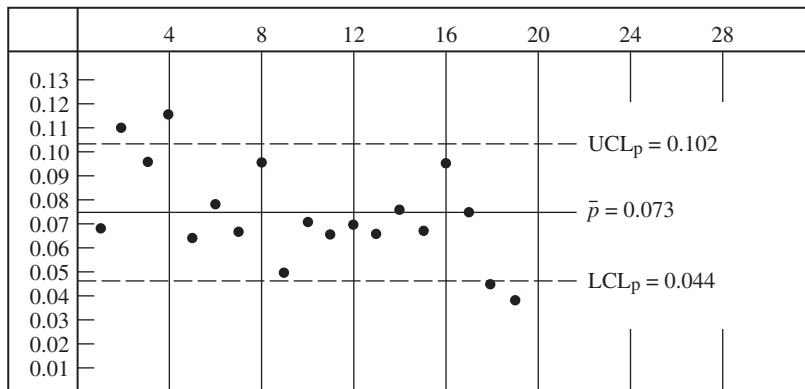


FIGURA 20.10
Diagrama p para imanes permanentes.

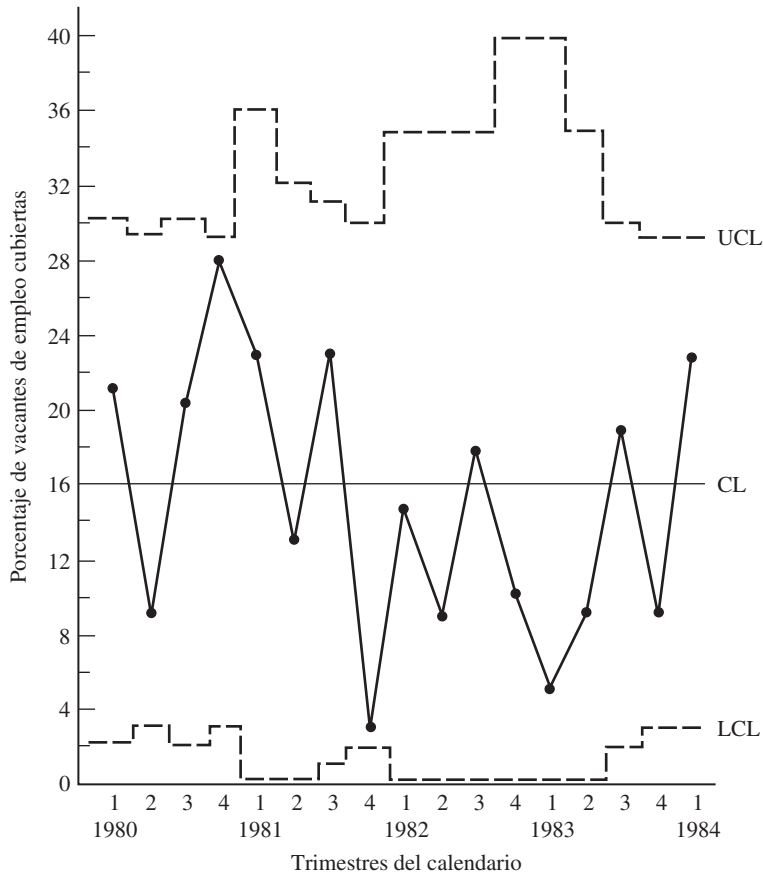


FIGURA 20.11

Diagrama p de empleos cubiertos como porcentaje de los empleos vacantes por trimestre (1 de enero de 1980 al 2 de abril de 1984). (De Leonard, 1986.)

de empleo cubiertas durante los trimestres del año. Todos los puntos caen dentro de los límites de control, lo que indica que la variación se debe a un sistema de causas comunes. Reducir la variación requiere acción “en toda la organización” (como el equipo lo calificó) en lugar de analizar la causa de un valor bajo como el de 3 por ciento en el cuarto trimestre de 1981. Hay que subrayar que los límites de control varían para cada trimestre. En vez de usar un tamaño de muestra *promedio* para calcular una serie de límites de control, el tamaño de muestra exacto se sustituye en la fórmula para obtener los límites precisos de cada trimestre. El precio que pagamos por esta precisión es la dificultad para explicar por qué los límites de control varían.

Heyes (1988), en las Lecturas complementarias, presenta una interesante discusión sobre una gráfica p y un estudio de regresión. El análisis convenció gráficamente a la gente de que las máquinas estaban envejeciendo, y el estudio de regresión cuantificó la relación de la edad con el desempeño.

La gráfica c se ilustrará para la información registrada en 78 campos de un formato para la admisión de pacientes a un hospital (Gitlow *et al.*, 1995). Los formatos completos presentan

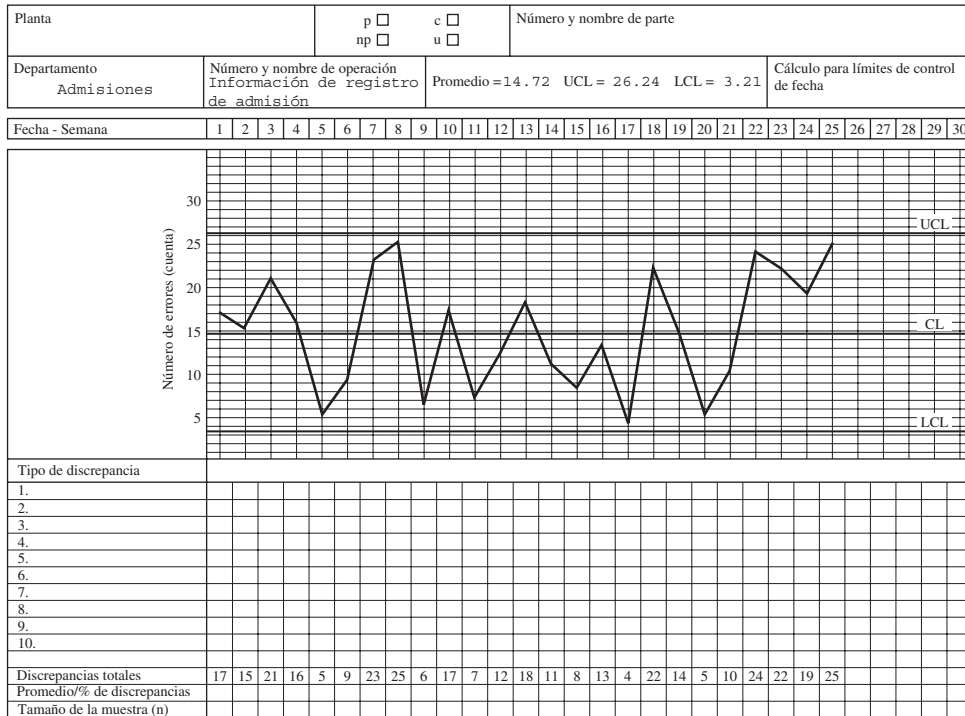


FIGURA 20.12
Gráfica de control para errores en los formatos de admisión de pacientes nuevos.

muchas oportunidades para errores administrativos. Para estudiar las razones de los errores, se seleccionaron semanalmente 10 formatos durante 25 semanas, y se encontraron 368 errores.

La línea central de la gráfica se ubica en $\bar{c} = 368/25 = 14.72$. Los límites de control fueron calculados como $14.72 \pm 3\sqrt{14.72}$, o 3.21 y 26.24. La gráfica *c* se muestra en la figura 20.12. Debido a que los puntos caen dentro de los límites de control estadístico, concluimos que no hay causas especiales de variación en el proceso y que, por lo tanto, éste es estadísticamente predecible. Si no se hacen cambios, el proceso continuará produciendo un promedio de 14.72 errores por cada 10 formatos procesados.

20.9 GRÁFICAS DE CONTROL ESPECIALES

Los párrafos anteriores presentaron los tipos básicos de gráficas de control para datos variables y de atributo —los necesarios para la mayoría de las aplicaciones—. A veces se emplean otros tipos de gráficas de control para atender necesidades especiales. Dichas gráficas de control especiales tienen aspectos ingeniosos, y se mencionarán diferentes tipos para alentar al lector a que siga explorando.

La *gráfica de control de suma acumulativa* (CUMSUM, por sus siglas en inglés) es un diagrama cronológico de la suma acumulativa de desviaciones de una estadística de muestra (por ejemplo, \bar{X} , R , número de no conformidades) a partir de un valor de referencia (como la especificación nominal u objetivo). Por definición, la gráfica CUMSUM se concentra en el valor objetivo en lugar de en el promedio real de los datos del proceso. Los límites de control no son paralelos ni fijos; éstos se muestran generalmente en una máscara con forma de V (figura 20.13) que se basa en los datos del proceso y se coloca en la gráfica, trasladándose a medida que se grafica un nuevo punto. Cada punto diagramado contiene información de todas las observaciones (es decir, una suma acumulativa). Las gráficas CUMSUM son particularmente útiles para detectar pequeños cambios en un promedio del proceso (digamos de 0.5σ a 2.0σ). Los cálculos para construir la gráfica que se muestra en la figura 20.13 se encuentran en *JQH5*, pp. 45.17-45.20.

Otra gráfica especial es la *gráfica de promedio en movimiento*. Ésta es un diagrama cronológico del promedio en movimiento, el cual se calcula como el valor promedio actualizado al eliminar la medición individual más vieja y añadir la más reciente. Así, se calcula un nuevo promedio con cada medición individual. Se logra un refinamiento adicional con la *gráfica de promedio medido exponencialmente en movimiento* (EWMA, por sus siglas en inglés). En la gráfica EWMA, las observaciones se pesan, y el peso más alto se da a los datos más recientes. Las gráficas de promedio en movimiento son efectivas para detectar pequeños cambios, destacar tendencias y utilizar los datos en procesos en los que toma mucho tiempo producir un solo artículo.

Otra gráfica más es la de ajuste manual Box-Jenkins. Las gráficas de promedio y rango, CUMSUM y EWMA para variables se concentran en el *monitoreo* de un proceso y en reducir la variabilidad debida a causas especiales de variación identificadas en las gráficas. Las gráficas Box-Jenkins tienen un objetivo diferente: analizar los datos de un proceso para *regularlo* después de cada observación y así minimizar su variación. Para más detalles sobre esta avanzada técnica, véase Box y Luceno (1997).

Por último, consideramos el concepto de gráficas de control multivariadas. Cuando hay dos o más características de calidad en una unidad de producto, éstas pueden monitorearse independientemente con gráficas de control separadas. Entonces, la probabilidad de que un promedio de muestra en cualquier gráfica de control exceda tres límites sigma es 0.0027. Pero la probabilidad conjunta de que ambas variables excedan sus límites de control simultáneamente cuando ambas están en control es $(0.0027)(0.0027)$ o 0.00000729, lo cual es mucho menor que 0.0027. La situa-

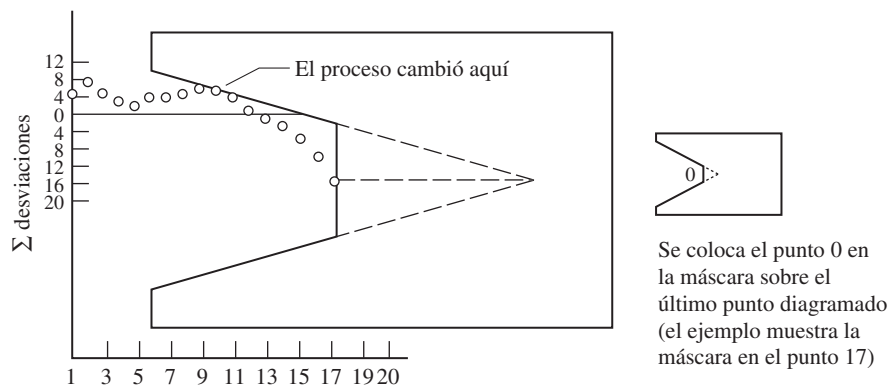


FIGURA 20.13

Gráfica de control de suma acumulativa. (De *JQH5*, p. 45.19.)

ción se distorsiona más a medida que el número de características se incrementa. Por ésta y otras razones, el monitoreo de diversas características de manera independiente puede llevar a errores. Las gráficas de control multivariantes enfrentan este problema. Véase Montgomery (1997, sección 8.4) para una discusión muy útil.

20.10 CAPACIDAD DEL PROCESO

Al planear los aspectos de calidad de las operaciones, nada es más importante que ayudar a garantizar que los procesos cumplirán con las especificaciones. En las últimas décadas, surgió el concepto de *capacidad del proceso* para brindar una predicción cuantificada de la adecuación del proceso. Esta capacidad para predecir cuantitativamente ha dado como resultado una amplia adopción del concepto como elemento importante para la planeación de la calidad.

La capacidad del proceso es la medición de la variación inherente del producto que es resultado de un proceso.

Definiciones básicas

Cada palabra clave de esta definición debe ser a su vez establecida claramente, ya que el concepto de capacidad tiene una extensión de aplicación enorme y los términos no científicos son inadecuados para la comunicación dentro de la comunidad industrial.

- El *proceso* se refiere a una combinación única de maquinaria, herramientas, métodos, materiales y *gente* comprometida en una producción. Con frecuencia es factible e ilustrativo separar y cuantificar el efecto de las variables que entran a esta combinación.
- La *capacidad* se refiere a una habilidad, basada en el desempeño probado, para alcanzar resultados que se puedan medir.
- La *capacidad medida* se refiere al hecho de que la capacidad del proceso es cuantificada a partir de los datos que, a su vez, son resultado de la medición del trabajo que lleva a cabo el proceso.
- La *capacidad inherente* se refiere a la uniformidad del producto que resulta de un proceso que se encuentra en un estado de control estadístico, es decir, en ausencia de una “desviación” ocasional o de otra causa asignable de variación. La “reproductividad instantánea” es sinónimo de capacidad inherente.
- El *producto* se mide porque la variación de éste es el resultado final.

Usos de la información sobre capacidad del proceso

La información sobre la capacidad del proceso sirve para diversos fines:

1. Predecir el grado de variabilidad que presentarán los procesos. Dicha información sobre la capacidad, cuando se entrega a los diseñadores, adquiere importancia para establecer límites realistas de la especificación.
2. Elegir de entre los procesos que compiten los que son más apropiados para cumplir con las tolerancias.

3. Planear la interrelación de los procesos secuenciales. Por ejemplo, un proceso puede distorsionar la precisión alcanzada por uno anterior, como en el caso del endurecimiento de los engranes. Cuantificar las respectivas capacidades del proceso con frecuencia señala el camino hacia la solución.
4. Proveer una base cuantificada para establecer un programa de revisiones periódicas del control del proceso y reajustes.
5. Asignar las máquinas a los tipos de trabajo para los cuales estén mejor adaptadas.
6. Probar teorías de causas de defectos durante los programas de mejora de calidad.
7. Servir como base para especificar los requerimientos del desempeño de calidad para las máquinas compradas.

Hay que tomar en cuenta estos objetivos en el uso creciente del concepto de capacidad del proceso.

Fórmula estandarizada

La fórmula más ampliamente adoptada para la capacidad del proceso es:

$$\text{Capacidad del proceso} = \pm 3\sigma \text{ (un total de } 6\sigma\text{)}$$

donde σ = la desviación estándar del proceso bajo un estado de control estadístico, es decir, sin desviaciones ni cambios repentinos. Véase la sección 20.15, sin embargo, para el concepto six sigma de capacidad del proceso.

Si el proceso está centrado en la especificación nominal y sigue una distribución de probabilidad normal, 99.73 por ciento de la producción se encontrará dentro del $\pm 3\sigma$ de la especificación nominal.

Algunos procesos industriales operan en un estado de control estadístico. Para éstos, la capacidad computada del proceso de 6σ puede compararse directamente con los límites de la especificación, y entonces se pueden emitir juicios sobre la adecuación. No obstante, la mayoría de los procesos industriales muestran desviaciones y cambios repentinos. Este hecho de alejarse del ideal es parte de la vida, y el profesional debe enfrentarlo.

Sin embargo, la estandarización de una fórmula tiene un gran valor para la capacidad del proceso basada en un estado de control estadístico. En este estado, las variaciones del producto son resultado de diversas variables pequeñas (y no el efecto de una variable grande y única) y, por ende, tienen un carácter de variación aleatoria. Es más útil para los encargados de la planeación tener dichos límites en forma cuantificada.

Relación con las especificaciones del producto

Una razón importante para cuantificar la capacidad del proceso es computar esta última para mantener las especificaciones del producto. Para procesos en estado de control estadístico, una comparación de la variación de 6σ con los límites de la especificación permite tener cálculos sobre el porcentaje de defectos mediante la teoría estadística convencional.

Los encargados de planeación tratan de seleccionar procesos con la capacidad de 6σ dentro del ancho de la especificación. Una medida de esta relación es la proporción de capacidad:

$$C_p \text{ Proporción de capacidad} = \frac{\text{Rango de especificación}}{\text{Capacidad del proceso}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

donde USL = límite superior de la especificación
 LSL = límite inferior de la especificación

Cabe destacar que $6s$ se usa como un estimado de 6σ .

Algunas compañías definen la proporción como recíproca. Algunas industrias ahora expresan índices de defectos en términos de partes por millón. Un índice de defectos de una parte por millón requiere una proporción de capacidad (rango de especificación sobre capacidad de proceso) de aproximadamente 1.63.

La figura 20.14 muestra cuatro de las muchas relaciones posibles entre la variabilidad del proceso y los límites de la especificación, así como los posibles cursos de acción para cada una. Hay

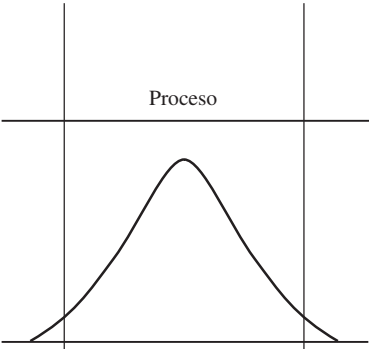
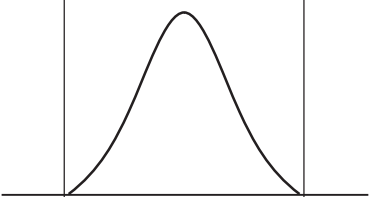
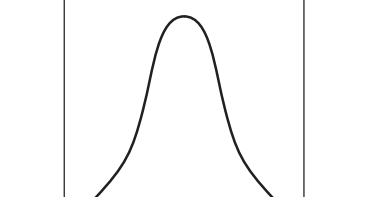
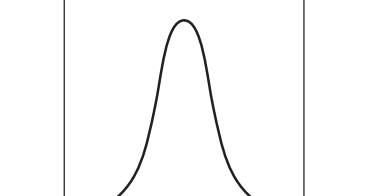
Proceso	C_p	Cantidad total fuera de los límites	Acciones típicas que se pueden emprender
	<1.0	≥5.0%	Fuerte proceso de control, clasificación, trabajo, etcétera
	1.0	0.3%	Fuerte proceso de control, inspección
	1.33	64 ppm	Inspección reducida, uso seleccionado de las gráficas de control
	1.63	1 ppm	Revisión de puntos, uso seleccionado de las gráficas de control

FIGURA 20.14
 Cuatro ejemplos de variabilidad del proceso.

que subrayar que, en todos estos casos, el promedio del proceso se encuentra en el punto medio entre los límites de la especificación.

La tabla 20.6 muestra proporciones seleccionadas de capacidad y los correspondientes niveles de defectos, asumiendo que el promedio del proceso está a medio camino entre los límites de la especificación. Un proceso que apenas cumple con los límites de la especificación (rango de la especificación = $\pm 3\sigma$) tiene un C_p de 1.0. El aspecto crítico de muchas aplicaciones y la realidad de que el promedio del proceso no se mantendrá en el punto medio del rango de la especificación sugiere que C_p debería ser de al menos 1.33.

Cabe destacar que el índice C_p mide si la variabilidad del proceso puede adaptarse dentro del rango de la especificación. No indica si el proceso está funcionando en realidad dentro de la especificación, porque el índice no incluye una medida del promedio del proceso (el problema debe enfrentarse con otra medida, C_{pk}).

Tres índices de capacidad que comúnmente se usan se muestran en la tabla 20.7. De ellos, el más sencillo es C_p . Entre más alto el valor de cualquiera de los índices, más baja la cantidad de producto fuera de los límites de la especificación.

Pignatiello y Ramberg (1993) presentan una excelente discusión de los distintos índices de capacidad. Bothe (1997) ofrece un amplio libro de consulta que incluye extensas discusiones sobre los aspectos matemáticos. Estas referencias explican cómo calcular los límites de confianza de distintos índices de capacidad de procesos.

TABLA 20.6
Índice de capacidad de un proceso (C_p) y producto fuera de los límites de la especificación

Índice de capacidad de un proceso (C_p)	Producto total fuera de los límites de la especificación*
0.5	13.36%
0.67	4.55%
1.00	0.3%
1.33	64 ppm
1.63	1 ppm
2.00	0

*Asumiendo que el proceso está centrado a medio camino entre los límites de la especificación.

TABLA 20.7
Índices de capacidad y desempeño del proceso

Capacidad del proceso	Desempeño del proceso
$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$	$P_p = \frac{USL - LSL}{6s}$
$C_{pk} = \min \left[\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right]$	$P_{pk} = \min \left[\frac{USL - \bar{X}}{3s}, \frac{\bar{X} - LSL}{3s} \right]$
$C_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{\sigma^2 + (\mu - T)^2}}$	$P_{pm} = \frac{USL - LSL}{6\sqrt{s^2 + (\bar{X} - T)^2}}$

El índice de capacidad C_{pk}

La capacidad del proceso, como la mide C_p , se refiere a la variación en un proceso en relación con el valor promedio. Este concepto se ilustra en la figura 20.15. Los dos procesos tienen capacidades iguales (C_p) porque 6σ es la misma para cada distribución, como lo indica el ancho de las curvas de ésta. El proceso reflejado en μ_2 está produciendo defectos porque el objetivo está fuera de centro, no por la variación inherente respecto al objetivo (es decir, la capacidad).

Así, el índice C_p mide la capacidad *potencial*, asumiendo que el promedio del proceso es igual al punto medio de los límites de la especificación y que está operando en control estadístico; debido a que el promedio con frecuencia no se encuentra en el punto medio, es útil tener un índice de capacidad que refleje tanto la variación como la ubicación del promedio del proceso. Dicho índice es C_{pk} .

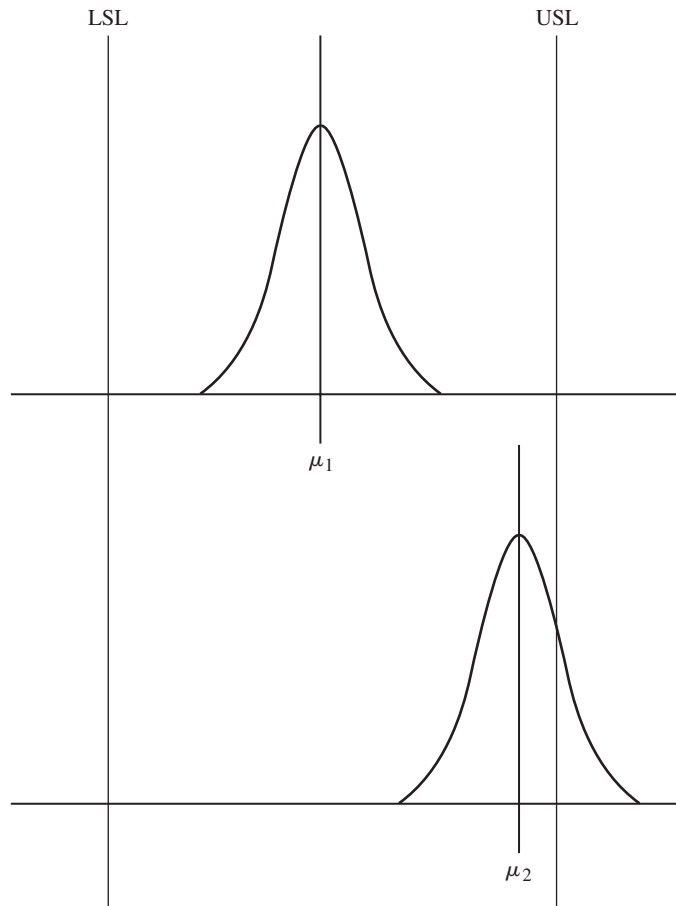


FIGURA 20.15

Proceso con igual capacidad de proceso pero diferente objetivo.

C_{pk} refleja la proximidad de la media del proceso actual ya sea a USL o LSL. C_{pk} se estima mediante la siguiente fórmula:

$$\hat{C}_{pk} = \min \left[\frac{\bar{X} - LSL}{3s}, \frac{USL - \bar{X}}{3s} \right]$$

En un ejemplo de Kane (1986),

$$\begin{array}{ll} USL = 20 & \bar{X} = 16 \\ LSL = 8 & s = 2. \end{array}$$

La proporción estándar de capacidad se estima como:

$$\frac{USL - LSL}{6\sigma} = \frac{20 - 8}{12} = 1.0,$$

lo que implica que *si* el proceso estuviera centrado entre los límites de la especificación (en 14), entonces sólo una pequeña proporción (cerca de 0.27%) del producto sería defectuoso.

Sin embargo, cuando calculamos C_{pk} , obtenemos:

$$\hat{C}_{pk} = \min \left[\frac{16 - 8}{6}, \frac{20 - 16}{6} \right] = 0.67,$$

lo que indica que la media del proceso *actualmente* está más cerca de USL. (Hay que subrayar que, si el proceso estuviera centrado en 14, el valor C_{pk} habría sido 1.0.) Un proceso aceptable requerirá reducir la desviación estándar y/o centrar la media.

Cabe destacar que, si el promedio *real* es igual al punto medio del rango de la especificación, entonces $C_{pk} = C_p$.

Entre más alto es el valor de C_p , menor es la cantidad de producto fuera de los límites de la especificación. Al certificar a los proveedores, algunas organizaciones usan C_{pk} como un elemento de los criterios para ello. En estas aplicaciones, el valor de C_{pk} deseado en los proveedores puede ser una función del tipo de bien que se adquirió.

También se puede calcular un índice de capacidad en torno a un valor objetivo en lugar de un promedio real. Este índice, llamado C_{pm} o índice Taguchi, se enfoca en la reducción de la variación en relación con un valor objetivo y no en la reducción de la variabilidad para cumplir con las especificaciones.

La mayoría de los índices de capacidad asumen que la característica de calidad está distribuida normalmente. Krishnamoorthi y Khatwani (2000) proponen un índice de capacidad para manejar las características normales y anormales adaptando primero los datos a una distribución Weibull.

Dos tipos de estudios de capacidad de procesos funcionan de la siguiente manera:

1. *Estudio de potencial del proceso.* En este estudio, se obtiene un estimado de lo que el proceso *puede* hacer bajo determinadas condiciones, por ejemplo, la variabilidad en condiciones definidas como de corto plazo para un proceso en estado de control estadístico. El índice C_p estima la capacidad potencial del proceso.
2. *Estudio del desempeño del proceso.* En este estudio, un estimado de la capacidad brinda un panorama de lo que el proceso *está* haciendo durante un periodo extenso. También se asume un estado de control estadístico. El índice C_{pk} estima la capacidad del desempeño.

20.11 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD POTENCIAL O INHERENTE A PARTIR DE UN ANÁLISIS DE GRÁFICA DE CONTROL

En un estudio de potencial del proceso, se recopilan datos de uno que esté operando sin cambios en los lotes de material, trabajadores, herramientas o indicaciones del proceso. Esta evaluación de corto plazo usa la producción consecutiva a lo largo de un periodo. Dicho análisis debe ser precedido por uno de gráfica de control en el cual se haya detectado y eliminado del proceso cualquier causa asignable.

Tomando en cuenta que los límites de la especificación normalmente se aplican a valores individuales, los límites de control para los promedios de muestra no pueden compararse con los límites de la especificación. Para hacer una comparación, debemos primero convertir \bar{R} a la desviación estándar para valores individuales, calcular los límites de $\pm 3\sigma$ y compararlos con los límites de la especificación. Este proceso se explica a continuación.

Si un proceso está en control estadístico, se halla operando con la cantidad mínima de variación posible (la variación debida a causas aleatorias). Si, y sólo si, un proceso está en control estadístico, la siguiente relación sirve para el uso de s como un estimado de σ :

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

La tabla I en el apéndice III y la tabla 20.4 presentan los valores de d_2 . Si se conoce la desviación estándar, los límites de la capacidad del proceso se pueden establecer en $\pm 3s$ y este valor usarse como una estimación de 3σ .

Para los datos de la figura 20.5 (máquina N-5),

$$s = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{6.0}{2.534} = 2.37$$

y

$$\pm 3s = \pm 3(2.37) = 7.11$$

o

$$6s = 14.22 \text{ (o } 0.0142 \text{ en las unidades de datos originales)}$$

La especificación era 0.258 ± 0.005 .

Así:

$$\text{USL} = 0.263$$

$$\text{LSL} = 0.253$$

Entonces,

$$C_p = \frac{\text{USL} - \text{LSL}}{6s} = \frac{0.263 - 0.253}{0.0142} = 0.72$$

Si el proceso está perfectamente centrado en 0.258 (y no lo estaba), entonces no es capaz.

La presunción del control estadístico y sus efectos en la capacidad del proceso

Todas las predicciones estadísticas asumen una población estable. En un sentido estadístico, una población estable es una que se puede repetir, es decir, una población que se halla en un estado de control estadístico. El estadístico hace bien en insistir en que éste sea el caso antes de que se puedan hacer predicciones. El ingeniero de manufactura también insta en que las condiciones del proceso (alimentación, velocidad, etc.) estén completamente definidas.

En la práctica, el análisis original de la gráfica de control mostrará con frecuencia que el proceso está fuera de control estadístico. (Puede estar cumpliendo o no con las especificaciones del producto.) Sin embargo, una investigación puede demostrar que las causas no se pueden eliminar del proceso de manera económica. En teoría, la capacidad del proceso no debería predecirse hasta que se encuentre en control estadístico. No obstante, en la práctica, se requiere algún tipo de comparación de la capacidad con las especificaciones. El peligro de retrasar la comparación es que las causas asignables podrían nunca ser eliminadas del proceso. La indecisión resultante prolongaría por lo tanto la discusión sobre si “la especificación es demasiado exigente” o “la manufactura es muy descuidada”.

Una buena manera de empezar es diagramando las mediciones individuales en relación con los límites de la especificación. Este paso demostrará que el proceso puede cumplir con las especificaciones del producto incluso con la presencia de causas asignables. Si el proceso tiene causas asignables de variación pero es capaz de cumplir con las especificaciones, normalmente no existe ningún problema económico. El estadístico puede señalar adecuadamente que el proceso con una variación asignable es impredecible. Este punto se toma en cuenta, pero al establecer prioridades en los esfuerzos de mejora de la calidad, los procesos que están cumpliendo con las especificaciones rara vez reciben una alta prioridad.

Si un proceso está fuera de control y las causas no se pueden eliminar económicamente, su desviación estándar y límites de capacidad se pueden calcular de todas formas (incluyendo los puntos fuera de control). Estos límites se incrementarán porque el proceso no estará operando en su mejor nivel. Además, su inestabilidad significa que la predicción es aproximada.

Es importante distinguir entre un proceso que se encuentra en un estado de control estadístico y uno que está cumpliendo con las especificaciones. Un estado de control estadístico no significa necesariamente que el producto del proceso está conforme con las especificaciones. Los límites de control estadístico sobre los promedios de muestra *no* se pueden comparar con los límites de la especificación, porque éstos hacen referencia a unidades individuales. Para algunos procesos que no están en control, las especificaciones se están cumpliendo y no se requiere tomar ninguna medida; otros procesos están en control, pero las especificaciones no se están cumpliendo y se requieren acciones (véase la sección 20.16).

En resumen, necesitamos procesos que sean estables (que estén en control estadístico) y, al mismo tiempo, capaces (que cumplan con las especificaciones del producto).

El creciente uso de los índices de capacidad también condujo a una imposibilidad para entender y verificar algunas presunciones importantes esenciales para la validez estadística de los resultados. Las siguientes son cinco presunciones clave:

1. *Estabilidad del proceso.* La validez estadística requiere control estadístico sin desviación ni oscilación.
2. *Normalidad de la característica que se está midiendo.* Se necesita normalidad para hacer inferencias estadísticas respecto a la población.

3. *Datos suficientes.* Se necesitan suficientes datos para minimizar el error de la muestra en los índices de capacidad. Lewis (1991) presenta tablas de 95 por ciento de los límites inferiores de confianza para los valores de C_p y C_{pk} .
4. *Representatividad de la muestra.* Las muestras deben incluir otras aleatorias.
5. *Independencia de las mediciones.* Las mediciones consecutivas no pueden estar correlacionadas.

Estas presunciones no son refinamientos teóricos: son condiciones importantes para la aplicación adecuada de los índices de capacidad. Antes de aplicar los índices de capacidad, se recomienda a los lectores revisar el artículo de Pignatiello y Ramberg (1993). Siempre es mejor comparar los índices con los datos completos frente a las especificaciones presentadas en un histograma.

20.12 MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN PROCESO

Un estudio sobre el desempeño de un proceso recopila información de un proceso que está operando en condiciones típicas, pero incluye cambios normales en los lotes de material, trabajadores, herramientas o indicaciones del proceso. Este estudio, que se extiende a lo largo de un periodo más grande que el análisis del potencial del proceso, también requiere que el proceso esté en control estadístico.

El índice de capacidad para el estudio de desempeño de un proceso es:

$$C_{pk} = \min \left[\frac{\bar{X} - LSL}{3s}, \frac{USL - \bar{X}}{3s} \right]$$

EJEMPLO 20.4. Considere una caja de bombeo que se utiliza para suministrar una solución intravenosa (Baxter Travenol Laboratories, 1986). Una característica clave es el volumen de la solución suministrada durante un periodo predefinido. Los límites de la especificación son:

$$USL = 103.5 \qquad LSL = 94.5$$

Se realizó una gráfica de control durante un mes, y se encontraron puntos fuera de control. A partir de los datos de la gráfica de control, sabemos que:

$$\bar{X} = 98.2 \qquad y \qquad s = 0.98$$

La figura 20.16 muestra los datos del proceso y los límites de la especificación.

El índice de capacidad es:

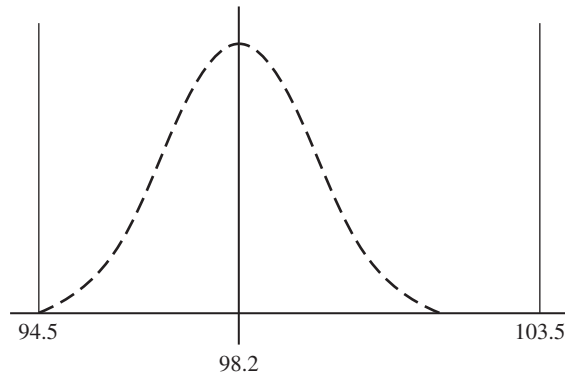
$$C_{pk} = \min \left[\frac{98.2 - 94.5}{3(0.98)}, \frac{103.5 - 98.2}{3(0.98)} \right]$$

$$C_{pk} = 1.26$$

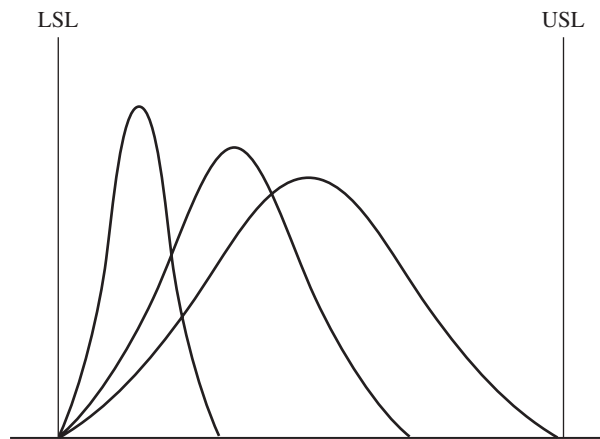
Para muchas aplicaciones, 1.26 es un valor aceptable para C_{pk} .

Interpretación de C_{pk}

Al usar C_{pk} para evaluar un proceso, debemos reconocer que ésta es una abreviación de dos parámetros: el promedio y la desviación estándar. Dicha abreviación puede encubrir inadvertidamente

**FIGURA 20.16**

Volumen de la solución suministrado. (De Baxter Travenol Laboratories, 1986.)

**FIGURA 20.17**

Tres procesos con $C_{pk} = 1$.

detalles importantes en estos parámetros. Por ejemplo, la figura 20.17 muestra que tres procesos extremadamente diferentes pueden tener todos el mismo C_{pk} (en este caso $C_{pk} = 1$).

El hecho de incrementar el valor de C_{pk} puede requerir un cambio en el promedio del proceso, la desviación estándar del proceso o ambos. Para algunos procesos, incrementar el valor de C_{pk} cambiando el valor promedio (quizás con un simple ajuste del objetivo del proceso) puede ser más fácil que reducir la desviación estándar (investigando las diversas causas de variabilidad). El histograma del proceso siempre debería revisarse para destacar tanto el promedio como el desarrollo del proceso.

Hay que notar que la tabla 20.7 también incluye el índice de capacidad C_{pm} . Este índice mide la capacidad en torno a un valor objetivo T en lugar del valor medio. Cuando el valor objetivo es igual al valor medio, el índice C_{pm} es idéntico al índice C_p .

Análisis de datos de atributos (o categóricos)

Los métodos que se acaban de discutir asumen que existen mediciones numéricas del proceso. En ocasiones, sin embargo, los únicos datos disponibles se encuentran en forma de atributos o categóricos, es decir, el número de unidades no conformes y el número aceptable.

Los datos de la tabla 3.5 sobre los errores en la preparación de pólizas de seguros también pueden usarse para ilustrar la capacidad de un proceso en los datos de atributos. Los datos reportaron 80 errores provenientes de seis capturistas de pólizas o 13.3 errores por persona: el *desempeño* actual. La *capacidad* del proceso puede calcularse excluyendo el desempeño anormal identificado en el estudio —errores de tipo 3 del trabajador B, errores de tipo 5 y errores del trabajador E—. Los datos de errores de los cinco capturistas restantes se convierten en 4, 3, 5, 2 y 5, con un promedio de 3.8 errores por persona. La estimación de la capacidad del proceso de 3.8 se compara con la estimación original de desempeño de 13.3.

Este ejemplo calcula la capacidad de un proceso en términos de errores o equivocaciones en lugar de la variabilidad de un parámetro del proceso. Hinckley y Barkan (1995) señalan que, en muchos procesos, los productos no conformes pueden ser causados por una excesiva variabilidad o por errores (verbigracia, partes que faltan, partes equivocadas, información errónea u otros errores de procesamiento). En algunos procesos, los errores pueden ser un factor importante para no cumplir con los objetivos de calidad del cliente. Las acciones requeridas para reducir las fallas son diferentes de las que se necesitan para reducir la variabilidad de un parámetro.

Capacidad del proceso en la industria de servicios

Aunque el concepto de capacidad del proceso creció en la manufactura, tal concepto también se aplica a los procesos de la industria de servicios.

Para ciertos parámetros en los procesos de servicios, la capacidad de éstos puede medirse mediante distintos índices. Por ejemplo, en una asociación de préstamos, el tiempo del ciclo para completar la aprobación de un empréstito es crítico, y ya se cuenta con datos sobre el tiempo de manera cuantitativa para calcular un índice de capacidad.

Otros procesos de servicios pueden no contar con datos variables o continuos. Por ejemplo, una empresa brinda un servicio que consiste en garantizar cheques firmados por los clientes en las tiendas minoristas. La decisión de la garantía se basa en un proceso que lleva una evaluación en línea de seis factores. Desafortunadamente, un porcentaje de cheques no se pagan (“rebotan”), y puede ser considerado como una medida de la capacidad del proceso para tomar la decisión de garantizar. Este enfoque usa datos de atributos o categóricos como en el ejemplo recién mencionado sobre los errores en las pólizas de seguros.

20.13

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO CON EL USO DE DOCUMENTOS DE PROBABILIDAD

Los documentos de probabilidad, presentados en el capítulo 17, también se pueden usar para determinar la capacidad de un proceso, sin ningún cálculo de la desviación estándar.

Por ejemplo, una muestra de 100 mediciones de una lectura total indicadora (TIR, por sus siglas en inglés) se agrupó en una distribución de frecuencia de 10 celdas. Las frecuencias se

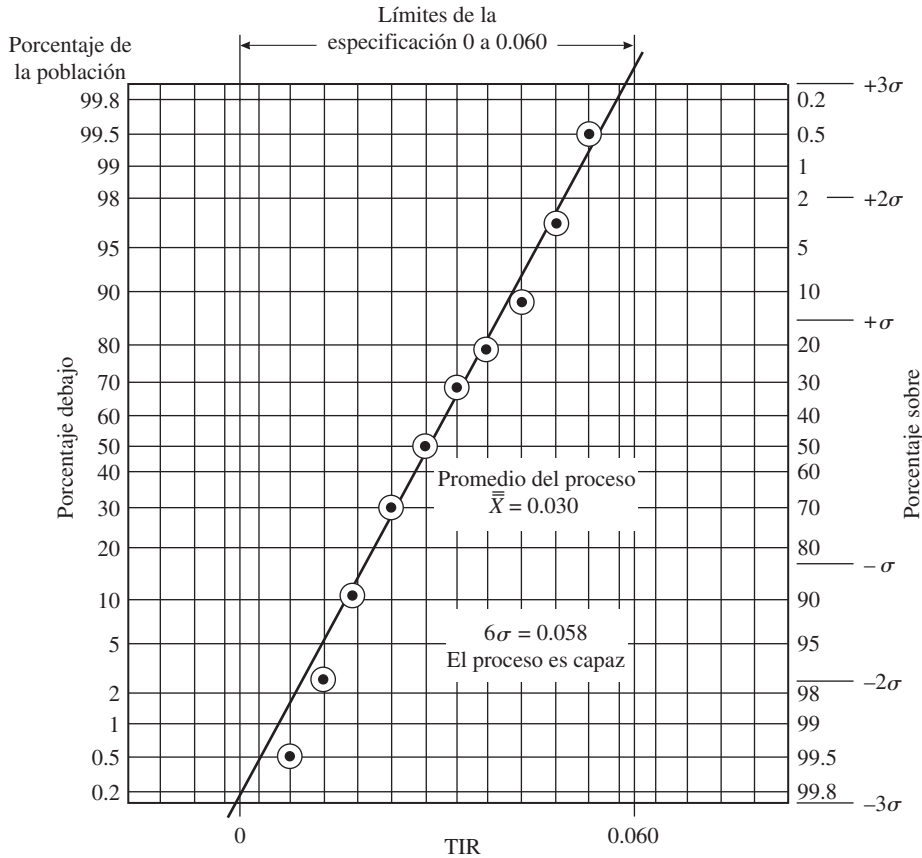


FIGURA 20.18

Análisis de capacidad en un documento de probabilidad. (Adaptado de Amsden et al., 1986.)

diagramaron entonces en un documento de probabilidad normal (figura 20.18). Las mediciones se grafican y después se observan para seguir una línea recta (que indique que la población está distribuida normalmente). La escala vertical del lado izquierdo muestra el porcentaje acumulado de la población bajo el valor de TIR; la escala vertical de la derecha denota el porcentaje acumulado sobre el valor de TIR, así como el número de desviaciones estándar de la media. Las líneas superiores e inferiores horizontales de la cuadrícula representan $\pm 3\sigma$, respectivamente. Cuando la línea diagramada se extiende hasta intersectar las líneas de la cuadrícula de $\pm 3\sigma$, se leen los valores de 0.001 y 0.059, lo que indica que 99.73 por ciento de la población se encontrará entre 0.001 y 0.059. La capacidad $\pm 3\sigma$ se calcula entonces como $0.059 - 0.001$, o 0.058. Debido a que el rango de la especificación C_{pk} es 0.060, el valor es $0.060/0.058 = 1.03$. Como antes, estamos asumiendo que el proceso está en control estadístico.

Al extender la línea diagramada para intersectar los límites de la especificación (que se muestran como líneas verticales), se puede predecir el porcentaje de productos no conformes. Esencialmente, cero por ciento caerá por debajo del límite inferior de la especificación o por encima del límite superior de la especificación. El valor medio se puede estimar rápidamente a partir del

diagrama. Se entra en el eje vertical en la línea de 50 por ciento. La línea interseca la diagonal en 0.030 de la escala horizontal.

El enfoque del documento de probabilidad tiene algunas ventajas. Se evita el término “desviación estándar” (que sigue siendo un misterio para la mayoría de la gente incluso después de que se explica). El diagrama ofrece una prueba aproximada de normalidad. Cuando los datos están limitados, el diagrama del documento de probabilidad podría ser más valioso que comparar un histograma con la teoría de “forma de campana”, porque las muestras pequeñas con frecuencia arrojan histogramas que tienen muchos picos y valles, lo que dificulta hacer un juicio sobre la forma subyacente. Finalmente, el documento de probabilidad de Weibull puede usarse para ver distribuciones oblicuas o inusuales.

Para evaluar la capacidad del proceso usando documentos de probabilidad (o histogramas) normalmente no se evalúa el proceso en búsqueda de control estadístico. Este enfoque no determina la capacidad inherente del proceso. Los datos pueden incluir mediciones de distintas poblaciones, y presentar cambios en el proceso o debidos al tiempo. Dichas condiciones resultan en las dispersiones observadas que son más amplias que la capacidad inherente al proceso. La evaluación de la capacidad inherente requiere el uso de una gráfica de control.

20.14

PLANEACIÓN PARA UN ESTUDIO DE CAPACIDAD DEL PROCESO

Se llevan a cabo estudios de capacidad por distintas razones, como, por ejemplo, para responder a la solicitud de un cliente por un número en un índice de capacidad o para evaluar y mejorar la calidad de un producto. Antes de recopilar los datos hay que aclarar el objetivo del estudio y los pasos necesarios para garantizar que se cumpla.

En algunos casos, el estudio de capacidad se enfoca en la determinación de un histograma y un índice de capacidad para un proceso relativamente simple. Aquí, la planeación debe garantizar que las condiciones del proceso (como temperatura, presión) estén completamente definidas y registradas. Todas las demás entradas deben ser claramente representativas, como equipo específico, material y, por supuesto, personal.

Para procesos más complejos o cuando se buscan niveles de defectos de 1 a 10 partes por millón, se recomiendan los siguientes pasos:

1. Desarrollar una descripción de proceso que incluya entradas, pasos de proceso y características finales de calidad. Esta descripción puede ir desde una simple identificación del equipo hasta el desarrollo de una ecuación matemática que muestre el efecto de cada variable del proceso en las características de calidad.
2. Definir las condiciones del proceso para cada una de sus variables. En un caso simple, este paso implica el planteamiento de especificaciones para la temperatura y la presión. Pero para algunos procesos, significa determinar el valor óptimo u objetivo de cada variable. El diseño estadístico de experimentos ofrece la metodología. También hay que determinar los rangos operativos de las variables del proceso en torno a un óptimo, porque el rango afectará la variabilidad de los resultados del producto.
3. Asegurarse de que cada característica de calidad tenga al menos una variable del proceso que pueda usarse para ajustarla.
4. Decidir si el error en la medición es significativo. Esto puede determinarse a partir de un estudio separado de error (véase la sección 15.8). En algunos casos, el error de medición puede evaluarse como parte del estudio general.

5. Decidir si el estudio de capacidad se enfocará sólo en la variabilidad o si incluirá también equivocaciones o errores que provoquen problemas de calidad.
6. Planear el uso de gráficas de control para evaluar la estabilidad del proceso.
7. Preparar un plan de recopilación de datos incluyendo el tamaño adecuado de la muestra que documente los resultados sobre las características de calidad junto con las condiciones del proceso (como valores de todas las variables de éste), y preserve la información en el orden en que se tomaron las medidas, para poder evaluar también la tendencia.
8. Planear qué métodos se usarán al analizar los datos del estudio para garantizar, antes de iniciarlo, que todos los datos necesarios estarán disponibles. Los análisis deben incluir cálculos de la capacidad del proceso sobre la variabilidad y el análisis de datos de atributos o categóricos sobre los errores, y de datos de experimentos diseñados estadísticamente incorporados al estudio.
9. Estar preparados para invertir tiempo investigando los resultados interinos antes de que se hagan los cálculos sobre la capacidad del proceso. Estas investigaciones pueden incluir el análisis de valores óptimos y rangos de variables del proceso, puntos fuera en las gráficas de control o cualquier otro resultado inusual. Las investigaciones entonces llevan a un objetivo último, como la mejora del proceso.

Cabe destacar que estos pasos se enfocan en la mejora y no sólo en determinar un índice de capacidad.

20.15

CONCEPTO SIX SIGMA DE CAPACIDAD DE PROCESO

El enfoque six sigma es en realidad una estrategia de mejora. El capítulo 3 explica los cinco pasos del enfoque junto con las herramientas específicas implicadas. En este capítulo sólo presentamos las bases estadísticas del concepto.

Para algunos procesos, los cambios en su promedio son tan comunes que deberían ser reconocidos al definir los valores aceptables de C_p . En ciertas industrias, los cambios en el promedio del proceso de ± 1.5 desviaciones estándar (de valores individuales) no son inusuales. Para permitir dichos cambios, se requieren valores altos de C_p . Por ejemplo, si los límites de la especificación se encuentran en $\pm 6\sigma$ (figura 20.19) y la media cambia $\pm 1.5\sigma$, entonces 3.4 partes por millón estarán más allá de los límites de la especificación. El enfoque six sigma de Motorola Company reconoce la probabilidad de estos cambios en el promedio del proceso, y usa una variedad de técnicas de ingeniería de calidad para cambiar el producto, el proceso o ambos, y lograr una C_p de al menos 2.0.

La tabla 20.8 muestra los índices de capacidad y los niveles de defectos en partes por millón (ppm) para un proceso centrado y para uno con una media desviada $\pm 1.5\sigma$.

Hay que subrayar que en el nivel 3σ con un proceso centrado, el nivel de defectos es de 2 700 partes por millón (o 0.27 por ciento); con una desviación de 1.5σ , el índice de defectos es de 66 803 partes por millón (o 6.68 por ciento). Estos cálculos se aplican a un solo producto o característica del proceso. En realidad, muchos productos o procesos tienen diversas características, y así el rendimiento general decrece con esta complejidad. McFadden (1993) discute este asunto. Por ejemplo, asumiendo un proceso con una desviación de 1.5σ , uno de 100 pasos, cada uno de ellos operando en el nivel de tres sigma tendría un rendimiento de sólo 0.10 por ciento; en el nivel de cinco sigma, el

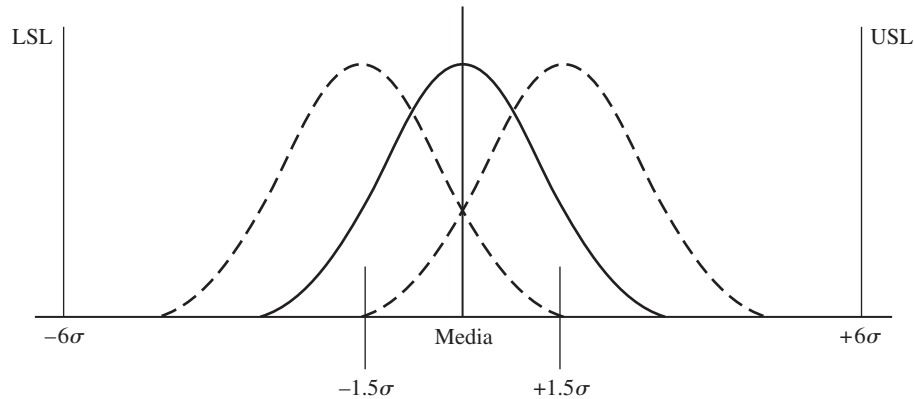


FIGURA 20.19
Concepto six sigma para capacidad de proceso.

TABLA 20.8
Niveles sigma y niveles de defectos

Nivel sigma	Proceso centrado		Proceso desviado ($\pm 1.5\sigma$)	
	C_p	ppm*	C_{pk}	ppm
3	1	2 700	0.5	66 803
4	1.33	63	0.833	6 200
5	1.67	0.57	1.167	233
6	2	0.002	1.5	3.4

Fuente: McFadden, 1993. Reimpreso con autorización de la ASQ.

*ppm = partes por millón.

rendimiento seguiría siendo de sólo 54 por ciento. Este resultado demuestra la importancia de la baja variabilidad (como en un alto nivel sigma), en particular para productos o procesos complejos.

Debemos enfatizar que el enfoque six sigma para la mejora es una estrategia que asume cambios en el proceso de 1.5σ (en la práctica, una presunción realista para muchos procesos). Este uso del término *six sigma* es bastante diferente de la fórmula clásica estandarizada para la capacidad del proceso como $\pm 3\sigma$ o un total de 6σ .

20.16 CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO Y MEJORA DE CALIDAD

En el capítulo 1 distinguimos entre control y mejora. El proceso de control detecta y toma medidas en cuestión de problemas *esporádicos* de calidad; el proceso de mejora identifica y toma medidas para problemas *crónicos* de calidad.

En el proceso de control, las gráficas de control estadístico detectan la existencia de causas especiales de variación que resultan en problemas esporádicos. Las gráficas señalan datos de mues-

tra que caen más allá de los límites de control estadístico, como, por ejemplo, cuando el proceso está “fuera de control estadístico”. Por otra parte, cuando una gráfica muestra que un proceso está en “control estadístico”, el proceso se halla en situación de estabilidad, y la variación se debe a una serie de causas comunes inherentes al proceso. Control estadístico significa estabilidad, pero ésta no siempre significa satisfacción del cliente con el resultado. Desafortunadamente, un proceso en control estadístico puede tener diversos problemas de calidad. Debido a que el proceso es estable, los problemas continuarán (se volverán crónicos) a menos que se haga un cambio básico en el sistema de causas comunes. Tal cambio, el cual afecta típicamente el promedio o la variación, es trabajo de la mejora. “La eliminación de una causa especial de variación para avanzar hacia el control estadístico, por más importante que pueda ser, no es una mejora al proceso” (Deming, 1986, p. 338).

La mejora del proceso apunta a distintos problemas:

1. *El promedio del proceso está mal dirigido.* La tabla 20.9 muestra posibles medidas correctivas.
2. *La variabilidad inherente del proceso es demasiado grande.* La tabla 20.9 ofrece algunos de los enfoques disponibles para reducir la variabilidad.
3. *La instrumentación es inadecuada.* Véase la sección 15.8, “Errores de medición”.
4. *Existe una desviación en el proceso.* Aquí, lo que se necesita es cuantificar la cantidad de variación en un determinado periodo para brindar los medios de reiniciar el proceso y compensar la desviación.
5. *Existen cambios cíclicos en el proceso.* La necesidad es identificar la causa subyacente y eliminarla o reducir su efecto en el proceso.
6. *El proceso es errático.* Pueden ocurrir cambios repentinos en los procesos. Mientras los estudios de capacidad cuantifican el tamaño de estos cambios y ayudan a descubrir sus razones, se pueden tomar medidas apropiadas de planeación:

TABLA 20.9
Enfoques para la mejora de procesos

Cambiar el promedio	Reducir la variabilidad
Ajustar las especificaciones en el equipo del proceso.	Investigar los métodos de trabajo y los factores del equipo. Esto incluye identificar las variables del proceso que afectan el resultado del producto.
Cambiar los parámetros de diseño del producto seleccionado para que el diseño sea más robusto ante las condiciones de manufactura.	Cambiar los parámetros de diseño del producto seleccionado para que el diseño sea más robusto ante las condiciones de manufactura.
Identificar las variables del proceso que afectan los resultados del producto, determinar los valores óptimos para las variables y ajustar el proceso a estos valores.	Identificar y reducir las causas de variabilidad debidas a factores humanos. El concepto de sistema <i>versus</i> entradas controlables por el trabajador y el concepto de autocontrol son guías útiles.
Emplear controles de proceso automatizados para medir, analizar y ajustar las variables del proceso que afectan el promedio.	Reducir la variabilidad de las entradas al proceso mediante un programa de mejoras con proveedores internos y externos. Emplear controles de proceso automatizados para medir, analizar y ajustar las variables del proceso que afectan la variabilidad.

- *Los fenómenos temporales* (como una máquina fría que está alcanzando la temperatura de operación) se pueden tratar programando periodos de calentamiento, además de revisiones en el momento pronosticado de estabilidad.
- *Los fenómenos más duraderos* (como cambios debidos a nuevos materiales) se pueden tratar especificando una nueva verificación de la organización cuando se introduzcan dichos cambios.

El diseño estadístico de experimentos es una herramienta analítica esencial para la mejora que va más allá de la investigación y los puntos fuera de control en una gráfica de control estadístico. Esta herramienta, cuando se combina con el conocimiento de quienes planean y ejecutan los procesos, reemplaza la toma de decisiones intuitiva por una base científica. Véase la sección 18.11, “El diseño de experimentos”, y la sección 11.4 en el tema “Diseño de parámetros y diseño robusto”.

Ahora, ¿cómo se relacionan estos asuntos con las necesidades de los clientes?

Evidentemente, al usar controles estadísticos de procesos y tomar las acciones subsecuentes, el enfoque debe recaer en la satisfacción de las necesidades del cliente. Los límites de la especificación ofrecen una definición —que está lejos de ser perfecta—. Los límites de las gráficas de control estadístico son diferentes de los límites de la especificación. En algunas situaciones, un proceso no está en control estadístico pero puede no requerir acciones porque las especificaciones del producto se cumplen con facilidad. En otras situaciones, un proceso está en control estadístico, pero las especificaciones del producto no se están cumpliendo.

Si un producto *no* cumple con las especificaciones, entonces se requiere algún tipo de acción: cambiar el valor promedio, reducir la variabilidad, hacer ambas cosas, cambiar las especificaciones, clasificar el producto, etc. Si un producto *sí* cumple con las especificaciones, las alternativas son

TABLA 20.10
Acciones que se emprenderán

	El producto cumple con la especificación	
	Pequeña variación en el proceso en relación con las especificaciones*	Gran variación en el proceso en relación con las especificaciones*
El proceso está en control	Considerar el valor en el mercado de especificaciones más justas. Reducir la inspección.	Continuar con controles estrictos en el promedio del proceso.
El proceso está fuera de control	El proceso es errático e impredecible, y puede estar al borde de crear problemas. Investigar las causas de la falta de control.	
	El producto no cumple con la especificación	
El proceso está en control	El proceso está “mal orientado” hacia un promedio equivocado. Generalmente es fácil de corregir en forma permanente.	El proceso puede estar mal orientado y también demasiado disperso. Corregir la mala orientación. Considerar la economía de un proceso más preciso en relación con especificaciones más amplias o con clasificar el producto.
El proceso está fuera de control	El proceso está mal orientado, es errático o ambos. Corregir la mala orientación. Descubrir la causa de la falta de control. Considerar la economía de un proceso más preciso en relación con especificaciones más amplias o con clasificar el producto.	

*Partiendo de la solución a problemas anteriores, una variación en el proceso (algunas veces llamada tolerancia natural = 6σ) menor a un tercio del rango de especificación es pequeña; más de dos tercios es grande.

diferentes: no emprender acciones, usar un proceso menos preciso o reducir aún más la variabilidad (véase a continuación las razones). La tabla 20.10 muestra las permutaciones más usuales que se han detectado y ofrece sugerencias sobre el tipo de medidas que se deben tomar.

Nuestro objetivo para los procesos es claro: estar en control estadístico y ser capaz de cumplir con las especificaciones del producto.

Cabe destacar que este capítulo se enfoca en la variabilidad de las características del producto y su relación con los límites de la especificación. Un uso más amplio de la mejora es la capacidad de las características existentes del producto para satisfacer las necesidades del cliente (véase el capítulo 10).

20.17 SOFTWARE PARA CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

La existencia de software ha contribuido sustancialmente al uso de técnicas de control estadístico de procesos. El software ha vuelto práctica la recopilación de grandes cantidades de datos y el desempeño de análisis complejos.

El software de control de proceso estadístico calculará estadísticas de muestra y límites de control, y diagramará una gráfica de control. Se pueden presentar sumarios y análisis adicionales, tales como listados de materia prima, valores fuera de la especificación, histogramas, revisiones de tirajes y otros patrones, en gráficas de control, gráficas de Pareto y cálculos de capacidad del proceso.

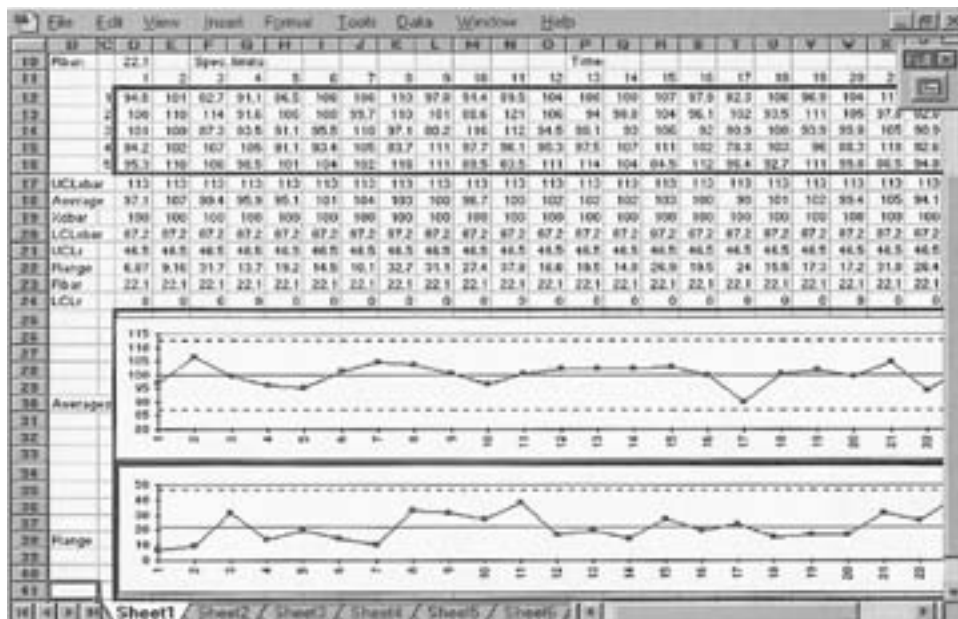


FIGURA 20.20
Gráficas \bar{X} y de rango en Excel.

Excel® es un ejemplo de software para el control estadístico de procesos. Una muestra de una hoja de cálculo para datos y gráficas se exhibe en la figura 20.20. La herramienta para la creación de gráficas permite desplegarlas en la hoja de cálculo junto con los datos en hojas separadas. Si se hacen cambios a los datos, los valores de la gráfica se actualizan y se muestran. Zimmerman y Icenogle (1999) ofrecen instrucciones paso a paso para el uso de Excel® en el control estadístico de calidad, incluyendo estadística básica, diversos tipos de gráficas de control y muestras de aceptación. MINITAB® tiene capacidades similares para el control estadístico de procesos, e incluye software para el diseño y análisis de experimentos.

Quality Progress (ASQ) y *Quality Digest* publican anualmente directorios de software para el control de procesos y otros usos estadísticos. El *Journal of Quality Technology* (de la ASQ) y *Quality* (de la Hitchcock Publishing Company) tienen columnas sobre computadoras que describen programas de control de procesos.

20.18 EJEMPLO TRABAJADO EMPLEANDO MINITAB®

La FDA de Estados Unidos establece estándares en relación con los niveles permitidos de fragmentos de insectos en los alimentos. Un fabricante de chocolates recopiló datos de su línea de producto durante un tiempo; con muestras de 100 gramos y subgrupos de 6 tomadas una vez al día durante 60 días.

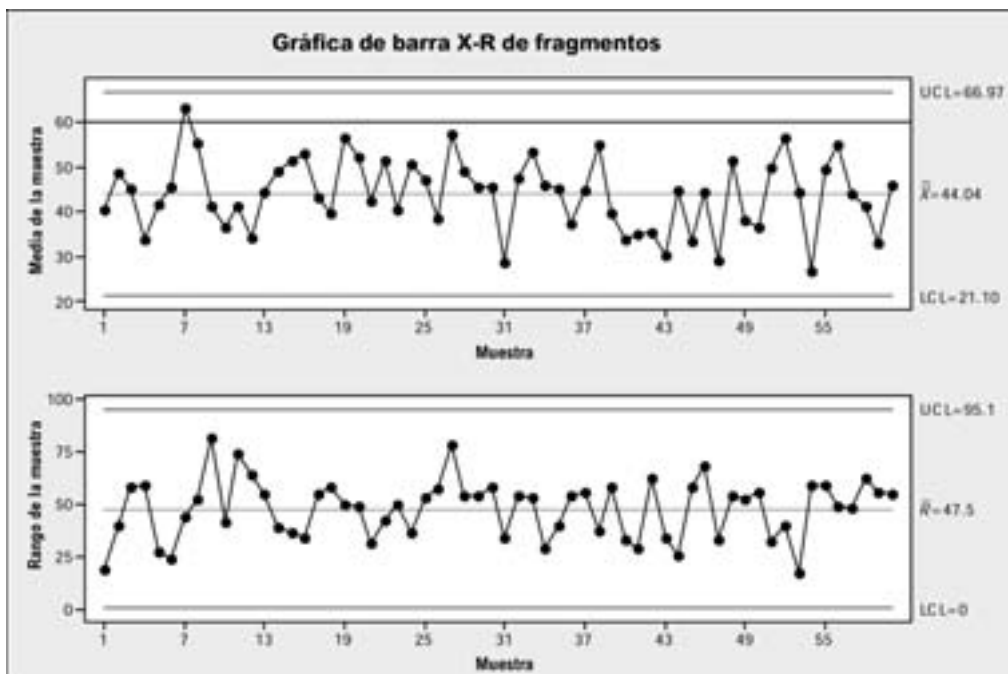


FIGURA 20.21

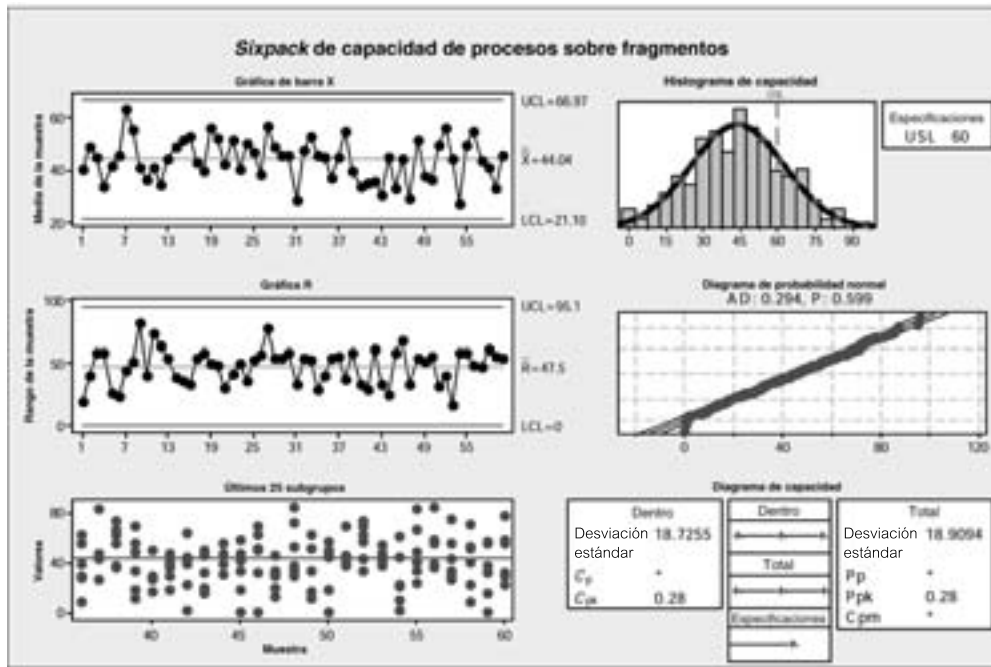


FIGURA 20.22

¿El número de partes de insectos está en control estadístico? Haga comentarios sobre cualquiera de los patrones. Asumiendo un nivel de defectos en los alimentos de 60 o más fragmentos de insecto por 100 gramos de chocolate (promedio de subgrupos), ¿el proceso está cumpliendo con la especificación?

(Gryna 022805.MPJ; columnas C-19-20, subgrupo, fragmentos)

El número de partes de insecto detectadas está en control estadístico, y no hay patrones claros evidentes como se ve en la figura 20.21. Sin embargo, a partir de la figura 20.22, el proceso no es capaz, como lo evidencia el C_{pk} de 0.28. Para garantizar que un producto cumple de manera más consistente con los estándares de la FDA, el proceso debe mejorarse para reducir la variación en las partes de insecto.

RESUMEN

- El control estadístico de proceso es la aplicación de métodos estadísticos a la medición y el análisis de cualquier proceso.
- Una menor variabilidad en el proceso tiene ventajas importantes.
- La gráfica de control estadístico es una comparación de los datos de desempeño del proceso con los límites de control estadístico computados, trazados como líneas de límite en la gráfica.
- Una gráfica de control distingue entre las causas comunes y las causas especiales de variación.
- Un estado de control estadístico tiene ventajas importantes para cualquier proceso.

- Las gráficas de control pueden ser de muchos tipos, tanto para datos variables o continuos como para datos de atributos o categóricos.
- El precontrol es una técnica estadística para detectar las condiciones del proceso y los cambios que pueden causar defectos.
- La capacidad del proceso es la aptitud de reproducción medida e inherente a un producto resultado de un proceso.
- Las proporciones de capacidad ayudan a cuantificar la capacidad del proceso.
- Deseamos procesos que estén en control estadístico y que sean capaces de cumplir con los límites de las especificaciones.
- El enfoque six sigma es una estrategia de mejora. El objetivo es que la variación del proceso sea tan pequeña que los límites de la especificación estén 6σ por encima y por debajo del promedio del proceso.

PROBLEMAS

- 20.1.** Un gran fabricante de relojes manufactura algunas de las partes que utiliza y compra otras a un proveedor. Éste presenta lotes de partes que cumplen con las especificaciones del relojero. El proveedor, sin embargo, desea llevar a cabo una revisión continua de su producción de partes para relojes. Un engrane ha resultado ser un problema especial. Una revisión de 25 muestras de 5 piezas arrojó los siguientes datos sobre una dimensión clave:

$$\bar{\bar{R}} = 0.3175 \quad \bar{R} = 0.00508$$

¿Qué criterio se debe fijar para determinar cuándo el proceso está fuera de control? ¿Cómo se debe comparar este criterio con la especificación? ¿Cuáles son algunas alternativas si el criterio no es compatible con la especificación?

- 20.2.** Un fabricante de gis sin polvo está preocupado por la densidad del producto. Los análisis previos han demostrado que el gis tiene las características requeridas sólo si la densidad se encuentra entre 4.4 g/cm^2 y 5.04 g/cm^2 . Si una muestra de 100 piezas da un promedio de 4.8 y una desviación estándar de 0.2, ¿el proceso se encuentra en la densidad adecuada? En caso de que no, ¿cuál debería ser el objetivo? ¿El proceso es capaz de cumplir con los requerimientos de densidad? Calcule C_p y C_{pk} .
- 20.3.** La cabeza de un motor de automóvil debe ser fabricada de tal manera que tanto la superficie que hace contacto con el bloque del motor como aquella que hace contacto con la cubierta de la válvula sean planas. Estas superficies también deben encontrarse a una distancia de 4.875 ± 0.001 pulgadas. Asumiendo que el lado de la cubierta de la válvula tiene un acabado correcto, compare la capacidad de los dos procesos para llevar a cabo el terminado de la cabeza del lado del bloque del motor. Un taladro ajustado para hacer el trabajo dio un promedio de grosor de 4.877 pulgadas, con un rango promedio de 0.0005 pulgadas para 25 muestras de cuatro elementos cada una. La fresadora dio un promedio de 4.875 y un rango promedio de 0.001 pulgadas para 20 muestras de cuatro elementos cada una. Para cada máquina, calcule C_p y C_{pk} .

Respuesta: Taladro $\pm 3s = \pm 0.00072$, fresadora $\pm 3s = 0.00144$.

- 20.4. Una dimensión crítica de una armadura de recubrimiento doble ha estado creando problemas, por lo que el diseñador ha decidido cambiar la especificación de 0.033 ± 0.005 pulgadas a 0.033 ± 0.001 pulgadas. Para evaluar la propuesta de cambio, el departamento de planeación de manufactura ha obtenido los siguientes datos codificados a partir del proceso:

Tiempo	Brazo izquierdo			Brazo derecho			Comentarios
8:00	331	330	331	329	330	328	
8:30	332	331	329	327	331	329	
9:00	330	329	329	330	329	327	
9:30	332	330	331	331	332	328	
10:00	333	332	333	326	331	326	
10:30	332	331	332	329	330	331	
11:00	333	331	331	330	326	327	
11:30	332	332	333	327	326	329	
12:00	331	332	334	337	328	337	Ajuste
12:30	335	334	336	326	325	325	
1:00	333	332	332	329	332	330	
1:30	336	331	330	331	328	329	
2:00	332	334	329	332	330	329	
2:30	336	336	330	329	329	327	
3:00	329	335	338	333	330	331	Ajuste
3:30	341	333	330	329	331	332	

Comente la propuesta para cambiar la especificación.

- 20.5. Una compañía fabrica un químico muy costoso. El peso neto del paquete tiene un valor de especificación mínimo de 25.0 libras. Los datos del análisis de la gráfica de control señalan (con base en 20 muestras de cinco elementos cada una):

$$\bar{\bar{X}} = 26.0 \quad \bar{R} = 1$$

Los puntos de las gráficas de promedio y rango están en control.

- Saque conclusiones sobre la capacidad del proceso para cumplir con la especificación.
 - ¿Qué acción, en caso necesario, sugeriría usted para el proceso? Si sugiere alguna, ¿hay desventajas para ella?
- 20.6. Se tomaron muestras de cuatro unidades de un proceso de manufactura en intervalos regulares. Se midió el ancho de una ranura y se computaron el promedio y el rango para cada muestra. Después de 25 muestras de 4, se obtuvieron los siguientes resultados codificados:

	Promedios	Rangos
Límite de control superior	626	37.5
Valor promedio	$\bar{\bar{X}} = 6.14$	$\bar{R} = 16.5$
Límite de control inferior	602	0

Todos los puntos de las gráficas \bar{X} y R están dentro de los límites de control. Los requerimientos de la especificación son 610 ± 15 . Si el ancho está distribuido normalmente y la distribución está

centrada en \bar{X} , ¿qué porcentaje del producto esperaría que caiga fuera de los límites de la especificación?

Respuesta: 9.4%.

- 20.7.** a) ¿A qué conclusión se puede llegar sobre un proceso a partir de una gráfica de control de promedio y rango que no se pueda obtener de un histograma?
 b) ¿A qué conclusiones se puede llegar a partir de un histograma que no se pueda obtener de una gráfica de control de promedio y rango?
- 20.8.** El porcentaje de absorción de agua es una característica importante de los ladrillos comunes para construcción. Cierta compañía mide ocasionalmente esta característica en su producto, pero nunca conserva los registros. La administración ha decidido analizar el proceso con una gráfica de control. Veinticinco muestras de cuatro ladrillos arrojaron los siguientes resultados:

Número de muestra	\bar{X}	R	Número de muestra	\bar{X}	R
1	15.1	9.1	14	9.8	17.5
2	12.3	9.9	15	8.8	10.5
3	7.4	9.7	16	8.1	4.4
4	8.7	6.7	17	6.3	4.1
5	8.8	7.1	18	10.5	5.7
6	11.7	9.1	19	9.7	6.4
7	10.2	12.1	20	11.7	4.6
8	11.5	10.8	21	13.2	7.2
9	11.2	13.5	22	12.5	8.3
10	10.2	6.9	23	7.5	6.4
11	9.6	5.0	24	8.8	6.9
12	7.6	8.2	25	8.0	6.4
13	7.6	5.4			

Ordene los datos en una gráfica de control de promedio y rango con límites de control. Comente al respecto.

Respuesta: 15.8 y 3.97; 18.4 y 0.

- 20.9.** La especificación de una cierta dimensión es 3.000 ± 0.004 pulgadas. Una muestra grande del proceso indica un promedio de 2.998 pulgadas y una desviación estándar de 0.002 pulgadas. Suponga que se instituyen controles para cambiar el promedio del proceso a la especificación nominal de 3.000. Cada parte fuera de los límites de la especificación resulta en una pérdida de \$5. En un lote de 1 000 partes, ¿cuánto dinero se puede ahorrar cambiando el promedio en lugar de mantenerlo en 2.998?

Respuesta: \$573.

- 20.10.** Una gráfica de control estadístico para promedios y rangos se ha usado para ayudar a controlar un proceso de manufactura. Los datos de muestra están dentro de los límites de control de manera consistente, y los límites de control están dentro de los límites de tolerancia de ingeniería. El supervisor se encuentra confundido porque un alto porcentaje del producto está fuera de los límites de tolerancia, aunque el proceso se halla dentro de los límites de control. ¿Cuál es su explicación?

- 20.11.** Los siguientes datos representan el número de defectos encontrados en cada gabinete de máquina de coser que fue inspeccionado:

Número de muestra	Número de defectos	Número de muestra	Número de defectos
1	8	14	6
2	10	15	4
3	7	16	7
4	7	17	5
5	8	18	8
6	6	19	6
7	9	20	4
8	8	21	5
9	4	22	7
10	7	23	4
11	9	24	5
12	6	25	5
13	5		

Trace una gráfica de control con límites de control. Coméntela.

- 20.12.** Una muestra de 100 conectores eléctricos se inspeccionó en cada turno. Se revisaron tres características en cada conector, pero cada uno de éstos fue clasificado simplemente como defectuoso o aceptable. Los resultados son los siguientes:

Número de muestra	Defectos, %	Número de muestra	Defectos, %
1	4	14	4
2	3	15	4
3	5	16	5
4	6	17	3
5	7	18	0
6	5	19	3
7	4	20	2
8	2	21	1
9	5	22	3
10	6	23	4
11	4	24	2
12	3	25	2
13	3		

- a) Realice una gráfica de control con límites de control. Coméntela.
 b) Si los resultados de la inspección fueron registrados con suficiente detalle, ¿qué otro tipo de gráfica se podría haber trazado?

Respuesta: a) 9.2%, 0.

- 20.13.** Una gráfica de promedio y rango basada en un tamaño de muestra de cinco se ha estado usando con los siguientes resultados:

	Promedios	Rangos
Límite de control superior	78.0	8.0
Valor promedio	75.8	3.8
Límite de control inferior	73.6	0

¿Qué tan grande tendría que ser un incremento en el promedio total del proceso para que tuviera 30 por ciento de probabilidad de que la muestra promedio excediese el límite de control superior?

Respuesta: 1.83.

- 20.14. Como parte de un programa de mejora de calidad, un fabricante de textiles decide usar una gráfica de control para monitorear el número de imperfecciones en los rollos de tela. Los datos de las últimas 25 inspecciones se registran en la siguiente tabla. A partir de ellos, calcule los límites de control para un tipo apropiado de gráfica de control. Trace la gráfica.

Rollo de tela	Número de imperfecciones	Rollo de tela	Número de imperfecciones
1	14	14	22
2	5	15	1
3	10	16	6
4	19	17	14
5	0	18	8
6	6	19	6
7	2	20	9
8	9	21	7
9	8	22	1
10	7	23	5
11	3	24	12
12	12	25	4
13	1	Total	191

Respuesta: Los límites son 15.93 y 0.

- 20.15. Los datos de una gráfica de control fueron recopilados en el punto más suave (en grados) en un proceso de polimerización. Con base en 25 muestras de cuatro elementos cada una, se calcularon los siguientes límites de control:

	Promedios	Rangos
Límite de control superior	12.9	13.4
Valor promedio	9.4	5.9
Límite de control inferior	5.9	0

Suponga que el promedio de la población cambia a 12.4. ¿Qué tan grande es necesario que sea la muestra para que tenga una probabilidad de 25 por ciento de que la gráfica de control para promedios señale lo que está fuera de control?

- 20.16. Una gráfica p se va a usar para analizar el registro de septiembre del 100 por ciento de una inspección de cierto componente de radio. El número total inspeccionado durante el mes fue 2 196, y el número total de defectos, 158. Estime \bar{p} . Calcule los límites de control para los siguientes 3 días y diga qué porcentaje de defectos cae dentro de los límites de control de cada día.

Fecha	Número inspeccionado	Número de defectos
14 de septiembre	54	8
15 de septiembre	162	24
16 de septiembre	213	3

- 20.17. Una gráfica de control con límites de control superior e inferior puede detectar cuando un proceso está fuera de control. Sin embargo, en caso de que no pueda hacerlo, identifique las causas. Elija un

proceso de una industria de servicio y describa un enfoque para identificar la(s) variable(s) que causó (causaron) que el proceso se saliera de control.

- 20.18.** ¿Cuál es el principal objetivo del control estadístico para evaluar aplicaciones de préstamos hipotecarios en una institución financiera?

REFERENCIAS

- Amsden, R. T., H. E. Butler y D. M. Amsden (1986). *SPEC Simplified: Practical Steps to Quality*, UNIPUB, White Plains, NY.
- Anthis, D. L., R. F. Hart y R. J. Stanula (1991). "The Measurement Process: Roadblock to Product Improvement", *Quality Engineering*, vol. 3, núm. 4, pp. 461-470.
- AT&T (1990). *Analyzing Business Process Data: The Looking Glass*, AT&T Customer Information Center, Indianápolis, IN.
- Baxter Travenol Laboratories (1986). *Special Process Control Guideline*, Deerfield, IL, p. 17.
- Bothe, D. R. (1997). *Measuring Process Capability*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Box, G. E. P. y A. Luceno (1997). *Statistical Control by Monitoring and Adjustment*, 3a. ed., John Wiley and Sons, Nueva York.
- Dechert, J., K. E. Case y T. L. Kautiainen (2000). "Statistical Process Control in the Presence of Large Measurement Variation", *Quality Engineering*, vol. 12, núm. 3, pp. 417-423.
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*, Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, Cambridge, MA.
- Gitlow, H., A. Oppenheim y R. Oppenheim (1995). *Quality Management: Tools and Methods for Improvement*, 2a. ed., Irwin, Burr Ridge, IL.
- Hinckley, C. M. y P. Barkan (1995). "The Role of Variation, Mistakes and Complexity in Producing Nonconformities", *Journal of Quality Technology*, vol. 27, núm. 3, pp. 242-249.
- Kane, V. E. (1986). "Process Capability Indices", *Journal of Quality Technology*, vol. 18, núm. 1, pp. 41-52.
- Krishnamoorthi, K. S. y S. Khatwani (2000). "A Capability Index for All Occasions", *Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 77-81.
- Leonard, J. F. (1986). "Quality Improvement in Recruiting and Employment", *Juran Report Number Six*, Inviernúm. Juran Institute, Inc., Wilton, CT, pp. 111-118.
- Lewis, S. S. (1991). "Process Capability Estimates from Small Samples", *Quality Engineering*, vol. 3, núm. 3, pp. 381-394.
- McFadden, F. R. (1993). "Six Sigma Quality Programs", *Quality Progress*, junio, pp. 37-42.
- Montgomery, D. C. (1997). *Introduction to Statistical Quality Control*, 3a. ed., John Wiley and Sons, Nueva York.
- Nelson, L. S. (1984). "The Shewhart Control Chart-Tests for Special Causes", *Journal of Quality Technology*, vol. 16, núm. 4, octubre, pp. 237-239.
- Nelson, L. S. (1985). "Interpreting Shewhart Charts", *Journal of Quality Technology*, vol. 17, núm. 2, pp. 114-116.
- Ott, E. R. y E. G. Schilling (1990). *Process Quality Control*, McGraw-Hill, Nueva York.
- Pignatiello, J. J., Jr. y J. S. Ramberg (1993). "Process Capability Indices: Just Say No", *Annual Quality Congress Transactions*, ASQC, Milwaukee, pp. 92-104.

- Pohlen, T. (1999). "Statistical Thinking: A Personal Application", *Proceedings of the Annual Quality Congress Proceedings*, ASQ, Milwaukee, pp. 230-235.
- Schilling, E. G. (1990). "Elements of Process Control", *Quality Engineering*, vol. 2, núm. 2, pp. 132. Reimpreso por cortesía de Marcel Dekker Inc.
- Sullivan, L. P. (1984). "Reducing Variability: A New Approach to Quality", *Quality Progress*, julio, pp. 15-21.
- Zimmerman, S. M. y M. L. Icenogle (1999). *Statistical Quality Control Using EXCEL*, Quality Press, ASQ, Milwaukee.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS

- Control de proceso estadístico: *JQH5*, sección 45.
- Grant, E. L. y R. S. Leavenworth (1996). *Statistical Quality Control*, 7a. ed., McGraw-Hill, Nueva York.
- Automotive Industry Action Group (1995). *Statistical Process Control*, AIAG, Southfield, MI.
- Precontrol: Ledolter, J. y A. Swersey (1997). "An Evaluation of PRE-Control", *Journal of Quality Technology*, vol. 29, núm. 2, pp. 163-171.
- Stener, S. H. (1997). "PRE-Control and Some Simple Alternatives", *Quality Engineering*, vol. 10, núm. 1, pp. 65-74.
- Gráficas *p*: Heyes, G. B. (1988). "Do We Need New Machines? A p-Chart Regression Study", *Quality Engineering*, vol. 1, núm. 1, pp. 13-28.

LECTURAS COMPLEMENTARIAS ADICIONALES

Citas	Resumen
American Health Consultants, Inc. (2004). "Control Charts: Valuable Quality Tools If You Know Why, When to Use: Not Every Process is an Appropriate Target", <i>HealthCare Benchmarks and Quality Improvement</i> , vol. 11, núm. 1, pp. 1-6.	Aplicación del control estadístico de proceso a la salud industrial.
Hart, M. K. y R. F. Hart (2002). <i>Statistical Process Control for Health Care</i> , Duxbury, Pacific Grove, CA.	Libro de texto sobre SPC para el cuidado de la salud. El documento es la revisión de un libro (Nelson, L. S. [2003]. Revisión del texto "Statistical Process Control for Health Care" de M. K. Hart y R. F. Hart, <i>Journal of Quality Technology</i> 35, pp. 232-233).
Krishnamoorthi, K. S. y S. Khatwani (2000). "A Capability Index for All Occasions", <i>Quality Congress</i> , pp. 77-81.	Desarrollo de un índice de capacidad con base en la distribución Weibull, apropiada para datos no normales.
Mitchell, G. L. (2000). "A Quality Process Approach to Internal Complaint System Analysis", <i>Quality Congress</i> , pp. 791-798.	Aplicación de control estadístico de proceso a datos sobre quejas.

Citas

- Nocera, D. (2002). "Statistical Process Management: The Implementation of a Web-Based Process Control System That Drives Significant Cost, Quality and Delivery Gains in a Large-Scale Manufacturing Environment", *Annual Quality Congress Proceedings*, pp. 7-70.
- Wise, S. (2003). "SPC Tools Not Found in Text Books", *Annual Quality Congress Proceedings*, 57:263-269.

Resumen

- Sistema de Control Estadístico de Proceso en Lucent. Enfoque, resultados y métodos de análisis.
- Cuatro gráficas de control especiales (3d, grupo, objetivo y control económico).

SITIOS WEB

- División de estadística de la ASQ: www.asq.org/perl/index.pr?g=statistics
- Recursos y sitios web sobre estadística: <http://my.execpc.com/~helberg/statistics.html>
- Calculadoras y herramientas estadísticas en línea: <http://members.aol.com/johnp71/javastat.html>
- Vínculos a artículos, series de datos, textos en línea y cursos sobre estadística: <http://www.emtech.net/statistics.htm>

Apéndice I

PROBLEMAS COMPLEMENTARIOS AL USAR MINITAB

CAPÍTULO 3: MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD Y REDUCCIÓN DE COSTOS

1. Un banco que investigaba problemas en transferencias de cuentas recopiló datos de 100 pedidos y estratificó los errores por centro de costos y categorías. ¿Qué conclusiones se pueden sacar en cuanto a las áreas de mayores problemas?

(nombre del archivo: Gryna & Chua.MPJ, columnas C22, C23, C24)

2. Una empresa que busca mejorar su proceso de cumplimiento de pedidos de trabajo recopiló datos de tales pedidos consecutivos para determinar qué departamentos y qué tipos de pedidos de trabajo contribuían en mayor medida a la carga laboral global. ¿Qué se puede concluir de los datos recopilados? ¿Qué departamentos y tipos de pedidos de trabajo se deben investigar más?

(nombre del archivo: Gryna & Chua.MPJ, columnas C26, C27, C28)

CAPÍTULO 15: INSPECCIÓN, PRUEBAS Y MEDICIÓN

1. Una empresa farmacéutica lleva a cabo una inspección manual al 100 por ciento de los frascos de cristal entrantes antes de llenarlos. Esto se hace porque los defectos encontrados después de llenar los frascos con un medicamento son bastante costosos, ya que el producto debe desecharse. A la empresa le gustaría determinar si sería más rentable un procedimiento de muestra. Los tipos principales de defectos marcados fueron rajaduras, pinchos y defectos de fabricación (hebras delgadas que se extienden de un lado a otro). Los parámetros son:

Número de artículos en un lote	10 000
Número de artículos en una muestra	1 000
Proporción defectuosa en un lote	<i>Calcular a partir de los datos</i>

Costo por daños incurridos si los errores defectuosos pasan la inspección	\$3 250
Costo de inspección por artículo	\$1.20
Probabilidad de que el lote sea aceptado por el plan de muestra	.96

Calcule el costo total de no inspeccionar, el de la muestra y el de una inspección del 100 por ciento. ¿Cuál es el punto de equilibrio? ¿Cuál es su recomendación? ¿Cambiaría su conclusión si se instalara un sistema de inspección automatizada que disminuyera los costos de inspección a la mitad (a \$0.60 por frasco; con todos los demás parámetros permaneciendo constantes)?

(*Gryna 022805.MPJ; C6-T, Estatus de los frascos —Vial Status*)

- Una pipeta es un instrumento utilizado para transferir pequeños volúmenes de líquido de un recipiente a otro con gran precisión y exactitud. Una bióloga molecular sospecha que los malos resultados de los experimentos pueden ser provocados por una pipeta defectuosa, pero no sabe cuál de las tres pipetas pueda ser. Las tres (en unidades de 1 000 μl , 200 μl y 20 μl ; las designaciones indican el volumen máximo previsto) se prueban en ajustes para dispensar la mitad del volumen máximo clasificado (es decir, 500, 100 y 10 μl , respectivamente). Ella toma treinta mediciones para cada pipeta. ¿Cuál de ellas tiene el mayor sesgo sobre una base de porcentajes? ¿Cuál es la precisión de cada unidad (reportada como una desviación estándar)?

(*Gryna 022805.MPJ; Columnas C8-C10; 100 ul, 200 ul, 20 ul*)

- La científica también sospecha que la pipeta de 1 000 μl puede no ser tan exacta con volúmenes menores y que debería usar la pipeta de 250 μl para volúmenes de 250 μl o menores. Prepare un diagrama de dispersión de los datos comparando los volúmenes reales dispensados frente al ajuste del volumen de la pipeta. ¿La sospecha es correcta?

(*Gryna 022805.MPJ; Columnas C11-C12; Volumen ajustado, Volumen dispensado*)

- Un equipo de proyectos investigaba el proceso de lijado de una operación de terminado de madera. A los componentes del laminado (madera dura) se les hacía pasar por una operación de lijado. A veces, había lugares en los componentes donde todo el material laminado era retirado para exponer la tabla de fibra subyacente. Este defecto era conocido como un lijado en exceso. El equipo quería explorar la capacidad de los operadores para distinguir un lijado en exceso de manera consistente y precisa. Utilice los siguientes datos para determinar si el equipo puede tener confianza en los resultados de los operadores.

(*nombre del archivo: Sand Through Attribute Gage Study.mpj*)

Muestra	Atributo (Experto)	Inspector 1		Inspector 2	
		Prueba 1	Prueba 2	Prueba 1	Prueba 2
1	va	va	va	va	va
2	no	no	no	no	no
3	no	no	no	no	no
4	no	no	no	no	no
5	no	no	no	no	no
6	no	no	no	no	no
7	no	no	no	no	no
8	no	no	no	no	no
9	no	no	no	no	no
10	no	no	no	no	no
11	no	no	no	no	no
12	no	no	no	no	no
13	no	no	no	no	no

14	no	no	no	no	no
15	va	va	va	va	va
16	va	va	va	va	no
17	va	no	no	no	va
18	no	no	no	no	no
19	va	va	va	va	va
20	no	no	no	no	no

5. El lijado de los componentes de madera a menudo se hace en una máquina llamada Lijadora Timesaver. La superficie de referencia es la correa plana que lleva el producto al área de lijado. Para un lijado uniforme de la superficie de la madera la parte debe quedar tendida razonablemente plana sobre la correa de la Timesaver. A intervalos regulares, se checa qué tan plano está en una estación de inspección antes del lijado. El equipo del proyecto que investiga si lo plano del producto podría estar llevando a defectos decidió verificar la capacidad de medición de lo plano. Los datos que se dan a continuación provienen de su estudio. Decida si el equipo tiene un problema en el sistema de medición y qué debería hacerse al respecto.

Número de parte	Curt	Michelle	Sherrie
1	1.10	1.10	1.15
1	1.10	1.10	1.15
2	1.35	1.30	1.30
2	1.35	1.40	1.30
3	1.20	1.20	1.15
3	1.10	1.20	1.15
4	1.00	1.00	1.00
4	1.00	1.00	1.00
5	0.75	0.85	0.85
5	0.70	0.85	0.85
6	0.70	0.65	0.80
6	0.50	0.75	0.70
7	1.50	1.55	1.45
7	1.45	1.50	1.45
8	0.20	0.20	0.00
8	0.10	0.20	0.20
9	1.10	1.20	1.10
9	1.10	1.25	1.15
10	1.35	1.35	1.30
10	1.40	1.40	1.29

(nombre del archivo: *Flatness Gage.mpj*)

CAPÍTULO 17: CONCEPTOS BÁSICOS DE ESTADÍSTICA Y PROBABILIDAD

1. Los portaobjetos de cristal utilizados en los microscopios deben tener un grosor uniforme para mantener las propiedades ópticas. Una empresa que fabricaba los portaobjetos sospechaba que los estaba produciendo de una manera que no era tan uniforme como deseaba. Dadas 100 medidas del grosor de los portaobjetos,
- Resuma los datos en forma tabular.
 - Resuma los datos en forma gráfica.
 - Establezca sus conclusiones referentes al proceso de fabricación.

(nombre del archivo: *Gryna & Chua.MPJ*, columna C1)

2. Un publicista de exteriores interesado en disminuir los costos de impresión de los espectaculares, a la vez que mantiene la calidad del color, probó tres nuevos tipos de tinta junto con su tinta actual. Se registró el número de horas para alcanzar un punto establecido de calidad bajo condiciones aceleradas de fotoblanqueado para cada tipo de tinta.
- Genere *boxplots* (o gráficos de clasificación) para los datos.
 - ¿Qué conclusiones se pueden sacar según el despliegue gráfico?
- (nombre del archivo: *Gryna & Chua.MPJ*, columnas C6, C7)
3. Una empresa que fabrica autoclaves de paso para esterilización por calor de equipos de hospital recibió quejas de que no se mantenía la presión dentro de la cámara de uno de sus modelos. Los ingenieros de diseño sospecharon que el problema se originaba en un nuevo tipo de junta usado para sellar la puerta de salida. Para probar esta hipótesis, los ingenieros probaron los dos tipos de juntas y obtuvieron la presión (kgf/cm²) a la que las juntas fallaban bajo la temperatura constante más alta.
- Prepare *boxplots* para los datos.
 - ¿Apoyan los datos el análisis? ¿Por qué?
- (nombre del archivo: *Gryna & Chua.MPJ*, columnas C9, C10)
4. Un productor de cereal seco tiene una máquina para llenar cajas que después se venden por peso. La máquina se reajusta dependiendo del tipo de cereal (hojuela, inflado), pero todas las cajas se llenan con una especificación de peso de 16 onzas \pm 0.05 onzas. Se recopilieron datos a través de varias corridas de los dos tipos de cereal.
- ¿Se distribuyen normalmente los pesos?
 - ¿Cuáles son las medias y las desviaciones estándar del peso?
 - ¿Qué porcentaje de cada tipo no cumplirá la especificación del peso?
 - ¿Recomendaría algún cambio en el proceso de llenado? Si es así, ¿cuál sería?
- (nombre del archivo: *Gryna & Chua.MPJ*, columnas C3, C4)

CAPÍTULO 18: HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

1. La Asociación de Golf de Estados Unidos (*United States Golf Association*, USGA) pone limitaciones a la masa y tamaño de las pelotas de golf. La masa de la pelota no debe exceder 1.620 onzas (0.04593 kg) y debe tener un diámetro mínimo de 1.680 pulgadas. Un fabricante de pelotas de golf tomó una muestra aleatoria de 1 000 pelotas de su línea de producción y midió el peso y el diámetro.
- ¿Qué proporción de pelotas de la muestra no cumplirá la especificación del peso?
 - ¿Y la especificación del diámetro?
 - ¿Y ninguna de ambas especificaciones?
- (nombre del archivo: *Gryna & Chua.MPJ*, columnas C30, C31)
2. La USGA también regula el coeficiente de restitución (COR) de la pelota. Un COR de 0.8 significa que si una pelota se deja caer desde una altura de 10 pies, rebotará a una altura de 8 pies. A través del proceso de adaptación de impedancias, se puede ajustar la cara del bastón y la dureza de la pelota para lograr un COR específico. Recientemente, un fabricante de pelotas de

golf cambió el diseño de éstas para reducir la variación en el COR. Dados los diseños nuevos y originales de las pelotas:

- a) ¿Tuvo éxito la empresa al momento de reducir la variación del COR (suponiendo condiciones idénticas en pruebas de la cara del bastón)?
- b) ¿Cumple el nuevo diseño el objetivo de desviación estándar de 0.00230?
- c) ¿Qué proporción de las pelotas de muestra de los diseños nuevos y originales exceden el límite COR de 0.83?

(nombre del archivo: Gryna & Chua.MPJ, columnas C32, C33)

3. Un penetrómetro es un artefacto usado para medir la firmeza de la fruta. Una empresa horticultora ha desarrollado una nueva variedad de tomate que cree que es más firme y, por lo tanto, más adaptable para envíos en contenedores de menor costo y menos protectores. Se recopilaron las medidas de firmeza (fuerza en kilos necesaria para penetrar la cáscara con una punta de 0.8 cm) en una muestra aleatoria de 75 tomates en la etapa de madurez del desarrollo de la fruta de la variedad antigua y nueva (una medida por fruta).
 - a) Formule una hipótesis para evaluar la afirmación.
 - b) Evalúe la afirmación usando un enfoque estándar de prueba de hipótesis.
 - c) Evalúe la afirmación usando el enfoque de límite de confianza.

(nombre del archivo: Gryna & Chua.MPJ, columnas C36, C37)

4. Una empresa de semillas que probaba las condiciones de germinación para nuevas variedades de algodón obtuvo datos del número de días requeridos para la germinación, al 50 por ciento, bajo condiciones estándar controladas. Los datos se recopilaron de 40 muestras de semillas para cada una de las cuatro variedades.
 - a) Grafique los datos. ¿Qué conclusiones se pueden sacar?
 - b) Realice un ANOVA (análisis de la varianza) para los datos.
 - c) ¿Hay alguna diferencia significativa en el tiempo de germinación entre las variedades probadas?

(nombre del archivo: Gryna & Chua.MPJ, columnas C12-15)

5. Las canicas se clasifican de acuerdo con su tamaño; el tamaño promedio tiene un diámetro de aproximadamente $5/8$ de pulgada en el punto más ancho. Las canicas más grandes se llaman bombachas, y aquellas que miden aproximadamente $1/2$ pulgada y las de menor diámetro son comúnmente llamadas “pingüicas”. Históricamente, las canicas pingüicas eran el resultado de errores durante las corridas de producción de canicas estándar y bombachas. Suponiendo que se tomaran al azar 50 canicas de muestra de un lote de producción:
 - a) ¿Qué proporción de canicas tendría un diámetro de $1/2$ pulgada o menos?
 - b) ¿Cuáles son los límites de 95 por ciento de confianza para la fracción de población de pingüicas (defectuosas) basados en esta muestra?

(nombre del archivo: Gryna & Chua.MPJ, columna C17)

6. El periodo “de intervalo” de un herbicida es el tiempo entre la aplicación y el punto en que la precipitación o irrigación no reduce el desempeño del producto. Hay disponibles diversos reforzadores para ayudar a esparcir y pegar el producto a la superficie de una hoja. Una empresa de pesticidas asegura que su nuevo surfactante no iónico reducía el periodo de intervalo de 6 a 4 horas para un gran herbicida comercial. Para probar esta afirmación, un competidor

llevó a cabo un estudio controlado y midió el número de horas requerido para el grado del periodo de intervalo del producto, con y sin reforzador.

- a) Grafique los datos.
- b) ¿Apoyaron los datos la afirmación de la empresa de una reducción en el periodo de intervalo con el uso del reforzador?
- c) ¿Apoyaron los datos la afirmación de la empresa de un periodo de intervalo de 4 horas?

(*nombre del archivo: Gryna & Chua.MPJ, columnas C19, C20*)

7. Las bacterias resistentes a múltiples fármacos (MDR, por sus siglas en inglés) son un problema de salud cada vez mayor. Los hospitales son una fuente significativa de resistencia a los fármacos y pueden facilitar la propagación de bacterias resistentes a éstos a través de los sistemas de eliminación de residuos. Un estudio hipotético examinó la cuenta bacteriana MDR (unidades que forman colonias por ml, o CFU/ml) de las aguas residuales de hospitales y residencias particulares en tres estados diferentes. ¿Qué conclusiones se pueden sacar respecto a la incidencia de bacterias MDR entre los hospitales? ¿Y entre las residencias?

(*Gryna 022805.MPJ, columnas C22-24, Fuente, Estado, CFU/ml [Source, State, CFU/ml]*)

8. Para el año que viene, el gerente de la sala de correo quería determinar el nivel de su dotación de personal. Había estado recibiendo algunas quejas sobre retrasos en el correo y quería asegurarse de que tenía los recursos adecuados. Su primer análisis fue monitorear su carga de trabajo para ver cómo se comparaba con los pronósticos. Su plan de recursos usaba 3 500 piezas por día como máximo. Recopiló datos diarios durante tres semanas. ¿Qué se puede decir de la carga de trabajo proyectada?

(*nombre del archivo: Transactional.mtw, columna C1*)

9. El departamento de empaquetado de un almacén de libros era evaluado por su desempeño en relación con el objetivo. Se esperaba que el número promedio de pedidos procesados por persona al día fuera de 28. Se seleccionaron veinte personas al azar y se registró el número de pedidos procesados. ¿Se puede concluir que el departamento de empaquetado está cumpliendo su objetivo?

(*nombre del archivo: Transactional.mtw, columna C3*)

10. Durante un juego de las ligas mayores de béisbol, se pierden muchas pelotas entre el público o son retiradas del juego por otras razones. Al alistarse para un juego de ligas mayores de béisbol, los árbitros tienen que preparar un cierto número de pelotas antes del partido. La liga ha determinado que el número de pelotas a preparar sea de 40, para asegurar una confiabilidad del 95 por ciento de que tendrán suficientes para cualquier juego. Esto se basó en un número promedio de 32 pelotas perdidas y una desviación estándar de 4. Según los datos más recientes de 40 juegos, ¿son suficientes 40 pelotas para completar el 95 por ciento de los juegos sin que se acaben? ¿Cuántas tendrían que preparar para estar confiados en un 99 por ciento de que no se les terminarán?

(*nombre del archivo: Transactional.mtw, columna C5*)

11. La oficina de correos cobra 37 centavos por entregar una carta. Se supone que cada carta pesa 1 onza. Los funcionarios de la oficina de correos decidieron determinar la tasa de cumplimiento

con la especificación de 1 onza. Para hacerlo, tomaron 100 cartas con una estampilla de 37 centavos pegada. ¿Pueden los funcionarios concluir que el peso promedio de una carta con una estampilla de 37 centavos no es más de 1.49 onzas? Normalmente cobran por la siguiente onza si el peso es de más de 1.5 onzas. ¿Qué porción de cartas se debe regresar por franqueo insuficiente?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, columna C7)

12. Un equipo de proyecto intenta encontrar el factor que tuvo la mayor influencia en el número de llamadas contestadas. Durante un periodo, recopilaron y verificaron datos que cubrían 2 turnos, 2 operadores y 2 procesos. ¿Qué factor tiene el mayor efecto en el número de llamadas procesadas?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, columna C9-C12)

13. Un equipo que trabaja en la exactitud de un inventario quería ver si los cambios que implementó habían tenido un efecto positivo significativo en la exactitud del inventario, según era medido por la auditoría semanal. Cada semana se seleccionan aleatoriamente 100 ubicaciones de inventario y, si el artículo es correcto y la cantidad está dentro del 1 por ciento de la cuenta de la computadora, entonces la ubicación se considera exacta. El equipo tenía datos de 6 semanas desde el principio del proyecto y las 6 semanas más actuales. Cada número es la cantidad de ubicaciones consideradas como exactas por el auditor. ¿Puede el equipo afirmar haber hecho una mejora significativa en la exactitud del inventario?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, columna C14-15)

14. Un equipo de desarrollo de nuevos productos decidió probar la efectividad de dos versiones de un programa CAD que aseguraba encontrar criterios de diseño que no cumplieran con la práctica industrial recomendada. Se seleccionaron doce diseños con varios niveles de complejidad. El equipo de diseño verificaba cada hallazgo como un problema legítimo. ¿Hay alguna diferencia en la efectividad de las dos aplicaciones?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, columna C18-C19)

15. Un equipo de proyectos de una planta encontró que un departamento que corría el mismo proceso en otra era capaz de completar el papeleo requerido en menos tiempo que en la suya. Para probar la teoría de que el diseño de los formatos del papel era un factor crítico, el equipo preparó una prueba. Cinco operadores de cada planta completarían el papeleo para una corrida de producción usando el Diseño A una vez y el Diseño B la siguiente. El orden en que usaron los formatos se dispuso al azar. ¿Hay alguna diferencia en el tiempo requerido para completar la documentación según el diseño?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, C21-C23)

16. Dos personas asignadas para revisar errores en documentos recibieron 12 de éstos completos. Cada revisor examinó los 12 documentos y registró la cuenta de errores. ¿Hay alguna diferencia en la capacidad para identificar errores entre estos dos revisores?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, C25-C27)

17. Una empresa de control de plagas probó un nuevo insecticida para ver su efectividad al matar mosquitos con los siguientes resultados:

	Mosquitos	
	muertos	Sobrevivientes
Fórmula nueva	95	13
Fórmula antigua	81	17
Marca A	73	21
Marca B	72	22

¿Cuál es la conclusión sobre la nueva fórmula?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, C29-C31)

18. Un departamento de compras evaluaba la posibilidad de usar un nuevo proveedor de tarjetas de presentación. Durante un periodo de seis meses, se enviaron pedidos al actual proveedor y a dos propuestos. ¿Debería el departamento de compras hacer el cambio?

Pedido correcto	Pedidos con problemas	
Tarjetas ACME	33	7
Tarjetas Omega	57	16
Proveedor actual	211	18

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, C33-C35)

19. Un equipo de proyectos estaba evaluando el desempeño de los mismos. El equipo recopiló los resultados sobre el éxito relativo de nuevos productos y sus variantes asociadas: tipo de producto, división, región. ¿Depende el éxito de cualquiera de estas variantes asociadas?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, C37-C42)

20. Un equipo de proyectos que examina la efectividad de un *call center* recopiló datos del número de llamadas en relación con la calidad del resultado. Cuando la llamada no llegaba a una conclusión en un tiempo determinado, se calificaba como defectuosa. Los datos se recopilaron durante 4 semanas. ¿Cuál es la ecuación de predicción (regresión)?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, C44-C46)

21. Un equipo de proyectos fue asignado para estudiar el sistema ambiental en un gran edificio de oficinas. Como se esperaba, parecía haber quejas acerca de todo el rango de temperaturas. El equipo tomó algunos datos para ver cómo el número de quejas se relacionaba con la temperatura ambiente. Basado en los datos mostrados, ¿qué recomendaciones podría proponer el equipo?

(nombre del archivo: *Transactional.mtw*, C48-C49)

CAPÍTULO 19: HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS DE DISEÑO PARA LA CALIDAD

1. El equipo hospitalario debe tener una fuente de energía confiable, y lo ideal es que esté protegido ante apagones, repentinos aumentos de energía y energía inestable (sucia), además de la pérdida total de energía. Suponiendo que un Sistema de Energía Ininterrumpida (SPI, por sus siglas en inglés) aprobado por la Administración para Alimentos y Medicamentos (*Food and Drug Administration*, FDA) para un ventilador de pulmón-corazón tiene un tiempo medio entre fallas (MTBF, por sus siglas en inglés) de 100 000 horas. ¿Cuál es la confiabilidad para un periodo de 10 días? ¿De 30 días? ¿Y de 100 y 365 días? Grafique la confiabilidad frente al tiempo. Suponga una distribución exponencial.
2. Un disco duro es un componente esencial de una computadora. Muchos discos duros EIDE de computadora tienen un MTBF de aproximadamente 400 000 horas, mientras que el MTBF para discos SCSI por lo general es más alto, extendiéndose a 1.2 millones de horas. Suponiendo una operación continua, ¿cuál es la probabilidad de que cada tipo de disco funcione sin fallas durante un año? ¿Aproximadamente en qué periodo el 50 por ciento de una población de cada tipo de disco habrá fallado?
3. El Instituto Nacional de Justicia de Estados Unidos establece estándares para la resistencia balística de blindaje para cuerpo. El INJ especifica una profundidad máxima de deformación de 44 mm (1.73 pulgadas) para todos los tipos de blindaje bajo condiciones de prueba prescritas. Suponga especificaciones parciales como las siguientes: un chaleco antibalas tipo II A debe ser resistente a una Magnum 357, de punta blanda encamisada de 158 g, disparada a una velocidad mínima de 381 m/s; un chaleco tipo II es resistente a la misma prueba de munición con una velocidad mínima de 425 m/s. Un fabricante está probando chalecos que pretenden ser de blindaje tipo II y II-A.
 - a) ¿Cuál es el factor de seguridad para el blindaje probado bajo las condiciones de prueba para el tipo II-A?
 - b) ¿Cuál es el factor de seguridad para probar bajo las condiciones de prueba para el tipo II?
 - c) ¿Qué proporción de blindajes fabricados iguala o excede la especificación tipo II-A? ¿Y la especificación tipo II?

(Gryna 022805.MPJ; columnas C1, C2)

4. La FDA aplica estándares de consenso reconocidos cuando evalúa nuevos aparatos médicos. La prueba de estallido por aire es uno de esos estándares aplicados desde finales de la década de 1970 para complementar la antigua prueba de tensión para medir la elasticidad y la fuerza de los condones de látex. Suponiendo que un volumen mínimo de aire de 16 l pasa una inspección, se prueba un proceso de manufactura que produce condones con resultados como los que se muestran. ¿Cuál es el factor de seguridad relativo a la especificación?

(Gryna 022805.MPJ, columna C4)

CAPÍTULO 20: CONTROL DE PROCESO ESTADÍSTICO

1. Los sistemas municipales de transporte público normalmente incluyen múltiples líneas de autobús. Periódicamente, se añaden o eliminan nuevas rutas, así como autobuses adicionales para acomodar los cambios de la demanda. Para facilitar las decisiones sobre el servicio, se

monitoreó una ruta de autobús de la ciudad en días consecutivos durante 1 mes, y se registraron el tiempo total de viaje y la carga de pasajeros para el transcurso de la hora de la comida. Dados los datos, ¿hay alguna evidencia de que el tiempo de viaje está cambiando? ¿Qué se puede decir del número de pasajeros?

(Gryna 022805.MPJ; columnas C14-16; Día, tiempo de viaje, pasajeros) (Day, Travel Time, Passengers)

2. La incidencia de diversos efectos adversos (efectos secundarios) de las vacunas se monitorea rutinariamente mediante el Sistema de Informes de Eventos Adversos de las Vacunas. Dicha vigilancia puede facilitar las tendencias y las decisiones referentes a la administración en poblaciones en riesgo. Dadas las cuentas hipotéticas (suponga un número constante de dosis administradas) de tres tipos de eventos adversos en el tiempo, ¿qué se puede concluir?

(Gryna 022805.MPJ; columnas C27-29; Año, tipo de evento, eventos adversos)(Year, Event Type, Adverse Events)

Apéndice II

EJEMPLOS DEL EXAMEN DE CERTIFICACIÓN. PREGUNTAS Y RESPUESTAS

Estos ejemplos fueron seleccionados de los folletos de certificación de la Sociedad Estadounidense para la Calidad (ASQ, por sus siglas en inglés) para ingeniero de calidad, ingeniero de confiabilidad, gerente de calidad, ingeniero de software de calidad y técnico de calidad. Reproducido con permiso de la ASQ.

Capítulo 1

Ninguno.

Capítulo 2

1. ¿Cuál de los siguientes NO es un uso apropiado de los criterios del Premio Baldrige? *a)* modelo de autoevaluación; *b)* registro del sistema de calidad; *c)* aplicación del premio de calidad; *d)* modelo de sistema de calidad.

Capítulo 3

1. Un director de nivel senior está considerando una inversión de \$10 000 para aumentar la clasificación de calidad de una parte de un equipo del 85 al 95 por ciento y pide al gerente de calidad su opinión. El gerente sabe que el equipo requerirá un aumento del tiempo de montaje, lo que, a su vez, disminuirá su disponibilidad global del 87 al 74 por ciento. En esta situación, ¿de cuál de las siguientes maneras debería responder el gerente de calidad? *a)* apoyar la inversión

- para mejorar la calidad; *b*) analizar con el director la medida de efectividad que resultaría de la inversión; *c*) considerar el valor futuro del costo de esta mejora en la calidad; *d*) determinar los costos del periodo de indisponibilidad requerido para instalar el sistema antes de proceder a implementar la petición.
- Los diagramas de dispersión se describen mejor como: *a*) histogramas; *b*) análisis de correlación; *c*) análisis de Pareto; *d*) diagramas Ishikawa.
 - Una forma, en cualquier formato de diagrama o de tabla, que se prepara de antemano para registrar los datos, se conoce como: *a*) un diagrama de causa y efecto; *b*) una gráfica de Pareto; *c*) un diagrama de flujo; *d*) una hoja de verificación.
 - ¿Cuál de las siguientes herramientas sería la de mayor utilidad para encontrar el camino más eficiente y el programa más realista para la terminación de un proyecto? *a*) diagrama de interrelaciones; *b*) diagrama de red de actividad; *c*) diagrama de árbol; *d*) diagrama de afinidad.
 - ¿Cuál de los siguientes describe mejor una diagnosis? *a*) cualquier estado de inaptitud para uso o de no conformidad con la especificación concreta de la industria; *b*) una afirmación no probada de las razones para la existencia de defectos y síntomas; *c*) una razón probada de la existencia del síntoma como lo ilustraron acontecimientos anteriores; *d*) el proceso de estudiar los síntomas, teorizar sus causas, probar teorías y descubrir causas.
 - ¿En qué etapa del proceso de resolución de problemas es más probable que un equipo use un diagrama de causa y efecto? *a*) descripción del proceso asociado con el problema; *b*) definición del problema y su alcance; *c*) organización de posibles causas del problema; *d*) recopilación de datos para identificar causas reales.
 - Uno de los mejores métodos analíticos para identificar los costos de falla que representan el mayor retorno sobre la prevención por dólar invertido es: *a*) realizar una auditoría financiera interna; *b*) estudiar el reporte de varianza del presupuesto; *c*) aplicar la técnica de la curva de Gompertz; *d*) aplicar el principio de Pareto.

Capítulo 4

- El valor de una garantía excepcional es que: *a*) construye relaciones a largo plazo con el cliente mientras minimiza los defectos; *b*) es posible que todos los clientes la logren; *c*) asegura que los clientes de alta prioridad pagarán la cantidad mínima de dinero; *d*) permite que un proceso C_{pk} esté bajo control.

Capítulo 5

- Una empresa que apoye el concepto de una “relación interna cliente/proveedor” debería requerir: *a*) la medición de qué tan bien cumple el proveedor con las expectativas de los clientes; *b*) la retroalimentación interna del cliente al proveedor a través del departamento de calidad; *c*) que cada trabajador interno sea responsable de satisfacer los requerimientos de los clientes externos; *d*) que cada trabajador sea un cliente para la operación anterior y un proveedor para la operación siguiente.

Capítulo 6

1. Un equipo de mejora de procesos ha estudiado el flujo de producto a través del sistema de producción de la empresa. Para aumentar la producción, la acción más efectiva sería: *a)* acortar el trayecto crítico; *b)* eliminar los cuellos de botella; *c)* reducir los puntos de control de calidad; *d)* cambiar el plan de muestreo.

Capítulo 7

1. Para asegurar el éxito al momento de implementar iniciativas de calidad, el factor más importante es: *a)* una fuerza laboral con facultades; *b)* un programa de capacitación que explique y promueva la iniciativa de calidad; *c)* apoyo de la alta dirección; *d)* un programa de recompensas y reconocimientos.
2. Clasifique por orden, del primero al último, los pasos listados a continuación para el desarrollo de un plan de requerimientos de un empleo para un departamento u organización: (1) hacer una gráfica de la organización; (2) determinar la cantidad de tiempo y las habilidades requeridas para completar las actividades; (3) enlistar todas las actividades requeridas para fabricar el producto final; (4) determinar los productos finales o la producción de la organización; (5) determinar el número de personas y habilidades necesarias. *a)* 1,3,2,4,5; *b)* 1,5,3,2,4; *c)* 3,4,2,5,1; *d)* 4,3,2,5,1.
3. Uno de los medios más efectivos para implementar iniciativas de calidad es que la dirección ejecutiva: *a)* establezca objetivos de calidad vinculados al desempeño organizacional; *b)* realice juntas sobre calidad y demuestre apoyo a las iniciativas; *c)* haga un anuncio público explicando los objetivos de calidad de la empresa; *d)* contrate un consultor para desarrollar un plan de calidad total y guíe su implementación.
4. ¿Cuál de los siguientes es el modo más efectivo para que un gerente de calidad dirija las actividades de trabajo de un departamento de calidad? *a)* llevar a cabo juntas habituales para revisar el desempeño en relación con las metas y objetivos establecidos; *b)* revisar semanalmente los reportes escritos de las actividades presentadas por el cuerpo administrativo; *c)* llevar a cabo juntas periódicas para que circule la información sobre las operaciones que se realizan; *d)* analizar las actividades con los supervisores dentro del departamento.
5. ¿Cuál de los siguientes es el papel más importante para un gerente de calidad? *a)* proporcionar personal a la función de calidad para apoyar los objetivos de calidad establecidos por la empresa; *b)* definir, apoyar plenamente y liderar la política de calidad; *c)* implementar cambios en el sistema de costos de calidad; *d)* examinar el nivel actual de calidad de todos los productos y servicios.

Capítulo 8

1. ¿Cuál de los siguientes enfoques para la planeación de mejora de calidad conecta la calidad y los beneficios? *a)* identificar, analizar y controlar todos los costos de calidad para el negocio; *b)* concentrar los esfuerzos en mejorar las mediciones no financieras de la calidad; *c)* desarrollar un plan estratégico de calidad que tenga objetivos financieros y no financieros y que integre los procesos de planeación financiera y los negocios; *d)* concentrarse en las reformas de las

relaciones gerencia-empleados, en la capacitación de los trabajadores, en los nuevos esquemas de medición y en un aumento de la conciencia de los empleados sobre las actitudes de los clientes.

Capítulo 9

1. La efectividad de la capacitación se puede medir con más precisión por: *a)* capacitadores que consideren su propio desempeño frente a un sistema de graduación desarrollado profesionalmente; *b)* capacitadores que analicen el desempeño laboral de quienes reciben la capacitación antes y después de ésta; *c)* capacitados que utilicen una escala de evaluación para evaluar sus sesiones de capacitación; *d)* supervisores que evalúen la mejora de las habilidades de los empleados al final de la sesión de capacitación.

Capítulo 10

Ninguno.

Capítulo 11

1. Equilibrar un requerimiento de confiabilidad contra otros parámetros de diseño (como desempeño, costo o programa) y después analizar las consecuencias de poner énfasis especial en uno de estos factores se llama: *a)* asignación de confiabilidad; *b)* predicciones de confiabilidad; *c)* decisiones de compensación; *d)* modelación de sistemas.
2. La planeación de confiabilidad de software incluye todos los siguientes, EXCEPTO: *a)* seleccionar modelos para predicción y análisis de datos; *b)* modelar la adquisición de sistemas de software de computadora; *c)* intercambio de programas de propósito general frente a programas comercialmente disponibles; *d)* intercambios que involucran el costo, el programa y la intensidad de fallas de los productos de software.

Las preguntas 3, 4 y 5 se refieren a la siguiente situación: se ha desarrollado una alta incidencia de fallas en la prueba de aceptación de aeronaves durante los últimos meses. La falla identificada es que la luz de un panel de instrumentos ha funcionado mal en seis de las últimas 10 aeronaves probadas. Hay que investigar este problema y completar un sistema de acción correctiva y de reporte de fallas (FRACAS, por sus siglas en inglés) sin detener la producción de aeronaves.

3. El primer paso de la investigación debería ser: *a)* recopilar datos adicionales sobre sucesos similares en los últimos 2 años; *b)* llevar a cabo un análisis de fallas para determinar el modo y mecanismo de ésta; *c)* realizar pruebas de vigilancia en los componentes sospechosos; *d)* establecer un equipo interdisciplinario para hacer una lluvia de ideas sobre la causa y el efecto.
4. Si se determina que la causa de la falla es un subensamblado defectuoso de manufactura de un único proveedor y esta situación amenaza con detener la producción de las aeronaves, el paso siguiente debería ser: *a)* visitar al proveedor para ayudarlo a determinar la raíz del problema; *b)* iniciar una acción correctiva del proveedor y devolver todo el inventario no cla-

- sificado; *c*) emitir una alerta al Programa de Intercambio de Datos de la Industria y el Gobierno (GIDEP, por sus siglas en inglés); *d*) actualizar la instrucción de inspección y recapacitar la inspección de recepción.
5. Si se envió una notificación de acción correctiva al proveedor de un subensamblaje defectuoso y su respuesta asegura que la causa es simplemente un error de operación, el siguiente paso debería ser: *a*) aceptar la respuesta y cerrar el FRACAS; *b*) visitar al proveedor para desarrollar un mejor entendimiento de la causa de origen; *c*) emitir una alerta al Programa de Intercambio de Datos de la Industria y el Gobierno (GIDEP, por sus siglas en inglés); *d*) comenzar a buscar un nuevo proveedor.
 6. ¿Cuál de los siguientes es un uso apropiado para el diseño experimental? *a*) establecer los requerimientos de producto; *b*) desarrollar un análisis de árbol de fallas; *c*) asegurar el diseño robusto de un producto; *d*) analizar los reportes de quejas del cliente.
 7. Según Taguchi, los experimentos diseñados de forma robusta deberían emplear todas las siguientes técnicas, EXCEPTO: *a*) arreglos externos e internos; *b*) relación señal/ruido; *c*) gráficas lineales; *d*) multiplicación de capacidades.
 8. Todos los siguientes son propósitos de una prueba de aseguramiento de la confiabilidad de producción (PRAT, por sus siglas en inglés), EXCEPTO: *a*) detectar cambios significativos entre cómo se construyen los requerimientos de confiabilidad y cómo se diseñan; *b*) evaluar el desempeño frente a los requerimientos de confiabilidad; *c*) evaluar la confiabilidad real del producto frente a los requerimientos de confiabilidad; *d*) minimizar la necesidad de controles específicos de procesos.
 9. ¿Cuáles de los siguientes elementos son importantes para el concepto de riesgo? (I) frecuencia; (II) programa; (III) daño. *a*) solamente I y II; *b*) solamente I y III; *c*) solamente II y III; *d*) I, II y III.
 10. ¿Cuál de las siguientes herramientas se usa para analizar la seguridad de un sistema? *a*) análisis de árbol de fallas; *b*) reporte de fallas y sistema de acción correctiva; *c*) asignación de confiabilidad; *d*) proyección de tensión ambiental.
 11. Las técnicas analíticas de seguridad de sistemas incluyen todos, EXCEPTO: *a*) análisis de riesgos; *b*) análisis de árbol de fallas; *c*) análisis de diagramas lógicos; *d*) revisiones de la preparación del diseño.
 12. La mejor manera de fijar un objetivo de confiabilidad total es: *a*) escribir una especificación que exija que un producto tenga alta confiabilidad e incorporarla en un contrato; *b*) anotar los requerimientos numéricos específicos para la confiabilidad, las declaraciones de ambientes operacionales y una definición del desempeño exitoso del producto; *c*) insistir en que un objetivo sea expresado en términos de tiempo medio entre fallas para todos los componentes y ensambles; *d*) indicar quién sería responsable de la falla si no se obtiene la confiabilidad deseada durante la garantía.
 13. Comparado con el diseño de ingeniería tradicional, el tiempo requerido para hacer un diseño de ingeniería concurrente es: *a*) mayor durante la fase de desarrollo de requerimientos; *b*) menor durante la fase de desarrollo de requerimientos; *c*) mayor durante la fase de implementación; *d*) menor durante la fase de arranque del equipo.
 14. El examen formal, documentado, exhaustivo y sistemático de un diseño que asegura que se cumplan los requerimientos, identifica problemas y propone soluciones, se conoce como: *a*) revisión de calidad; *b*) revisión de diseño; *c*) examen de diseño; *d*) modo de fallas, efecto y análisis crítico.

15. ¿Cuál de los siguientes análisis es mejor para estudiar las fallas potenciales en un sistema?
a) análisis de fallas; *b)* análisis de árbol de fallas; *c)* análisis de asignación de confiabilidad;
d) análisis de Pareto.

Capítulo 12

1. Las auditorías al vendedor usualmente las organiza y coordina el: *a)* departamento de aseguramiento de la calidad; *b)* departamento de manufactura; *c)* departamento de ingeniería; *d)* departamento de compras.

Capítulo 13

1. ¿Cuál de los siguientes es un ejemplo del sistema neurálgico de control de documentos? *a)* los coordinadores del área de control de documentos son responsables de emitir y controlar los documentos de los departamentos de su área; *b)* un coordinador de control de documentos es responsable de establecer e implementar un estándar en toda la empresa para el control de documentos; *c)* se establecen estaciones satélite de documentos por todas las instalaciones; *d)* cada departamento es responsable de emitir y controlar sus propios documentos.
2. ¿Para cuál de los siguientes se diseña un plan de control? *a)* complementar la información contenida en las instrucciones del operador; *b)* apoyar el sistema de programa de producción; *c)* proporcionar un sistema documentado para controlar los procesos; *d)* proporcionar un método para rastrear el proceso de revisión de diseño.
3. ¿De cuál de los siguientes principios de prueba de errores es un ejemplo usar fusibles para circuitos sobrecargados en una computadora? *a)* mitigación; *b)* detección; *c)* facilitación; *d)* reemplazo.
4. Las auditorías de control de procesos se usan para: *a)* ayudar a determinar la capacidad del proceso; *b)* reemplazar sistemas minuciosos y auditorías de procedimientos; *c)* reemplazar auditorías minuciosas de productos en línea; *d)* asegurar que se realiza una mínima auditoría en un producto.

Capítulo 14

Ninguno.

Capítulo 15

1. Un lote de 450 piezas está siendo inspeccionado para atributos, prueba única, inspección normal e inspección general II con un nivel de calidad aceptable (AQL, por sus siglas en inglés) de 1.0, usando la norma ANSI/ASQC Z1.4-1993 (MIL-STD-105E). Al terminar la inspección, se encontraron tres no conformidades. ¿Cuál de las siguientes medidas se debería emprender? *a)* rechazar el lote; *b)* aceptar el lote; *c)* tomar una segunda muestra; *d)* reinspeccionar la muestra.

2. Las no conformidades se identificaron y segregaron durante un cambio de turno en la producción. Al revisarlas, el gerente del siguiente turno determinó que eran mínimas y pidió que el material fuera liberado. ¿Qué medida debería tomarse después? *a)* el material debería liberarse; *b)* todos los grupos involucrados deberían consentir; *c)* se debería obtener la aprobación de ingeniería; *d)* se deberían seguir los procedimientos documentados de la empresa.
3. Al decidir si la inspección de muestreo de una parte sería más económica que hacer una inspección al 100 por ciento, un técnico necesita determinar todos los costos siguientes, EXCEPTO el costo de: *a)* inspeccionar las partes; *b)* pruebas destructivas; *c)* no encontrar partes defectuosas; *d)* mejorar el proceso de producción.
4. Una muestra consiste en una o más unidades del producto sacadas de un lote con base en: *a)* el defecto del producto; *b)* la selección aleatoria; *c)* el tamaño del producto; *d)* cuándo se terminó el proceso de inspección.
5. Una clasificación de defectos es una lista de posibles defectos de productos que se ordenan según: *a)* la aceptabilidad; *b)* la seriedad; *c)* la cantidad; *d)* el tamaño.
6. Se debe usar un muestreo de atributos cuando: *a)* la población contiene atributos; *b)* se tiene que tomar una decisión de sí o no; *c)* la población es variable; *d)* se necesita un plan multietapas de muestreo.
7. ¿Bajo cuál de las siguientes se justifica a menudo la inversión en equipo automatizado de pruebas? *a)* se deben realizar numerosas pruebas; *b)* los tiempos de reparación deben ser cortos; *c)* se requieren registros de conformidad; *d)* se requieren registros que se puedan rastrear.

Capítulo 16

1. Cuando una empresa evalúa su propio desempeño, ¿qué tipo de auditoría realiza? *a)* primera parte; *b)* segunda parte; *c)* tercera parte; *d)* extrínseca.
2. Cuando un equipo auditor concluye que un hallazgo demuestra una avería del sistema de la administración de calidad, ésta se debería documentar como: *a)* una disidencia menor; *b)* una disidencia mayor; *c)* una deficiencia; *d)* una observación.
3. Hay varios tipos de auditorías de aseguramiento de la calidad. ¿Cuál de las siguientes no es un tipo de ellas? *a)* la auditoría del producto; *b)* la auditoría primaria; *c)* la auditoría de proceso; *d)* la auditoría de software.
4. ¿Cuál de los siguientes no es un beneficio de usar listas de verificación al realizar una auditoría? *a)* la lista de verificación es una ayuda útil para la memoria; *b)* la lista proporciona uniformidad al proceso de auditoría; *c)* la lista ayudará a identificar al responsable de las deficiencias; *d)* la lista es una ayuda útil para la capacitación.
5. Considere la afirmación: “Aun cuando se emprenda una acción correctiva inmediata ante un hallazgo durante la auditoría, todas las deficiencias significativas deben detallarse en el reporte por escrito.” Esta afirmación es: *a)* cierta, porque el auditor es responsable de un reporte exacto de todos los hallazgos; *b)* falsa, porque el informe de auditoría debe incluir sólo las deficiencias no resueltas; *c)* falsa, porque la acción correctiva se puede verificar durante la auditoría; *d)* cierta, porque se debe hacer una auditoría de seguimiento en todos los hallazgos.
6. Las calificaciones para un auditor principal deben incluir: *a)* la capacidad de parar respuestas antagonistas; *b)* la capacidad de diferenciar “los pocos vitales de los muchos triviales”; *c)* la experiencia técnica en el campo de la ingeniería que va a ser auditado; *d)* solamente las respuestas *a)* y *b)*.

7. El seguimiento y la liquidación de las acciones correctivas iniciadas por la auditoría las debe realizar: *a)* la junta de acción correctiva (si existe) con la participación de la función auditora; *b)* la función auditora; *c)* la ingeniería de calidad con la participación de la función auditora; *d)* una autoridad definida por la política de la empresa.
8. ¿Cuál de las siguientes es potencialmente la parte más costosa de una auditoría? *a)* el tiempo que le toma al auditor efectuarla; *b)* el tiempo del auditado en la auditoría; *c)* el costo de procesar los reportes de no conformidades; *d)* los costos generados por usar auditores no capacitados o que no se adaptan.
9. El principal propósito del papeleo de trabajo de las auditorías es ofrecer: *a)* evidencia del análisis de control interno; *b)* apoyo para el reporte de auditoría; *c)* una base para evaluar al personal auditor; *d)* una guía para auditorías subsiguientes en la misma área.
10. Las auditorías se deberían programar en relación con: *a)* la disponibilidad de evidencia objetiva; *b)* obtener un muestreo imparcial de evidencia; *c)* el patrón de demanda para los artículos finales; *d)* solamente las respuestas *a)* y *b)*.
11. ¿Cuál de las siguientes actividades refleja mejor el hecho de que la administración sistemática de auditorías de calidad incluya funciones de planificación y control? *a)* verificar la implementación de un sistema de inspección; *b)* establecer un programa de auditoría y preparar una lista de verificación apropiada; *c)* revisar los procedimientos e instrucciones de la auditoría; *d)* determinar la capacidad de rastreo dentro de un sistema de control de cambios.
12. El reporte de auditoría es una importante fuente de información para el cliente del auditor. Muchos auditores pueden estar empleados en auditar departamentos u organizaciones. El supervisor de auditoría debería: *a)* evitar interferir con la auditoría una vez que el auditor haya sido asignado para realizarla y escribir un reporte; *b)* revisar y aprobar el reporte antes de mandarlo al cliente; *c)* decidir sobre la distribución del reporte; *d)* enviar todo el reporte al auditor a cargo de la auditoría de seguimiento.
13. ¿Cuándo se puede suspender una auditoría? *a)* cuando sus objetivos parezcan haberse vuelto inalcanzables; *b)* cuando el auditado rebate observaciones importantes; *c)* tan pronto como parezca que todo está en orden; *d)* una vez que empezó, debe terminar.
14. El auditor siempre debe hacer saber puntualmente al auditado sobre las deficiencias significativas para que éste tenga la oportunidad de tomar medidas correctivas antes de la reunión de postauditoría (si es posible). ¿Cuál de los siguientes no es un fundamento para hacer eso? *a)* le da al auditado la oportunidad de mostrar una preocupación auténtica por la mejora de calidad; *b)* ahorra una nueva auditoría o un seguimiento y, por lo tanto, también tiempo y dinero; *c)* permite al auditor omitir las deficiencias durante la reunión postauditoría; *d)* muestra que la auditoría puede dar resultados.
15. Una vez que los auditores reportan las deficiencias que aún no se han corregido, su papel debería ser: *a)* asegurarse de que se realicen correctamente las acciones correctivas; *b)* dejar todas las acciones posteriores en manos del auditado; *c)* evaluar la acción correctiva después de que tuvo lugar; *d)* informar a la alta dirección del auditado de que ella debería monitorear la acción correctiva.

Capítulo 17

1. Weibull es una forma de analizar datos de campo o datos de pruebas de intervalo rápida y fácilmente. Los límites del uso de esta técnica incluyen tener un buen cálculo para: *a)* MTBF; *b)* vida esperada; *c)* parámetro de forma; *d)* calidad promedio de los lotes de producción.

2. Se ha encontrado una distribución de Weibull para describir la distribución de confiabilidad con la vida característica = 12 000 horas y parámetro de forma $\beta = 2.2$. Si éstos son buenos parámetros, ¿en qué momento disminuirá la confiabilidad a .85? a) 2 204 horas; b) 3 503 horas; c) 4 838 horas, d) 5 254 horas.
3. ¿Cuál de las siguientes pruebas se puede usar para determinar si una muestra proviene de una población con una distribución exponencial? a) t ; b) F ; c) chi-cuadrado; d) ANOVA.
4. Un inconveniente principal de usar histogramas en el control de procesos es que: a) no cuentan fácilmente para el factor de tiempo; b) son relativamente difíciles de construir e interpretar; c) requieren demasiados puntos de datos; d) requieren demasiados intervalos.
5. La validez estadística implica que: a) se pueden sacar conclusiones significativas a partir de los datos; b) hay una derivación matemática detrás de la técnica usada; c) se debe usar la norma ANSI/ASQC Z1.4-1993; d) se obtuvo la muestra de manera aleatoria.

Capítulo 18

1. En un análisis de varianza, ¿cuál de las siguientes distribuciones es la base para determinar si los cálculos de la varianza son todos de la misma población? a) chi cuadrada; b) t del estudiante; c) normal; d) F .
2. Un diseño factorial completo de experimentos tiene cuatro factores. El primero tiene dos niveles; el segundo, tres; el tercero, dos, y el cuarto, cuatro. ¿Cuántas corridas se necesitan para el análisis? a) 16; b) 48; c) 192; d) 256.
3. El coeficiente de correlación para la longitud y peso de unidades hechas por un proceso es 0.27. Si el proceso se ajustara para reducir el peso de cada unidad en 0.5 onzas, el coeficiente de correlación de la longitud y peso de las unidades realizadas por el nuevo proceso será igual a: a) 0.50; b) 0.27; c) 0.23; d) -0.23.
4. Un fabricante de aparatos de aire acondicionado quiere calcular la vida media (años desde la instalación hasta el reemplazo) de sus unidades. El nivel de error se fija en 0.5 años, se selecciona una probabilidad deseada $(1 - \alpha)$ del 95 por ciento, y la desviación estándar de la vida de la unidad se da como de 6.0 años. Si la vida de la unidad se distribuye normalmente, entonces el tamaño requerido de la muestra para el cálculo deseado es: a) 283; b) 291; c) 554; d) 585.
5. El valor correcto para la frecuencia esperada de la célula I en la tabla de contingencia es: a) 28; b) 42; c) 52; d) 78.

Resultado	Alternativa		Total
	A	B	
X	I	II	80
Y	III	IV	120
Total	130	70	200

6. Lo más apropiado es usar una prueba t como prueba de hipótesis para comparar: a) las varianzas de dos distribuciones; b) las desviaciones estándar de dos distribuciones; c) las medias de dos distribuciones; d) las medianas de dos distribuciones.

Capítulo 19

1. ¿Cuál de los siguientes es mejor definido como la práctica de usar componentes y subsistemas paralelos? *a)* capacidad de mantenimiento; *b)* confiabilidad; *c)* optimización; *d)* redundancia.
2. El tiempo de vida de un elevador mecánico se distribuye normalmente con una media de 100 horas y una desviación estándar de 3 horas. ¿Cuál es la confiabilidad del elevador en 106 horas? *a)* .0228; *b)* .0570; *c)* .9430; *d)* .9772.
3. En términos de ingeniería de contabilidad, el índice de fallas es el recíproco de: *a)* el tiempo medio de reparación; *b)* el tiempo medio entre fallas; *c)* la efectividad del sistema; *d)* la probabilidad de fallas.
4. ¿Cuál de las siguientes NO es considerada una buena práctica en el diseño de confiabilidad? *a)* usar partes probadas; *b)* usar diseño de series; *c)* usar modo de fallas y análisis de efectos (FMEA); *d)* simplificar la configuración del artículo.
5. ¿Cuál de las siguientes mediciones se puede usar para encontrar una rápida aproximación de la disponibilidad de un sistema? *a)* tiempo medio para el fracaso (MTTF, por sus siglas en inglés) y tiempo medio de reparación (MTTR, por sus siglas en inglés); *b)* índice de fallas y modo de fallas; *c)* tiempo de misión e índice de fallas; *d)* tiempo de indisponibilidad y tiempo de reparación.
6. Para una empresa que opera múltiples unidades de equipo de producción, el índice observado de fallas es 42×10^6 fallas por hora de operación, y el índice de mantenimiento preventivo es 320×10^6 acciones por hora. ¿Cuál es el tiempo medio entre el mantenimiento correctivo y el preventivo (MTBM)? *a)* 2 688.2 horas; *b)* 2 762.4 horas; *c)* 2 840.9 horas; *d)* 26 935.0 horas.
7. Un dispositivo de encendido/apagado se prueba hasta que falla. Si X es el número de pruebas hasta la primera falla sin desgaste y la probabilidad de éxito de cada prueba es .99, entonces la probabilidad de que X sea mayor que 5 es: *a)* .9310; *b)* .9410; *c)* .9510; *d)* .9610.
8. Un sistema se compone de cuatro unidades paralelas que tienen una confiabilidad de .80 cada una. El sistema puede completar todavía su misión con sólo dos unidades en funcionamiento. Si el índice de fallas es constante y las fallas son independientes, entonces la confiabilidad del sistema será: *a)* .4096; *b)* .5376; *c)* .8192; *d)* .9728.
9. Se da una prueba de crecimiento de la confiabilidad en progreso que ha acumulado cuatro fallas durante 5 000 horas de prueba. Suponga un índice de crecimiento de 0.3. ¿Cuál es el MTBF esperado en 25 000 horas? *a)* 1 250 horas; *b)* 1 895 horas; *c)* 2 026 horas; *d)* 3 856 horas.
10. Un sistema de entrada de datos se compone de una terminal de entrada y de un sistema anfitrión. La confiabilidad de 8 horas de la terminal es .98, y la confiabilidad de 8 horas del anfitrión es .95. ¿Cuál es la confiabilidad de ocho horas del sistema? *a)* .931; *b)* .965; *c)* .980; *d)* .950.

Capítulo 20

1. ¿Cuáles de las siguientes herramientas son apropiadas para que las use un ingeniero de calidad al momento de calificar un proceso que tiene datos variables?
 - I. Una gráfica de control de \bar{X} y R .
 - II. Histograma.

III. Una gráfica *c*.

IV. Un gráfico *p*.

a) solamente I y II; *b)* solamente II y III; *c)* solamente III y IV; *d)* solamente I, II y IV.

2. Para determinar el número promedio de partes no conformes en el tiempo, ¿cuál de las siguientes gráficas de control de atributos sería la más apropiada? *a)* gráfica *c*; *b)* gráfica *np*; *c)* gráfico *p*; *d)* gráfica *u*.
3. Un torno corta barras de acero para varas cilíndricas. El diámetro y la tolerancia permisible de la vara es 2.000 ± 0.001 pulgadas. Se usa una gráfica de control para monitorear el nivel de calidad del proceso. ¿Cuál de los siguientes diagramas de la gráfica de control podría indicar un problema de desgaste en el torno? *a)* El diámetro de una única vara por encima de 2.001 pulgadas; *b)* el diámetro de una única vara por debajo de 1.999 pulgadas; *c)* una aparente tendencia creciente en los diámetros de las varas; *d)* unas mediciones erráticas de los diámetros de dentro o de fuera de tolerancia.
4. Se usan estudios especiales de procesos que involucran investigación y pruebas para hacer cuáles de las siguientes:

II. Localizar las causas de los productos no conformes.

III. Determinar la posibilidad de mejorar las características de calidad.

IV. Asegurar que la mejora y las actividades correctivas sean permanentes y completas.

V. Aumentar el rendimiento de la producción.

a) solamente I y IV; *b)* solamente II y III; *c)* solamente I, II y III; *d)* solamente II, III y IV.

RESPUESTAS PARA EJEMPLOS DE PREGUNTAS DE EXAMEN PROPORCIONADAS POR LOS FOLLETOS DE CERTIFICACIÓN DE LA ASQ

Capítulo 1:	—						
Capítulo 2:	1 <i>b)</i>						
Capítulo 3:	1 <i>b)</i>	2 <i>b)</i>	3 <i>d)</i>	4 <i>b)</i>	5 <i>d)</i>	6 <i>c)</i>	7 <i>d)</i>
Capítulo 4:	1 <i>a)</i>						
Capítulo 5:	1 <i>d)</i>						
Capítulo 6:	1 <i>b)</i>						
Capítulo 7:	1 <i>c)</i>	2 <i>d)</i>	3 <i>a)</i>	4 <i>a)</i>	5 <i>b)</i>		
Capítulo 8:	1 <i>c)</i>						
Capítulo 9:	1 <i>b)</i>						
Capítulo 10:	—						
Capítulo 11:	1 <i>c)</i>	2 <i>b)</i>	3 <i>b)</i>	4 <i>a)</i>	5 <i>b)</i>	6 <i>c)</i>	
	7 <i>d)</i>	8 <i>d)</i>	9 <i>b)</i>	10 <i>a)</i>	11 <i>d)</i>	12 <i>b)</i>	
	13 <i>a)</i>	14 <i>b)</i>	15 <i>b)</i>				
Capítulo 12:	1 <i>d)</i>						
Capítulo 13:	1 <i>b)</i>	2 <i>c)</i>	3 <i>a)</i>	4 <i>a)</i>			
Capítulo 14:	—						
Capítulo 15:	1 <i>a)</i>	2 <i>d)</i>	3 <i>b)</i>	4 <i>d)</i>	5 <i>b)</i>	6 <i>b)</i>	7 <i>a)</i>

Capítulo 16:	1a)	2b)	3b)	4c)	5a)	6d)	7b)
	8d)	9b)	10d)	11b)	12b)	13a)	14c)
	15c)						
Capítulo 17:	1c)	2d)	3c)	4a)	5a)		
Capítulo 18:	1d)	2b)	3b)	4c)	5c)	6c)	
Capítulo 19:	1d)	2a)	3b)	4b)	5a)	6b)	7c)
	8d)	9c)	10a)				
Capítulo 20:	1a)	2b)	3c)	4c)			

Apéndice III

TABLAS

Tabla A: Distribución normal.

Tabla B: Valores de la distribución exponencial $e^{-X/\mu}$, para diferentes valores de X .

Tabla C: Distribución Poisson.

Tabla D: Distribución de t .

Tabla E: Distribución de χ^2 .

Tabla F: Cinturones de 95% de confianza para proporciones poblacionales.

Tabla G: Distribución de F .

Tabla H: Factores de tolerancia para distribuciones normales (dos colas).

Tabla I: Factores de gráficas de control para \bar{X} y R ; factores para estimar s y R .

Tabla J: Hoja Weibull.

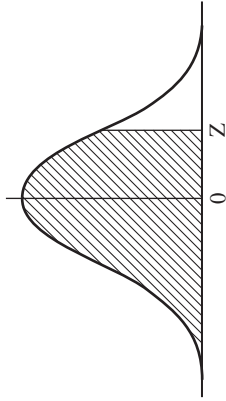


TABLA A
Distribución normal

Proporción del área total bajo la curva de $-\infty$ a $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$. Para ilustrar: cuando $Z = 2$, la probabilidad de obtener un valor igual o menor que X es 0,9773.

Z	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02	0.01	0.00
-3.0	.00100	.00104	.00107	.00111	.00114	.00118	.00122	.00126	.00131	.00135
-2.9	.0014	.0014	.0015	.0015	.0016	.0016	.0017	.0017	.0018	.0019
-2.8	.0019	.0020	.0021	.0021	.0022	.0023	.0023	.0024	.0025	.0026
-2.7	.0026	.0027	.0028	.0029	.0030	.0031	.0032	.0033	.0034	.0035
-2.6	.0036	.0037	.0038	.0039	.0040	.0041	.0043	.0044	.0045	.0047
-2.5	.0048	.0049	.0051	.0052	.0054	.0055	.0057	.0059	.0060	.0062
-2.4	.0064	.0066	.0068	.0069	.0071	.0073	.0075	.0078	.0080	.0082
-2.3	.0084	.0087	.0089	.0091	.0094	.0096	.0099	.0102	.0104	.0107
-2.2	.0110	.0113	.0116	.0119	.0122	.0125	.0129	.0132	.0136	.0139
-2.1	.0143	.0146	.0150	.0154	.0158	.0162	.0166	.0170	.0174	.0179
-2.0	.0183	.0188	.0192	.0197	.0202	.0207	.0212	.0217	.0222	.0228
-1.9	.0233	.0239	.0244	.0250	.0256	.0262	.0268	.0274	.0281	.0287
-1.8	.0294	.0301	.0307	.0314	.0322	.0329	.0336	.0344	.0351	.0359
-1.7	.0367	.0375	.0384	.0392	.0401	.0409	.0418	.0427	.0436	.0446
-1.6	.0455	.0465	.0475	.0485	.0495	.0505	.0516	.0526	.0537	.0548
-1.5	.0559	.0571	.0582	.0594	.0606	.0618	.0630	.0643	.0655	.0668
-1.4	.0681	.0694	.0708	.0721	.0735	.0749	.0764	.0778	.0793	.0808
-1.3	.0823	.0838	.0853	.0869	.0885	.0901	.0918	.0934	.0951	.0968
-1.2	.0985	.1003	.1020	.1038	.1057	.1075	.1093	.1112	.1131	.1151
-1.1	.1170	.1190	.1210	.1230	.1251	.1271	.1292	.1314	.1335	.1357

-1.0	.1379	.1401	.1423	.1446	.1469	.1492	.1515	.1539	.1562	.1587
-0.9	.1611	.1635	.1660	.1685	.1711	.1736	.1762	.1788	.1814	.1841
-0.8	.1867	.1894	.1922	.1949	.1977	.2005	.2033	.2061	.2090	.2119
-0.7	.2148	.2177	.2207	.2236	.2266	.2297	.2327	.2358	.2389	.2420
-0.6	.2451	.2483	.2514	.2546	.2578	.2611	.2643	.2676	.2709	.2743
-0.5	.2776	.2810	.2843	.2877	.2912	.2946	.2981	.3015	.3050	.3085
-0.4	.3121	.3156	.3192	.3228	.3264	.3300	.3336	.3372	.3409	.3446
-0.3	.3483	.3520	.3557	.3594	.3632	.3669	.3707	.3745	.3783	.3821
-0.2	.3859	.3897	.3936	.3974	.4013	.4052	.4090	.4129	.4168	.4207
-0.1	.4247	.4286	.4325	.4364	.4404	.4443	.4483	.4522	.4562	.4602
-0.0	.4641	.4681	.4721	.4761	.4801	.4840	.4880	.4920	.4960	.5000
Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
+0.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
+0.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
+0.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
+0.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
+0.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
+0.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
+0.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
+0.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
+0.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8079	.8106	.8133
+0.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
+1.0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
+1.1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
+1.2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
+1.3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
+1.4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
+1.5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441

(continúa)

TABLA A (continuación)

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
+1.6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
+1.7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
+1.8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
+1.9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
+2.0	.9773	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
+2.1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
+2.2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
+2.3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
+2.4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
+2.5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
+2.6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
+2.7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
+2.8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
+2.9	.9981	.9982	.9983	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
+3.0	.99865	.99869	.99874	.99878	.99882	.99886	.99889	.99893	.99896	.99900

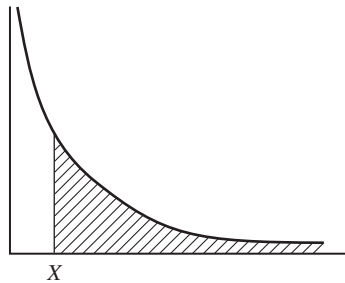
Fuente: Adaptada con permiso de Eugene L. Grant y Richard S. Leavenworth. *Statistical Quality Control*, 4a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1972, pp. 642-643.

Y se puede seguir:

Z	0.00
+4.0	.9999683
+5.0	.9999997133
+6.0	.99999999990

TABLA B
Valores de la distribución exponencial $e^{-X/\mu}$, para diferentes valores de X

Partes fraccionales del área total (1.000) bajo la curva exponencial mayor que X . Para ilustrar: si X/μ es 0.45, la probabilidad de ocurrencia para un valor mayor que X es 0.6376.



$\frac{X}{\mu}$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	1.000	.9900	.9802	.9704	.9608	.9512	.9418	.9324	.9231	.9139
0.1	.9048	.8958	.8860	.8781	.8694	.8607	.8521	.8437	.8353	.8270
0.2	.8187	.8106	.8025	.7945	.7866	.7788	.7711	.7634	.7558	.7483
0.3	.7408	.7334	.7261	.7189	.7118	.7047	.6977	.6907	.6839	.6771
0.4	.6703	.6637	.6570	.6505	.6440	.6376	.6313	.6250	.6188	.6126
0.5	.6065	.6005	.5945	.5886	.5827	.5769	.5712	.5655	.5599	.5543
0.6	.5488	.5434	.5379	.5326	.5273	.5220	.5169	.5117	.5066	.5016
0.7	.4966	.4916	.4868	.4819	.4771	.4724	.4677	.4630	.4584	.4538
0.8	.4493	.4449	.4404	.4360	.4317	.4274	.4232	.4190	.4148	.4107
0.9	.4066	.4025	.3985	.3946	.3906	.3867	.3829	.3791	.3753	.3716
$\frac{X}{\mu}$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
1.0	.3679	.3329	.3012	.2725	.2466	.2231	.2019	.1827	.1653	.1496
2.0	.1353	.1225	.1108	.1003	.0907	.0821	.0743	.0672	.0608	.0550
3.0	.0498	.0450	.0408	.0369	.0334	.0302	.0273	.0247	.0224	.0202
4.0	.0183	.0166	.0150	.0130	.0123	.0111	.0101	.0091	.0082	.0074
5.0	.0067	.0061	.0055	.0050	.0045	.0041	.0037	.0033	.0030	.0027
6.0	.0025	.0022	.0020	.0018	.0017	.0015	.0014	.0012	.0011	.0010

Fuente: Adaptada de S. M. Selby, ed., *CRC Standard Mathematical Tables*, 17a. ed., CRC Press, Cleveland, Ohio, 1969, pp. 201-207.

TABLA C
Distribución Poisson

1 000 × probabilidad de r o menos ocurrencias del evento que tiene un número promedio de ocurrencias igual a np .

$np \backslash r$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.02	980	1 000								
0.04	961	999	1 000							
0.06	942	998	1 000							
0.08	923	997	1 000							
0.10	905	995	1 000							
0.15	861	990	999	1 000						
0.20	819	982	999	1 000						
0.25	779	974	998	1 000						
0.30	741	963	996	1 000						
0.35	705	951	994	1 000						
0.40	670	938	992	999	1 000					
0.45	638	925	989	999	1 000					
0.50	607	910	986	998	1 000					
0.55	577	894	982	998	1 000					
0.60	549	878	977	997	1 000					
0.65	522	861	972	996	999	1 000				
0.70	497	844	966	994	999	1 000				
0.75	472	827	959	993	999	1 000				
0.80	449	809	953	991	999	1 000				
0.85	427	791	945	989	998	1 000				
0.90	407	772	937	987	998	1 000				
0.95	387	754	929	984	997	1 000				
1.00	368	736	920	981	996	999	1 000			
1.1	333	699	900	974	995	999	1 000			
1.2	301	663	879	966	992	998	1 000			
1.3	273	627	857	957	989	998	1 000			
1.4	247	592	833	946	986	997	999	1 000		
1.5	223	558	809	934	981	996	999	1 000		
1.6	202	525	783	921	976	994	999	1 000		
1.7	183	493	757	907	970	992	998	1 000		
1.8	165	463	731	891	964	990	997	999	1 000	
1.9	150	434	704	875	956	987	997	999	1 000	
2.0	135	406	677	857	947	983	995	999	1 000	
2.2	111	355	623	819	928	975	993	998	1 000	
2.4	091	308	570	779	904	964	988	997	999	1 000
2.6	014	267	518	736	877	951	983	995	999	1 000
2.8	061	231	469	692	848	935	976	992	998	999
3.0	050	199	423	647	815	916	966	988	996	999
3.2	041	171	380	603	781	895	955	983	994	998
3.4	033	147	340	558	744	871	942	977	992	997
3.6	027	126	303	515	706	844	927	969	988	996
3.8	022	107	269	473	668	816	909	960	984	994
4.0	018	092	238	433	629	785	889	949	979	992

TABLA C (continuación)

<i>np</i> \ <i>r</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.2	015	078	210	395	590	753	867	936	972	989
4.4	012	066	185	359	551	720	844	921	964	985
4.6	010	056	163	326	513	686	818	905	955	980
4.8	008	048	143	294	476	651	791	887	944	975
5.0	007	040	125	265	440	616	762	867	932	968
5.2	006	034	109	238	406	581	732	845	918	960
5.4	005	029	095	213	373	546	702	822	903	951
5.6	004	024	082	191	342	512	670	797	886	941
5.8	003	021	072	170	313	478	638	771	867	929
6.0	002	017	062	151	285	446	606	744	847	916
	10	11	12	13	14	15	16			
2.8	1 000									
3.0	1 000									
3.2	1 000									
3.4	999	1 000								
3.6	999	1 000								
3.8	998	999	1 000							
4.0	997	999	1 000							
4.2	996	999	1 000							
4.4	994	998	999	1 000						
4.6	992	997	999	1 000						
4.8	990	996	999	1 000						
5.0	986	995	998	999	1 000					
5.2	982	993	997	999	1 000					
5.4	977	990	996	999	1 000					
5.6	972	988	995	998	999	1 000				
5.8	965	984	993	997	999	1 000				
6.0	957	980	991	996	999	999	1 000			
6.2	002	015	054	134	259	414	574	716	826	902
6.4	002	012	046	119	235	384	542	687	803	886
6.6	001	010	040	105	213	355	511	658	780	869
6.8	001	009	034	093	192	327	480	628	755	850
7.0	001	007	030	082	173	301	450	599	729	830
7.2	001	006	025	072	156	276	420	569	703	810
7.4	001	005	022	063	140	253	392	539	676	788
7.6	001	004	019	055	125	231	365	510	648	765
7.8	000	004	016	048	112	210	338	481	620	741
8.0	000	003	014	042	100	191	313	453	593	717
8.5	000	002	009	030	074	150	256	386	523	653
9.0	000	001	006	021	055	116	207	324	456	587
9.5	000	001	004	015	040	089	165	269	392	522
10.0	000	000	003	010	029	067	130	220	333	458

(continúa)

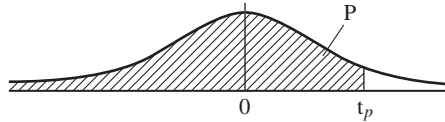
TABLA C (continuación)

$np \backslash r$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
6.2	949	975	989	995	998	999	1 000			
6.4	939	969	986	994	997	999	1 000			
6.6	927	963	982	992	997	999	999	1 000		
6.8	915	955	978	990	996	998	999	1 000		
7.0	901	947	973	987	994	998	999	1 000		
7.2	887	937	967	984	993	997	999	999	1 000	
7.4	871	926	961	980	991	996	998	999	1 000	
7.6	854	915	954	976	989	995	998	999	1 000	
7.8	835	902	945	971	986	993	997	999	1 000	
8.0	816	888	936	966	983	992	996	998	999	1 000
8.5	763	849	909	949	973	986	993	997	999	999
9.0	706	803	876	926	959	978	989	995	998	999
9.5	645	752	836	898	940	967	982	991	996	998
10.0	583	697	792	864	917	951	973	986	993	997
	20	21	22							
8.5	1 000									
9.0	1 000									
9.5	999	1 000								
10.0	998	999	1 000							

Fuente: Adaptada con permiso de E. L. Grant y Richard S. Leavenworth, *Statistical Quality Control*, 4a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, 1972.

TABLA D
Distribución de t

Valor de t correspondiente a ciertas probabilidades seleccionadas (es decir, áreas de la cola bajo la curva). Para ilustrar: la probabilidad de que una muestra con 20 grados de libertad tenga un valor de $t = +2.086$ o menor es 0.975.

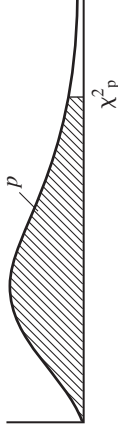


DF	$t_{.60}$	$t_{.70}$	$t_{.80}$	$t_{.90}$	$t_{.95}$	$t_{.975}$	$t_{.99}$	$t_{.995}$
1	0.325	0.727	1.376	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.289	0.617	1.061	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.584	0.978	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.569	0.941	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.559	0.920	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.553	0.906	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.549	0.896	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.546	0.889	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.543	0.883	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.542	0.879	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.540	0.876	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.259	0.539	0.873	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.538	0.870	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.537	0.868	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.536	0.866	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.535	0.865	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.534	0.863	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.534	0.862	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.533	0.861	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.533	0.860	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.532	0.859	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.532	0.858	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.256	0.532	0.858	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.256	0.531	0.857	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.256	0.531	0.856	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.256	0.531	0.856	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.256	0.531	0.855	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.256	0.530	0.855	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.256	0.530	0.854	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.256	0.530	0.854	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.255	0.529	0.851	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.254	0.527	0.848	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.254	0.526	0.845	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617
∞	0.253	0.524	0.842	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576

Fuente: Adaptada con permiso de W. J. Dixon y F. J. Massey, Jr., *Introduction to Statistical Analysis*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, copyright © 1969. Las cifras son originales de la Tabla III de R. A. Fisher y F. Yates, *Statistical Tables*, Oliver & Boyd Ltd., Londres.

TABLA E
Distribución de χ^2

Valores de χ^2 correspondientes a ciertas probabilidades seleccionadas (es decir, áreas de la cola bajo la curva). Para ilustrar: la probabilidad de que una muestra con 20 grados de libertad, tomada de una distribución normal, tenga un valor de $\chi^2 = 31.41$ o menor es 0.95.

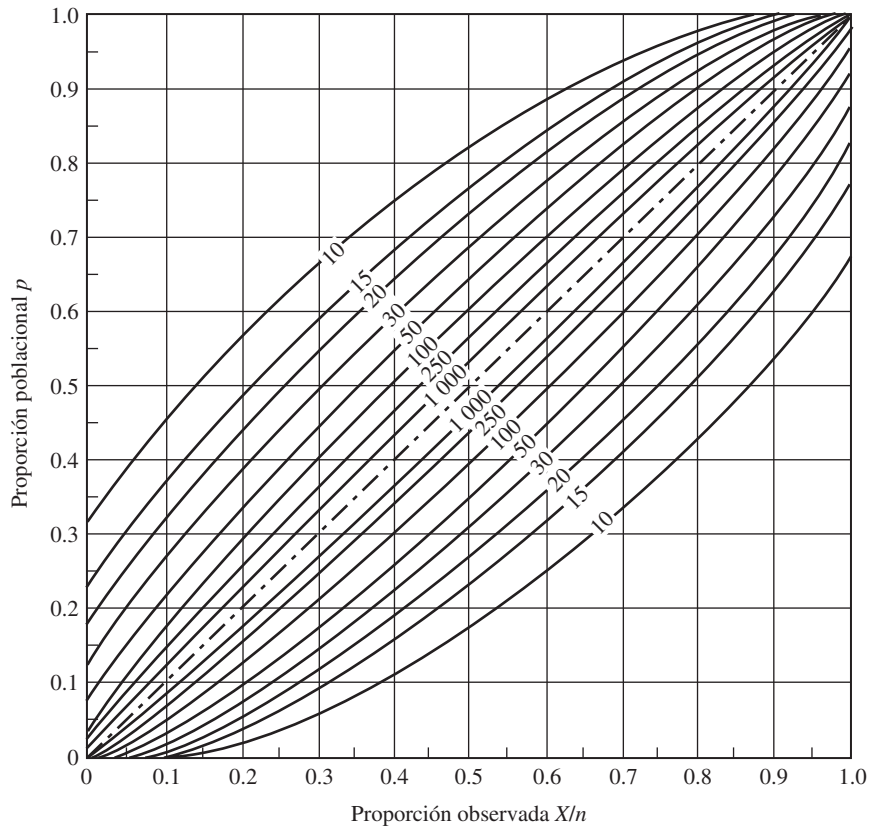


Valores de χ^2_p correspondientes a P

DF	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.005}$	$\chi^2_{.001}$	$\chi^2_{.995}$	$\chi^2_{.99}$	$\chi^2_{.95}$	$\chi^2_{.90}$	$\chi^2_{.10}$	$\chi^2_{.05}$	$\chi^2_{.025}$	$\chi^2_{.01}$	$\chi^2_{.005}$
1			3.84	2.71	0.0158	0.0039	0.00098	0.00016	0.000039		6.63	5.02	3.84	2.71	0.0158	0.0039	0.00098	0.00016	0.000039
2			5.99	4.61	0.2107	0.1026	0.0506	0.0201	0.0100		9.21	7.38	5.99	4.61	0.2107	0.1026	0.0506	0.0201	0.0100
3			7.81	6.25	0.584	0.352	0.216	0.115	0.0717		11.34	9.35	7.81	6.25	0.584	0.352	0.216	0.115	0.0717
4			9.49	7.78	1.064	0.711	0.484	0.297	0.207		13.28	11.14	9.49	7.78	1.064	0.711	0.484	0.297	0.207
5			11.07	9.24	1.61	1.15	0.831	0.554	0.412		15.09	12.83	11.07	9.24	1.61	1.15	0.831	0.554	0.412
6			12.59	10.64	2.20	1.64	1.24	0.872	0.676		16.81	14.45	12.59	10.64	2.20	1.64	1.24	0.872	0.676
7			14.07	12.02	2.83	2.17	1.69	1.24	0.989		18.48	16.01	14.07	12.02	2.83	2.17	1.69	1.24	0.989
8			15.51	13.36	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34		20.09	17.53	15.51	13.36	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9			16.92	14.68	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73		21.67	19.02	16.92	14.68	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10			18.31	15.99	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16		23.21	20.48	18.31	15.99	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11			19.68	17.28	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60		24.73	21.92	19.68	17.28	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12			21.03	18.55	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07		26.22	23.34	21.03	18.55	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13			22.36	19.81	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57		27.69	24.74	22.36	19.81	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14			23.68	21.06	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07		29.14	26.12	23.68	21.06	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15			25.00	22.31	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60		30.58	27.49	25.00	22.31	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16			26.30	23.54	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14		32.00	28.85	26.30	23.54	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
18			28.87	25.99	10.86	9.39	8.23	7.01	6.26		34.81	31.53	28.87	25.99	10.86	9.39	8.23	7.01	6.26
20			31.41	28.41	12.44	10.85	9.59	8.26	7.43		37.57	34.17	31.41	28.41	12.44	10.85	9.59	8.26	7.43
24			36.42	33.20	15.66	13.85	12.40	10.86	9.89		42.98	39.36	36.42	33.20	15.66	13.85	12.40	10.86	9.89
30			43.77	40.26	20.60	18.49	16.79	14.95	13.79		50.89	46.98	43.77	40.26	20.60	18.49	16.79	14.95	13.79
40			55.76	51.81	29.05	26.51	24.43	22.16	20.71		63.69	59.34	55.76	51.81	29.05	26.51	24.43	22.16	20.71
60			79.08	74.40	46.46	43.19	40.48	37.48	35.53		88.38	83.30	79.08	74.40	46.46	43.19	40.48	37.48	35.53
120			146.57	140.23	100.62	95.70	91.58	86.92	83.85		158.95	152.21	146.57	140.23	100.62	95.70	91.58	86.92	83.85

Fuente: Adaptada con permiso de W. J. Dixon y J. Massey, Jr., *Introduction to Statistical Analysis*, 3a. ed., McGraw-Hill, Nueva York, copyright © 1969.

TABLA F
Cinturones de 95% de confianza para proporciones poblacionales



Ejemplo: En una muestra de 10 unidades, se encontraron 8 defectuosas ($X/n = 8/10$). Los límites de 95% de confianza sobre la proporción poblacional defectuosa se leen a partir de dos curvas (para $n = 10$) como 0.43 y 0.98.

Fuente: C. Eisenhart, M. W. Hastay y W. A. Wallis. *Selected Techniques of Statistical Analysis—OSRD*, McGraw-Hill, Nueva York, 1947.

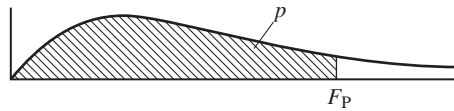
TABLA G
Distribución de F

Valores de F correspondientes a ciertas probabilidades seleccionadas (es decir, áreas de la cola bajo la curva). Para ilustrar: la probabilidad de que el cociente de las varianzas de dos muestras obtenidas con 20 y 10 grados de libertad en el numerador y el denominador, respectivamente, tenga una $F = 2.77$ o mayor es 0.05. Para una prueba de dos colas, un límite inferior se encuentra tomando el recíproco del valor de F tabulado para el inverso de los grados de libertad. Para el ejemplo anterior, con 10 y 20 grados de libertad en el numerador y denominador, respectivamente, F es 2.35 y $1/F$ es $1/2.35$ o 0.43. La probabilidad de que F sea 0.43 o menor, o 2.77 o mayor es 0.10.

$n_1 \backslash n_2$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$F_{.95}(n_1, n_2)$									
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

Nota: n_1 = grados de libertad para el numerador; n_2 = grados de libertad para el denominador.

Fuente: Adaptada con permiso de E. S. Pearson y H. O. Hartley (eds.), *Biometrika Tables for Statisticians*, 2a. ed., vol. I, Cambridge University Press, Nueva York, 1958.



10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
$F_{.95}(n_1, n_2)$									
241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

TABLA H
Factores de tolerancia para distribuciones normales (dos colas)

N \ P	$\gamma = 0.75$					$\gamma = 0.90$				
	0.75	0.90	0.95	0.99	0.999	0.75	0.90	0.95	0.99	0.999
2	4.498	6.301	7.414	9.531	11.920	11.407	15.978	18.800	24.167	30.227
3	2.501	3.538	4.187	5.431	6.844	4.132	5.847	6.919	8.974	11.309
4	2.035	2.892	3.431	4.471	5.657	2.932	4.166	4.943	6.440	8.149
5	1.825	2.599	3.088	4.033	5.117	2.454	3.494	4.152	5.423	6.879
6	1.704	2.429	2.889	3.779	4.802	2.196	3.131	3.723	4.870	6.188
7	1.624	2.318	2.757	3.611	4.593	2.034	2.902	3.452	4.521	5.750
8	1.568	2.238	2.663	3.491	4.444	1.921	2.743	3.264	4.278	5.446
9	1.525	2.178	2.593	3.400	4.330	1.839	2.626	3.125	4.098	5.220
10	1.492	2.131	2.537	3.328	4.241	1.775	2.535	3.018	3.959	5.046
11	1.465	2.093	2.493	3.271	4.169	1.724	2.463	2.933	3.849	4.906
12	1.443	2.062	2.456	3.223	4.110	1.683	2.404	2.863	3.758	4.792
13	1.425	2.036	2.424	3.183	4.059	1.648	2.355	2.805	3.682	4.697
14	1.409	2.013	2.398	3.148	4.016	1.619	2.314	2.756	3.618	4.615
15	1.395	1.994	2.375	3.118	3.979	1.594	2.278	2.713	3.562	4.545
16	1.383	1.977	2.355	3.092	3.946	1.572	2.246	2.676	3.514	4.484
17	1.372	1.962	2.337	3.069	3.917	1.552	2.219	2.643	3.471	4.430
18	1.363	1.948	2.321	3.048	3.891	1.535	2.194	2.614	3.433	4.382
19	1.355	1.936	2.307	3.030	3.867	1.520	2.172	2.588	3.399	4.339
20	1.347	1.925	2.294	3.013	3.846	1.506	2.152	2.564	3.368	4.300
21	1.340	1.915	2.282	2.998	3.827	1.493	2.135	2.543	3.340	4.264
22	1.334	1.906	2.271	2.984	3.809	1.482	2.118	2.524	3.315	4.232
23	1.328	1.898	2.261	2.971	3.793	1.471	2.103	2.506	3.292	4.203
24	1.322	1.891	2.252	2.950	3.778	1.462	2.089	2.480	3.270	4.176
25	1.317	1.883	2.244	2.948	3.764	1.453	2.077	2.474	3.251	4.151
26	1.313	1.877	2.236	2.938	3.751	1.444	2.065	2.460	3.232	4.127
27	1.309	1.871	2.229	2.929	3.740	1.437	2.054	2.447	3.215	4.106
30	1.297	1.855	2.210	2.904	3.708	1.417	2.025	2.413	3.170	4.049
35	1.283	1.834	2.185	2.871	3.667	1.390	1.988	2.368	3.112	3.974
40	1.271	1.818	2.166	2.846	3.635	1.370	1.959	2.334	3.066	3.917
100	1.218	1.742	2.075	2.727	3.484	1.275	1.822	2.172	2.854	3.646
500	1.177	1.683	2.006	2.636	3.368	1.201	1.717	2.046	2.689	3.434
1 000	1.169	1.671	1.992	2.617	3.344	1.185	1.695	2.019	2.654	3.390
∞	1.150	1.645	1.960	2.576	3.291	1.150	1.645	1.960	2.576	3.291

Fuente: Tomada de C. Eisenhart, M. W. Hastay y W. A. Wallis. *Selected Techniques of Statistical Analysis*, McGraw-Hill, Nueva York, 1947. Usado con permiso.

γ = nivel de confianza

P = porcentaje de población en los límites de tolerancia

N = número de valores en una muestra

$\gamma = 0.95$					$\gamma = 0.99$				
0.75	0.90	0.95	0.99	0.999	0.75	0.90	0.95	0.99	0.999
22.858	32.019	37.674	48.430	60.573	114.363	160.193	188.491	242.300	303.054
5.922	8.380	9.916	12.861	16.208	13.378	18.930	22.401	29.055	36.616
3.779	5.369	6.370	8.299	10.502	6.614	9.398	11.150	14.527	18.383
3.002	4.275	5.079	6.634	8.415	4.643	6.612	7.855	10.260	13.015
2.604	3.712	4.414	5.775	7.337	3.743	5.337	6.345	8.301	10.548
2.361	3.369	4.007	5.248	6.676	3.233	4.613	5.488	7.187	9.142
2.197	3.136	3.732	4.891	6.226	2.905	4.147	4.936	6.468	8.234
2.078	2.967	3.532	4.631	5.899	2.677	3.822	4.550	5.966	7.600
1.987	2.839	3.379	4.433	5.649	2.508	3.582	4.265	5.594	7.129
1.916	2.737	3.259	4.277	5.452	2.378	3.397	4.045	5.308	6.766
1.858	2.655	3.162	4.150	5.291	2.274	3.250	3.870	5.079	6.477
1.810	2.587	3.081	4.044	5.158	2.190	3.130	3.727	4.893	6.240
1.770	2.529	3.012	3.955	5.045	2.120	3.029	3.608	4.737	6.043
1.735	2.480	2.954	3.878	4.949	2.060	2.945	3.507	4.605	5.876
1.705	2.437	2.903	3.812	4.865	2.009	2.872	3.421	4.492	5.732
1.679	2.400	2.858	3.754	4.791	1.965	2.808	3.345	4.393	5.607
1.655	2.366	2.819	3.702	4.725	1.926	2.753	3.279	4.307	5.497
1.635	2.337	2.784	3.656	4.667	1.891	2.703	3.221	4.230	5.399
1.616	2.310	2.752	3.615	4.614	1.860	2.659	3.168	4.161	5.312
1.599	2.286	2.723	3.577	4.567	1.833	2.620	3.121	4.100	5.234
1.584	2.264	2.697	3.543	4.523	1.808	2.584	3.078	4.044	5.163
1.570	2.244	2.673	3.512	4.484	1.795	2.551	3.040	3.993	5.098
1.557	2.225	2.651	3.483	4.447	1.764	2.522	3.004	3.947	5.039
1.545	2.208	2.631	3.457	4.413	1.745	2.494	2.972	3.904	4.985
1.534	2.193	2.612	3.432	4.382	1.727	2.460	2.941	3.865	4.935
1.523	2.178	2.595	3.409	4.353	1.711	2.446	2.914	3.828	4.888
1.497	2.140	2.549	3.350	4.278	1.668	2.385	2.841	3.733	4.768
1.462	2.090	2.490	3.272	4.179	1.613	2.306	2.748	3.611	4.611
1.435	2.052	2.445	3.213	4.104	1.571	2.247	2.677	3.518	4.493
1.311	1.874	2.233	2.934	3.748	1.383	1.977	2.355	3.096	3.954
1.215	1.737	2.070	2.721	3.475	1.243	1.777	2.117	2.783	3.555
1.195	1.709	2.036	2.676	3.418	1.214	1.736	2.068	2.718	3.472
1.150	1.645	1.960	2.576	3.291	1.150	1.645	1.960	2.576	3.291

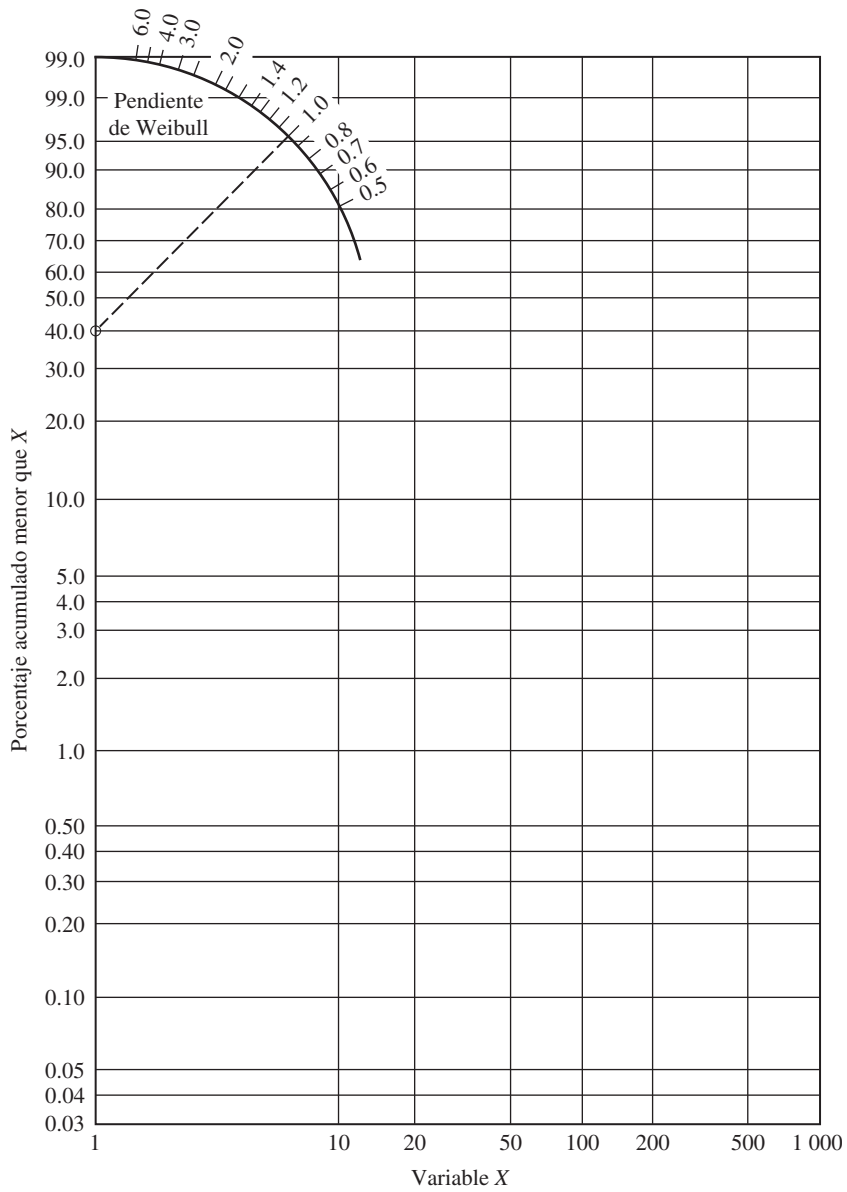
TABLA I
Factores de gráficas de control para \bar{X} y R ;* factores
para estimar s y R †

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Límite de control superior para } \bar{X} = UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} \\ \text{Límite de control inferior para } \bar{X} = LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} \end{array} \right.$				
$\left\{ \begin{array}{l} \text{Límite de control superior para } R = UCL_R = D_4\bar{R} \\ \text{Límite de control inferior para } R = LCL_R = D_3\bar{R} \end{array} \right.$				
$s = \bar{R}/d_2$				
Número de observaciones en una muestra	A_2	D_3	D_4	Factor para la estimación de \bar{R}: $d_2 = \bar{R}/s$
2	1.880	0	3.268	1.128
3	1.023	0	2.574	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.114	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078
11	0.285	0.256	1.744	3.173
12	0.266	0.284	1.717	3.258
13	0.249	0.308	1.692	3.336
14	0.235	0.329	1.671	3.407
15	0.223	0.348	1.652	3.472

* Factores reproducidos de *1950 ASTM Manual on Quality Control of Materials* con permiso de la American Society for Testing and Materials, Filadelfia. Todos los factores en la Tabla I están basados en una distribución normal.

† Reproducido con permiso de *ASTM Manual on Presentation of Data*, American Society for Testing and Materials, Filadelfia, 1945.

TABLA J
Hoja Weibull



ÍNDICE

ONOMÁSTICO

- Abetti, F., 102, 122
Adams, R., 493, 517
Ahn, K., 463
Allen, R. L., 246, 262
Alonso, F., 459, 463
Altshuller, Genrich S., 150
Amsden, D. M., 714
Amsden, R. T., 700, 714
Anand, K. N., 650, 665
Anderson, D., 102, 122
Anderson, D. N., 235, 241
Anderson, G. F., 98, 123
Anderson, J. C., 294, 308
Anderson, T., 235, 241
Ansorena, 459
Anthis, D. L., 673, 714
Antis, D. Jr., 123
Argyris, C., 271, 280, 287
Armstrong, G. R., 559, 576
Arquette, Chris, 110, 394, 395, 489, 610
Atkinson, H., 29, 34, 53
Atrens, A., 435
Aubrey, C. A. II, 226, 241
- Bacivarof, I. C., 53
Bailes, C. V., 246, 262
Bailey, D. E., 347, 350
Bajaria, H. J., 68
Baker, C., 178, 194
Baker, E. M., 218, 231, 241, 269
Banks, J., 103, 122
Barkan, P., 699, 714
Barnard, W., I, 21, 24, 28, 54, 61, 68, 123, 262, 276, 288
Barton, R. R., 619, 632
Batson, R. G., 103, 122, 207, 213, 379, 384
Beaton, G. N., 327, 350
Becker, S., 217, 241
Bender, A., 659, 665
Bennett, G. K., 517
Berman, S. J., 285, 287
Berry, L. A., 54
Berry, L. L., 309, 447, 463
Betker, H. A., 62, 63, 122
Bettis, R. A., 361, 383
Bhote, K., 618, 632
Bhote, K. R., 88, 122
Bisgaard, S., 619, 632
Black, S. P., 418, 435
Blakeslee, J. A. Jr., 67, 122
Blalock, R. E., 384
Blazey, M. L., 50, 53
- Bock, W., 227, 229, 241
Bossert, J. L., 362, 367, 383, 384, 435
Bothe, D. R., 692, 714
Bott, C., 459, 463
Bottome, R., 68, 122, 425, 435, 459, 463
Bourquin, C. R., 222, 241
Bovée, C. L., 300, 301, 308
Bowen, H. K., 403, 436
Bowen, M. D., 285, 286, 288
Box, G. E. P., 100, 578, 607, 614, 632, 688, 714
Brache, A. P., 196, 218, 271, 288
Bradley, S. P., 383
Breisch, R. E., 281, 288
Breisch, W. E., 281, 288
Breyfogle, F. W. III, 350
Briscoe, Nat R., 47
Brocato, R. C., 314, 350
Broetzmann, S., 309
Brown, J. O., 375, 384
Brust, P. J., 18, 24
Bucella, J. E., 531, 542
Bultmann, C., 136, 167
Bunn, T. O., 269, 288
Burdick, R. K., 487, 517
Burns, R. K., 135, 167
Butler, H. E., 714
Buzzell, R. D., 127, 128, 167
- Cameron, K., 269, 288
Camp, R. C., 208, 213, 252, 254, 262
Campanella, J., 29, 34, 53, 135
Canfield, S., 46, 54
Carr, N. G., 208, 213
Carter, C. W., 607, 632
Carter, J. R., 368, 384
Case, K. E., 452, 463, 485, 517, 714
Castrogiovanni, C. A., 41, 54
Centeno, A. M., 458, 463
Champy, J., 209, 213
Chaney, F. B., 481, 517
Chang, T. H., 633
Chen, B. A., 379, 384
Christie, P. M. J., 216, 241
Chua, R. C. H., 21, 24, 68, 82, 122, 123, 297, 425, 435, 459, 463
Chua, Richard, 61, 149
Chun, Y. H., 500, 517
Churchill, G. A. Jr., 44, 53, 296, 298, 306, 309
- Cianfrani, C. A., 53
Cinelli, D. L., 224, 241
Clarke, P. C., 559, 576
Clott, C. B., 362, 384
Cokins, G., 33, 53
Coleman, D. E., 619, 633
Coleman, J., 67, 79, 123
Coletti, O. J., 140, 167
Collins, C. B., 447, 463
Collins, D. W., 374, 376, 384
Collins, W. H., 447, 463
Comstock, T. N., 316, 351
Conti, T., 47, 50, 53
Coombs, C. F. Jr., 351, 665
Cooper, D. R., 178, 193
Cooper, J., 480, 517
Covey, S. R., 269
Cox, C. A., 351
Crevling, C. M., 123
Crosby, Philip, 10, 15
Cross, K. F., 457, 463
Currie, W. L., 385
- Dale, B. G., 435
Davis, R., 449, 463
Davis, S., 303, 309
De Ansorena, R., 463
De Vor, R. E., 617, 633
Deavis III, W., 193
Dechert, J., 673, 714
DeFeo, J. A., I, 21, 24, 28, 37, 54, 68, 123, 250, 262, 276, 288
Del Rey, G., 463
Dell, L. D., 98, 123
Deming, W. Edwards, 10, 15, 568, 576, 633, 704, 714
DePalma, D., 309
Dettmer, H. W., 97, 123
DeVries, B., 487, 517
Deyong, C. F., 452, 463
Dickinson, T., 460, 463
Dietch, R., 225, 241
Dixon, W. J., 747, 748
Dodge, H. F., 507, 517
Dodson, B., 645, 659, 665
Doganaksoy, N., 167, 351, 463
Donovan, J. A., 356, 367, 370, 377
Dooley, K., 316, 351
Downs, B. T., 421, 435
Drew, J. H., 41, 54
Durkee, D., 473, 517
- Eagle, A. R., 482, 485, 486, 517
Early, J. F., 73, 140, 167, 178, 193
Eccleston, J. A., 435
Ehrhardt, Steven, 529
Eibl, S., 399, 435
Eisenhart, C., 749, 752
Ekanayake, Y., 385
El-Haik, B., 123, 150, 167, 309
Emanuel, J. T., 607, 633
Emory, C. W., 178, 193
Endres, A. C., 145, 167, 193, 260, 262, 314, 346, 351, 665
Enell, J. W., 509, 517
Engel, J., 487, 517
Ericson, C., 362, 384
Evans, J. R., 50, 54
Evans, P., 136, 167
- Feigenbaum, A. V., 10
Feitzinger, E., 313, 351
Fiero, J., 351
Finch, B. J., 302, 309
Finn, L. M., 578, 633
Fisher, M. L., 356, 384
Fisher, Ronald A., 605, 747
Fishman, C., 232, 241
Flanagan, J. C., 297, 309
Fleischer, M., 344, 351
Fletcher, A. C., 51, 54
Foliano, M. K., 384
Foote, B. L., 517
Ford, M. W., 50, 54
Forsha, H. I., 16, 25, 123
Frank, N. C., 535, 543
Fuchs, 461
- Gale, B. T., 127, 128, 129, 167
Garrick, J. B., 649, 665
Gartz, L., 340, 351, 653, 665
Garvin, D. A., 218, 241, 258, 260, 262
Gerst, R., 435
Getty, J. M., 46, 54
Getty, R. L., 46, 54
Gitlow, H., 175, 193, 293, 309, 686, 714
Godfrey, A. B., 73, 98, 123, 577, 633
Goh, T. N., 54
Goldman, S. L., 389, 435
Goldratt, E. M., 97, 123
Golomski, W. A. J., 241
Gomer, P., 659, 665

- Goodman, J., 296, 309
 Gookins, B., 473, 517
 Graber, J. M., 281, 288
 Graham, J., 288
 Grant, Eugene L., 499, 517, 742, 746
 Graves, S. B., 659, 665
 Grayson, K., 435
 Green, H., 241
 Greenbaum, T. L., 303, 309
 Gregorio, 459
 Grieco, J. J., 351
 Groocock, J. M., 224, 241
 Grout, J. R., 421, 435
 Gryna, D. S., 28, 54, 226, 241
 Gryna, F. M. Jr., 18, 24, 28, 47, 54, 137, 167, 217, 221, 224, 230, 237, 241, 269, 289, 306, 309, 327, 447, 463
 Gunter, B., 545, 576
 Hacker, S. K., 205, 214
 Hackman, J. R., 278, 279, 288
 Hadley, H., 442, 463
 Hahn, G. J., 68, 145, 167, 351, 459, 463
 Hahn, J. R., 232, 241
 Hamburg, J., 29, 53
 Hamel, G., 383
 Hammer, M., 209, 213
 Hammer, W., 338, 339, 351
 Hammond, S. A., 269
 Handfield, R. B., 379, 384
 Hanewinkel, E., 122, 123
 Hannukainen, T., 48, 54
 Hardaker, M., 198, 213
 Hardie, N., 19, 25
 Harris, D. H., 481, 517
 Harris, R. L., 551, 576
 Harry, M., 68
 Harshbarger, R. W., 202, 213
 Hart, R. F., 714
 Hartley, H. O., 750
 Hartman, B., 71, 123
 Hartzler, M., 241
 Hastay, M. W., 749, 752
 Hatty, M., 333, 351
 Hauser, R. Z., 234, 242
 Hayes, J., 645, 665
 Henry, J. E., 241
 Henson, D., 62
 Hertz, H., 19, 25
 Herzberg, F., 266, 288
 Heyes, G. B., 548, 549, 550, 576, 686
 Heyward, J., 435
 Hildreth, S. W., 197, 213
 Hinckley, C. M., 699, 714
 Hoag, L. L., 484, 517
 Hoeri, R. W., 167, 351, 463, 569, 576
 Hooyman, J. A., 202, 213
 Hoyland, A., 333, 351
 Hromi, J., 50, 54
 Hunt, J. R., 535, 543
 Hussey, D., 362, 384
 Icenogle, M. L., 570, 577, 707, 715
 Imai, M., 175, 193
 Ireland, F., 435
 Ireson, W. G., 325, 333, 336, 338, 351, 644, 645, 646, 649, 665
 Ishikawa, Kaoru, 11
 Ittner, C., 29, 53
 Janssen, A., 21, 24, 68, 123
 Jeffrey, J. R., 235, 241, 456, 463
 Jeffries, M., 463
 Jenster, P., 362, 384
 Jiao, J., 303, 309
 Jones, D. T., 123, 436
 Jones, J., 645, 665
 Juran, J. M., 10, 11, 15, 20–21, 25, 61, 69, 123, 140, 142, 167, 399, 435, 633
 Kackar, R. R., 351
 Kane, V. E., 694, 714
 Kannan, V. R., 424
 Kano, N., 175, 186, 193, 293, 309
 Kaplan, R. S., 259, 262
 Karlin, E. W., 122, 123
 Karmarker, U., 362, 384
 Katzenbach, J. R., 458, 463
 Kautiainen, T. L., 714
 Kaynak, H., 18, 25
 Kegaris, R. J., 378, 384
 Keim, E., 463
 Keiningham, T. L., 54, 167
 Kerzner, H., 237, 241
 Kess, U., 435
 Kesterson, R., 435
 Khatwani, S., 694, 714
 Kim, K. J., 316, 351
 Kim, S., 463
 Kincade, D. H., 266, 288
 King, J. R., 562, 577
 King, M. N., 460, 463
 Kinsel, Dave, 155
 Kirm, S. P., 54
 Kittner, M., 443, 463
 Klavans, R., 128, 167
 Kleiner, A., 263
 Klenz, B. W., 76, 123, 377, 384
 Kluge, R. H., 285, 288
 Koch, R., 71
 Kolarik, W. J., 98, 123
 Kolin, John, 147
 Kondo, Y., 175, 186, 193
 Kordupleski, R. E., 453, 463
 Kotter, J. P., 269, 276, 288
 Krause, D. R., 384
 Krishnamoorthi, K. S., 694, 714
 Krishnan, M. S., 345, 351
 Kume, H., 400, 435
 Lagrange, C., 384
 Lane, P. A., 541, 543
 Larsen, G. A., 487, 517
 Lauter, B. E., 42, 43, 54
 Lawler, E. E. III, 232, 233, 241, 286, 288
 Layloff, G. A., 537, 543
 Leavenworth, Richard S., 499, 517, 742, 746
 Ledford, G. E. Jr., 288
 Ledolter, J., 684
 Lee, H. L., 313, 351, 362, 384
 Lee, J., 416, 435
 Leger, E., 214
 Lenhardt, L., 74, 123
 Leo, R. J., 248, 262
 León, R. V., 435
 Leonard, D., 300, 309
 Leonard, J. F., 685, 686, 714
 Levary, R. R., 216, 241
 Levenson, N. G., 345
 Lewis, S. S., 697, 714
 Liker, J. K., 344, 351
 Lindbergh, C. A., 384
 Liu, P. Y. T., 578, 614, 632
 Lory, D. C., 241
 Lowenstein, M. W. L., 42, 54, 133
 Luceno, A., 688, 714
 Lusser, R., 648, 665
 Luther, D. B., 258, 262
 Lynch, J., 131, 132, 167
 Maass, R. A., 374, 384
 McCaffery, M., 193
 McCain, C., 220, 241, 247, 263
 McCracken, M. J., 18, 25
 McDermott, R., 235, 242
 MacDorman, J. C., 214
 McFadden, F. R., 281, 288, 702, 703, 714
 McGregor, D., 267, 288
 Mackin, T., 268, 288
 McNamara, D. M., 210, 213
 Majchrozak, A., 218, 241
 Malsbury, J. A., 526, 543
 Mann, D. W., 458, 463
 Maresca, F. P., 356, 367, 370, 377
 Marquette, D. K., 123
 Maslow, A. H., 266, 288
 Massey, F. J. Jr., 747, 748
 Mausman, B., 288
 Mears, P., 98, 123
 Melan, E. H., 445, 463
 Meseck, G., 362, 384
 Miletich, S. L., 268, 288
 Miller, G. D., 378, 384
 Miller, J. G., 368, 384
 Miller, L. M., 220, 267, 288
 Milliman, J. F., 281, 288
 Mitsch, G. J., 298, 309
 Mizuno, S., 97, 123
 Mlinar, S. E., 397, 436
 Mohrmann, S. A., 288
 Monczka, R. M., 384
 Montgomery, D. C., 323, 351, 619, 633, 689, 714
 Moran, J. W., 351
 Morgan, R. B., 237, 242
 Mortimer, J., 37, 54
 Moss, R. Y., 351, 665
 Mount-Campbell, C., 517
 Mulvihill, R. J., 649, 665
 Murthy, D. N. P., 435
 Nagel, R. N., 389, 435
 Nakajo, T., 400, 435
 Narus, J. A., 294, 308
 Nash, M., 131, 132, 167
 Nelson, L. S., 679, 680, 714
 Nocera, C. D., 376, 384
 Norton, D. P., 259, 262
 Nussman, H. B., 379, 384
 O'Conner, P. D. T., 351, 637, 644, 645, 646, 650, 665
 Ohno, Taiischi, 391, 436
 Oldham, G. R., 278, 279, 288
 Olivier, D. P., 479, 518
 Onkvisit, S., 293, 309
 Oppenheim, A., 193, 714
 Oppenheim, R., 193, 714
 Orkin, F. I., 479, 518
 Ott, E. R., 679, 684, 714
 Owens, N., 333, 351
 Palanisamy, M., 607, 633
 Palser, L., 463
 Parasuraman, A., 54, 309, 447, 463
 Park, R., 341, 351
 Pautz, S. J., 192, 193
 Peach, R. W., 472, 473, 518
 Pearson, E. S., 750
 Peña, D., 298, 309
 Peña, E., 422, 436
 Perkins, D., 333, 351
 Perry, A. C., 253, 263
 Peterson, Y. S., 362, 384
 Phadke, M. S., 321, 322, 351
 Pizcak, M. W., 234, 242
 Pignatiello, J. J. Jr., 323, 351–692, 697, 714
 Piller, F., 303, 309
 Pine, B. J., 303, 309
 Plsek, P. E., 98, 123, 302
 Pohlen, T., 681, 682, 715
 Pooley, J., 415
 Porter, M. E., 249, 263
 Potocki, K. A., 314, 350
 Prahhalad, C. K., 345, 351
 Preiss, K., 389, 435
 Pruett, J., 384
 Puay, S. H., 50, 54
 Pukelsheim, F., 435
 Pyzdek, T., 642, 665
 Quinn, R. T., 54
 Raghunathan, T. S., 351
 Ramachandran, K., 362, 384
 Ramberg, J. S., 323, 351, 692, 697, 714
 Rausand, M., 333, 351
 Rayport, J. F., 300, 309
 Regel, T., 521, 532, 533, 543
 Reichheld, F. F., 131, 133, 134, 167
 Rethmeier, K. A., 119, 123
 ReVelle, J. B., 316, 351
 Rhey, William L., 47, 306, 309
 Riley, F. D., 476, 518
 Rinks, D. B., 500, 517
 Roberts, C., 263
 Roberts, H. V., 16, 25
 Roberts, Malcolm, 546
 Romig, H. G., 507, 517
 Rosegrant, S., 463
 Ross, B., 67, 79, 123
 Ross, P. J., 323, 351, 617, 618, 633, 665
 Ross, R. B., 263
 Rubinstein, S. P., 282, 288
 Rucci, A. J., 47, 54
 Rummler, G. A., 196, 218, 271, 288
 Russell, J. P., 521, 533, 543
 Rust, R. T., 41, 54, 129, 135, 167, 463
 Ryan, J., 282, 288
 Ryan, M. J., 276, 288
 Salminen, S., 48, 54
 Salvendy, G., 207, 213
 Sánchez, S. M., 316, 351
 Sanders, D., 67, 79, 123
 Sanrow, D., 350
 Savage, P., 102, 122
 Scanlan, P. M., 136, 167
 Scannell, T. V., 384
 Schein, L., 224, 241
 Schilling, E. G., 497, 510, 511, 512, 518, 673, 675, 676, 679, 684, 714, 715
 Schmidt, J. W., 517
 Schneider, H., 374, 384
 Schonberger, R. J., 175, 193, 436
 Schottmiller, J. C., 34
 Schroeder, R., 68
 Selby, S. M., 743
 Selwitchka, R., 120, 123
 Senge, P. M., 260, 263
 Sergesketter, B. F., 16, 25
 Settles, F. S., 350
 Shainin, Dorian, 618
 Shainin, R. D., 618, 633
 Sharman, G., 362, 384

- Shaw, G. T., 211, 214
 Shaw, J. J., 293, 309
 Sherwin, D., 436
 Shin, J. S., 316, 351
 Shirley, B. M., 447, 463
 Shostack, G. L., 463
 Shuker, T. J., 389, 436
 Siff, W. C., 398, 436
 Sine, W., 269, 288
 Sink, 73
 Skiba, K. D. L., 229, 242
 Skrabec, Q. R. Jr., 389
 Slater, R., 66, 123, 255, 263
 Slitsky, J. L., 123
 Smith, B., 436
 Smith, B. J., 263
 Smith, D. K., 458, 463
 Smith, G. F., 98, 123
 Smith, J. E., 237, 242
 Smith, W., 135, 167
 Snee, R. D., 205, 214, 396, 436, 569, 577
 Sobek, D. K. II, 314, 351
 Soliman, K. S., 362, 384
 Somerton, D. G., 397, 436
 Spear, S., 403, 436
 Speeny, D. V., 351
 Spooner, G. R., 374, 376, 384
 Stanula, R. J., 714
 Steiner, S. H., 684
 Stephens, K. S., 98, 123, 577
 Stepnick, L., 37, 54
 Stevens, E. R., 307, 309
 Stoner, J. A. F., 36, 54
 Stratton, B., 286, 288
 Stravinskias, J. M., 541, 543
 Strickland, A. J. III, 244, 263
 Sullivan, L. P., 668, 715
 Sutherland, J. W., 633
 Swersey, A., 684
 Synderman, B., 288
 Tab, K. C., 54
 Tabladillo, M. Z., 46, 54
 Taguchi, G., 15, 321, 655
 Taguchi, Genichi, 617
 Tashian, S., 241
 Tawell, R., 463
 Taylor, W. A., 497, 518
 Thill, J. V., 300, 301, 308
 Thompson, A. A. Jr., 244, 263
 Tsai, P., 487, 518
 Tseng, M. M., 303, 309
 Tsiakals, J. J., 53
 Tuft, E. R., 551, 577
 Tukey, J. W., 550, 570, 577
 Turmel, J., 340, 351, 653, 665
 Turner, C. S., 345
 Utzig, L., 263
 Van Aken, E. M., 73, 205, 214
 Van Fossen, T., 351
 Vass, D. J., 266, 288
 Vavra, T. G., 306, 309
 Voigt, J. V., 535, 543
 Voleti, S., 362, 384
 Vonderembse, M., 316, 351
 Wadsworth, H. M., 98, 123, 550, 551, 565, 577
 Wadsworth, H. M. Jr., 614, 624, 633
 Wallis, W. A., 749, 752
 Waltz, B., 131, 167
 Wang, Q., 218, 241
 Ward, A. C., 351
 Ward, B. K., 198, 213
 Warren, J., 276, 277, 288
 Watkins, M., 463
 Watson, G. H., 224, 242
 Watson, Mary Anne, 47, 269, 289
 Weerakkody, V., 362, 385
 Weidenbaum, M., 362, 385
 Weimer, C. K., 307, 309
 Weinstein, M., 284, 289
 Welsh, D. H. B., 415
 Werner, F. M., 36, 54
 West, J. E., 53
 Wetlauffer, S., 268, 280, 289
 Williams, C. A., 541, 543
 Williams, T. K., 103, 122, 207, 213
 Wilson, P. F., 98, 123
 Wilson, S., 227, 242
 Wind, J. F., 376, 385
 Windsor, S., 435
 Wittig, Steve, 489
 Womack, J. P., 123, 436
 Wong, D., 178, 194
 Wright, J. R., 417, 436
 Wurster, T. S., 136, 167
 Xie, M., 54
 Yang, K., 123, 150, 167, 309
 Yates, F., 747
 Yun, J. Y., 21, 68, 123
 Zahorik, A. J., 54, 167, 463
 Zairi, M., 174, 194, 274, 275, 289
 Zeithaml, V. A., 43, 54, 305, 309, 447, 463
 Zimmerli, B., 356, 385
 Zimmerman, S. M., 570, 577, 707, 715

ÍNDICE TEMÁTICO

- (ABC) costos basados en la actividad, 33
acción reguladora, haciendo el proceso sensible a, 411-412
acción remediadora, medidas de remedio 190
acciones, en relación con la diferencia, medidas para la diferencia, 189-190, 454
acciones correctivas
 involucrando productos no conformes, 472
 orientándose por la retroalimentación, 409
 seguimiento después de auditoría de calidad, 532-534
acontecimiento independiente, probabilidad de, 568
(ACSI) Índice Estadounidense de Satisfacción del Cliente, 44
actitudes negativas, cambiadas por equipos de trabajo, 230
actividades
 diagrama de red de actividades, 97, 98
 planeación de auditorías de, 526-529
 revisión de, 521
actividades clave de confiabilidad, 324, 325
actividades de valor agregado, 31, 393
actividades departamentales de garantía, 520
actividades de calidad
 coordinación de, 217-218
 proporcionar recursos para, 219
 tiempo que pasan los gerentes de nivel superior en, 219
 transfiriendo a organizaciones de línea, 221
actividades de servicio, 84
actividades mutuamente excluyentes, 568
actividades principales, subcontratación, 361
actividades relacionadas con la calidad
 evaluación de las actuales, 47-48
 tiempo requerido por la alta dirección, 274
actividades sin valor agregado, 31, 393
adaptabilidad, cuantificación, 205
adecuación del inventario, 377
administración de calidad, 216
administración de procesos, 196-197
 características distintivas de, 196
 ejemplo de, 200-202
 selección de procesos para, 198
 fase de planeación de, 202-210
 hoja de ruta de, 197
 impacto en una organización, 212
 administración de proyecto, 237-238, 239
administración de proyecto de calidad, 237-238, 239
administración estratégica
 elementos de, 243-244
 integración de calidad en, 245-246, 247, 248
administración estratégica de la calidad (SQM), 243
 asistencia de alta dirección, 222-224
 descripción, 244-246
 elementos individuales de, 246-258
 ingredientes de acercamientos, 244
administración financiera, 19
administración funcional vs. administración de procesos, 195-196
administración por hechos, 75-76
administrar para la calidad, 19-21
advertencia temprana de problemas de productos nuevos, 315
Aetna Health Plans, proyecto de mejora, 102-103
agrupación planeada, 609
ajustes por quejas, 31
aleatoriedad en el diseño de experimentos, 609
algunos atributos vitales, 298
algunos CTQ vitales, 158
algunos proyectos vitales, 71
alianza comercial, 355-356
alineación, 49
almacén de datos de calidad, 76
alta dirección
 asistencia con SQM, 222-224
 equipos de mejora de calidad, 274
 falta de liderazgo de, 260
 redefinición con empowerment, 280
 papel en el esfuerzo de calidad, 218-220
alteración, 328, 330, 335, 645
alternativas contra características, 164
alternativas de inspección, evaluación económica de, 495-496
ambiente de diversión, 284
American Cyanamid, 197
American Express, 459
American Express, Grupo de Tarjetas de Consumo de, 457-458
ampliación de trabajo horizontal, 279
ampliación de trabajo vertical, 279
AMS (Sistemas avanzados de manufactura), 416
análisis de datos de prueba de vida acelerada, 645
análisis ambiental, 249
análisis de brecha, 244
análisis de capacidad, 700
análisis de la capacidad del proceso, 84
análisis de correlación, 88
análisis de datos categóricos. *Véase*
 análisis de datos de atributos
 análisis de datos de atributos, 491, 699
análisis de datos de confiabilidad, 645
análisis de datos, herramientas avanzadas para el, 623-628
análisis de factores, 316
análisis de factores clave, 71
análisis de fallas
 costos asociados con, 30
 descubriendo las causas de las deserciones, 133
análisis de fuerzas, debilidades, oportunidades y amenazas (SWOT), 244
análisis de histograma, 557
análisis de concentración de defectos, 88
análisis de la fuerza de campo, 105
análisis de la variación. *Véase*
 ANOVA
análisis de Pareto
 de defectos, 409
 de costos de fallas internas, 70
 de los proveedores, 378-380
 de quejas de campo, 304
 de reservas excedentes de inventario, 70
análisis de producto/proceso estructurado. *Véase* QFD
análisis de regresión, 619-623
análisis de riesgos, 338
análisis de simulación de la variación, 659
análisis de sistema de medida. *Véase* MSA
análisis tiempo a tiempo, 86-87
análisis del árbol de fallas (FTA), 333, 338, 339
análisis de flujo a flujo, 85-86
análisis estadístico
 problemas que pueden beneficiarse de, 578
 software para, 570-573
análisis gráfico de los medios, 614
análisis de variables múltiples multivariado, área de, 624
análisis SWOT, 244
anormalidades, 86
anotador equilibrado, 258
ANOVA (análisis de varianza), 614, 615-617
 análisis usando MINITAB, 615
 comparando los recursos de tres poblaciones, 599-600
 determinando la desviación total estándar, 487
 promedios y rangos de análisis, 487
ANSI/ASQC Z1.4, 504, 505-507
anteproyecto de diagrama de servicio, 441
anteproyectos para el proceso. *Véase* diagramas de flujo del proceso
antropología, 535
AOQ (calidad promedio saliente), 485
AOQL (límite promedio de calidad saliente), 359, 501, 507, 508
aprobación de la dirección para una iniciativa importante de calidad, 64
aprobación de lote, 473
aprobación inicial, 473
aptitud para el uso
 decisiones, 468-470, 471
 mejorando, 300, 301
 niveles de, 469
 problemas, 312, 313
AQL (nivel de calidad aceptable), 359, 370, 500, 501, 502, 504-505
áreas de la cola bajo la curva, 747, 748
asignaciones, por productos de baja calidad, 31
asistencia médica de SSM, 276
asistencia técnica a proveedores, 378
asociación, 216
aspectos críticos, identificación de, 397
atención, personas incapaces de mantener la, 92
atrapar la bola, 255, 275
atributos
 en una decisión de compra, 297, 298
 planes, 508
 patrón genérico, 43, 305
 sistema de muestra, 504
atención humana, 93
atmósfera de culpa, evitar, 534
atributos de producto
 calificación, 39, 40
 importancia relativa de, 44, 298
atributos del servicio, 298
atributos que "deben ser", 293
atracción de los clientes, 43
AT&T
 ajustes en facturas de clientes, 440
 aproximación a la administración de procesos, 210, 211
 calificación del desempeño de calidad, 375, 376
 cambios en el enfoque de auditoría de Microelectronics, 541
 diagrama de propuesta de servicio, 441
 encuesta de clientes internos de Bell Laboratories, 307
 proceso de negocios y necesidades de los clientes, 452, 453
auditar, relaciones humanas al, 534-535
auditores, cualidades de los, 528-529
auditores de calidad, estándares para, 535
auditoría. *Véase* también auditorías de calidad

- en comparación con las encuestas, 536
- estándar para la comparación en, 529
- razones detrás de, 534
- auditoría de "abrir y probar", 539
- auditoría al azar, 539
- auditoría de primera parte, 521
- auditorías de calidad. *Véase también*
 - auditorías, 421, 455, 520-521
 - asustos sobre políticas en cuanto a, 526, 528-529
- costos de prevención, 32
- desempeño, 32
- diagrama de flujo para, 526, 527-528
- distribución de reportes, 532
- documentando resultados de, 530-532
- manteniendo informados a clientes sobre el avance de, 530
- objetivo de, 521
- planeación para actividades, 526-529
 - principios de, 522
 - resumir datos de, 531
 - seguimiento de las acciones correctivas, 532-534
- tema de, 522-524
- auditorías de calidad programada versus no anunciadas, 526
- auditoría de dos niveles, 535
- auditorías de calidad de proceso, 421
- auditoría de segunda parte, 521
- auditoría del proceso de monitoreo, 422
- auditoría dirigida, 539
- auditoría en toda la compañía. *Véase* evaluaciones de calidad en Compaq Computers, 249
- auditoría financiera, comparada con garantía de calidad, 519
- auditoría independiente, 520, 535
- auditoría interna, 521
- auditorías de producto, 421, 422, 522, 537-539
 - alcance de, 538-539
 - clasificación de defectos en, 540
 - defectos clasificados en, 532
 - prueba de, 539, 540
 - reportando los resultados de, 540-541
 - resumen, 541
 - tipos de, 539
- auditorías externas, 521
- auditorías orientadas hacia el cumplimiento, 521
- auditorías orientadas hacia la eficacia, 521
- auditorías orientadas por sistema, 522-523
- auditoría propia, 535
- autocontrol
 - como un requisito previo para una cultura de calidad, 270
 - como un requisito previo para empowerment, 280
 - complementario con control clásico, 175
 - concepto de, (controlabilidad) 403-415
 - criterios básicos de, 403
 - criterios para, 405-415
 - diseño del trabajo y, 278
 - elementos y subelementos de, 403
 - estado de, 174-176
 - listas de control para, 415
 - planificación para industrias de servicios, 446-451
 - proporcionando un marco para analizar el trabajo de los diseñadores, 347
 - autodesarrollo, 277-281
 - autoestima, aumentada por los equipos de trabajo, 230
 - autoevaluaciones, 47, 49
 - autoinspección
 - criterios para, 420-421
 - en comparación con autocontrol, 175
 - en combinación con la auditoría de producto, 419
 - introducción de, 493
 - ventajas sobre inspección tradicional, 419-420
 - automatización, beneficios de la, 415-416
 - Automotive Industry Action Group, 485
 - Autoridad, 588
 - Avis Rent-a-Car, 247

Bank One, equipos de calidad en, 226, 227

Bank One Corp, midiendo el desempeño de los cajeros, 456

Bell System, aplicación del enfoque Taguchi, 321-322

bienes, 13

black belts, 148, 228

brainstorming (lluvia de ideas) generando teorías, 77

para encontrar soluciones, 300

brecha competitiva, 254

búsquedas por asociación, 88-90

CAD (diseño asistido por computadora), 415

cadena de suministro, 356, 357

administración, 356, 358-380

control de calidad, 370-377

funcionamiento como un proceso único, 378

mejora de la calidad, 377-380

planeación de calidad, 367-370

cadena de valor, 393-395

Cadillac Motor Car Division, 249

calidad

 - administrando para, 19-21
 - condiciones cambiantes de negocios, 11-12
 - como una preocupación crucial, 11
 - componentes de la definición de, 177
 - concepto ampliado de, 16-17
 - conocimientos para lograr superior, 10-11
 - contribución a ingresos por ventas, 126-165
 - costo óptimo de, 37-39
 - costos y, 18
 - cultura de la organización en, 44
 - definición de, 12-15
 - definiciones de diccionario, 12
 - dimensiones identificadas por SERVQUAL, 439
 - dimensiones de, 13
 - diseñando para, 312-347
 - estrategias para, 243
 - investigación de mercados en, 295-297
 - evaluando lo relativo a, 127
 - falta de una infraestructura para, 260
 - herramientas de estadística en, 545-573, 636-659
 - impacto en ingresos por ventas y costos, 9
 - impacto en ventas perdidas, 134-135
 - integración a la administración estratégica, 245-246, 247, 248
 - interno contra externo, 22-23
 - logrando la superioridad, 128-129
 - logro de, 15-17
 - manteniendo la conciencia de, 273-274
 - nueva revolución en, 7-8
 - organización de operaciones de manufactura para, 418-419
 - planeando para productos, 138-140
 - planeación inicial para, 396-402, 439-446
 - procesos, 20-21
 - productividad y, 18
 - que se traduce en atributos específicos, 296
 - revolución japonesa en, 10
 - superioridad que se vende un precio mayor, 127, 128
 - tiempo de ciclo y, 18
 - valor y, 19

calidad de cumplimiento, 14, 18

calidad de datos, 10

calidad del diseño, 14, 18

calidad de la empresa, 22

calidad de los competidores, 44

calidad de lote por lote, 507

calidad del servicio, 10

calidad del producto

 - impacto de subcontratación en, 361
 - relevancia en la mente del público, 10

calidad (capacidad) del proveedor

alcance de las actividades para, 357-358

consejos, 367

evaluación como un costo de prevención, 32

evaluación de, 363-367

calificación, 375-376

revisión, 364-367

sistema, 360-361

calidad de largo plazo, 507

calidad restrictiva, definición de LQL, 500

calidad saliente promedio (AOQL), 485

calidad relativa, valoración de, 127

calidad saliente AOQ, 501

clasificación cosmética para dibujos de las partes, 476

call centers, encuentros de servicio en, 457

CAM (manufactura asistida por computadora), 415

cambiando las condiciones de los negocios, 222

cambio

 - acciones necesarias para, 268
 - moviéndose en el transcurso del tiempo, 268
 - diferentes niveles de, 2
 - estableciendo la necesidad de, 105
 - evitando errores para el, 6-7
 - organizaciones paralelas para crear el, 217-218
 - partes de, 104
 - reglas para introducir el, 105

cambio incremental, 2

cambio de proceso en respuesta a la desviación de producto, 409

cambio radical, 2-3

cambio tecnológico, objeciones al, 104

cambios cíclicos en el proceso, 704

cambios de diseño

 - costo de, 315, 338
 - revisión histórica de, 347
 - suministro a proveedores, 371
 - tanto radical como de incremento, 210

cambios al documento, coordinación central de, 430-431

cambios en el promedio de los procesos, 702

cambios irreversibles en el proceso, 107

campeón de proyecto. *Véase* campeones

campeones

 - de un equipo de diseño, 148
 - de un equipo de proyecto, 72
 - para proyectos relacionados con la calidad, 220
 - sobre un equipo de calidad de proyecto, 227

capacidad, 689

capacidad de mantenimiento, 334, 336-337

capacidad de medición, 78, 493

capacidad de proceso, 689-694

 - enfoque de análisis, 364
 - análisis usando documentos de probabilidad, 699-701
 - como lo midió Cp', 693
 - concepto six sigma de, 702-703
 - de datos de atributo, 699
 - en la industria de servicio, 699
 - estudio de, 694, 701-702
 - fórmula estandarizada para, 690
 - información, 493, 689-690
 - logrando, 144
 - medición, 78, 80, 445-446
 - presunción del control estadístico en, 696-697

capacidad inherente, 689

capacidad medida, 689

capacidad potencial, 693-694

capacitación justo a tiempo, 235

característica de calidad visual, 476

características

 - clasificación de, 397
 - identificando un producto, 139

características clave del proceso, 397

características clave del producto, 397

características de calidad

 - compilando listas para clasificaciones serias, 477
 - eligiendo e interpretando, 473-474

características de la prueba incluida, 337

características de producto

 - importancia relativa de, 397
 - lista de, 75
 - variabilidad de, 30

características del proceso, variación de "la mejor práctica", 30

características personales para un puesto, 455

características sensoriales, 476

Carolina Power and Light, 44, 246

cartas

 - de consejos de calidad, 220
 - para auditorías, 526

casa de calidad, 316, 318, 319

caso de negocios, 148

caso del sistema de afeitar, 298-299

Caterpillar, 418

causa dominante, eliminación de, 64

- causas, 75, 530
causas aditivas de la variación, 658
causas arbitrarias, 187-188
causas asignables, 187, 188
causas comunes (aleatorias o de suerte), 671
causas especiales (o asignables), 671
causas físicas al lado derecho de la ecuación, 658
- celdas
agrupando datos en, 547-548
de máquinas, 417
- centro de aprendizaje para mejora continua, 119
- Centro Estadounidense para la Productividad y la Calidad, 44
- certificación del proceso, 418
- certificación del proveedor, 374-375
- CFO (chief financial officer, director financiero), 222-224
- Chase Manhattan Mortgage Corp., 272-273
- ciclo estandarizado de estudiar hacer y actuar (SDSA), 175
- ciclo de planear, hacer, comprobar, actuar. *Véase también* ciclo Deming, 175
- ciclo de SDSA, 175
- ciclo de tiempo como un parámetro de calidad, 442
- ciclo de vida
costos, 137-138
de aplicaciones de gráfica de control, 675, 676
- ciclo de vida de aplicaciones de gráfica de control, 676
- ciclo de vida del control de aceptación, 512
- ciclo Deming, 175, 176
- científicos conductuales, estudios hechos por, 265
- CIM (manufactura integrada a la computadora), 415, 416
- circuitos (ciclos) de retroalimentación, 106
control del proceso como, 171, 172
dando sensores con funciones adicionales de, 179
para la coordinación de control, 217
- círculos de calidad. *Véase* equipos de trabajo
- CIT (técnica del incidente crítico), 149, 297
- clases, definición de, 477
- clasificación, 88-90, 477, 479
de características, 397
de defectos, 509
de diseños, 607, 608
- clasificación de la seriedad, 477-479
de defectos, 369, 540
de insuficiencias, 532
en la industria de la alimentación, 478
- cliente(s)
medidas tomada para tener encantados a los, 457
análisis de pérdidas, 42, 43
categorías de, 292
como proveedores, 445
de diseño y desarrollo, 313
de una auditoría, 526
definición, 12-13
espectro de, 138, 139
identificación, 143, 292-293
incluso en actividades de calidad, 216
- razones para la pérdida de, 296
nivel de satisfacción para retener a los actuales, 135-137
observación, 300
renuncia de, 471
tipos de, 138, 139
valor económico de la lealtad de, 133-134
- cliente insatisfecho, 130
- cliente leal, 130-131
- comparado con satisfecho, 130
- valor económico de, 133-134
- clientes clave
identificando, 149
para una auditoría, 526
- clientes encantados, 457
- clientes externos, 12-13, 143, 292, 313
- clientes internos, 13, 143, 292
ayudando a alcanzar objetivos de calidad, 221-222
encuestando, 222
estudio de mercado para, 307
exigencias que retrasan ofertas para clientes externos, 200
necesidades del proceso de desarrollo, 313
coeficiente de correlación, 622
coeficiente de correlación lineal simple (r), 622
coeficiente de determinación (R^2), 621, 622
color de tinta, realzando, 428
compañía Ritz-Carlton Hotel, 458
"combate de incendio", detección de focos rojos. *Véase* detección y solución de problemas
- compradores misteriosos, 453
- comercio electrónico, 12, 136-137
- compañía farmacéutica Warner-Lambert, 531
- compañía Samsung Electronics, 21
- comparación costo-efectividad de diseños alternativos, 340, 341
- comparación de valor de productos, 340-341
- compensación de la dirección, 285
- compensación por incentivos, 285, 286
- competencia
brindando alta calidad y bajo precio simultáneamente, 11
respecto a las evaluaciones comparativas, 252
variación y, 670
- competencia ágil, 389
- competencias esenciales, desempeño interno, 363
- complejidad
efecto en la confiabilidad total, 642
calificación, 431-432
- complejidad del documento, 431
- componente de rasgos de producto de calidad, 126
- compra
actividades de, 357
papel primario de la administración en la cadena de suministro, 356
punto de vista tradicional contra estratégico, 356
- compromiso de los seres humanos, 271
- compromiso externo, 271
- compromiso interno, 271
- comunicación
categorías de, 470
de remedios, 104
- errores de, 96-98
estableciendo canales múltiples de, 368
- tecnologías para equipos virtuales, 229
- comunicación impedida, 96
- comunicación omitida, 96
- comunicación paralela, 368
- comunicación serial, 368
- concepto de cartera compartida, 131, 132
- concepto de inventario justo a tiempo, 355
- concepto de triple papel, 16, 17
- concepto estadístico de six sigma, 67
- conclusiones de las pruebas de hipótesis, 603-604
- conducta del cliente, 293
- confiabilidad, 323
como una función aplicada de tensión y fuerza, 647-648
cuantificación de, 323-324
estableciendo objetivos totales para, 324, 326
fórmula exponencial para, 639-641
mejora durante el diseño, 334-335
predicción con base en la distribución exponencial, 646
predicción con base en la distribución Weibull, 646-647
predicción como un proceso continuo, 328, 329
predicción durante el diseño, 644-646
- confiabilidad de partes
papel vital desempeñado por, 328
selección de datos, 645
- confiabilidad del sistema, confiabilidad de parte y, 641-644
- confianza, nivel alto de, 277
- conformidad
calidad de la, 14
con las especificaciones, 683
decisiones, 468
determinando la, 419
- confusión, fuentes validadas de, 429
- condiciones de inspección, 476
- conocimientos
conjunto de relacionado con la calidad, 21
del desempeño, 408-411, 448-449
de lo que supuestamente hay que hacer, 405-408, 447
necesidad de autocontrol, 174
conocimiento previo, 493
- consecuencia social de cambio tecnológico, 104
- consejo de calidad, 199, 219-220
- consejos. *Véase* consejos de calidad; consejos de calidad de proveedores
- consenso, 267
- contacto de primera línea con el cliente, 455-457
- contacto del cliente, de frente, 455-457
- contratos separados para desarrollo y producción, 359
- control, 20
coordinación para, 217
prioridades establecidas por, 285
proceso de, 106
- control clásico, autocontrol complementario con, 175
- control de aceptación, 510
- ciclo de vida de la aplicación de, 512
- cambio de muestreo de aceptación a, 510, 512
- procedimientos muestra de aceptación importantes para el, 497
- control de calidad
estableciendo el enfoque para, 61
identificando y eligiendo temas, 176-177
medida de calidad central para, 172
midiendo el desempeño del desarrollo de un producto, 347
- control de calidad en operaciones de servicio, 451-454
- controles de diseño y documentación del paso del proceso mejorado, 106
- control del proceso de producción, 32
bajo una hoja de ruta de calidad, 144
medidas, 460
plan, 179, 369
procedimientos estándar, 405-406
sistema, 191-192
- control estadístico
análisis para, 672
definición e importancia de, 667-668
efecto en capacidad de proceso, 696-697
estado de, 187
igual a estabilidad, 704
principales objetivos de, 673
proceso de, 696
procesos industriales que operan en un estado de, 690
software para, 706-708
ventajas de, 672-673
- construcción, modular frente a no modular, 336
- corporación virtual, 216
- cooperación durante la ejecución del contrato, 371-374
- coordinación de actividades de calidad, 217-218
- COPQ. *Véase* costo de mala calidad
- corriendo la prueba piloto, 334
- costo
calidad y, 18
minimizando, 340
reducción, 28
- costo de calidad, 29, 33
- costo de pruebas adicionales, 585
- costo de la mala calidad (COPQ), 28-29, 36, 69, 390
- estudio, 245
- principales componentes de, 29
- razones para estimar, 28-29
- relacionado con medidas empresariales, 36-37
- costo por los procesos de mal desempeño (COP), 28
- costo óptimo de calidad, 37-39
- costo de las fallas para el usuario, 137
- costo total de la propiedad, 368-369
- costos basados en la actividad (ABC), 33
- costos de calidad, 28
categorías, 29-36
ocultos, 35-36
- costos de fallas internas, 29-31
- costos después de venta, 137
- costos fijos, 33
- costos internos, reducidos con trabajo externo, 361
- C_{pk} , 694

- como abreviatura de dos parámetros, 697
- como elemento de los criterios de certificación, 694
- incrementando el valor de, 698
- interpretación de, 697-698
- creación de registros de lotes, reglas para la, 429
- creando cambios, 217-218
- crecimiento de confiabilidad, 645-646
- criterio de límite estrecho, 684
- criterios numéricos de prueba, 359-360
- Crosby, Philip, 10
- Cruz Roja Estadounidense, 247
- CTQ (requerimientos críticos para la calidad), 149
 - algunos vitales, 158
 - análisis básico de capacidad, 159, 160
 - análisis de capacidad de verificación, 164, 165
 - análisis funcional de, 150
 - análisis gráfico de prioridad, 158
 - versus funciones, 161
 - convirtiendo en características alternativas del producto, 156
 - desarrollo, 156
 - tarjeta de tanteo de diseño, 160, 165
 - traducción de necesidades del cliente en mediciones, 159
- cuadrado de la media (MS), 615-616
- questionario encuesta de calidad, 365
- culpa, atmósfera de, 534
- cultura. *Véase también* cultura de calidad de la compañía
 - cambiando, 270
 - estimulando, 265
 - cultura corporativa, 267-269
 - cultura de calidad. *Véase también* cultura de calidad de la compañía
 - 265, 269-270
 - conductores para el desarrollo, 270-286
 - desarrollo, 265-286
 - determinación, 269-270, 424
 - diferencias en, 269
 - integrándose con metodologías y estructuras para calidad, 270
 - cultura de calidad positiva, 409, 410
 - cultura de la calidad de la compañía, 44. *Véase también* cultura de calidad
 - evaluando, 45
 - elementos de, 46
 - fuentes de preguntas sobre, 46
 - cultura de organización en calidad, 44-47
 - cultura de calidad negativa, 269
 - curva de cambio organizacional, 268
 - curva de distribución normal, 557
 - curva de la bañera, 636, 638
 - curva OC ideal, 497, 498
 - curva normal, 557-561
 - curvas de características de operación. *Véase* curvas OC
 - curvas de desempeño estándar, 485
 - curvas OC (característica de operación), 498-499
 - construcción, trazo, 499-500, 604
 - para planes de atributos, 497
 - para pruebas que tienen regiones de aceptación de un extremo, 590
 - para un plan específico, 498
 - lineamientos basados en el análisis de, 590
 - representando probabilidades, 589, 590
 - seleccionando una región de aceptación, 589-591
- Datapoint Corporation, 493
- datos
 - herramientas estadísticas para el análisis de, 578-628
 - métodos numéricos para resumir, 552-553
 - recopilando para un cliente de control, 674
 - recopilando nuevos para probar teorías, 90-91
 - sacando conclusiones de datos limitados, 579
 - separación en categorías, 76
 - síntesis gráfica de, 548-549
 - síntesis tabular de, 546-548
- suficientes, 697
- datos continuos. *Véase* datos variables
- datos de atributos (o categóricos), 558
- datos de auditoría, resumiendo, 531
- datos de desempeño
 - analizando pasado y presente, 80
 - evaluación, 206
- datos de desempeño del proceso
 - en comparación con los límites de control estadísticos, 670-671
 - evaluación, 206
- datos de Impacto de Estrategias de Mercado en Ganancias. *Véase* PIMS
- datos de variables, 675-682
- datos de vida censurados, 645
- datos orientados por tiempo, resumen gráfico, 551-552
- datos variables (o continuos), 558
- decisión de compra, atributos importantes en la, 297, 298
- decisión de comunicación, 470
- decisión de no enviar, 471
- decisión de enviar, 471-472
- decisiones, comunicando por, 97
- decisiones de aceptación, efecto del error de medición en, 481-485
- declaración de visión, 249
- declaraciones de misión, 72, 249
- defecciones de cliente, 31, 296
 - determinando las razones de, 133
 - impacto en las utilidades al reducir, 132
- defecciones, descubriendo razones de las, 133
- defectos, 75
 - clasificación sería de, 477, 540
 - como desperdicio, 392
 - costo indirecto debido a, 35
 - creencia arraigada de que son controlables por los trabajadores, 82
 - enfrentando sólo los pocos vitales, 408
 - respuesta oportuna para señales de alarma que resultan de, 370
 - separación de, 82-83, 403
 - tipos de atributos de, 88
- defectos controlables de sistema. *Véase* defectos directivos controlables
- defectos controlables por el trabajador, 174, 403
 - creencia arraigada de que lo son, 82
 - lidiando sólo con, 409
 - probando teorías de, 91-98
- defectos de belleza en una fábrica de artículos ópticos, 474
- defectos controlables por la dirección, 174, 403
 - frente a controlables por los trabajadores, 82-83
 - porcentaje de, 404
 - probando teorías de, 83-98
- defectos por millón (DPM), 370
- defectuoso. *Véase* desecho
- deficiencia crónica, 189
- deficiencia esporádica, 189
- deficiencias
 - eliminación de fuentes de, 189
 - libres de, 13, 14
 - deficiencias del producto
 - necesidades relacionadas con, 304-305
 - unidades de medida para, 178
- degradación, 30
 - demanda del cliente, logrando demanda mediante la cadena de valor, 393
- deméritos por unidad de producto, 540
- Deming, W. Edwards, 10
- demonstrando la eficacia del paso de remedio de six sigma, 103-104
- departamento de calidad, 216
 - del futuro, 221-222
 - operaciones como un cliente interno clave, 425, 461
 - papel de, 12
 - renuncia de, 471
 - responsabilidades de relaciones de proveedor de, 357, 358
- departamento de compras, responsabilidades de relaciones de proveedor, 357, 358
- departamento de diseño, resistencia para revisión del diseño, 342-343
- departamentos de línea
 - integración de la calidad en, 12
 - transferencia de actividades a, 221
- departamentos funcionales, 195
- muros de vs. trabajo en equipo, 343
 - políticas dentro de, 257
- dependiente, variable o respuesta, 606
- depósito de procesos en Dow Corning, 208
- derroche (gasto) crónico, 20
 - estimando el tamaño de, 64-65
 - identificando y reduciendo, 60
- desacuerdo, 553
- desarrollo del producto. *Véase también* diseños del producto
 - actividades de garantía, 520
 - aplicación de los conceptos de administración de calidad, 314
 - mejorando la efectividad de, 346-347
 - responsabilidad en las relaciones con los proveedores, 357, 358
- desarrollo integrado de productos y procesos (IPPD), 314
- desviación, reduciendo, 669
- desconexiones. *Véase* defectos desechable, diseño, 336
- desecho
 - concesiones por, 35
 - costos asociados con, 30
 - niveles inaceptablemente altos de, 30
 - no se reportó, 35
- desempeño
 - como el rasgo más básico del producto, 184-185, 192, 453
 - como valor primario, 267
 - conocimiento de, 408-411
 - frente a importancia de dar satisfacción, 42
 - en comparación con estándares en operaciones de servicio, 454
 - estableciendo estándares de, 183, 192
 - medición real, 448-449
 - pruebas, 334
 - regulando para lograr autocontrol, 174
- desempeño de auditoría, aspectos de políticas que afectan el, 530
- desempeño del proceso
 - aspectos de, 199
 - estudio de, 694, 697
 - medición, 697-698
- desempeño financiero, efecto de calidad en, 127-128
- desempeño orientado en el tiempo (confiabilidad), diseño para el, 323-336
- desempeño pasado del proveedor, 364
- desempeño real en operaciones de servicio, 453
- desperdicio (derroche). *Véase* desecho
 - costos asociados con, 59
 - tipos de, 391-392
- despliegue de función de calidad. *Véase* QFD
- despliegue de objetivos, 254-255
- despliegue estratégico, 244
- desviación estándar, 553
 - de las medias de la muestra, 581
 - de una población normal, 583, 592
 - dividido por un medio, 553
 - en una distribución exponencial, 561
 - entre el proceso medio y el límite de especificación, 67
 - reduciendo, 698
- desviaciones cuadradas, 621
- detección y solución de problemas, 189-190, 424, 454
- pasos de, 189-190
 - producto no conforme, 472
- DFM (software de diseño de manufacturabilidad), 340
- DFSS (diseño por six sigma), 145, 148-155
- diagnóstico, respondiendo, 98-99
- diagrama aislado, de disposición
 - estratificada, 88, 89, 620-621
- diagrama de causa-efecto, 112-113
- diagrama de afinidad, 97, 98
- diagrama de árbol, 97, 98
- diagrama de bandera, 185, 186
- diagrama de bloque de confiabilidad para un sistema de rescate de emergencia, 642, 643
 - preparación, 644
- diagrama de bloque funcional, 644
- diagrama de causa y efecto, 62, 63, 78, 79
- diagrama de causa y efecto de Ishikawa, 63, 79, 80
- diagrama de posición-dimensión (P-D), 409-410
- diagrama de espina. *Véase* diagrama de causa y efecto de Ishikawa
- diagrama de flecha. *Véase* actividades, diagrama de red
- diagrama de flujo de alto nivel, 206
- diagrama de flujo de proceso en macroniveles, 203

- diagrama de flujo de un proceso, 202-205
- diagrama de interrelaciones, 97, 98
- diagrama de matricial, 97, 98
- diagrama de Pareto, 157
- de las brechas en el desempeño, 430
- de defectos totales en el acabado, 111
- de errores en los formatos de pedido, 76, 77
- representando la distribución de síntomas, 62
- diagrama de relaciones. *Véase* diagrama de interrelaciones
- diagrama de tallo y hoja, 548, 549
- diagrama de Weibull, 565, 637-638
- diagrama de Weibull de línea no recta, 565
- diagrama P-D, 409, 410
- diagrama sistemático. *Véase* diagrama de árbol
- diagramas acumulados, comparados con histogramas, 86, 87
- diagramas de caja y bigotes, 550-551
- diagramas de datos acumulativos, 87
- diagramas de flujo analizando, 208
- del proceso de desarrollo, 314
- estableciendo un proceso general en, 397
- identificando a los clientes, 292
- mostrando acontecimientos, 184
- preparando, 83
- símbolos empleados para eventos, 206-207
- diagramas de flujo de procesos, 74-75
- análisis de, 397-399, 440-441
- preparación, 202-205
- diagramas de flujo detallados, 206, 207
- diagramas de función/característica, 161-163
- diferencia significativa, 588
- diferencias
- actuar en relación con, 192
 - de la variabilidad, 596
- en medios probados en los tres grupos, 599-600
- entre la media de dos poblaciones normales, 583
 - entre un desempeño y un objetivo, 185-186
 - haciendo pruebas entre dos proporciones, 597
- dignidad, tratando a las personas con, 105
- dimensión de afiliación del comercio electrónico, 136
- dimensión de confiabilidad de calidad, 439
- dimensión de empatía de calidad, 439
- dimensión de respuesta de calidad, 439
- dimensión de riqueza del comercio electrónico, 136
- dimensión de alcance del comercio electrónico, 136
- dimensiones de certeza de la calidad, 439
- dimensiones de la calidad, 13
- dimensiones que interactúan, 656-659
- dimensiones tangibles de calidad, 439
- dinero, idioma del, 271-272
- dirección científica. *Véase* sistema Taylor
- director de calidad, 221-224
- director financiero (CFO), 222-224
- disciplinas, contribuciones de otras, 21, 22
- disciplinas de aprendizaje, 258, 260
- disciplinas de calidad, 21, 22
- discrepancias. *Véase* defectos
- dissección simultánea, 87-88
- dissección de un proceso, 84-85
- diseñadores
- clasificación de seriedad y, 479
 - renuncia de, 471
- diseño anidado, 608
- diseño asistido por computadora (CAD), 415
- diseño centrado en el hombre, 339
- diseño como una etapa remedial de six sigma, 103
- diseño completamente aleatorio, 607
- diseño cuadrado Youden 608
- diseño de bloque aleatorio, 607, 608
- diseño de bloque incompleto balanceado, 608
- diseño de bloque incompleto parcialmente balanceado, 608
- diseño de cuadro latino, 607, 608
- diseño de experimentos. *Véase* DOE
- diseño de parámetros, 320, 321, 617
- diseño de servicio, 440, 447
- diseño de sistemas, 617
- diseño de superficie de respuesta, 608
- diseño de tolerancia, 321, 617
- diseño del proveedor, calificando, 363-364
- diseño estadístico de experimentos, 705
- diseño factorial, 607, 608
- diseño factorial bloqueado, 608
- diseño más adecuado, 150
- diseño modular, 336
- diseño para los costos, 341
- diseño para six sigma. *Véase* DFSS
- diseño(s)
- alternativas, 150
 - tarjeta de tanteo, 149, 153, 154, 160, 165
 - aseguramiento, 333
 - calidad de, 14
 - clasificación de, 607, 608
 - comparando con diversos atributos, 340-341
 - enfoques para mejorar, 335
 - evaluación mediante pruebas, 333-334
 - FMEA, 150
 - juego de herramientas estadístico para, 636
 - matrices, 152
 - mejorando confiabilidad durante, 334-335
 - midiendo la calidad en, 345-346
 - para manufacturabilidad, 338, 340
 - parámetros, 314
 - predicción de confiabilidad durante, 644-646
 - problemas, 148
 - proyectos, 14, 145
 - revisión, 342-343
 - simplificación, 340
- diseño y desarrollo, 313-314
- diseños de bloque, 609
- diseños del producto
- matriz que traduce necesidades del cliente en rasgos del producto, 316, 320
 - oportunidades para mejorar en, 312-313
 - revisión de, 396
- diseños experimentales, 606-607
- enfoque Taguchi para, 617-618
 - planeando, 619
- diseños mixtos, 608
- diseños ortogonales, 609
- diseños robustos, 320-321, 335
- disonancia cognitiva, 281
- disponibilidad, 326, 336, 648-649
- disponibilidad intrínseca, 649
- distribución binomial, 499, 555
- distribución convencional de frecuencia, 546, 547
- distribución chi-cuadrada, probando la varianza de una muestra, 595
- distribución de frecuencia, 546-548
- distribución de frecuencia acumulativa, 546, 547
- distribución de multinomial, 567
- distribución de probabilidad de Weibull, 554, 562-563
- prediciendo la confiabilidad con base en, 646-647
 - utilización para predicciones, 563-565
- distribución de probabilidad continua, 553-554
- distribución de probabilidad discreta, 555
- distribución de probabilidad normal, 554, 555, 556-557
- distribución de probabilidades binomial, 554, 566-567
- distribución exponencial, 554
- curva, 561
- para predicciones, 561-562
 - prediciendo la confiabilidad con base en, 646
 - valores, 743
 - vuelto a escribir en términos de confiabilidad, 639
- distribución hipergeométrica, 499, 567
- distribución multinormal, 565
- distribución normal con dos variables, 565
- distribución uniforme discreta, 567
- distribución Poisson, 499, 554, 555, 565-566
- arrojando una buena aproximación de la muestra de aceptación, 499
 - como se aplica a la muestra de aceptación, 499-500
 - mesa de, 744-746
- distribuciones
- de F , 750-751
 - de muestra, 588
 - de t , 747
 - de TBF, 638
 - de χ^2 , 748
 - empleadas para encontrar la probabilidad de aceptación, 499
 - tipos de, 553-554
- distribuciones de probabilidad, 553-555
- distribuciones normales
- conteos de frecuencia observados contra esperados, 570
 - factores de tolerancia para, 752-753
 - mesa de, 740-742
- distribución uniforme continua, 565
- DMADV
- implementación del proceso, 156
 - secuencia, 148
- documentación, evitando errores, 425-433
- DOE (diseño de experimentos), 153, 605-608
- aplicación de, 100
 - aplicaciones futuras de, 605
 - aplicando al producto y al proceso de diseño, 321, 323
 - en una línea de pintura para eliminar o reducir burbujas, 610-613
- DOE para burbujas, 611-613
- dominio, categorías de, 412-413
- dos pruebas t de muestra, 598-599
- Dow Chemical, 374
- Dow Corning, 208
- DPM (defectos por millón), 370
- dueño ejecutivo de un proceso, 199
- DVT (prueba de verificación de diseño), 154
- Eastman Chemical
- definición de *empowerment*, 244
 - desempeño, sistema de valoración, 281
 - política sobre trabajo externo, 362
- efectividad
- cuantificando, 205
 - mejora de, 69
 - efectividad del sistema, 326
 - efectividad operacional, 249, 250
 - eficiencia, 69, 205
 - ejecución de contrato, cooperación durante, 371-374
 - ejecutantes inferiores, daño hecho por, 94
 - elementos de trabajo, 15
 - Elevadores Otis, 247
 - el riesgo del productor, 482, 497
 - empirismo como un valor primario, 267
- empleados
- moral y lealtad, 362
 - necesidades básicas, 266
 - necesidades de capacitación, 266
 - respuestas a preguntas que ayudan a elegir, 235
- empleo/trabajo
- ampliación, 279, 421
 - características de los significativos y satisfactorios, 278-279
 - insatisfacción, 266
 - diseño para prevenir errores, 451
 - diseño que coloca a los trabajadores en un mayor grado de autocontrol, 278-279
 - satisfacción, 266
 - seguridad, 272, 276
- empresa, 2
- empowerment*, 279-280
- apoyando, 277-281
 - definición de Eastman Chemical, 244
 - empleados de primera línea, 456
 - encuentro de servicio, 455
- encuesta de calidad. *Véase también* valoración de calidad; calidad de proveedor, encuesta, 365
- encuestas
- cliente, 133
 - de clientes internos, 222
 - en comparación con auditorías, 536
 - encuestas con clientes. *Véase* encuestas
 - encuestas de evaluación múltiple sobre calidad, 366
 - enfoque de asociación en la planeación de calidad con proveedores, 367-368
 - enfoque de auditoría para procesos, 422

- enfoque de equipo interdisciplinario, 379
- enfoque de exhortación, 260
- enfoque de prevención para planeación de calidad con proveedores, 367
- enfoque de seis sigma
- base estadística de, 702
 - concepto de capacidad de proceso, 703
 - fase de análisis, 80-98
 - fase de control, 106-107
 - fase de definición, 68-73
 - fase de medición, 73-80
 - fase de mejora, 98-106
 - fases de, 61
 - integración de DOE, 605
 - introducción a, 67-68
 - metas y herramientas fase a fase, 107-110
 - utilización de sistema de control del proceso, 191-192
- enfoque "el mejor en su clase" de Ford Taurus, 140-141, 142
- enfoque estadístico para establecer límites de especificación, 657-658
- enfoque objetivo como base del diagnóstico, 83
- enfoque proyecto por proyecto
- experiencias con, 66-67
 - para actuar en problemas crónicos, 60-61
- enfoque rojo X, 618
- enfoque secuencial de la planeación, 141
- enfoque Taguchi, 321, 323, 617-618
- enfoque de las 5S, 175, 400-401
- entrenadores, alta dirección como, 280
- equilibrar. *Véase* evaluación
- equipo de autodirección, 234
- equipo de complejidad del documento, 431-432
- equipo para información de calidad (QIE), 410-411
- equipo de liderazgo. *Véase* consejo de calidad
- equipo de mapeo Lean/Cadena de valor, 428
- equipo de proceso, maximizando el tiempo de operación de, 412
- equipo de prueba automatizado, 480
- equipo de replicación, 119
- equipo de sistema de correo, datos de disponibilidad para, 649
- equipo de trabajo del departamento, 171-172
- equipo de trabajo natural en las operaciones, 419
- equipo interdisciplinario de mejora de calidad, 225
- Equipo Taurus, 143-144
- equipos
- autodirigido, 279
 - en las industrias de servicio, 457
 - papel en el esfuerzo de calidad, 225-227
 - para una auditoría de calidad, 526, 528-529
 - participación en, 418
- equipos *ad hoc*, 418
- equipos autodirigidos, 226, 231-234, 279
- en Ritz-Carlton, 458
 - ventajas de, 232-233
- equipos autorreguladores, 234
- equipos cliente-proveedor, 379
- equipos de auditoría para una auditoría de calidad, 526, 528-529
- equipos de alto rendimiento, 234
- equipos de calidad
- en Banc One, 226, 227
 - resumen de tipos de, 226
- equipos de calidad en rutina diaria, 458
- equipos de kaizen, 393
- equipos de mejora rápidos, 393
- equipos de personal/equipos de fuerza de trabajo, 226, 229-231
- expandiéndose hacia equipos interdisciplinarios, 231
 - índice de éxito de, 231
 - problemas perseguidos por, 229
 - ventajas de, 229-231
- equipos de proyecto. *Véase también* equipos de proyecto de calidad
- líder, 227
 - miembros, 228
 - selección y lanzamiento, 72-73
- equipos de proyecto de calidad, 226, 227-229
- equipos interdisciplinarios. *Véase* equipos de proyectos de calidad
- equipos permanentes, 418
- equipos relámpago, 72, 228-229
- equipos virtuales, 72, 227, 229
- ergonomía, 339
- error con base en la regla, 425
- error en el lapso de atención, 425
- error estándar del medio, 581
- error de medición
- como un porcentaje de variación, 486
 - componentes de, 487
 - efecto en las decisiones de aceptación, 481-485
- en comparación con el intervalo de especificación, 487
- reduciendo y controlando, 488
- error de tipo I, 587, 588
- definiendo lo deseado, 591
- exponiendo gráficamente, 587
- error de tipo II, 587, 588, 589
- error experimental, 609
- error inadvertido, 425
- errores. *Véase también* errores de los clientes; defectos; errores de documentos; errores humanos; errores de software; errores sistemáticos; errores en procesamiento de texto
- conscientes, 95-96
 - costos indirectos debidos a, 35
 - de medición, 481-492
 - diversas especies de, 91-92
 - en comunicación, 96-98
 - inadvertidos, 92-93
 - no reportados, 35
 - técnicos, 93-95
- errores con el cliente, evitando, 445
- errores conscientes, 95-96
- iniciados por el trabajador, 95
 - iniciados por la dirección, 95
- errores consistentes, 93
- errores de procesamiento de textos, 430-431
- errores de transmisión, 96-97
- errores del documento
- conductores, 427-428
 - detectados durante la revisión del registro de lotes, 425
- errores específicos, 93
- errores humanos
- en inspección, 480
 - haciendo improbable o incluso imposible, 399
- probando teorías de invocación, 91-98
- errores imprevisibles, 93
- errores inevitables, 93
- errores intencionales, 95
- errores involuntarios, 92-93
- errores persistentes, 95
- errores, que impiden alcanzar
- los objetivos de calidad del cliente, 699
- errores sistemáticos, que contribuyen al sesgo, 488
- errores técnicos, 92, 93-95
- escala de calificación del dolor de Wong-Baker FACES, 178
- escala de intervalo, 178
- escala de proporción, 178
- escala nominal, 178
- escala ordinal, 178
- escala ROSTROS de clasificación del dolor, 178
- escenario de subir la escalera para deleite del cliente, 269
- escenario en el que se esconden fragmentos, 269
- escepticismo, incapacidad para entender, 260
- espacio en blanco, 196
- especificaciones
- clases de, 359
 - como inequívocamente claras, 421
 - conformidad con, 468
 - controlando conformidad con, 683
 - credibilidad de, 411
 - de exigencias para proveedores, 358-361
 - mejorando la claridad y precisión de, 97
 - reunión de proceso comparada con control estadístico, 696
- especificaciones del producto
- capacidad del proceso para mantener, 690-692
 - desarrollo, 405
 - espera como desperdicio, 391
 - espiral de progreso en calidad, 15-16
 - estabilidad. *Véase también* movimiento, 483
- estabilidad del producto, identificando amenazas asociadas para, 28
- establecer el paso del proyecto, 141-142
- estableciendo procesos dominantes, 412-413
- estaciones. *Véase también* estaciones de control; estaciones de inspección; estaciones de trabajo, 472
- estaciones de control. *Véase también* estaciones para medición, 184
- estaciones de inspección. *Véase también* estaciones, 473
- estaciones de trabajo. *Véase también* estaciones
- dividiendo el flujo en, 397
 - estadística (s), 545, 553
 - estado de control estadístico proceso en, 671
 - ventajas de, 672-673
- estándar de producto, 405
- estándares
- aclaración para una auditoría, 529
 - comparando el desempeño con de servicio, 454
 - de desempeño en operaciones de servicio, 453
 - en comparación con, 185-188, 192
- mejorando la claridad y precisión de, 97
- proceso empleado para alcanzar, 171-172
- estándares de calidad
- desarrollado por ISO, 51
 - papel de, 12
- estándares de referencia, 529
- estándares físicos, definiendo límites de aceptabilidad, 476
- estandarización
- de métodos de prueba y condiciones de prueba, 369
 - de prácticas de trabajo, 176
- estilo de liderazgo para marcar el paso, 276
- estimaciones imparciales, variabilidad de, 582
- estrategia de control para reducir la variabilidad, 681
- estrategias, 249
- desarrollando, 249-250
 - implementando liderazgo ejecutivo, 255-258
- estrategias de calidad
- desarrollo, 27
 - ejemplos de, 250
- estratificación, 76, 86
- estilo de liderazgo, 276, 277
- estudio
- de interpretación de proceso, 694
 - de posición en el mercado, 272
 - del costo de mala calidad, 272
 - del potencial del proceso, 694
 - sobre cultura de calidad, 272
- estudio analítico, 567
- estudio de controlabilidad, 404
- estudio de error en la medición, 701
- estudio de medición del brillo, 492
- estudio de mercado, 39, 295
- en calidad, 295-297
 - en el campo comparado con el laboratorio, 299-300
 - graficando resultados, 41-42
 - para clientes internos, 307
 - para retención del cliente y lealtad, 296
 - principios de conducción, 296
- estudio enumerativo, 568-569
- estudio potencial del proceso, 642, 694
- estudios de campo, 300
- ejemplos de, 39-43
 - generalizando con, 43-44
- estudios de capacidad, 701
- estudios de multiatributo
- comparando un producto con el de la competencia, 297-298
 - en calidad, 131
- estudios estadísticos, tipos de, 568
- etapa de Análisis (A) en DFSS, 145
- etapa de clasificación en el enfoque 5S, 400
- etapa de Diseño (D) de DFSS, 148
- etapa de iniciación de las aplicaciones de la gráfica de control, 676
- etapa de planteamiento del problema y declaración de la misión de seis sigma, 72
- etapa operativa de aplicaciones de gráfica de control, 676
- etapa preparatoria de aplicaciones de gráfica de control, 676
- Fundación Europea para la Gestión de Calidad (EQM), 50
- evaluación. *Véase también* desempeño de evaluación, 31-32
- de producto, 419-421

- métodos para productos de proveedores, 372
- evaluación comparativa, 129, 252, 253, 254
- evaluación comparativa competitiva, 129, 252-254
- evaluación de lealtad de clientes, 3
- evaluación del desempeño. *Véase también* evaluación, 280-281
- evaluaciones. *Véase* evaluaciones de calidad; revisiones, durante la Fase de Decisión
- evaluaciones de calidad. *Véase* valuaciones de calidad
- evaluadores, evaluando la capacidad de los proveedores, 366
- evaluadores, variaciones debido a las personas, 487
- evidencia del liderazgo en administración, 274-277
- evitando errores/error proofing, 399-400
- el proceso, 442-443
- equipos, 426
- estudio de caso sobre, 425-433
- resumen de principios, 400
- EVOP (operaciones evolucionistas), 100-102
- Excel, 571, 706, 707
- excelencia
- como valor primario, 267
 - definiéndola para personal, 234
- excelencia de negocios. *Véase* mejora en el desempeño
- expectativas, 293-294
- expectativas del cliente, 11, 293-294
- experimentación, 609-613, 614-615
- experimentación clásica, contraste con el enfoque moderno, 614-615
- experimentación de laboratorio, 100
- experimentación exploratoria, 99, 100, 607
- experimentación informal, 100
- experimento de Hawthorne, 105
- experimentos
- diseñando, 99-103, 609-610
 - diseño de, 605-608
 - diseño estadístico de, 705
 - objetivos de, 605-606
 - tipos de, 99
 - variables incontrolables que afectan, 609
- expertos en calidad, 15
- experimentos de simulación, 99, 102-103
- experimentos diagnósticos, 99
- expresión, imprecisa, 76
- externos, comunicación sobre productos no conformes, 470
- extrapolación, 564-565
- extrayendo datos, 71, 623
- fábrica virtual, 416
- fabricación
- calidad en el siglo XXI, 388-389
 - historia de, 390
 - variabilidad, 650-654
 - variaciones de, 481
- fabricación masiva, 390
- facilitación del principio para evitar errores, 400
- facilitadores, 228-229
- factor cualitativo, 606
- factor cuantitativo, 606
- factor de señal, 322
- factores, 606
- para las gráficas de control *X*-bar y *R*, 754
 - probando la independencia de, 601
 - significante determinante, 617
- factores críticos para el éxito de una organización, 198
- factores de control, 321, 322
- factores de ruido, 321
- factores de tolerancia para distribuciones normales, 752-753
- factores higiénicos, 266
- factorial fraccionario, 607
- diseños, 608, 617, 618
- experimentos, 321
- pruebas requeridas para, 617
- falta de disponibilidad, 336
- falla para rechazar a la región, 587
- falla para rechazar, diagrama de, 589
- falla para rechazar una hipótesis nula, 603
- fallas, tiempo entre, 561-562
- Fannie Mae, 255-256
- fase de análisis
- de cuantificación de la confiabilidad, 326-327
 - de un experimento, 614
 - técnicas disponibles para apoyarla, 97
- fase de análisis de six sigma, 67, 80-98
- herramientas 109
 - metas, 108
- fase de análisis en la secuencia DMADV, 150
- fase de control de six sigma, 68, 106-107
- herramientas, 110
 - metas, 109-110
- fase de definición de DFSS, 145, 148
- fase de definición de six sigma, 67, 68-73
- herramientas, 108
 - trabajos realizados, 107-108
- fase de decisión de la hoja de ruta para calidad en empresas, 3-4
- fase de diseño de la secuencia DMADV, 153-154
- fase de distribución de cuantificación de responsabilidades
- fase de eliminación de control de aceptación, 512
- fase de expansión de la hoja de ruta para calidad en empresas, 5, 7
- fase de iniciación del control de aceptación, 512
- fase de lanzamiento de la hoja de ruta para calidad en la empresa, 5, 6
- fase de medición de six sigma, 67, 73-80
- entregable, 108
 - instrumentos, 108
- fase de medición en la secuencia DMADV, 149-150
- fase de mejora de six sigma, 67, 98-106
- instrumentos, 109
 - metas, 109
- fase de preparación de la hoja de ruta para calidad de empresa, 4-5, 6
- fase de sostenimiento de la hoja de ruta para calidad de la empresa, 5-6, 8
- fase de verificación en la secuencia DMADV, 154-155
- fase operacional de control de aceptación, 512
- fase preparatoria de control de aceptación, 512
- Federal Express, 452, 455
- Feigenbaum, A. V., 10
- Fidelity Investments, 131, 132
- Flujo, 392
- flujos, 85
- FMECA (modo de fallas, efecto, y análisis crítico), 330-333
- aplicando al sector de servicios, 331-333
 - desarrollando, 333
 - en comparación con el análisis del árbol de fallas, 339
- FMS (sistema de manufactura flexible), 417
- Ford Motor Company, 140-144, 268
- forma de campana, histograma con, 555
- formación
- como un costo de prevención, 32
 - de personal, 235-236
 - esencial para los empleados de primera línea, 455-456
 - fracaso de, 235
- formaciones ortogonales, 617
- formadora, alta dirección como, 280
- formas de resumir datos, 546-553
- fórmula de tolerancia, 658-659
- fórmula estable para disponibilidad, 649
- fórmula exponencial para confiabilidad, 639-641
- fórmulas para los límites de confianza, 582-584
- fotografías, definiendo límites de aceptabilidad visual, 476
- fracción defectuosa, 592
- fracción demográfica defectuosa, 583
- FTA (análisis del árbol de fallas), 333, 338, 339
- fuerza única de suministro, 363
- fuerza del proceso de control estadístico, 704
- fuerza, confiabilidad como función de la fuerza aplicada, 647-648
- fuerza de trabajo
- cambio, 11
 - como fuentes de teorías, 77
 - confianza de la administración en, 420-421
 - empowerment de, 279
 - inhibiendo la comunicación de, 96
 - redefiniendo con *empowerment*, 280
- papel en el esfuerzo de calidad, 225
- función de calidad, 16
- función de densidad normal, 555
- función de distribución de probabilidad, 553
- función de probabilidad exponencial, 561
- función perdida, 654-656
- funciones
- interdependencias entre, 197
 - versus CTQ, 161
 - versus rasgos, 163
- ganancias compartidas, 286
- garantía de calidad, 519
- gastos capitales, reducción de, 65
- gastos de asistencia médica, 37
- gastos de garantía, 31
- gastos de prevención, 32-34
- gastos externos de fracaso, 31
- gastos ocultos de calidad, 35-36
- gastos relacionados con fallas, 137
- GE Capital Mortgage Insurance Corporation aplicando Six Sigma, 459
- sistema de control del proceso, 191
- Genentech, 425
- General Electric
- fases de madurez, 210
 - estudio de planeación estratégica, 245-246, 247, 248
- gerencia media
- guiando a través de la transición hacia el concepto de equipo, 234
 - papel en el esfuerzo de calidad, 224-225
 - redefiniendo con *empowerment*, 280
- gerentes de línea como fuentes de teorías, 77
- gerentes medios, papeles bajo equipos autorigidos, 234
- gerentes, renuncia de los altos, 471
- glosario, 76
- grados de libertad (DF), 584
- gráfica Box-Jenkins, 688
- gráfica c. *Véase* gráfica(s) de control
- gráfica CUMSUM, 688
- gráfica de alcance individual y en movimiento, 682
- gráfica de barras *X*, 677, 682
- gráfica de comportamiento, 551, 552, 680-681
- gráfica de control promedio, 681
- gráfica de control de suma acumulativa, 688
- gráfica de fracción disidente (*p*), 684
- gráfica de movimiento promedio, 688
- gráfica de Pareto de las necesidades del cliente, 431
- gráfica de peso exponencial promedio en movimiento, 688
- gráfica de Z-mR, 682
- gráfica EWMA, 688
- gráfica multivari, analizando variaciones, 87-88
- gráfica *P*, 682
- gráfica *R*, 677, 682
- gráfica *S*, 682
- gráfica *U*, 682
- gráfica de barra *X*-*R*, 707
- gráficas. *Véase* también gráfica(s) de control que retroalimentan a los trabajadores, 408
- gráfica(s) de control, 87, 187, 192
- análisis, 695-697
- ciclo de vida de las aplicaciones, 675, 676
- comparación de, 673, 674
- detectando causas especiales de variación, 671
- distinguiendo causas de variación, 187
- elección de límites de control, 671
- especial, 687-689
- estableciendo, 673-675
- fórmulas para el límite de control, 675
- interpretación de, 679
- introduciendo, 679-680
- manteniendo en perspectiva, 675
- para datos continuos (o variables), 682
- para datos de atributos, 684
- para datos de atributos comunes (o categóricos), 682
- para datos variables, 675-682
- para errores en formas de admisión de pacientes nuevos, 687
- para individuos, 680-682
- para lectura de glucosa de varios meses, 681, 682

- tipos de, 682
gráficas de control de atributos, 684-687
gráficas de control estadístico, 670-672
causas especiales defectuosas de la variación, 703-704
límites en, 705
gráficas de control multivariado, 688-689
gráficos de barras tridimensionales, 551
gran C, 16
green belt, 228
grupos de muestra, 46-47, 302-303
grupos de presión, 13
grupos de trabajo natural, 234
GTE California, 285, 286
GTE Corporation, 41
Guía de Calidad (JQH5), 10
guión gráfico como suplemento para la técnica de lluvia de ideas, 77
- habilidad para regular, 411-415, 449-451
habilidades personales, 230
Harris Corporation, 135
hechos, verificando para una auditoría de calidad, 560
help desks, 457
herramienta para reducir el sesgo, aleatoriedad como, 609
herramientas de apoyo para reuniones electrónicas (EMS), 303
herramientas de control para formas de dominio de procesos, 413
herramientas EMS (de apoyo para reuniones electrónicas), 303
herramientas japonesas
siete herramientas básicas, 98
siete nuevas herramientas, 97, 98
hilo de oro, 254
hipótesis, 586. *Véase también* teorías que sacan conclusiones de pruebas de, 603-604
haciendo pruebas con tamaños de muestra fijos, 591-602
prueba de, 586-591
resumen de fórmulas en pruebas de, 591, 592
se requiere tamaño muestra para las pruebas, 604-605
hipótesis alternativa, 586, 588
hipótesis nula, 586, 588
histogramas, 87, 548-549
ancho de, 558
centro de, 558
con dos o más picos, 558
de la industria de servicio, 558, 56
en comparación con los diagramas acumulativos, 86, 87
en comparación con límites a las especificaciones, 372-373
forma de, 558
limitaciones de, 560
mediciones necesarias para, 560
para pruebas, 580-581
típico, 558, 559
- hoja de cálculo de análisis de necesidades, 302
hoja de ruta para la administración de procesos, 197
hoja de ruta para calidad en la empresa, 1
enfoque en el cambio radical, 2-3
factores de éxito en el despliegue, 6-8
fases de, 3-6
hojas de cálculo, 152, 570
- hoja de probabilidad Weibull, 562, 563-564, 701, 755
homogeneidad de un lote, 493
Honeywell Space Systems, 268
Hospital Corporation of America, 294
Hoteles Marriot, 442
Hughes Company, 670
- IBM, 445-446
identificación y rastreo de lote, 370
idiomas en una organización, 271-272
implementación y monitoreo, paso del proceso mejorado de six sigma, 107
inadecuaciones, clasificación de seriedad, 532
incidente, 297
independencia
pruebas de tablas de contingencia chi-cuadrada, 601
probando en una tabla de contingencia J X K, 592
indicador de tipo de Myers-Briggs, 235
indicadores concurrentes, 173
indicadores de desempeño, 258, 451
indicadores de negocios, 205-206
indicadores de resultados clave, 258
indicadores de rezago, 173
indicadores principales, 173
índice C_p . *Véase* índice de capacidad de un proceso
índice C_{pm} , 694, 698
índice de capacidad de un proceso (C_p), 692
medición de capacidad potencial, 693-694
utilizado para evaluar un proceso, 445
índice de errores, en relación con resultados de complejidad, 431-432
índice de falla constante, 639
índice de defección
efecto en las utilidades, 134
reduciendo, 132
índice de errores del documento, índice dependiente de retroalimentación, 426
índice de fallas, 326
adopción de una constante, 639
como una función de los parámetros de operación, 645
índice de quejas, 294
Índice Estadounidense de Satisfacción del Cliente (ACSI), 44
índice de prioridad de Pareto (PPI), 71
Índice Taguchi. *Véase* índice C_{pm}
- índices
cuantificando la confiabilidad, 324, 326
para capacidad de mantenimiento, 336
índices de calidad
para planes de muestra de aceptación, 500-502
requisito de, 510
selección de un valor numérico de, 508-510
índices de capacidad, 692
ajustando datos a las distribuciones Weibull, 694
calculando en torno a los valores objetivo, 694
para estudios de desempeño de procesos, 697
para procesos centrados y bien orientados, 702, 703
- índices de confiabilidad, 324
índices de defectos
en términos de partes por millón, 691
variación departamental en, 93
industria de artículos de calzado, personalización de masas en, 303-304
industrias artesanales, beneficiándose de la tecnología, 417
industrias de servicios, 191
capacidad de proceso en, 699
categorías de, 438, 439
distinguiendo las características de, 438
experiencia extensa en estudios de mercado, 40-41
planeación inicial para la calidad, 439-446
semejanzas entre, 439
terminología de inspección, 467
usando la simulación en, 102
inferencia estadística, 579
información
diseminación en calidad, 271
generando útil, 81-82
perdida o ausente, 30
información de calidad automatizada, 409-411
información de calidad de mercado, 294-295
información inequívoca para especificaciones de producto, 405
informes de medidas de calidad, 273
infraestructura de organización multifuncional, 200
infraestructura para calidad, 256
ingeniería. *Véase también* diseño de productos
auditoría de proceso, 422
proceso de diseño, 617
resolviendo problemas usando la inferencia estadística, 579
ingeniería concurrente, 343-344
ingeniería de confiabilidad, 323
ingeniería de diseño, 343-344
ingeniería de sistema. *Véase* QFD (despliegue de la función de calidad)
ingeniería de valor, 341
aplicado a las relaciones de calidad del proveedor, 368
herramientas, 340
ingeniería estadística, 618
ingeniería simultánea. *Véase* ingeniería concurrente
ingreso de equipo, 228
ingresos por ventas
contribución de calidad a, 126-165
efecto de características del producto en, 14
planeando calidad de producto para generar, 138-140
iniciativa tinta azul, 428
iniciativas de calidad, 46
insatisfacción del cliente, reduciendo, 28
inspección
actividades de aseguramiento, 520
automatizada, 479-480
cantidad de, 493
cien por ciento, 494
economía de, 494-496
enfoque a la planeación detallada de calidad con proveedores, 367
error, 485
especificando las condiciones de, 476
exactitud, 480-481
- ninguna, 494
niveles de, 504
objetivos de, 467
planificación de, 472-476
presiones para reducir la cantidad de, 493
punto de equilibrio de, 509
terminología de, 467
inspección al 100%, 372
inspección automatizada, 479-480
inspección de bienes terminados, 473
inspección de identificación, 372
inspección de muestra por operadores, 420
inspección de pequeña muestra, situación que requiere, 504
inspección entrante, 473
inspección entrante y pruebas, 31
inspección normal, 506, 507
inspección y prueba automatizada en máquina, 479
inspección y prueba final, 32
inspección y pruebas en proceso, 32
inspecciones de barrera de peaje, 473
inspector
errores, 484
exactitud, 480-481
instituir mandos para sostener el paso de las ganancias, 64
Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST), 48, 50
instrucciones de trabajo, claridad y precisión en las, 97
instrumentación inadecuada, 704
instrumentos estadísticos
capacitación en, 578
en calidad, 545-573
para analizar datos, 578-628
para diseñar para la calidad, 636-659
integridad como un valor primario, 267
inteligencia de campo, 295
interacción
concepto de, 607, 608
efecto de, 615, 617
interdependencia de compradores y proveedores, 355
interfaces funcionales entre departamentos, 196
Internet como conductor para el trabajo externo, 362
interpretación de frecuencia, 567
intervalo de confianza, 582
intimidación como un valor primario, 267
inventario
como desperdicio, 392
demanda de niveles reducidos, 388
encogimiento, 30
énfasis actual en reducción, 355
inventario neto, 69, 70
investigación apreciativa, 269
investigación de empleados, 447
investigación y desarrollo. *Véase* diseños de producto
IPP (índice de prioridad de Pareto), 71
IPPD (desarrollo integrado de producto y procesos), 314
IQL (nivel de calidad indiferente), 500-501
Ishikawa, Kaoru, 11
ISO (Organización Internacional para la Estandarización), definición de calidad, 15

- ISO 9000
Certificación, 51
estándares de calidad de series, 51
- James River Graphics Company, 397, 398
- japonés
enfoque de administración estratégica, 244
revolución en calidad, 10
- jerarquía de necesidades humanas, 266
- JIT, sistema de producción justo a tiempo, 388
- JMP, 571
- jornada de remedio, 75
- jornadas para mejora de calidad, 75
- juego de herramientas estadístico para diseño, 636
- junta para revisión de material, 471
- Juran, J. M., 10
- Kaiser Permanente
declaración de visión, 249
equipos de calidad en rutina diaria, 458
- kaizen, 59
- Kelly Services Inc.
planeación estratégica, 246, 247
responsabilidades de consejo de calidad, 220
- KLOC (mil líneas de código), 345
- Kodak, 340, 653
- KPIV (variables clave de la entrada de productos), 75
- KPOV (variables clave del resultado de los productos), 75
- Laboratorio de Física Aplicada Johns Hopkins, 314
- Lederle-Praxis Biological, 197
- Lands' End, 456
- lealtad
encuesta de clientes, 306
medición, 131
resultados de análisis, 133
- lealtad del cliente
determinando lo que conduce a la, 132
distinguiendo la satisfacción, 296
hoja de ruta para lograr una gran, 131-133
versus satisfacción del cliente, 130
- legitimidad de las auditorías de calidad, 526
- Lexus, 131
- libre de defectos, 13, 14
- LCL (límite de control inferior), 676
- liderazgo
como criterios Baldrige, 220
estilo de, 276, 277
- liderazgo directivo, pruebas de, 274-277
- liderazgo ejecutivo, 255-258
- liderazgo sirviendo, 447
- líderes de equipo
características de, 225
de los equipos de proyecto de calidad, 227
- límite de calidad promedio saliente (AOQL), 359, 501, 507, 508
- límite de confiabilidad (tensión máxima), 648
- límite de control inferior (LCL), 676
- límite de control superior (UCL), 676
- límite de organización, 440, 441
- límites
cálculo para una gráfica de control, 673
- tipos de, 654, 655
- límites de confianza, 582, 655
- límites de confianza, calculando, 692
- calculando sobre el resultado muestra, 603-604
- en los programas de planeación de pruebas, 585-586
- límites de control, 655
- calculando para una gráfica de control, 674-675
- detectando la presencia de causas especiales, 685
- en rangos muestra, 676
- establecidos como líneas límite, 187
- no comparables con los límites de especificaciones, 677
- límites de control estadístico, 696
- límites de especificación, 705
- ajuste, 650, 656
- comparación para controlar límites, 695
- consecuencias económicas de desviaciones de, 654-656
- necesidades funcionales y, 651
- para características de producto, 338
- para dimensiones de interacción, 656
- relación con la variabilidad de proceso, 691
- tramando medidas individuales contra, 696
- variabilidad industrial y, 650-654
- límites de tolerancia, 655
- ajuste de una manera más precisa, 652-654
- juego realista de, 651
- límites de tolerancia estadísticos, 653, 354, 655
- límites de tolerancia natural, 652
- línea central para una gráfica de control, 673
- línea de interacción, 440, 441
- línea de invisibilidad, 440, 441
- línea de pintura
defectos de acabado en, 489
- mejora de primera producción, 110-118
- linealidad, 483
- listas de componentes críticos, 328
- listas de control
evaluando el primer criterio de autocontrol, 407-408
- evaluando el segundo criterio de autocontrol, 411
- evaluando el tercer criterio de autocontrol, 413-415
- para auditorías de calidad, 529
- listas de reemplazo, 335
- lógica difusa, 103
- Long John Silver's, 249
- longevidad, 326
- lotes, alternativas para evaluar, 494
- LQL (nivel de calidad restrictivo), 500, 501
- LTPD (porcentaje de tolerancia de defectos por lote), 359, 507, 508
- LTV, procedimientos estándar, 405-406
- lugares de trabajo, planean que sean ordenados y limpios, 400-401
- madurez del proceso, niveles de, 445-446
- madurez, fases de para proyectos, 210
- mal proceso de diseño como desperdicio, 391
- mal servicio, costo de, 33
- mala calidad
costo de, 28
- costos indirectos de, 37
- pérdida de ingresos por, 34
- Mallinckrodt Inc., 523
- mantenimiento, proveyendo un proceso, 412
- manual de auditoría de calidad, 530
- manufactura artesanal, 390
- manufactura asistida por computadora (CAM), 415
- manufactura automatizada, 415-417
- manufactura integrada a la computadora (CIM), 415, 416
- manufactura lean, 389-395
- conceptos clave usados en, 391-395
- en comparación con la tradicional, 391
- principios de, 390-391
- manufacturabilidad, diseñando para la, 338-340
- mapas de proceso. Véase diagramas de flujo de un proceso
- máquinas, células de, 417
- marcadores de medidas de calidad, 273
- Maslow, A. H., 293
- Massachusetts Institute of Technology, 208
- materia de auditorías de calidad, 522-524, 531
- materia devuelto, 31
- matriz de priorización, 97, 98
- matriz de planeación de contingencia, 190
- matriz de selección de remedios, 99
- matriz de trabajadores contra defectos, 409
- MBTF (tiempo medio entre fallas), 324, 326, 360
- aplicando los niveles de confianza a, 584
- con base en una población exponencial de tiempo entre fallas, 583
- para un sistema, 584
- significado de, 641
- McDonald's Corporation, 455
- media
de una población exponencial, 584
- de una población normal, 582, 583, 584, 586, 592
- probando las diferencias entre dos, 597-599
- mediana, 552
- medida y análisis en six sigma, 62
- medida (s)
balanzas, 178
- creando un sistema de, 177-179
- datos de estudio, 487
- de características específicas de calidad, 502
- de confiabilidad, 328, 329
- en administración de la calidad, 172-174
- en comparación con un objetivo, 185
- errores de, 481-492
- establecimiento de, 191, 451-453
- establecimiento para objetivos, 258
- independencia de, 697
- múltiple, 488
- para calidad, 173-174
- recopilando de un proceso, 205
- recursos empleados para la actual, 179
- variación o registrado, 402
- medida de calidad, 172-174
- como una forma de refuerzo, 273
- como un foco continuo, 273-274
- en diseño, 345-346
- en operaciones de servicio, 459-461
- en operaciones industriales, 423
- en relaciones con proveedores, 377
- en una compañía de tarjetas de crédito, 459-460
- medida de precisión
aclarando el alcance de, 481
- para todo el equipo de prueba automatizado, 480
- medidas conjuntas, 44, 298
- medidas de negocios, relación del costo de la mala calidad con, 36-37
- medidas de productividad, 273
- medidas de resultado, 460
- medidas del proceso detalladas, 460, 461
- medidas financieras, 68
- medidas para dispersión, 552-553
- medidas para supervisión de proceso, 460-461
- medidor R y R, 487, 492
- medios aritméticos, 552
- mejora/mejoramiento, 20
- acercamiento estructurado a, 60
- como el objetivo clave de una auditoría de calidad, 533
- de calidad, 285
- filas de progresión para, 377-378
- identificando los pocos proyectos vitales para, 71
- índice revolucionario de, 66
- infraestructura para, 119
- manteniendo el enfoque en la continua, 119
- objetivos para ejecución, 66
- proyecto por proyecto, 60-61
- pruebas de resultados de, 117-118
- responsabilidades, 66
- secuencia revolucionaria para, 61
- mejora continua, 59
- manteniendo el enfoque en la, 119, 424-425, 461
- mejora de calidad, 424
- acciones que se pueden emprender, 442
- aplicable a la mejora de confiabilidad, 334-335
- ejemplo, 61-64
- estableciendo el enfoque para, 61
- jornadas de diagnóstico y remedio, 190
- jornadas que se requieren para, 75
- necesidad para toda la empresa, 64-66
- realización, 61
- transacciones con problemas crónicos, 347
- mejora en el desempeño, 11
- mejora revolucionaria, 20-21
- mercado, reputación de calidad, 39-44
- mercadotecnia
actividades de aseguramiento, 520
- descubriendo oportunidades, 299-304
- Merrill Lynch Credit Corp., 268
- metas, 107-110. Véase objetivos
- metas de extensión, 252
- método de cuadrados mínimos, 621
- metodología de superficie de respuesta, 102

- métodos de trabajo, estudio de, 94-95
- métodos administrativos frente a métodos estadísticos, 545
- métodos del trabajador, estudio de, 90
- métodos diagnósticos, 83-98
- métodos estadísticos, 578
- métodos gráficos en planeación antes de experimentos, 619
- métodos modernos de experimentación, 614-615
- métodos numéricos para resumir datos, 552-553
- Microsoft Excel. *Véase* Excel
- mil líneas de código (KLOC), 345
- MIL-STD-882C, 337
- MIL-STD-882D, 337
- MINITAB, 100
- análisis de ANOVA, 615
- analizando datos de estudio de medidas, 78
- automatización de la aplicación de herramientas de calidad, 571
- capacidades para el control del proceso estadístico, 706
- usando pruebas de tablas chi-cuadrada, 601
- ejemplos trabajados, 624-628, 660-661, 707
- hipótesis que prueba hoja de ruta con, 602
- probando la diferencia, 597-600
- problemas adicionales empleando, 717-726
- salida para un análisis de regresión, 622, 623
- utilización de listado, 571
- mirillas en el proceso de inspección, 473
- misión, 246-247, 249
- misión y metas del proceso, 198-199
- mitigación del principio para evitar errores, 400
- modelando la confiabilidad, 645
- modelo arbitrario de errores de los trabajadores, 93
- modelo de construcción, 333
- modelo de efectos arbitrario, 606
- modelo de efectos variados, 606
- modelo de excelencia EFQM, 51
- modelo de efectos fijos, 606
- modelo de probabilidad, desarrollo de, 644
- modelo de sistema, traduciendo a un programa de computadora, 102
- modelo financiero Dupont, 36-37
- Modelo SERVQUAL, 43, 305, 439
- moderador de un grupo de muestra, 302, 303
- modo de fracaso, efecto y análisis crítico. *Véase* FMECA
- modos de fracaso, 330, 331, 379
- monitoreo, gráficas para, 688
- monotonía, tareas de inspección con un alto grado de, 480
- motivación, teorías de, 265-267
- motivadores intrínsecos, 286
- Motorola Company, 702
- movimiento. *Véase también* estabilidad
- compensando por, 704
- en muchas corrientes, 87
- movimiento como pérdida, 392
- MS (cuadrado de la media), 615-616
- MSA (análisis de sistema de medición), 149
- en decisiones de aceptación/rechazo del tasador, 489
- en un proyecto de mejora de six sigma (DMAIC), 489-492
- plan de recopilación de datos para, 490
- MTBJ (tiempo medio entre atascos), 360
- MTBM (tiempo medio entre mantenimientos), 326
- MTFF (tiempo medio para el primer fracaso), 326
- MTTF (tiempo medio para fallas), 326, 641
- MTTR (tiempo promedio de reparación), 336
- muchos proyectos útiles, 71
- muestra (s), 553
- decidiendo cómo medir, 82
- en un estudio enumerativo, 568
- inspección de las grandes, 494
- inspección de las pequeñas, 494
- porcentaje dentro de un juego de límites, 557
- representatividad de, 697
- muestra arbitraria, 553
- muestra de aceptación, 496-497, 510
- muestra de cadena, 494
- muestra de distribución de recursos, 581-582
- muestra de proyectos, 508, 509
- efecto de inspección, errores en, 484
- establecimiento, 369-370
- tipos de, 502-503
- muestras periódicas, 569
- muestreo al azar 494
- Mustang
- equipo, 142
- estudio de mercado conducido para, 143
- MVT (prueba de verificación industrial), 154
- necesidades, 293-294. *Véanse también* necesidades de pertenencia y amor; necesidades del cliente; empleados, necesidades elementales; empleados, necesidades de capacitación; necesidades de estima; necesidades funcionales; necesidades fisiológicas; necesidades de seguridad; necesidades de autoactualización; necesidades del usuario
- necesidades declaradas *versus* necesidades reales, 294
- necesidades de autoactualización, 266
- necesidades de estima, 266
- necesidades de los usuarios, examinando, 335
- necesidades de percepción, 4
- necesidades de pertenencia y amor, 266
- necesidades del cliente. *Véase también* necesidades como foco del control del proceso estadístico, 705
- descubriendo, 143, 202-205, 299-304
- determinación de, 295
- determinación y priorización, 149
- en relación con características del producto, 297-304
- entendiendo, 139, 291-307
- evaluación continua, 131
- fracaso al cumplir las, 30, 31
- ocultas, 140
- para componentes de calidad, 297-305
- recopilando información sobre, 301-302
- traduciendo en características del producto y del proceso, 316
- traduciendo en mediciones de CTQ, 159
- necesidades fisiológicas, 266
- necesidades funcionales, límites de especificación que reflejan, 650, 651
- necesidades humanas
- alcance de, 293-294
- jerarquía de, 266
- NIST, Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, 48, 50
- nivel "atractivo" (o sorpresivo), 293
- nivel de calidad aceptable (AQL), 359, 370, 500, 501, 502, 504-505
- nivel de calidad indiferente (IQL), 500-501
- nivel de calidad restrictivo (LQL), 500, 501
- nivel de confianza, 582
- aplicado a un índice de confiabilidad, 584
- desde un punto de vista estadístico, 584-585
- no señalado por la curva OC, 498
- nivel de fuerza de trabajo
- nuevos modos de organizar el trabajo, 226
- organizando el trabajo en, 418
- participación en, 282
- nivel de operación, pensamiento estadístico en, 569
- nivel de proceso, 218
- nivel de significación, 587, 588
- nivel de trabajo individual, 218
- nivel directivo, pensamiento estadístico en, 569
- nivel estratégico, pensamiento estadístico en, 569
- nivel inaceptable, LQL como, 500
- nivel organizativo, 218
- nivel "unitario" (o deseado), 293
- niveles
- de organizaciones, 218
- variaciones de factor como, 606
- niveles de calidad
- estableciendo, 70
- mayor, 388
- niveles de calidad de clase mundial, 388
- niveles de defectos, 340
- niveles de Sigma, niveles de defecto y, 702, 703
- no clientes, capturando la vista de los, 296
- no conformidad. *Véase* defectos
- no conformidades, 504
- costo de, 29
- rastreando del número de, 682
- no conformidades crónicas, 472
- no conformidades recurrentes, 472
- nombramiento para proyectos de six sigma, 68-69
- normalidad de las características que se miden, 696
- normas culturales, 276-277
- Norrell, 234
- NPV (valor actual neto), 133
- nueva inspección y costos de nueva prueba, 30
- nuevos datos, recopilando, 90-91
- objetivo como valor primario, 267
- objetivos, 250
- ajustando la confiabilidad total, 324, 326
- desarrollo de, 250-252
- despliegue de, 254-255
- para retención y lealtad de clientes, 131
- objetivos. *Véase también* metas de experimentos, 605-606
- objetivos de calidad
- formulación de, 251-252, 253
- obstáculos para alcanzar, 260-261
- suministrando en todos los niveles, 271-274
- temas de control asociados con, 183
- objetivos de calidad corporativos, 251
- objetivos de negocios. *Véase* objetivos
- objetivos estratégicos, 250, 258
- objetivos operacionales, 183
- objetivos tácticos, 250
- observación de clientes, 300
- oferta de preexperimento, 619
- ojos electrónicos, 479-480
- operaciones, 221-222
- brindando apoyo, 461
- en el sector industrial, 388
- gerentes del sector de servicios financieros, 443
- servicios de IT proporcionados por, 444
- transfiriendo el remedio a, 106
- transfiriendo un proceso nuevo o revisado a, 210
- operaciones de apoyo
- costo de errores en, 35
- pérdidas de ingresos en, 31
- trabajos de reelaboración en, 31
- operaciones de manufactura midiendo la calidad en, 423
- organizando para la calidad en, 418-419
- operaciones de servicio
- control de calidad en, 451-454
- medida de calidad en, 459-461
- organización para la calidad en, 457-459
- operaciones internas de apoyo, trabajo de reelaboración en, 30
- operaciones libres de fallas, 639
- operaciones no controladas, 90
- operadores
- como técnicos, 8
- inspección de muestra por, 420
- oportunidad de retroalimentación para trabajadores, 409
- oportunidades de mejora, 524
- órdenes expeditas, 180-181
- organización de administración de procesos, 217-218
- organización de seguros AAL, 202
- organización enfocada al cliente, 11
- Organización Internacional para la Estandarización. *Véase* ISO
- organización jerárquica vertical, 197
- organización para calidad, 216-217
- organización tradicional de la fuerza de trabajo, 232, 233
- organización virtual, 389
- organizaciones
- formas de cambios en, 11
- impacto de la administración de procesos en, 212
- infraestructura, 200
- niveles de, 218
- pensamiento estadístico en tres niveles en, 569
- utilizando diagramas de flujo de otros procesos, 207-208

- organizaciones de aprendizaje, 258, 260
- organizaciones funcionales cambiando a una organización de proceso, 218
- flujo de trabajo en, 195, 196
- organizaciones industriales, costo de la mala calidad, 37
- Outsourcing Institute, 361
- papel de gráficos de probabilidad, 565, 699-701
- paquetes estadísticos, automatizando la aplicación de instrumentos de calidad, 571
- parámetros clave del proceso, 75
- parámetros del cliente, 176-177
- partes análisis por el costo total de, 379
- utilizando estándar, 335
- partes por millón. *Véase* ppm
- partes presentadas, calidad de, 377
- partes sensibles a la calidad, 397
- participación, 282
- buscando motivar la acción, 281-282
 - en la introducción de cambios, 105
 - formas de, 282, 283
- partidarios de proyectos relacionados con la calidad, 220
- paso. *Véase* tiempo tak
- paso de limpiar en el enfoque 5S, 400
- paso de control en six sigma, 64
- paso de diagnóstico de causas, 62
- paso de estandarizar en el enfoque 5S, 400
- paso de evaluación de proyectos potenciales de six sigma, 71
- paso de evaluación de remedios alternativos de six sigma, 98-99
- paso de Medir (M) en DFSS, 145
- paso de medición de capacidad del proceso en six sigma, 78, 80
- paso de mejora en six sigma, 62, 64
- paso de planeación de dirección de procesos, 202-210
- paso de planeación para la colección de datos de six sigma, 80-82
- paso de ordenar en el enfoque 5S, 400
- paso de recolección y análisis de six sigma, 82-83
- paso de selección y lanzamiento de equipo de proyecto de six sigma, 72-73
- paso de mantener en el enfoque 5S, 400
- paso de transferencia del remedio para las operaciones de six sigma, 106
- paso de verificar (V) de DFSS, 148
- paso del diseño de experimentos de six sigma, 99-103
- paso en el que se proporciona un remedio y se comprueba su efectividad, 62, 64
- paso para descubrir las necesidades de los clientes, 143
- paso para determinar la capacidad final del proceso de six sigma, 107
- paso para documentar el proceso de six sigma, 74-75
- paso para el desarrollo de controles de proceso y transferencia de operaciones, 144
- paso para el desarrollo del proceso, 144
- paso para el desarrollo del producto, 143-144
- paso para identificar clientes, 143
- paso para identificar proyectos potenciales de six sigma, 68-69
- paso para validar el sistema de medición de six sigma, 78, 106
- paso para verificar la necesidad del proyecto de six sigma, 73
- paso para verificar la necesidad y misión del proyecto, 62
- pasos intermedios, probando el producto en, 85
- patrones de error, 92
- patrones de fracaso para productos complejos, 636-639
- PC. *Véase* PRE-Control
- pensamiento estadístico en tres niveles en una organización, 569
- pequeña C, 16
- percepción, 293
- percepción del cliente, 293
- pérdidas, 378
- pérdidas relacionadas con la calidad, 64-65
- perfección, 38
- periodo de desgaste en la curva de bañera, 637
- periodo de garantía, estudio de mercado que va más allá, 296
- periodo de índice de falla constante en la curva de la bañera, 637
- periodo de mortalidad infantil en la curva de bañera, 637
- personajes de mérito, 324, 326
- personal
- capacitación de, 235-236, 281
 - retención de, 236-237
 - selección de, 234-235, 281
- personal interno, productos no conformes y, 70
- personalidad
- características que cambia el equipo de trabajo, 230
 - como atributo para puestos, 235
 - personalización masiva, 303-304, 313
 - PIMS (Impacto de Estrategias de Mercado en Ganancias), 127
 - plan compuesto, 375-376
 - plan de análisis económico, 376
 - plan de calidad total del producto, 375, 376
 - plan de control, 179-181, 474, 475
 - plan de control de Baxter Travenol, 474, 475
 - plan de prueba múltiple, 508, 509
 - planes de pruebas múltiples, 502
 - plan de realización, 4
 - plan para recopilación de datos para la fase de análisis, 115
 - preparación, 702
 - plan para recopilación de datos de six sigma, 75-80
- planeación, 21
- calidad para productos individuales, 138
 - para calidad, 396-402
 - para diseño experimental, 619
 - para evaluación del producto, 419-421
 - separación de ejecución, 278
- planeación de calidad conjunta, aspectos económicos de la, 368-369
- planeación de *hoshin*, 244
- planeación de la manufactura, 417-418
- planeación de reparación en FMECA, 330
- planeación económica conjunta, 368-369
- planeación estratégica, 21, 244
- definiendo vínculos entre, 254
- planeación tecnológica conjunta, 369-370
- planes de muestra de aceptación, 497-498
- características de, 503-504
 - índices de calidad para, 500-502
- planes de muestra doble, 502, 503, 508, 509
- planificación de calidad, 424
- como un costo de prevención, 32
 - estableciendo el enfoque para, 61
 - hoja de cálculo o matriz, 145, 146
 - hoja de ruta para asegurar la venta, 140-145
 - información generada por, 145
 - para procesos automatizados, 417
 - para servicios, 144
 - suministrando los pasos para desarrollar nuevos productos, 346
- planificación detallada de inspección, 474-475
- planta piloto, evaluando variables del proceso, 100
- planteamiento del problema, 72
- población, 553
- aseveración sobre, 586
 - decidiendo como medir, 82
 - desviación estándar, 595
 - en un estudio enumerativo, 568
 - medio, 591, 593-594
 - probabilidad de acontecimientos en, 553
 - proporción, 749
- población estable, 696
- poder, 693-694
- poka-yoke*, 399
- dispositivos, 421, 473
 - sistemas, 400
- políticas, 97, 256
- cuestiones que afectan auditorías de calidad, 530
- políticas de calidad, 256-258
- porcentaje de tolerancia de defectos por lote (LTPD), 500
- porcentajes de vulnerabilidad (VP), 45
- posición de mercado, evaluación de la, 131
- posición en el mercado, 39-44
- PPM (proceso centrado), 653
- ppm (partes por millón), 359, 653
- prácticas de trabajo, estandarización de, 175
- precios de herida, cuantificando, 337
- precisión. *Véase* también repetición
- recursos de medición, 609
- PRE-Control, 682-684
- predicción (ones)
- de parámetros demográficos, 578
 - distribución de probabilidad binomial para, 567
 - distribución de probabilidad exponencial para, 561-562
 - distribución de probabilidad normal para, 556-557
 - distribución Poisson para, 566
 - cuantificación de fases o confiabilidad, 326-327
 - límites, 655
 - probabilidad de distribución Weibull para, 563-565
 - predicción de confiabilidad, 644, 645
 - predicción de subsistema de índice de fallas, 646
- predicción numérica de confiabilidad, 645
- preguntas abiertas, 46
- preguntas de elección forzada, 46
- preguntas escaladas, 46
- preguntas, haciendo correctas, 81
- premio Baldrige, 10
- criterio líder, 220
 - criterios complementarios con ISO 9000, 51
 - criterios empleados en conexión con, 48
 - viendo categorías como un sistema, 49, 50
- Premio Deming en Japón, 50
- Premio Europeo de Calidad, 10, 50
- Premio Nacional de Calidad, criterios usados, 48-51
- Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige. *Véase* premio Baldrige
- Premio Sterling, 50
- premios de calidad, 50
- premios simbólicos, 284
- presión, confiabilidad como función de lo aplicado, 647-648
- presupuesto. *Véase* fase de distribución de cuantificación de responsabilidades
- prevención de carencias, 304
- principio de detección a prueba de errores, 400
- principio de eliminación de errores, 400
- principio de Juran. *Véase* también principio de Pareto, 69
- principio de Pareto. *Véase* también principio de Juran
- cuantificando el patrón de síntomas, 76
 - generando nombramientos de proyecto, 69
- principio de reemplazo a prueba de errores, 400
- priorización del cliente, diagrama de Pareto para, 157
- probabilidad, 545, 567-568
- de aceptación, 499
 - de éxito, 326
 - de supervivencia, 639
 - diagramas de datos de prueba de vida, 564-565
- probabilidad de significación, 604
- probabilidades acumulativas Poisson, 566
- probabilidades de binomios, tabla de, 567
- probabilidades de Poisson, 566
- problema esporádico, 20
- problemas. *Véase* también problemas de la compañía, 189-190
- problemas crónicos, 59, 703
- confirmando y analizando las variables de entrada y salida, 75
 - distinguiéndolos de los esporádicos, 59-60
 - proyecto de mejora relacionado con, 72
 - resolviéndolos mediante TI, 444-445
- problemas de calidad cuantificando en términos de dinero, 28
- posibles en un proceso estable, 704
- problemas de calidad esporádicos, 59-60, 703
- problemas de frustración, 229

- problemas de la compañía. Véase también problemas que enfrentan los equipos de trabajo, 229
- problemas relacionados con la calidad, 66
- procedimiento, comparado con una política, 256
- proceso(s), 195, 13, 667, 689
- a prueba de errores, 399-400, 442-443
- auditorías de calidad, 421-422, 455
- administración en la calidad de, 197
- calificación de, 418
- capacidad de mantener especificaciones de producto, 690-692
- condiciones para cada variable del proceso, 701
- de predicción de confiabilidad, 328
- definiendo el actual, 202
- descripción, 701
- diagrama de flujo, 202-205
- diseño y desarrollo como, 313-314
- documentación, 74-75
- dominio, 413, 414
- dueño, 199
- el desarrollo según una hoja de ruta de calidad de, 144
- el diseño (rediseño) de, 209-210
- enfoque de auditoría para, 422
- equipo de, 199-200
- especificaciones de, 405-407
- estabilidad de, 696
- estándar, 405
- gráfica del programa de decisión, 97, 98
- implementando y monitoreando, 107
- indicadores de, 451
- ineficiencias de, 29
- inspección de, 473
- instrucciones de, 407
- mantiendo para retener capacidad inherente, 412
- medida de propiedades de, 90
- medidas de, 205-206
- medidas de eficacia de, 460-461
- mejora de, 704
- movimiento de, 704
- objetivos, 198, 199, 706
- para administrar calidad, 20-21
- planeación de, 32
- progresión de pasos en, 83
- regulación de, 189
- relación entre variables de entrada y salidas de, 67
- robustez de, 396
- selección de, 198-199
- simulación por computadora de, 207
- tiempo de ciclo de, 442
- transferencia y dirección de, 210, 212
- proceso actual, 202
- proceso centrado, 702, 703
- proceso de administración de contrato, 200-202
- proceso de control
- definición de, 171-172
- objetivo de poner en práctica, 171-172
- para problemas de calidad esporádicos, 703
- pasos del, 171, 175-190
- proceso de control estadístico, 704
- proceso de cortar y probar, 412
- proceso de dirección de contrato especial, 204
- proceso de diseño de alto nivel, 150-152
- proceso de medida
- existencia de uno controlado estadísticamente, 481
- variación de, 481
- verificación para una gráfica de control, 673
- proceso de mejora
- en comparación con el proceso de control, 172
- identificando y actuando en relación con los problemas de calidad crónicos, 703
- proceso de mejora de la función de auditoría, 533
- proceso de abastecimiento, 367
- proceso de valoración de 360 grados, 281
- proceso DMAIC. Véase también six sigma, 145
- proceso errático, 704
- proceso estable
- calidad no garantizada para, 704
- como lo verificó el control estadístico, 673
- proceso estático en el nivel six sigma, 78
- proceso FMEA, 150
- proceso inestable, 672
- proceso primario, 195-196
- proceso promedio
- cambio en, 704
- cambios en, 702
- mal dirigido, 704
- proceso robusto, 396
- procesos de cambio, costos asociados con, 30
- procesos de negocios
- administración, 197
- administración de calidad, 197
- equipo de calidad, 226
- procesos de preproducción y pruebas, 417-418
- procesos de servicios, 440
- enfoques para la evaluación, 445
- revisando para la calidad, 440
- procesos de información dominante, 413
- procesos de componentes dominantes, 413
- procesos de tiempo dominante, 413
- procesos de trabajador dominante, 413
- procesos ineficaces, costo de, 30-31
- procesos interdisciplinarios, 195, 196, 314
- producción
- actividades de aseguramiento, 520
- desecho, 69, 7
- experimentos, 99, 100-102
- fuentes de, 85
- pruebas de validación, 418
- producción aceptable, 423
- productividad, 18, 423
- productividad, evaluación de, 396
- productividad laboral, 18
- producto(s), 13, 468, 689
- aceptación, 468
- categorías de, 13
- ciclo de vida de, 323
- comparación con la competencia, 297-298
- desarrollados según una hoja de ruta de planeación de calidad, 143
- desechando lo obsoleto, 30
- desviación de, 409
- disposición de no conformes, 470-472
- en el sector de servicios, 145
- error en la clasificación, 482
- evaluación de muestras iniciales de, 371
- evaluación del producto entregado, 371-373
- ingeniería de información de, 155-165
- lenguaje de, 272
- medida de propiedades adicionales o relacionadas de, 90
- oportunidades de mejora, 300
- patrones de fracaso para complejos, 636-639
- variabilidad de, 35
- producto conforme, disposición de, 468
- producto homogéneo, 494
- producto y proceso
- dissección, 84-85
- parámetros, 321
- productos de Varian X-Ray Tube, 285-286
- productos físicos
- aplicación de capacidad de proceso, 84
- revisión de, 521
- productos no conformes
- acción sobre, 373-374
- adecuado o no para su uso, 468
- causados por errores, 699
- comunicación de datos sobre, 470
- disposición de, 470-472
- procedimientos de bordo para envío, 471
- productos complejos, fallo en el patrón de, 636-639
- productos de consumo Johnson & Johnson, 379
- productos reparables, TBF como una característica crítica, 639
- programa de auditoría, 525
- programa de calibración, ajuste por sesgo, 488
- programa de calidad, definiendo los elementos de, 360
- programa de confiabilidad, 323
- programas de compensación, 285
- promedio, 552
- prototipos de soluciones posibles, 300
- proveedor aprobado, 374
- proveedor preferido, 374
- proveedor(es)
- análisis a través del espectro entero de compras, 379
- análisis de Pareto de, 378-380
- certificación, 374-375
- control de, 370-377
- como clientes, 292
- como parte de los equipos de desarrollo, 314
- especificación de exigencias de calidad para, 358-361
- evaluación de capacidad industrial, 364
- evaluación del producto, 371-373
- incluyendo actividades de calidad, 216
- inspección de, 473
- múltiple contra único, 363
- producto no conforme recibido de, 30
- selección de, 361-363
- Proveedores de Servicios de Aplicación (ASP), 362
- proveedores externos, 445
- proveedores internos dentro de una industria de servicio, 443
- proveedores múltiples, 363
- proyección de pruebas, descubriendo fallas, 335
- proyecto(s)
- establecimiento en una hoja de ruta de calidad, 141-142
- identificando el potencial en la fase de definición de six sigma, 68-69
- reproduciendo los resultados de, 119
- selección inicial en la fase de definición de six sigma, 72
- verificando el tamaño de, 73
- proyecto de cambio de volumen y de tiempo, 427-428
- proyecto de desarrollo del documento, 430-431
- proyecto de Retroalimentación Oportuna, 426
- proyecto EuroShoe, 303-304
- proyecto Six Sigma DMAIC
- ejemplo, 110-118
- metas y herramientas usadas en cada fase de, 107
- proyectos de clonación de mejoras, 66
- proyectos de mejora, 14
- base de datos de computadora de, 119
- reproducción de, 66
- proyectos de six sigma
- diseño de ejemplo para, 155-165
- industrias de perfeccionamiento, 459
- proyectos de variables, 502
- proyectos piloto
- importancia de, 261
- justificación de un programa más amplio, 65-66
- lanzamiento, 5
- prueba
- errores, 587-589
- esquema, 507
- inspección, 372
- para auditorías de producto, 539-540
- procedimientos, 510-512
- riesgos, 497-500
- tablas Dodge-Romig, 507-508
- variación, 498, 580-581
- prueba ambiental, 334
- prueba ("beta") del cliente, 334
- prueba de buena aptitud, 565
- prueba de calificación, 364
- prueba de comparación por pares, 594
- prueba de confiabilidad, 334
- prueba de dos colas, 589, 590
- prueba de Kruskal-Wallis, 428, 592
- prueba de la necesidad, 274
- prueba de Mann-Whitney, 592
- prueba de tensión, 334
- prueba de verificación del diseño (DVT), 154
- prueba de verificación industrial (MVT), 154
- prueba de vida, 334
- prueba única
- mesa maestra para, 506, 507
- plan, 502, 508, 509
- prueba Wilcoxon de una muestra, 592
- prueba (s)
- ajuste de especificaciones, 484
- aumento adicional de la exactitud de estimaciones, 585

- en comparación con inspección, 467
- evaluación de datos, 579
- exactitud del equipo, 32
- métodos de, 481
- para evaluar diseños, 333-334
- programas de, 585-586
- riesgos de, 333-334
- pruebas aleatorias de lotes, 494
- pruebas de tablas de contingencia
 - chi-cuadrada, 601
- pruebas de una cola, 590
- puestos de escucha, personal de primera línea como, 457
- punto de equilibrio para inspección, 509
- punto de vista de sistemas, 197
- punto de vista tradicional de compra, 356
- punto estimado, 582
- puntos para recopilación de datos, 82
- QFD (despliegue de la función de calidad), 145, 146, 147, 316-320
 - matriz, 301, 302
- QFD flujo descendente
 - clientes contra necesidades del cliente, 158
 - CTW contra funciones, 161
 - funciones contra rasgos, 163
 - rasgos contra alternativas, 164
- QIE (equipo para información de calidad), 410-411
- QS 9000, 51
- QSIT (técnica de inspección del sistema de calidad), 536-537
- quejas
 - analizando, 133
 - impacto del manejo en la posibilidad de volver a comprar, 132
 - satisfacción del cliente atendiendo las, 136
- quejas de campo
 - datos sobre, 304
 - inferioridad que no se puede descubrir en, 299
- R^2 (coeficiente de determinación), 621-622
- r (coeficiente de correlación lineal simple), 622
- ramo de la alimentación, clasificaciones de seriedad en, 478
- rango, 552
- rango en la gráfica de control, 681
- rangos medios en diagrama de Weibull, 563
- Rank Xerox (RX), 274, 275
- rasgos
 - convirtiéndose en característicos, 650
 - versus alternativas, 164
 - versus funciones, 163
- rasgos del producto, 13, 14
 - interrelación con, libre de deficiencias, 14
 - necesidades relacionadas con, 297-304
 - unidades de medida para, 178
- reales necesidades contra necesidades establecidas, 294
- recomendación de auditorías de calidad, 530
- recompensas, 282, 284-286
- reconciliación. *Véase* valoración
- reconocimiento, 282
 - formas de, 284
 - planeación para, 282, 284
- recopilación de datos
 - en la fase de análisis de six sigma, 80-82
 - en la fase de medición de six sigma, 75-80
 - estableciendo objetivos, 82
- recopiladores imparciales, 82
- recortando nuevas ventanas, 90-91
- recursos
 - aseguramiento de actividades de calidad, 219
 - subestimación para proyectos de calidad, 261
- recursos de personal subutilizados y creatividad como desperdicio, 392
- recursos muestra
 - distribución de, 581
 - propiedades estadísticas de, 582
- rechazo de la hipótesis nula, 603
- rediseño de hardware, costos asociados con, 30
- rédito en calidad, 65
- redundancia, 335, 644
- redundancia paralela, 644
- región de aceptación, 589-591
- región de no rechazar, 589
- regiones de rechazo, 587, 591
- registrador de proyecto, 228
- registro de la distribución normal, 565
- registros de uso del equipo, 428
- regla Deming *kp*, 495
- regla de multiplicación, 369
- regla de probabilidad complementaria, 568
- regresión lineal, 621, 622
- regresión múltiple, 622
- regular, capacidad para, 449-451
- reingeniería, 209
- relación de capacidad (C_p), 690, 692
- relación lineal, 622
- relación señal/ruido, 322
- relaciones de negocios, 377
- relaciones con proveedor, 377
 - actividades de aseguramiento, 520
 - matriz de responsabilidad, 357, 358
 - medida de calidad en, 377
 - revolución en, 355-357
- relaciones humanas en revisión, 534-535
- remedios, 75
 - comunicación de, 104
 - diseño en la fase de mejora de six sigma, 103
 - diseño para auditorías de calidad, 530
 - evaluación alternativa, 98-99
 - evaluación preliminar de, 103-104
 - transferencia a operaciones, 106
- rendimiento de primera vez, 184, 423
- rendimiento final, 184
- renuncias en productos no conformes, 471
- reparaciones versus desechos, 336
- reparaciones/100, 326
- repetición, 481, 482, 484, 487
- repetidores, 470, 472
- réplica, 609-613
- reporte de estado para auditorías de calidad, 530
- reporte, equilibrio en, 534
- reportes de auditoría, 530-532
- despersonalización, 535
- distribución de, 532
- reportes de discrepancia, 531
- reproducibilidad, 482, 487
- reproducibilidad instantánea. *Véase* capacidad inherente
- requerimientos críticos para la calidad. *Véase* CTQ
- requerimientos de confiabilidad para partes, 359-360
- requerimientos de mano de obra y personal, determinando, 393
- requerimientos de uso, transmitiendo al proveedor, 358-359
- requerimientos funcionales, 315-323
- requisitos y necesidades del cliente, fracaso al cumplir con, 30, 31
- requisito de confiabilidad, 323-324, 326
- reservas de exceso de inventario, 69, 70
- reservas de inventario obsoletas, 69, 70
- resistencia al cambio, 104-105
- resistencia de gerencia media a los equipos de trabajo, 231
- retorno sobre la inversión (ROI), 65, 127
- retroalimentación comprensible para trabajadores de producción, 408
- revista *Quality Progress*, directorio anual de software, 571
- RSM (metodología de superficie de respuesta), 102
- responsabilidad, 405
- respuesta para experimentos de superficie, 99
- restricciones, 97
- resultado de proceso futuro, prediciendo, 569
- resultado físico al lado izquierdo de la ecuación, 658
- resultado numérico de calidad, 375
- resultados del producto
 - como una función de muchas variables del proceso, 67
 - correlación de variables del proceso con, 397
- resultados muestra, evaluando, 586
- resultados revolucionarios, 432-433
- resumen gráfico de datos, 548-549, 551-552
- resumen tabular de datos, 546-548
- retención
 - medición, 131
 - de personal, 236-237
- retención del cliente en un banco, 42-43
- retroalimentación
 - ganancia en actividades de mejora, 21
 - para supervisores, 409-411
 - para trabajadores de producción, 408
 - relacionada con la acción de los trabajadores, 409
 - variaciones a través de equipos de producción, 426
- reunión de postauditoría, 535
- reuniones de equipo, 73
- revisión amplia de una organización, 4, 5
- revisión de negocios, 341
- revisión de nuevos productos, 32
- revisión de Santayana, 119
- revisión del documento, 32
- revisión histórica de cambios en diseño, 347
- revisiones durante la fase de decisión, 3, 4, 5
- revolución de información, 12
- riesgo alfa, 588
- riesgo beta, 588
- riesgo de severidad catastrófica, 337
- riesgo de los consumidores, 482, 497
- riesgo grave, 337
- riesgo, probabilidades de peligro
 - a las que se hace alusión como, 337
- riesgos, 337
- ritmo, 392
- Rockwell corporation, 276, 277
- Rogers Corporation, 685-686
- ROI (rédito en la inversión), 65, 127
- ruído, 67, 609
- rutina diaria, aplicando conceptos de equipo a, 419
- sala de gráficas, 273
- salida inaceptable, 423
- sanciones por mala calidad, 31
- satisfacción. *Véase también* satisfacción del cliente, 293
- satisfacción de cliente. *Véase también* satisfacción
 - distinguiendo de la lealtad, 296
 - en relación con la competencia, 306
 - evaluaciones concentradas en, 47
 - medición, 305-306
 - medición actual, 296
 - recopilación de datos de, 306
 - versus lealtad del cliente, 130
- Sears Roebuck, 47
- sector de servicios, 438-439
- acciones para la disposición de un servicio de no conformidad, 472
- aplicando FMECA a, 331-333
- certificación de proveedor que aplica a, 375
- cadena de suministro que se aplican a, 356
- ejemplos de procesos a prueba de error, 442
- estaciones de inspección que se aplican a, 473
- listas de comprobación de auto-control, 447-451
- motivos de problemas, 440
- secuencia definir-medir-analizar-diseñar-verificar. *Véase* DMADV
- secuencia revolucionaria
 - en comparación con six sigma, 68
 - para mejorar, 61
 - pasos de, 62-64
- segmentos de clientes, 292-293
- segundos, 469
- seguridad
 - diseño para, 337-338
 - factor, 647, 648
 - incluso en FMECA, 330
 - márgenes, 647, 648
 - necesidades, 266
 - requisito de, 337
 - reserva de, 69, 70
- selección
 - de empleados de primera línea, 455
 - de personal, 234-235
- selección de paso de proyectos iniciales de six sigma, 72
- sensores, 177, 179-183
- señales de alarma, 294, 37
- seriedad, brindando información sobre, 405
- servicio al cliente
 - actividades de aseguramiento, 520
 - agregando valor con un mejor, 300, 301

- dimensiones de, 43
servicio a proveedores, 377
Servicio Postal de Estados Unidos, 41
servicios, 13
planeando calidad para, 144-145
proporcionados por el departamento de TI, 443, 444
sesgo, 481, 482
a diferencia de repetición, 484
debido a la secuencia de medidas, 614
recopilando datos con un mínimo de, 82
severidad de riesgo insignificante, 337
severidad de riesgo marginal, 337
sigma, denotando variación en un proceso, 67
significancia económica, estableciendo prioridades en, 188
significancia estadística, 185-188
silos, 195
simplicidad de un histograma, 560
simulación por computadora
analizando tolerancias, 659
de un proceso, 207
sin inspección, 372
sindicatos, 282
síntomas, 75
cuantificación de, 76-77
descripción de, 76
SIPOC (Proceso de Entrada del Proveedor y Salida del Cliente), 157
sistema autoajutable, 175
sistema de calidad
definido en los estándares de ISO, 51
valorando, 536-537
sistema de calificación para una encuesta de calidad, 365-366
sistema de manufactura flexible (FMS), 417
sistema de medición
validación de, 78, 106, 401-402
vinculando a la compensación por un sistema diario de bonos, 449
sistema de producción justo a tiempo (JIT), 388
sistema de sugerencia, examinando, 284
Sistema Taylor, 231-232, 278
sistema técnico, 418
sistemas avanzados de manufactura (AMS), 416
sistemas de control, dominio del concepto y, 412-413
sistemas de rastreo, 370
sistemas sociotécnicos (STS), 225-226, 418
six sigma
como un término contra la fórmula estandarizada, 703
fases de, 67-118
pasos en, 62-64
sobrex tensión de experimentos, 100
sobrepoducción, 391
Sociedad Estadounidense para la Calidad, 44, 522
software, 13
analizando un diseño y simplificando productos de ensamblaje, 340
ciclo de vida de desarrollo, 344-345
directorios anuales de, 707
eliminando el trabajo duro de cálculos, 578
errores de, 345
gastos asociados con, 30
hojas de cálculo de, 152, 570
mejorando la efectividad de las predicciones de confiabilidad, 328
para análisis estadístico, 570-573
para control del proceso estadístico, 706-708
software de computadora. *Véase* software
software de diseño para manufacturabilidad (DFM), 340
software de GroupSystems, 443
soldadura, relación de temperatura/tiempo, 62, 63
Sony, 668
sorpresas, evitando, 105
Southern California Edison Company, 225
SQM. *Véase* dirección de calidad estratégica
SS (suma de los cuadrados), 615, 616
STS (sistemas sociotécnicos), 225-226, 418
subcontratación, 361-363
subespecies de errores, 92
subgrupo racional para una gráfica de control, 673-674
subgrupos para una gráfica de control, 673-674
sugerencias de clientes, 445
sujetos de control
con objetivos de calidad asociados, 183
cuantificación de, 451
eligiendo, 191, 451, 452
estableciendo el proceso de medición para, 177-179
pirámide de, 183
para calidad, 176-177
sujetos de control de calidad tecnológica, 176
suma de los cuadros (SS), 615, 616
Sun Health Alliance, 379
Sun Microsystems, 131, 132
superioridad de calidad, 128-129
supervisión de calidad, 371
supervisores
apreciación de las dificultades que enfrenta, 230
como entrenadores, 418
retroalimentación para, 409-411
supervisores de línea como fuentes de teorías, 77
supuestamente hay que hacer, conocimiento de lo que, 405-408, 447
tablas de muestra Dodge-Romig, 507-508
tachar como una preocupación, 429
tamaño de muestra
calculando directamente, 605
requerido para probar una hipótesis, 604-605
requerido para una exactitud específica, 586
tamaño de muestra fijo, 591-602
tamaño promedio de muestra, 685
tareas de confiabilidad, 324
TBF (tiempo entre fallas)
distribución de, 638-639
histograma de, 640
técnica del incidente crítico (CIT), 149, 297
técnica de inspección del sistema de calidad (QSIT), 536-537
técnica de sistemas de análisis funcional. *Véase* QFD
técnicas de aseguramiento, 519
técnicas, dependencia específica de, 261
técnicas para programar la producción de un tirón, 393
tecnología
de ayuda creciente al diseñar para el autocontrol, 447
desarrollando para satisfacer necesidades del cliente, 265
impacto en la calidad, 389
tecnología de grupo, 416-417
tecnología de la información.
Véase TI
tecnólogos como fuentes de teorías, 77
Tecumseh Products Company, 376
Telefónica de España (Telefónica), 459
teléfonos celulares Nokia, 48
temas directivos de control de calidad, 176
temas principales de un proceso de control, 185
tendencia central, medidas de, 552
tendencias de proceso de tiempo a tiempo, 560
teorema del límite central, 581
teoremas de probabilidad, 567-568
teoría de restricciones (TOC), 97
teoría X, 267
teoría Y, 267
teorías, 75
arreglo de, 77-79
ejemplos de pruebas, 116
formulación de, 76-78
seleccionando para pruebas, 78
teorías de prueba de problemas controlables de dirección de six sigma, 83-91
tercero
auditoría, 521
evaluación, 366
evaluación de calidad de proveedor, 536
terminología genérica, 76
Texas Instruments, 247, 285
TI (tecnología de la información)
aplicación de las ventajas, 209-210
como un proveedor interno, 443-445
tiempo
para introducir cambios, 105
subestimación para proyectos de calidad, 261
tiempo activo de reparación, 649
tiempo de ciclo, calidad y, 18
tiempo de indisponibilidad, 336
del equipo, 30
efecto, 330
maneras de ver, 649
tiempo de indisponibilidad total, 649
tiempo de logística, 649
tiempo de mantenimiento preventivo, 649
tiempo de operación, 336
tiempo de respuesta de proveedores, 388
tiempo de transacción de los cajeros, histograma del, 558, 56
tiempo entre fallas. *Véase* TBF
tiempo medio entre atascos (MTBJ), 360
tiempo medio entre fallas. *Véase* MTBF
tiempo medio entre mantenimientos (MTBM), 326
tiempo medio para fallas (MTTF), 326, 641
tiempo medio para el primer fracaso (MTTFF), 326
tiempo ocioso, 649
tiempo para falla de productos no reparables, 639
tiempo promedio de reparación (MTTR), 336
tiempo takt, 392-393
tiendas departamentales Nordstrom, 456
TOC (teoría de restricciones), 97
tolerancia, reuniones, 411
tolerancias de los componentes, 656-657, 658
toma de decisiones para autoinspección, 421
Toyota, 314, 403
TPM (mantenimiento de la productividad total), 412
TQM (administración de calidad total), 22, 217
trabajador dueño de un proceso, 199
trabajadores
ayudando a permanecer atento, 93
criterios para buena retroalimentación a los, 408
efecto del equipo de trabajo sobre el individuo, 230
especies de, 91-92
haciendo todas las inspecciones y decisiones de conformidad, 419
problemas, 229
trabajadores de producción. *Véase* trabajadores
trabajadores intelectuales contra trabajadores manuales, 458
trabajadores manuales contra trabajadores intelectuales, 458
trabajadores, papeles para, 16, 17
trabajo en equipo entre compradores y proveedores, 367-368
trabajos repetidos o de reelaboración
concesiones para, 35
examen, 208
trampas en desarrollo de proveedores, 379-380
trampas en la relación de comprador-proveedor, 380
trampas específicas del comprador, 380
trampas específicas del proveedor, 379-380
transacciones de servicio, 445
transporte como desperdicio, 391
tratar con la resistencia al cambio, 64
en la fase de mejora de six sigma, 104-105
tratamiento, 606
tríada de liderazgo en las categorías
Baldrige, 49
tríada de resultados en las categorías
Baldrige, 49
trilogía de Juran, 20
TRIZ, aplicándose en DFSS, 150
truco, 94-95
UCL (límite de control superior), 676
unidad como un valor primario, 267
unidad defectuosa. *Véase* no conformidades
unidades conformes
porcentaje que será rechazado, 483, 486

- rechazo debido a errores en medición, 482
- unidades de medida
 - definición, 273
 - desarrollo en operaciones de servicio, 451-453
 - ejemplos para fabricación y para servicios, 178, 179
 - establecimiento, 191
 - para auditorías de calidad, 532
 - para diseño de producto, 345, 346
 - reportando el valor de un sujeto de control, 177-178
 - selección para operaciones industriales, 423
- unidades no conformes (o unidades defectuosas)
 - aceptación, 482
 - probabilidad de aceptación, 482-483, 485
 - rastreado del número de, 682
- unidades organizativas, auditorías de calidad hechas por, 522
- uniformidad dentro de bloques en experimentos, 609
- Unigroup, 298
- Union Carbide, 252, 253
- United Parcel Service, 44
- United Van Lines (UVL), 306
- uso de campo, simulación, 333-334
- uso pretendido *versus* real, 333
- uso real *versus* pretendido 333
- validando el sistema de medición en un MSA, 489
- validez estadística de resultados, 696-697
- valor, 19
 - calidad y, 19
 - definiendo en términos de productos y capacidades, 391
 - superioridad en, 129
- valor actual neto (NPV), 134
- valor de referencia, 482
- valor de referencia de la aceptación. *Véase* valor de referencia
- valor maestro. *Véase* valor de referencia
- valor *p*, 588
- valor promedio, incrementando Cpk al cambiar, 698
- valores no representativos de datos, 553
- valoración, 582
- valoración estadística, 582-585
- valores extremos, 553
- valores observados, causas de variación en, 486-487
- valores reales, probabilidades asociadas con, 554
- valores primarios, 267
- valores *X*, gráfica para individuo, 680-682
- valores y conceptos principales de los criterios del premio Baldrige, 50
- valuaciones de calidad, 27, 520, 535-537
 - de actividades actuales de calidad, 47-48
 - elementos de, 27
 - en banca, 28
- variabilidad
 - debido al pequeño número de pruebas, 333-334
 - reducir, 704
 - ventajas de disminuir, 668-670
- variabilidad de proceso
 - ejemplos de, 691
 - ventajas de disminuir, 668-670
- variable independiente, 606
- variables controlables, 67
- variables clave de la entrada de productos (KPIVs), 75
- variables de fondo, 609
- variables de proceso
 - correlación con resultados de producto, 397, 399
 - identificado para una gráfica de control, 673
 - identificado por el enfoque six sigma, 67
- variables clave del resultado de los productos (KPOV), 75
- variables dominantes, evaluando posibles, 99
- variables incontrolables, 609
- variables no deseadas, enredo de, 609
- variación
 - calculando una medida relativa de, 553
 - componentes de, 486-487
 - concepto de, 545-546
 - descubrimiento y remedio de las causas de, 488
 - durante diseño, 647
 - en el proceso industrial, 402, 481, 482-483
 - en un proceso, 67
 - existencia de, 546
 - factor de seguridad que no refleja, 648
 - límites excedentes de control estadístico, 671
 - tipos de, 87
- variación de pieza a pieza, 87
- variación de proceso observada, 402
- variabilidad por tiempo, 87-88
- variación dentro de la pieza, 87
- variación estadística, 546
- variación menor que medidas individuales, 588
- variaciones en el proceso
 - causas de, 187
 - clases de causas, 671
 - en relación con especificaciones, 705
- vendedores. *Véase* proveedor(es)
- ventaja competitiva
 - logrando, 249, 25
 - calidad que lleva a, 291
- ventana que se forma en circuitos integrados, 321-322
- ventas
 - oportunidades perdidas de ingresos, 31
 - pérdidas debido a mala calidad, 135
- ventas perdidas, impacto de calidad en, 134-135
- viaje diagnóstico, 75
- vida b_{10} , 326
- vida b_{50} , 326
- vida de servicio, 641
- vida media, 326
- vida operativa, 641
- vigilancia de la calidad del proveedor, 371
- vínculos, 50
- visión, 249, 255
- visión de la calidad enfocada al cliente, 22
- visión de máquina, 479-480
- visión interna de calidad, 22
- vista estratégica del proceso adquisitivo, 356
- VOC (voz del cliente), 295
- Walker Manufacturing, 374, 376
- Web, coleccionando datos de satisfacción del cliente, 306
- Xerox Corporation
 - definición de marcaje competitivo, 129
 - organizaciones de referencia elegidas por, 252
 - planeación estratégica, 246, 248
- zona amarilla en precontrol, 683
- zona de control, 432
- zona roja en precontrol, 683
- zona verde en precontrol, 683