

GESTIÓN DE LA CALIDAD

6

CONTENIDO DEL CAPÍTULO

PERFIL DE UNA EMPRESA

**GLOBAL: HOSPITAL ARNOLD
PALMER**

CALIDAD Y ESTRATEGIA

DEFINICIÓN DE LA CALIDAD

Implicaciones de la calidad
Premio Nacional Malcolm Baldrige
a la Calidad
Coste de la calidad
Ética y gestión de la calidad

NORMAS INTERNACIONALES DE CALIDAD

ISO 9000
ISO 14000

GESTIÓN DE CALIDAD TOTAL

Mejora continua
Seis Sigma
Potenciación de los empleados
Definición de referencias
(*benchmarking*)
Justo a tiempo (JIT)
Conceptos de Taguchi
Conocimiento de las herramientas
de TQM

HERRAMIENTAS DE TQM

Hojas de control
Diagramas de dispersión
Diagramas de causa-efecto
Gráficos de Pareto
Diagramas de flujo

Histogramas
Control estadístico de procesos (SPC)

EL PAPEL DE LA INSPECCIÓN

Cuándo y dónde inspeccionar
Inspección en la fuente
Inspección en el sector servicios
Inspección de atributos frente a
inspección de variables

LA GCT TQM EN LOS SERVICIOS

RESUMEN

TÉRMINOS CLAVE

EJERCICIOS EN INTERNET Y EN EL CD-ROM
DEL ALUMNO

CUESTIONES PARA EL DEBATE

DILEMA ÉTICO

EJERCICIO ACTIVE MODEL

PROBLEMAS

CASO DE ESTUDIO: UNIVERSIDAD DE
SOUTHWESTERN: (C)

CASOS DE ESTUDIO EN VÍDEO: LA CULTURA DE
LA CALIDAD EN EL HOSPITAL ARNOLD
PALMER; LA CALIDAD EN LA EMPRESA DE
HOTELES RITZ-CARLTON

CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES

BIBLIOGRAFÍA

RECURSOS EN INTERNET

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

*Cuando haya
acabado este capítulo,
debe ser capaz de:*

Identificar o definir:

Calidad
Premio Nacional
Malcolm Baldrige a
la Calidad
Normas internacionales
de calidad ISO
Conceptos de Taguchi

Describir o explicar:

¿Por qué es importante
la calidad?
La gestión de calidad
total (TQM)
Siete herramientas
de la TQM
Solidez de calidad
en los productos
Las ideas de Deming,
Juran, Feigenbaum
y Crosby



PERFIL DE UNA EMPRESA GLOBAL: HOSPITAL ARNOLD PALMER

La gestión de calidad proporciona una ventaja competitiva al hospital Arnold Palmer

El Storkboard (tablero de la cigüeña) es un panel visual en el que se muestra la situación de cada bebé a punto de nacer, de forma que todas las enfermeras y los médicos tienen información actualizada en un solo vistazo.

El hall del hospital Arnold Palmer, con su Genio de seis metros y medio de altura, tiene la clara pretensión de ser un lugar cálido y agradable para los niños.

Por todo el hospital cuelgan dibujos hechos por niños que han sido pacientes. Los niños descubren que su habitación del hospital es una zona segura, donde pueden decir "no" a cualquier prueba/actividad en la que haya sangre. En todas las habitaciones se muestra una Lista de Derechos del Niño.

La cita de Mark Twain que se muestra en la pizarra dice: "Haz siempre lo correcto. Algunas personas se sentirán gratificadas y la mayoría quedará asombrada". El hospital ha rediseñado las habitaciones de neonatos. En el antiguo sistema había 16 cunas neonatales en una gran habitación que solía ser muy ruidosa. Las nuevas habitaciones son semiprivadas, con una tranquila atmósfera que simula la noche. Se ha demostrado que estas habitaciones ayudan a los bebés a desarrollarse y mejorar más rápidamente.

Cuando el hospital Arnold Palmer empezó a planificar el nuevo hospital de 11 plantas al otro lado de la calle del edificio existente, optó por un diseño circular, creando un entorno centrado en el paciente. En las habitaciones se utilizan colores cálidos, con camas plegables ocultas para los miembros de la familia, techos de una altura de cuatro metros y medio y luz natural con ventanas extragrandes. El concepto circulante también significa que hay una habitación de enfermeras a unos pocos pasos de cada núcleo de 10 camas, lo que ahorra mucho tiempo desperdiciado por las enfermeras al tener que andar de un lado a otro para atender a un paciente. El caso de estudio del Capítulo 9 analiza este layout en detalle.

Desde 1989 el hospital Arnold Palmer, cuyo nombre se debe al famoso jugador de golf benefactor del hospital, ha cambiado la vida de más de 6,8 millones de niños y mujeres y sus familias. Los pacientes no sólo provienen de la ciudad de Orlando donde se ubica, sino también de los 50 Estados y de todo el mundo. Todos los años nacen más de 10.000 bebés en el hospital Arnold Palmer y su enorme unidad de cuidados intensivos neonatal goza de una de las mayores tasas de supervivencia de Estados Unidos.

Todos los hospitales ofrecen atención sanitaria de calidad, pero en el hospital Arnold Palmer la calidad es el mantra: se practica de la misma forma en que el hotel Ritz Carlton la practica en la industria hotelera. El resultado es que el hospital habitualmente está situado en el primer diez por ciento en los estudios de referencia (*benchmark*) de Estados Unidos en cuanto a satisfacción de los pacientes. Y sus directivos revisan todos los días los resultados de los cuestionarios entregados a los pacientes. Si hay algo mal se emprenden acciones correctivas de inmediato.

Prácticamente, todas las técnicas de gestión de la calidad que presentamos en este capítulo se utilizan en el hospital Arnold Palmer:

- **Mejora continua.** El hospital busca continuamente nuevas formas de reducir las tasas de infección, las tasas de readmisión, los costes, las defunciones y el tiempo de permanencia en el hospital.
- **Potenciación de los empleados.** Cuando los empleados ven un problema han recibido la formación para resolverlo. Igual que en el Ritz, el personal tiene delegado el poder de dar regalos a los pacientes insatisfechos con determinada faceta del servicio.
- **Referencias (Benchmarking).** El hospital forma parte de una organización de 2.000 miembros que hace un seguimiento de los estándares en muchas facetas y ofrece información mensual al hospital.
- **Justo a tiempo.** Los suministros se envían al hospital con un sistema JAT (JIT). Este sistema mantiene reducidos los costes de inventario y evita que se oculten los problemas de calidad.
- **Herramientas como los diagramas de Pareto y los diagramas de flujo.** Estas herramientas permiten hacer un seguimiento de los procesos y ayudan al personal a identificar gráficamente áreas problemáticas y sugerir formas de mejorarlas.

Desde su primer día de orientación en el hospital, los empleados, desde los conserjes hasta las enfermeras, aprenden que lo primero son los pacientes. No se oírán nunca a los empleados hablando en un pasillo sobre su vida personal o cuestiones confidenciales de la atención sanitaria. Esta cultura de calidad en el hospital Arnold Palmer hace que la visita al hospital, que suele ser traumática para los niños y para sus padres, sea una experiencia más cálida y más reconfortante.

CALIDAD Y ESTRATEGIA

Para el hospital Arnold Palmer y para otras muchas empresas, la calidad actúa como un tónico maravilloso para mejorar las operaciones. Así, la gestión de la calidad contribuye a la elaboración de unas buenas estrategias de *diferenciación*, *bajo coste* y rapidez de *respuesta*. Por ejemplo, la definición de las expectativas de calidad de los consumidores ha ayudado a Bose Corp. a *diferenciar* con éxito sus altavoces estéreo, de modo que se encuentran entre los mejores del mundo. Nucor ha aprendido a producir acero de calidad a *bajo coste* mediante el desarrollo de procesos eficientes, capaces de producir calidad constante. Dell Computers *responde* rápidamente a los pedidos de la clientela, porque sus sistemas de calidad han permitido eliminar trabajos de reelaboración y revisión, con lo que han conseguido una rápida producción en sus fábricas. Seguramente, la calidad constituye, al igual que en el caso del hospital Arnold Palmer, el factor fundamental para el éxito de esas empresas.

Como sugiere la Figura 6.1, la mejora de la calidad ayuda a las empresas a aumentar sus ventas y a reducir costes, factores ambos susceptibles de redundar en una mayor rentabilidad. Las ventas suelen aumentar cuando las empresas aceleran su capacidad de respuesta, reducen sus precios de venta gracias a las economías de escala y consolidan su reputación como proveedoras de productos de calidad. Análogamente, la mejora de la calidad permite que disminuyan los costes, ya que las empresas aumentan su productividad y reducen los costes de reelaboración, de materiales desechados y de garantía. Un estudio concluyó que las empresas con la más alta calidad eran cinco veces más productivas (medido por unidades producidas por hora de trabajo) que las empresas que ofrecían la calidad más deficiente. Efectivamente, cuando se consideran las implicaciones en cuanto a costes a largo plazo en una organización, y su potencial de aumentar las ventas, los costes totales pueden reducirse al mínimo cuando el cien por cien de sus bienes o servicios son perfectos y carecen de defectos.

La calidad, o su ausencia, ejercen un impacto sobre toda la organización, desde el proveedor hasta el consumidor y desde el diseño del producto hasta el mantenimiento. Sin embargo, y esto quizá sea más importante, la *creación* de una empresa capaz de proporcionar productos de calidad también afecta a toda la organización (y constituye una tarea difícil). La Figura 6.2 reproduce el flujo de actividades que debe realizar una organización

DIEZ DECISIONES ESTRATÉGICAS DE DIRECCIÓN DE OPERACIONES
Diseño de bienes y servicios
Gestión de la calidad
Estrategia de procesos
Estrategias de localización
Estrategias de organización
Recursos humanos
Gestión de la cadena de suministros
Gestión del inventario
Programación
Mantenimiento

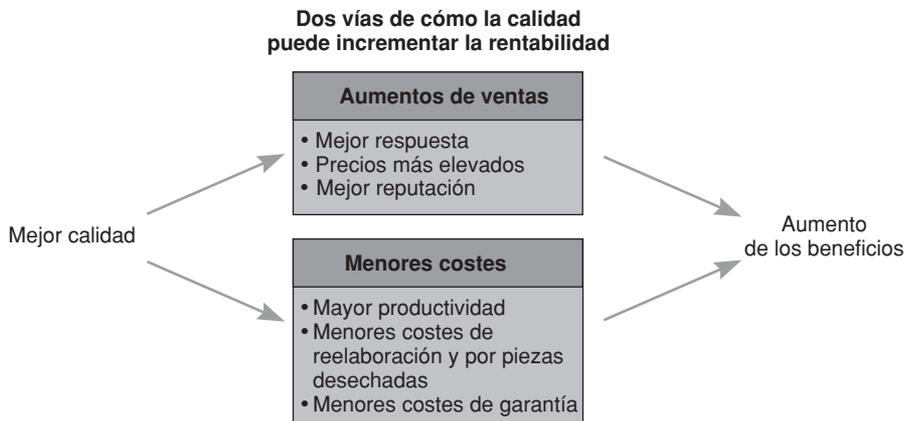


FIGURA 6.1 ■ Formas en que la calidad incrementa la rentabilidad

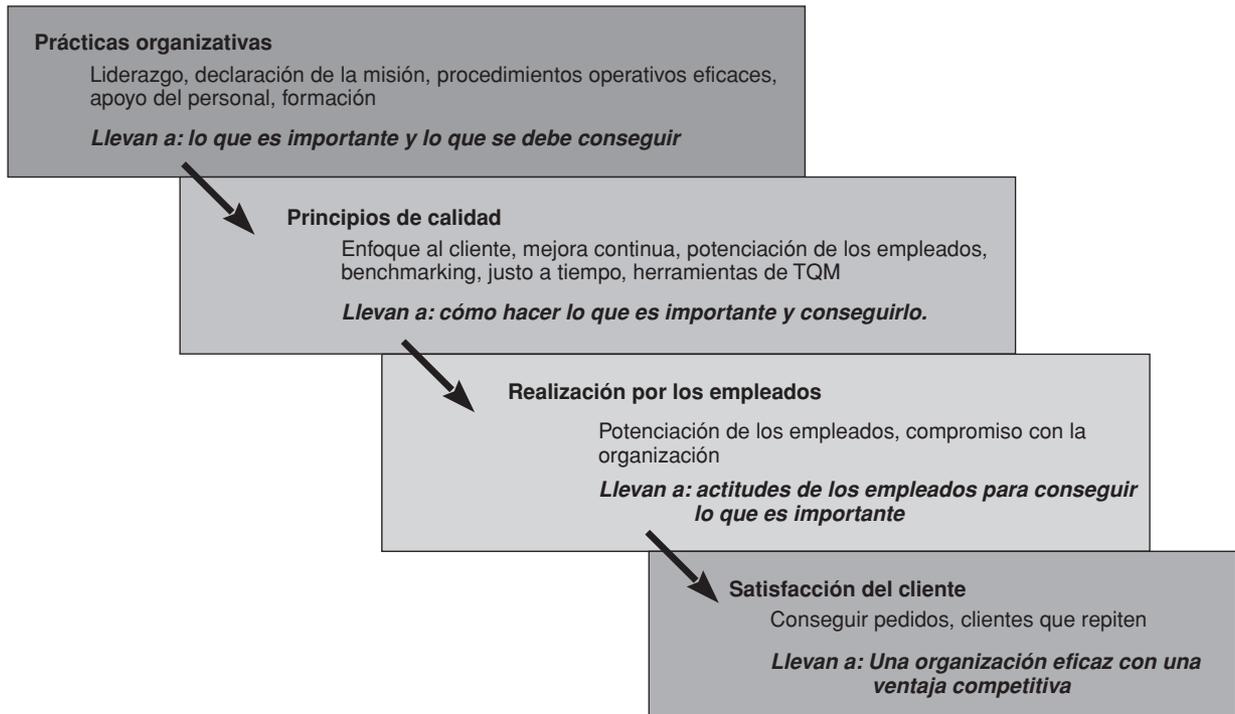


FIGURA 6.2 ■ Flujo de actividades necesarias para conseguir una gestión de calidad total

para lograr una gestión de calidad total (TQM). Un conjunto de actividades de éxito se inicia con la creación de un entorno empresarial que promueve la calidad, seguido de una comprensión de sus principios y, finalmente, de un esfuerzo por involucrar a los empleados en las actividades necesarias para su consecución. Si se hacen bien todas estas cosas, la organización normalmente satisfará a sus consumidores y conseguirá una ventaja competitiva. El objetivo final es ganar clientela. Como la calidad conlleva tantas otras cosas buenas, constituirá un buen punto de partida.

DEFINICIÓN DE LA CALIDAD

Los sistemas de gestión de calidad total se guían por la identificación y satisfacción de las necesidades del cliente. La gestión de calidad total cuida del cliente. Por consiguiente, aceptamos la definición de **calidad** que ha adoptado la Sociedad Americana de la Calidad: “La totalidad de prestaciones y características de un producto o servicio que son la base de su capacidad para satisfacer necesidades explícitas o implícitas”¹.

Sin embargo, otros creen que las definiciones de calidad se dividen en distintas categorías. Algunas definiciones se basan en *el usuario*. Éstas defienden que la calidad “reside en los ojos del usuario”. A los que trabajan en marketing les gusta esta definición, y a los clientes también. Para ellos, una mejor calidad implica un mayor rendimiento, prestaciones más valoradas y otras mejoras (a veces costosas). Para los directivos de pro-

Calidad

Capacidad que tiene un producto o un servicio de satisfacer las necesidades del cliente.

¹ Véase el sitio web de la American Society for Quality en www.asq.org.

ducción, la calidad se basa en *la fabricación*. Creen que la calidad significa conformidad con las especificaciones, y “hacer las cosas bien a la primera”. Un tercer enfoque es el que se basa en *el producto*, y considera la calidad como una variable precisa y mensurable. Desde este punto de vista, por ejemplo, un helado realmente bueno ha de ser muy cremoso.

En este texto se desarrollan métodos y técnicas para abordar estas tres categorías de la calidad. Las características que denotan calidad se identifican, en primer lugar, a través de la investigación (enfoque de calidad basada en el usuario). Estas características se traducen a continuación en atributos específicos del producto (enfoque de calidad basada en el producto). Después, el proceso de fabricación vigila que los productos se realicen según las especificaciones (enfoque de calidad basada en la producción). Un proceso que omita alguno de estos puntos no dará como resultado un producto de calidad.

Implicaciones de la calidad

Además de ser un elemento crítico en las operaciones, la calidad tiene otras implicaciones. A continuación se muestran otras tres razones de la importancia de la calidad:

1. *La reputación de la empresa*. Las organizaciones deben contar con que la reputación que tenga su calidad (sea buena o mala) las acompañará siempre. La calidad se pondrá de manifiesto en la percepción que sobre los nuevos productos de la empresa tengan los clientes, en la contratación de personal y en las relaciones con los proveedores. La autopromoción no es un sustituto de la calidad de los productos.
2. *Responsabilidad sobre el producto*. Cada vez es más frecuente que los tribunales responsabilicen a las organizaciones de los daños y perjuicios derivados del empleo de productos o servicios defectuosos que diseñen, produzcan o distribuyan. La Ley de Seguridad de Productos para el Consumidor define e impone normas sobre productos al prohibir los productos que no cumplen dichas normas. Alimentos contaminados que provocan enfermedades, camiones que se pueden incendiar, neumáticos que revientan, o depósitos de gasolina del automóvil que explotan en un accidente pueden todos ellos obligar a pagar enormes gastos legales, importantes indemnizaciones o pérdidas de ventas, y una publicidad muy negativa.
3. *Implicaciones globales*. En esta era tecnológica, la calidad así como la dirección de producción constituyen una preocupación internacional. Para que tanto una empresa como un país puedan competir con eficacia en el marco de una economía global, los productos deben cumplir las expectativas de calidad, diseño y precio. Los productos de baja calidad dañan no sólo la rentabilidad de una empresa, sino también la balanza de pagos de un país.

Premio Nacional Malcolm Baldrige a la Calidad

Las implicaciones globales relacionadas con la calidad son tan importantes que en Estados Unidos se ha creado el *Premio Nacional a la Calidad Malcolm Baldrige*. El premio lleva el nombre del ex Secretario de Comercio Malcolm Baldrige. Entre las empresas galardonadas figuran Motorola, Milliken, Xerox, Federal Express, los Hoteles Ritz-Carlton, AT&T, Cadillac y Texas Instruments.

Los japoneses otorgan un premio parecido. Se trata del Premio Deming, así denominado en honor del norteamericano W. Edwards Deming.

La calidad puede residir en los ojos del usuario pero, para elaborar un producto (bien o servicio), los directores de operaciones deben definir lo que espera este usuario (el cliente).



Video 6.1

La cultura de la calidad en el Hospital Albert Palmer

Para obtener más información sobre el Premio Baldrige y sus sistema de puntuación de 1.000 puntos, visite www.quality.nist.gov.

Coste de la calidad

Hay cuatro importantes categorías de costes asociados con la calidad, denominados **costes de la calidad**; son las siguientes:

- *Costes de prevención.* Costes relacionados con la reducción de las causas potenciales de producción de piezas o servicios defectuosos (por ejemplo, formación, programas de mejora de la calidad).
- *Costes de inspección o control.* Costes relacionados con la evaluación de productos, procesos, componentes o servicios (por ejemplo, pruebas, laboratorios, inspectores).
- *Fallos internos.* Costes resultantes de la producción de componentes o servicios defectuosos antes de su entrega al cliente (por ejemplo, reelaboración, desechos, tiempo perdido).
- *Costes externos.* Costes que surgen después de entregar componentes o servicios defectuosos (por ejemplo, reelaboración, artículos devueltos, responsabilidades, pérdida de clientela o costes para la sociedad).

Los tres primeros costes indicados pueden ser objeto de un cálculo aproximado, pero resulta muy difícil cuantificar los costes externos. Cuando GE tuvo que retirar del mercado 3,1 millones de lavavajillas en 1999 (por un conmutador defectuoso que se suponía que había desencadenado siete incendios), el coste de las reparaciones superó el valor de todas las máquinas. Esto ha llevado a que muchos expertos en TQM consideren que se subestima continuamente el coste de una calidad deficiente.

Estudiosos de la gestión de calidad creen que, en total, el coste de la calidad de los productos sólo es una pequeña parte de sus beneficios. Consideran que los verdaderos perdedores son las organizaciones incapaces de actuar enérgicamente en el ámbito de la calidad. Por ejemplo, Philip Crosby cree que la calidad es gratis: “No es un regalo, pero es gratis. Lo que sí que cuesta dinero son las cosas sin calidad; o sea, todas las acciones que hacen que las cosas no salgan correctamente a la primera”².

Líderes en calidad Además de Crosby, hay otros varios grandes autores en el campo de la gestión de la calidad; entre ellos podemos citar a Deming, Feigenbaum y Juran. La Tabla 6.1 resume sus filosofías y contribuciones.

Ética y gestión de la calidad

Si una empresa considera que ha sacado al mercado un producto cuestionable, una conducta ética debe dictar una acción responsable. Puede ser una retirada del producto de los mercados de todo el mundo, como en el caso de Johnson & Johnson (con Tylenol) y en el de Perrier (agua con gas) cuando se descubrió que esos productos estaban contaminados. El fabricante debe aceptar la responsabilidad de cualquier producto de mala calidad que haya sacado al mercado. Ni Ford (el fabricante del todoterreno deportivo Explorer) ni Firestone (fabricante de neumáticos) supieron hacerlo. En los últimos años se los ha acusado de no saber retirar productos a tiempo, de no divulgar información pernicioso, y de resolver las quejas caso por caso³.

² Philip B. Crosby, *Quality is Free* (Nueva York; McGraw-Hill, 1979). Además, J. M. Juran afirma, en su libro *Juran on Quality by Design* (The Free Press, 1992, p. 119), que los costes de la mala calidad “son enormes, pero la magnitud no se conoce con precisión. En la mayoría de las empresas los sistemas de contabilidad sólo ofrecen una pequeña parte de la información necesaria para cuantificar el coste de la mala calidad. Hace falta mucho tiempo y esfuerzo para ampliar el sistema contable para ofrecer una cobertura exhaustiva”.

³ Para más detalles, véase M. R. Nayeypour y D. Koehn, “The Ethics of Quality: Problems and Preconditions”, *Journal of Business Ethics* 44 (abril de 2003), pp. 37-48.

Coste de la calidad

El coste de hacer las cosas mal, es decir, el coste del incumplimiento de las especificaciones del producto.



Takumi

El Takumi es el símbolo japonés que simboliza una dimensión más general que la calidad, un proceso más profundo que la educación, y un método más perfecto que la perseverancia.

TABLA 6.1 ■ Líderes en el campo de la gestión de la calidad

Líder	Filosofía/Contribución
W. Edwards Deming	Deming insistió en que la dirección tenía que aceptar la responsabilidad de crear buenos sistemas. Los empleados no pueden fabricar productos que, de media, superen la calidad de lo que el proceso es capaz de producir. En este capítulo se explican sus 14 puntos para implementar la mejora de la calidad.
Joseph M. Juran	Un pionero en enseñar a los japoneses a mejorar la calidad; Juran cree enérgicamente en el compromiso, apoyo y participación de la alta dirección en el esfuerzo sobre la calidad. También cree en los equipos que intentan continuamente elevar el listón de la calidad. Juran difiere en cierta medida de Deming al centrarse en el cliente y en definir la calidad como la adecuación para el uso propuesto, y no necesariamente en especificaciones por escrito.
Armand Feigenbaum	Su libro de 1961, <i>Total Quality Control</i> , definía 40 pasos para los procesos de mejora de la calidad. Consideraba que la calidad no era un conjunto de herramientas, sino un campo exhaustivo que integraba los procesos de la empresa. Su trabajo sobre cómo aprende la gente de los éxitos de los demás creó el campo de equipos de trabajo multifuncionales.
Philip B. Crosby	<i>Quality is Free</i> fue el libro de Crosby que acaparó todas las atenciones al publicarse en 1979. Crosby creía que, en el tradicional intercambio entre el coste de mejorar la calidad y el coste de la mala calidad, siempre se subestimaba el coste de la mala calidad. El coste de la mala calidad debería incluir todo lo relacionado con no hacer el trabajo bien a la primera. Crosby acuñó la expresión <i>cero defectos</i> y afirmó “no hay ninguna razón que valga para que haya errores o defectos en cualquier producto o servicio”.

Se puede ver la señal de certificación ISO 9000, pero la fábrica de Bridgestone/Firestone en Decatur, Illinois, fabricó millones de neumáticos defectuosos que provocaron cientos de accidentes y 271 muertos. Tras rendir cuentas ante el Congreso, se obligó a la empresa a admitir que el neumático Firestone 500 tenía una tasa de devoluciones del 17,5% (frente al 2,9% del competidor Goodyear). Antes de que la investigación saliera a la luz pública, Firestone puso a la venta en oferta a mitad de precio los neumáticos defectuosos en el sudeste de Estados Unidos. El Congreso descubrió posteriormente que Firestone había seguido fabricando el neumático después de exigirle que parara la producción. Este caso de comportamiento poco ético terminó con la retirada de 14,4 millones de neumáticos y costó a Bridgestone/Firestone cientos de millones de dólares.

Hay muchas partes interesadas que participan en la producción y comercialización de productos de mala calidad, incluyendo a los accionistas, empleados, consumidores, proveedores, distribuidores y acreedores. Como cuestión ética, la dirección debe plantearse si se está engañando a cualquiera de estas partes interesadas. Todas las empresas deben desarrollar valores centrales que se convertirán en líneas directrices cotidianas para todo el mundo, desde el consejero delegado hasta los empleados de las líneas de producción.

NORMAS INTERNACIONALES DE CALIDAD

ISO 9000

La calidad es algo tan importante desde un punto de vista global que el mundo está cerrando filas en torno a una única norma, la certificación **ISO 9000**. ISO 9000 es la única norma sobre calidad que goza de reconocimiento internacional. En 1987, 91 Estados (incluyendo a Estados Unidos) publicaron una serie de normas de aseguramiento de la calidad, conocidas en conjunto con el nombre de ISO 9000. Por mediación del American National Standards Institute, Estados Unidos ha adoptado en su totalidad la serie ISO 9000 con la denominación de serie ANSI/ASQ Q9000⁴. El objetivo principal de las normas es estable-

ISO 9000

Conjunto de normas de calidad elaborado por la International Standards Organization (ISO).

⁴ ASQ son las siglas de la American Society for Quality.

“ISO” viene del griego y significa igual o uniforme, en cuanto a uniformidad en todo el mundo.

Visite los sitios web www.iso.ch o www.asq.org para saber más sobre las normas ISO

ISO 14000

Norma de gestión medioambiental establecida por la International Standards Organization (ISO)

cer procedimientos de gestión de calidad, mediante el liderazgo, una documentación detallada, instrucciones de trabajo y el mantenimiento de registros. Esos procedimientos no dicen nada acerca de la calidad real del producto; sólo se ocupan de las normas que deben seguirse.

Para lograr la certificación ISO 9000 las organizaciones tienen que pasar por un proceso de entre 9 y 18 meses que requiere documentar los procedimientos relativos a la gestión de la calidad, una evaluación *in situ*, y una serie de auditorías continuas de sus productos o servicios. Para poder hacer negocios a escala global, sobre todo en Europa, es esencial tener la certificación ISO. En 2005 había más de 600.000 certificaciones concedidas a empresas de 152 países. Hay unas 50.000 empresas estadounidenses que tienen la certificación ISO 9000.

ISO revisó sus normas en 2000 para que reflejaran mejor un sistema de gestión de la calidad, lo que se detalla en la **ISO 9001:2000**. El liderazgo de la alta dirección y los requisitos y satisfacción de los clientes desempeñan un papel mucho más importante, mientras que los procedimientos documentados reciben menos importancia en la certificación **ISO 9001: 2000**.

ISO 14000

La continua internacionalización de la calidad es un fenómeno evidente con el desarrollo de la certificación **ISO 14000**. ISO 14000 es una nueva norma de gestión medioambiental que gira en torno a cinco elementos fundamentales: (1) gestión medioambiental, (2) auditoría, (3) valoración del comportamiento, (4) etiquetado y (5) valoración del ciclo de vida. El nuevo estándar podría ofrecer varias ventajas:

- Una imagen pública positiva y un menor riesgo de tener que asumir una responsabilidad civil.
- Un buen método sistemático de prevenir la contaminación mediante la reducción al mínimo del impacto ecológico de productos y actividades.
- Conformidad con los requisitos reguladores, y más oportunidades de adquirir una ventaja competitiva.
- Reducción de la necesidad de múltiples auditorías.

Esta certificación está siendo aceptada en todo el mundo.

GESTIÓN DE CALIDAD TOTAL

Gestión de calidad total (TQM)

Gestión de toda la organización, de manera que destaque en todos los aspectos de los productos y servicios que son importantes para el cliente.

La **gestión de calidad total (TQM)** hace referencia a un especial énfasis en la calidad, que comprende a toda la organización, desde los proveedores hasta los clientes. La TQM acentúa el compromiso de la dirección con que toda la empresa camine permanentemente hacia la excelencia en todos los aspectos de los productos y servicios que sean importantes para los consumidores.

La TQM es importante porque las decisiones sobre la calidad tienen influencia en cada una de las diez decisiones estratégicas que toman los directores de operaciones. Cada una de estas diez decisiones trata con algún aspecto de la identificación y satisfacción de las expectativas de los consumidores. La satisfacción de esas expectativas requiere poner el acento en la TQM si la empresa quiere competir como líder en los mercados mundiales.

W. Edwards Deming, experto en calidad, se sirvió de 14 puntos (véase la Tabla 6.2) para explicar cómo aplicaba la TQM. Nosotros los transformamos en siete conceptos úti-

TABLA 6.2 ■ Los 14 puntos de Deming para la aplicación de un sistema de mejora de la calidad

1. Definir un objetivo coherente.
2. Liderar para promover el cambio.
3. Incorporar la calidad en el producto; no depender más de la inspección para detectar los problemas.
4. Construir relaciones a largo plazo basadas en resultados en lugar de adjudicar contratos basándose en el precio.
5. Mejorar continuamente el producto, la calidad y el servicio.
6. Empezar a formar.
7. Subrayar la importancia del liderazgo.
8. Apartar los temores.
9. Derribar las barreras entre departamentos.
10. Dejar de sermonear a los trabajadores.
11. Apoyar, ayudar y mejorar.
12. Derribar barreras que impidan enorgullecerse del trabajo realizado.
13. Instaurar un vigoroso programa de formación y automejora.
14. Hacer que todo el personal de la empresa trabaje en la transformación.

Fuente: Deming revisó sus 14 puntos varias veces a lo largo de los años. Véase J. Spigener y P. J. Angelo, "What Would Deming Say?", *Quality Progress* (marzo de 1991), pp. 61-65.

les para implementar un programa eficaz de TQM: (1) mejora continua, (2) Seis Sigma, (3) Potenciación de los empleados, (4) definición de referencias (*benchmarking*), (5) justo a tiempo (JIT), (6) conceptos de Taguchi y (7) conocimiento de las herramientas de gestión de calidad total (TQM).

Mejora continua

Un programa de gestión de calidad total (TQM) requiere un proceso ininterrumpido de mejora que incluya a personas, equipos, proveedores, materiales y procedimientos. La base de la filosofía es que todos los aspectos de una operación son susceptibles de mejora. El objetivo final es la perfección absoluta, que nunca se puede conseguir, pero siempre se debe buscar.

Planificar-Realizar-Comprobar-Actuar Walter Shewhart, otro pionero en el ámbito de la gestión de calidad, ideó un modelo circular conocido como PDCA (siglas en inglés de "Plan, Do, Check, Act"), como su versión de la mejora continua. Posteriormente, Deming llevó este concepto a Japón, cuando trabajó allí después de la Segunda Guerra Mundial. El ciclo PDCA viene representado en la Figura 6.3 por un círculo, que subraya la naturaleza continua del proceso de mejora.

Los japoneses utilizan el término *kaizen* para describir este proceso incesante de mejora sin fin: el establecimiento y consecución de objetivos aún más elevados. En Estados Unidos se utilizan términos como *TQM* y *cero defectos* para describir estos esfuerzos continuos de mejora. Sea cual sea la frase o palabra que se utilice, PDCA, *kaizen*, TQM o cero defectos, los directores de operaciones son los principales responsables de crear una cultura de trabajo que respalde la mejora continua.



FIGURA 6.3 ■
Ciclo de PDCA

PDCA

Un modelo de mejora continua, que consiste en planificar, realizar, comprobar y actuar.

Seis Sigma

Un programa que ahorra tiempo, mejora la calidad y reduce los costes.

Seis Sigma

La expresión **Seis Sigma**, popularizada por Motorola, Honeywell y General Electric, tiene dos significados en TQM. En un sentido *estadístico* describe un proceso, producto o servicio con una “capacidad” de exactitud extremadamente elevada (una precisión del 99,9997%). Por ejemplo, si hay 20.000.000 de pasajeros que facturan sus equipajes cada año en el aeropuerto de Heathrow en Londres, un programa Seis Sigma de manejo de equipajes conseguirá que sólo haya 72 pasajeros cuyo equipaje se extravíe en un año. El programa tres sigma, más común (que abordamos en el suplemento de este capítulo), ¡provocaría el extravío del equipaje de 2.076 pasajeros *cada semana!*

La segunda definición en la TQM de Seis Sigma es la de un programa diseñado para reducir defectos para ayudar a disminuir costes, ahorrar tiempo, y aumentar la satisfacción del cliente. El programa Seis Sigma es un sistema integral: una estrategia, una disciplina, y un conjunto de normas, para lograr y mantener el éxito empresarial.

- Es una *estrategia* porque se centra en la satisfacción total del consumidor.
- Es una *disciplina* porque sigue el Modelo de Mejora Seis Sigma, conocido como **DMAIC**. Este modelo de mejora es un proceso de cinco pasos: (1) *Define* los outputs críticos e identifica diferencias para mejorar; (2) *Mide* el trabajo y recopila datos que pueden ayudar a reducir las diferencias; (3) *Analiza* los datos; (4) *Mejora* (*Improves*), modificando o volviendo a diseñar los procedimientos existentes y (5) *Controla* el nuevo proceso para asegurarse de mantener los niveles de rendimiento.
- Es un *conjunto de siete herramientas* que explicaremos enseguida en este capítulo: hojas de control, diagramas de dispersión, diagramas causa-efecto, diagramas de Pareto, diagramas de flujo, histogramas y control estadístico de procesos.

Motorola desarrolló el programa Seis Sigma en la década de 1980 en respuesta a las quejas de los clientes sobre sus productos y a la dura competencia. La empresa se fijó primero el objetivo de reducir los defectos un 90%. En un año había logrado tan impresionantes resultados, mediante *benchmarking* con los competidores, solicitando nuevas ideas a los empleados, cambiando los planes de incentivos, aumentando la formación, remodelando los procesos críticos, documentando todos estos procedimientos en lo que denominó Seis Sigma. Aunque el concepto estaba arraigado en las manufacturas, GE lo amplió posteriormente a los servicios, incluyendo recursos humanos, ventas, servicios de atención al cliente y servicios financieros/de crédito. El concepto de eliminar por completo los defectos sirve igual para las manufacturas como para los servicios.

Implementación de Seis Sigma La implementación de Seis Sigma “es un gran compromiso”, comenta el director de ese programa en Praxair, una importante empresa industrial de gas. “Estamos pidiendo a nuestros ejecutivos que dediquen más del 15% de su tiempo a Seis Sigma. Si no se dedica tiempo, no se alcanzan resultados”⁵. En efecto, el éxito de los programas Seis Sigma en cualquier empresa, desde GE hasta Motorola, desde DuPont hasta Texas Instruments, requiere un importante compromiso de tiempo, especialmente de la alta dirección. Estos líderes tienen que formular el plan, comunicar su compromiso y los objetivos de la empresa, y asumir un papel visible dando ejemplo a los demás.

⁵ B. Schmitt, “Expanding Six Sigma”, *Chemical Week* (21 de febrero de 2001), pp. 21-24.

Los proyectos Seis Sigma de éxito tienen una clara relación con la dirección estratégica de una empresa. Es un planteamiento liderado por la dirección, basado en los equipos y dirigido por expertos⁶.

Potenciación de los empleados

La **potenciación de los empleados** significa involucrarlos en todos los pasos del proceso de producción. Sistemáticamente, las publicaciones de negocios indican que el 85% de los problemas de calidad están relacionados con los materiales y los procesos, no con el rendimiento de los trabajadores. Por lo tanto, la tarea consiste en diseñar equipos y procesos que produzcan la calidad deseada. Eso se consigue mucho mejor con un alto grado de implicación de los que conocen los puntos débiles del sistema. Los que trabajan con el sistema a diario lo entienden mejor que nadie. Según un estudio, los programas de TQM que delegan la responsabilidad de la calidad en los empleados de la fábrica tienen el doble de posibilidades de triunfar que los que se basan en directivas que emanan directamente desde arriba⁷.

Cuando no se cumplen las especificaciones rara vez es culpa del trabajador. O bien el producto fue mal diseñado, o bien el sistema de producción estaba mal diseñado, o bien el empleado recibió una formación inadecuada. Aunque el empleado sea capaz de colaborar en la resolución del problema, rara vez es quien lo causa.

Entre las técnicas para potenciar a los empleados cabe destacar: (1) establecer redes de comunicación que los incluyan, (2) poner supervisores que sean abiertos y les den apoyo, (3) trasladar responsabilidades de directivos y personal de control y apoyo a los empleados de producción, (4) formar organizaciones con una moral alta, y (5) crear estructuras organizativas oficiales como equipos y círculos de calidad.

Se pueden organizar equipos para tratar multitud de temas. Un foco de atención bastante popular entre los equipos es la calidad. Estos equipos se conocen a veces como círculos de calidad. Un **círculo de calidad** es un grupo que se reúne regularmente para solucionar problemas relacionados con su trabajo. Los miembros reciben formación sobre planificación en grupo, resolución de problemas y control estadístico de la calidad. Generalmente se reúnen una vez a la semana (normalmente después del trabajo, aunque a veces en horario laboral). Aunque los miembros no reciben remuneración, sí reciben el reconocimiento de la empresa. Un miembro del grupo con una formación especial, llamado “facilitador”, suele ayudar a la formación de los miembros, y hace que las reuniones discurren sin problemas. Los círculos de calidad han demostrado ser una manera rentable para aumentar la productividad y la calidad.

Potenciación de los empleados

Ampliación de las responsabilidades del puesto de trabajo de los empleados de forma que se traslada responsabilidad y autoridad al nivel más bajo posible de la organización.

Círculo de calidad

Grupo de empleados que se reúnen regularmente con un “facilitador” para resolver problemas relacionados con el trabajo de su área.

⁶ Para formar a los empleados sobre cómo mejorar la calidad y su relación con los consumidores hay otros tres agentes clave en un programa Seis Sigma: los Maestros Cinturón Negro, los Cinturón Negro y los Cinturón Verde. Los Maestros Cinturón Negro son profesores a tiempo completo que tienen una importante formación en estadística, herramientas de calidad y liderazgo. Ejercen de mentores de los Cinturón Negro que, a su vez, son líderes de equipos del proyecto, dirigiendo, tal vez, hasta media docena de proyectos al año (con unos ahorros medios de 175.000 dólares por proyecto, según la Academia Seis Sigma). Reciben unas cuatro semanas de formación Seis Sigma, pero también tienen que tener buenas “habilidades de relaciones sociales” para ser capaces de ver todos los cambios que suceden a su alrededor. Los Cinturón Verde emplean parte de su tiempo en proyectos de equipo y el resto en sus puestos habituales de trabajo. Dow Chemical y DuPont tienen más de 1.000 Cinturones Negros cada una en sus operaciones globales. DuPont también tiene 160 Maestros Cinturón Negro e incorpora a más de 2.000 Cinturones Verdes al año a sus filas.

⁷ “The Straining of Quality”, *The Economist* (14 de enero de 1995), p. 55. También vemos que se trata de una de las fortalezas de Southwest Airlines, que ofrece un servicio nacional escueto, pero cuyos empleados agradables y divertidos la ayudan a obtener el puesto número 1 en la clasificación de la calidad (véase *The Wall Street Journal*, 27 de abril de 2000).

Definición de referencias (*benchmarking*)

Selección de un estándar de rendimiento demostrado que represente lo mejor que se pueda obtener en un proceso o actividad determinado.

Definición de referencias (*benchmarking*)

La **definición de referencias (*benchmarking*)** es otro elemento del programa de TQM de una empresa. El *benchmarking* implica seleccionar un estándar probado acerca de productos, servicios, costes o prácticas que represente el mejor de todos los resultados obtenidos en procesos o actividades muy similares a las propias. La idea es definir un objetivo al que dirigirse y, después, definir un estándar o referencia con respecto al que comparar nuestros propios rendimientos o resultados. Los pasos para definir un *benchmark* o referencia son los siguientes:

- Determinar a qué área se va a aplicar el *benchmark* o referencia.
- Formar un equipo de *benchmark*.
- Identificar socios del *benchmarking*.
- Recopilar y analizar la información de *benchmarking*.
- Realizar las acciones precisas para alcanzar o rebasar el *benchmark* o referencia.

Entre las típicas medidas de rendimiento utilizadas en el *benchmarking* están el porcentaje de defectos, el coste por unidad o por pedido, el tiempo de procesamiento por unidad, el tiempo de respuesta de servicio, el rendimiento de la inversión, las tasas de satisfacción de los consumidores y las tasas de conservación de clientes.

En una situación ideal se puede encontrar a una o varias organizaciones parecidas a la propia que sean líderes en las áreas concretas que deseemos estudiar. A continuación se compara uno mismo con ellas. No es necesario que la empresa sea del mismo sector. De hecho, para definir estándares de clase mundial tal vez sea más adecuado buscar fuera del propio sector. Si un sector industrial ha aprendido a competir gracias a su rapidez en el desarrollo de los productos, y éste no es el caso del suyo, entonces no tiene sentido analizar su sector en busca de referencias. Como se puntualiza en el recuadro de *Dirección de producción en acción*, “La reputación de L. L. Bean la convierte en un favorito *benchmark* o referencia”, éste es exactamente el caso de Xerox y DaimlerCrysler que acudieron a L. L. Bean para buscar puntos de comparación en la preparación de pedidos y almacenamiento. Los *benchmark* se concretan, a menudo, en las “mejores prácticas” encontradas en otras empresas o en otras divisiones de la compañía. La Tabla 6.3 recoge las mejores prácticas para resolver las quejas de los clientes.

Análogamente, el fabricante británico de computadoras ICL se fijó en Marks & Spencer (la cadena de ropa) para mejorar su sistema de distribución.

Benchmarking interno Cuando una organización es lo suficientemente grande para tener muchas divisiones o unidades de negocio, un planteamiento natural es el *benchmarking* interno. Los datos suelen ser mucho más accesibles que cuando las referencias provienen

TABLA 6.3 ■ La mejor forma de resolver las quejas de los clientes

- *Facilitar a los clientes la posibilidad de quejarse*: es un estudio de mercado gratuito.
- *Contestar rápidamente a las quejas*: esto aumenta el número de clientes y su fidelidad.
- *Resolver las quejas en el primer contacto con el cliente*: reduce los costes.
- *Utilizar computadoras para gestionar las quejas*: descubrir tendencias, compartirlas y ajustar a ellas sus servicios.
- *Reclutar a los mejores para trabajos de servicio a clientes*: debería constituir parte de un sistema formal de formación y de avance profesional.

Fuente: Canadian Government Guide on Complaint Mechanism.

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN EN ACCIÓN

LA REPUTACIÓN DE L. L. BEAN LA CONVIERTE EN UN FAVORITO BENCHMARK

Cuando Xerox se propuso mejorar su sistema de preparación de pedidos, se fijó en L. L. Bean. ¿Qué tenían en común las piezas para fotocopiadoras con la parafernalia de ropa y complementos de L. L. Bean? Nada. Pero los directivos de Xerox vieron que sus procesos de preparación de pedidos eran semejantes; ambos implicaban la manipulación de productos de tamaños y formas tan variables que el trabajo se debía realizar a mano. Pero ocurría que Bean era capaz de completar el pedido tres veces más deprisa que Xerox. Con la lección aprendida, Xerox consiguió recortar sus costes de almacenaje en un 10%. "Muchas empresas sufren por resistirse a admitir que otras empresas pueden hacer las cosas mejor que ellas", nos confió Robert Camp, director de benchmarking de Xerox.

Más tarde, Daimler-Chrysler empezó a estudiar los métodos de almacenaje de Bean. Los empleados de Bean utilizaban diagramas de flujo para descubrir movimientos inútiles. Estas técnicas hicieron que los empleados sugirieran la conveniencia de almacenar los artículos de gran volumen cerca de las estaciones de embalaje. Tan impresionado quedó Daimler-Chrysler, que decidió seguir su ejemplo, y confiar más en la resolución de los problemas a nivel de los operarios.

L. L. Bean recibe hoy en día más de cinco solicitudes semanales para realizar visitas para benchmark; demasiadas para poder satisfacerlas. La empresa sólo programa las que tengan "un interés real en la calidad, no las que quieran simplemente curiosarse", dice Robert Olive, director de fábrica de L. L. Bean.

Fuentes: *Catalog Age* (abril de 2002), 35, y *Business Week* (18 de septiembre de 1995), 122-132.

de empresas externas. Normalmente existe alguna una unidad interna, sección, división, que tiene un elevado rendimiento, de la que en consecuencia merece la pena aprender.

La creencia casi religiosa de Xerox en el benchmarking ha dado buenos resultados, no sólo por fijarse fuera en L. L. Bean, sino también analizando las operaciones de sus diversas divisiones geográficas. Por ejemplo, Xerox Europa, una filial de Xerox Corp. que factura 6.000 millones de dólares, creó equipos de trabajo para ver cómo se podían mejorar las ventas gracias al benchmarking interno. Por alguna razón, en Francia se vendían cinco veces más fotocopiadoras que en otras divisiones de Europa. Al copiar el enfoque francés, a saber, mejor formación de ventas y utilización de canales de distribución para complementar las ventas directas, ¡Noruega incrementó sus ventas un 152%, Holanda un 300% y Suiza un 328%!

Se pueden y se deben establecer benchmarks en multitud de áreas. La gestión de calidad total requiere eso como mínimo⁸.

Justo a tiempo (JIT)

La filosofía que respalda el concepto de "justo a tiempo" (*Just In Time*, JIT) es la de una mejora continua y un aumento de la capacidad de resolución de problemas. Los sistemas JIT están concebidos para producir o suministrar los productos en el momento en que se necesitan. El JIT se relaciona con la calidad de tres maneras:

⁸ Observe que la toma de referencias (benchmarking) es buena para evaluar lo bien que se están haciendo las cosas en nuestra organización frente al resto del sector, pero el planteamiento más imaginativo para mejorar los procesos consiste en preguntarse: ¿debemos hacer todo esto? La comparación de nuestras operaciones de almacenamiento con la maravillosa gestión que hace L. L. Bean es algo que está muy bien, pero tal vez lo que le conviene a su organización es tener un almacén "de paso" (véase el Suplemento del Capítulo 1 del volumen *Decisiones Tácticas*), o tal vez externalizar la función de almacenamiento.



Vídeo 6.2

La estrategia
de benchmarking
de Xerox

- *El JIT reduce el coste de la calidad.* Esto ocurre porque los rechazos, el trabajo rehecho, la inversión en inventarios y los costes por daños están directamente relacionados con las existencias disponibles. Como con el JIT hay menos stock disponible, los costes asociados son menores también. Además, los stocks ocultan la mala calidad, mientras que el JIT la *pone al descubierto* de inmediato.
- *El JIT mejora la calidad.* Como reduce el plazo de fabricación o de entrega (*lead time*), mantiene “frescas” las pruebas de los errores, y en consecuencia reduce el número de posibles fuentes de errores. De hecho, el JIT crea un sistema de aviso inmediato de los problemas de calidad, tanto dentro de la empresa como con los proveedores.
- *Una mejor calidad significa menos inventario y un sistema JIT mejor y más fácil de utilizar.* A menudo, el objetivo de almacenar existencias es protegerse de malos rendimientos en la producción, consecuencia de una mala calidad. Si la calidad es, por el contrario, fiable, el JIT nos permitirá reducir todos los costes que van asociados con el inventario.

Conceptos de Taguchi

La mayoría de los problemas relacionados con la calidad derivan de un mal diseño del producto y del proceso. Genichi Taguchi nos ha proporcionado tres conceptos para mejorar la calidad del producto y del proceso: *calidad robusta*, *función de pérdida de calidad* y *calidad orientada al objetivo*⁹.

Calidad robusta

Productos hechos con calidad constante, para satisfacer las necesidades del cliente a pesar de que aparezcan condiciones adversas en el proceso de producción.

Función de pérdida de calidad (QLF)

Función matemática que refleja todos los costes relacionados con la mala calidad, y que muestra el ritmo de incremento de estos costes a medida que la calidad del producto se aleja de lo que desea el cliente.

Los productos con **calidad robusta** son los que se pueden elaborar de manera uniforme y continuada en condiciones adversas de entorno y de producción. La idea de Taguchi es eliminar los *efectos* de las condiciones adversas, en lugar de las causas. Taguchi sugiere que suele resultar más económico suprimir los efectos que eliminar las causas, y resulta más eficaz para conseguir un producto robusto. De esta manera, las pequeñas variaciones en materiales y procesos no destruirán la calidad del producto.

La **función de pérdida de calidad (QLF, Quality Loss Function)** identifica todos los costes relacionados con una baja calidad, y muestra cómo aumentan a medida que el producto deja de ser exactamente lo que el consumidor quiere. Estos costes incluyen no sólo la frustración del consumidor, sino además los costes de garantía y servicio postventa, costes de inspección interna y de reparaciones, así como de materiales y productos desechados, y costes que pueden catalogarse como costes para la sociedad. Observe que en la Figura 6.4(a) se muestra la QLF como una curva que aumenta progresivamente. La QLF tiene la forma general de una simple fórmula cuadrática:

$$L = D^2C$$

donde L = pérdida para la sociedad
 D^2 = cuadrado de la distancia al valor-objetivo
 C = coste de la desviación en el límite de especificación

En la función de pérdida QLF se incluyen todas las pérdidas para la sociedad derivadas de un escaso rendimiento. El producto más deseado es el que tiene una menor pérdida. Cuanto más lejos esté el producto del valor objetivo, mayor será la pérdida.

Taguchi observó que las especificaciones tradicionales orientadas hacia la conformidad (que señalan que el producto es bueno siempre y cuando esté dentro de los lími-

⁹ Glen Stuart Peace, *Taguchi Methods: A Hands-On Approach* (Reading, MA: Addison-Wesley, 1993).

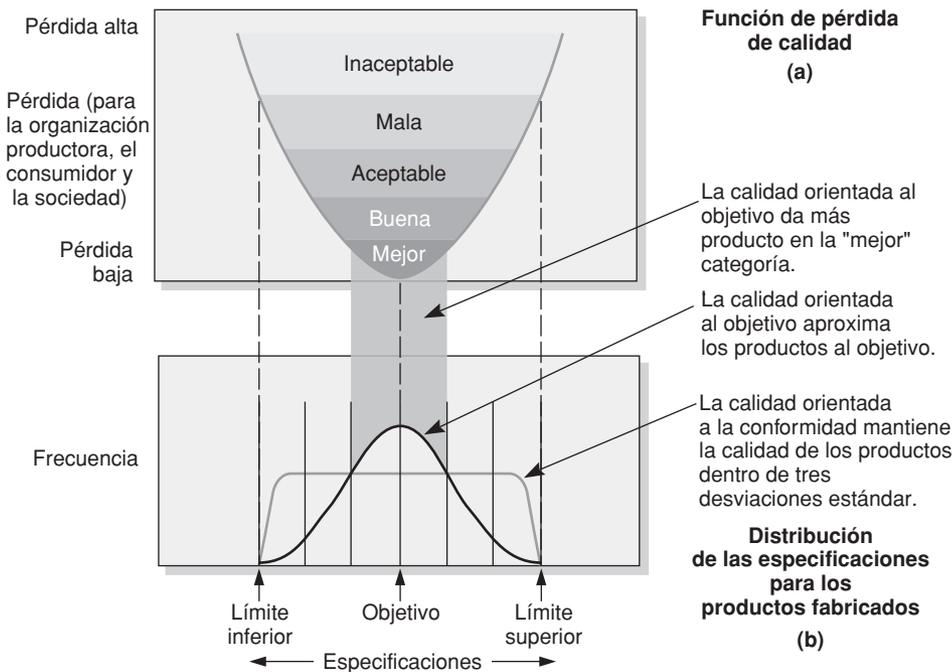


FIGURA 6.4 ■ (a) Función de la pérdida de la calidad (QLF); (b) Distribución de los productos obtenidos

Taguchi busca el objetivo, porque los productos obtenidos cerca de los límites inferior y superior de especificación aceptables dan como resultado un valor mayor de la función de pérdida de calidad.

tes de tolerancia), eran demasiado simplistas. Como se observa en la Figura 6.4(b), la calidad orientada a la conformidad acepta todos los productos que caen dentro de los límites de tolerancia, produciendo más unidades alejadas del objetivo. Por eso, la pérdida (su coste) es más elevada en términos de satisfacción del consumidor y de beneficio para la sociedad. En la calidad orientada al objetivo, por otra parte, se intenta mantener el producto en el marco de la especificación deseada, fabricando más (y mejores) unidades cerca del objetivo. La **calidad orientada al objetivo** constituye una filosofía de mejora continua para que el producto llegue a ser exactamente lo que se quiere conseguir (objetivo).

Conocimiento de las herramientas de TQM

Para potenciar a los empleados y poner en práctica la TQM como un esfuerzo continuado, todos los miembros de la organización deben recibir formación sobre las técnicas de TQM. En el apartado siguiente haremos hincapié en algunas de las distintas herramientas y en expansión, que se emplean en la cruzada de la TQM.

HERRAMIENTAS DE TQM

La Figura 6.5 muestra siete herramientas que resultan particularmente útiles en la campaña de la TQM. Las presentamos a continuación.

Calidad orientada al objetivo

Filosofía de mejora continua para adecuar exactamente el producto al objetivo deseado.

“La calidad nunca se logra por casualidad, siempre es el resultado de un esfuerzo inteligente”.

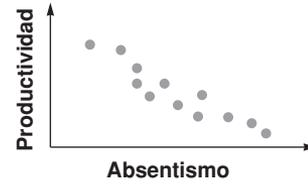
John Ruskin

Herramientas para generar ideas

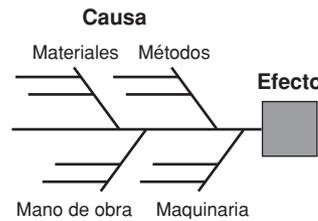
(a) *Hoja de control*: Método organizado de registro de datos.

Defecto	Hora							
	1	2	3	4	5	6	7	8
A	///	/		/	/	/	///	/
B	//	/	/	/			//	///
C	/	//					//	////

(b) *Diagrama de dispersión*: Gráfico del valor de una variable versus otra variable.

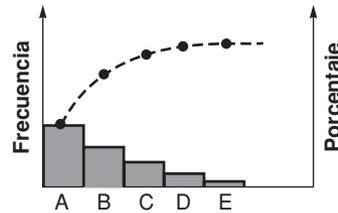


(c) *Diagrama de causa-efecto*: Herramientas que determinan los elementos del proceso (causas) que pueden influir en los resultados.

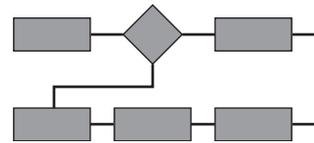


Herramientas para organizar la información

(d) *Gráfico de Pareto*: Gráfico que identifica y señala problemas o defectos en orden descendente de frecuencia de aparición.

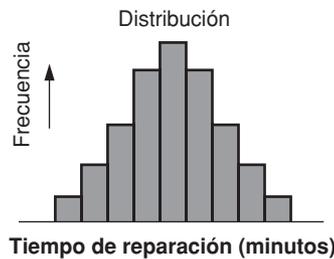


(e) *Diagramas de flujo (diagramas de procesos)*: Gráfico que describe las etapas de un proceso.



Herramientas para la identificación de problemas

(f) *Histograma*: Distribución que indica la frecuencia de diferentes valores de una variable.



(g) *Gráfico de control estadístico de procesos*: Gráfico con el tiempo en el eje horizontal para representar cronológicamente los valores de un estadístico.

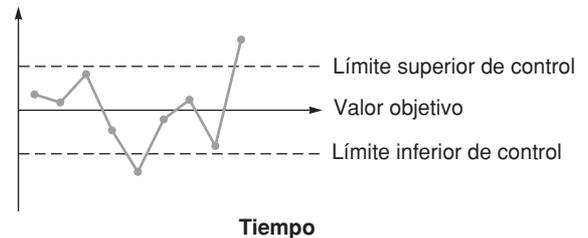


FIGURA 6.5 ■ Siete herramientas de la TQM

Hojas de control

Una **hoja de control** es cualquier clase de formulario destinado a registrar información. En muchos casos el registro se efectúa de forma que fácilmente se puedan identificar patrones de comportamiento cuando se está recopilando la información [véase la Figura 6.5(a)]. Las hojas de control ayudan a los analistas a identificar hechos o pautas que pueden ayudar en análisis posteriores. Un ejemplo podría ser un dibujo que mostrase una marca en las zonas donde se producen fallos, o una hoja de control que indicase el tipo de quejas presentadas por los clientes.

Diagramas de dispersión

Los **diagramas de dispersión** muestran la relación entre dos medidas. Un ejemplo lo constituye la relación positiva entre la duración de un servicio de reparación y el número de viajes que el empleado de reparaciones tiene que hacer al camión a por repuestos (este ejemplo aparece en el recuadro de *Dirección de producción en acción*, “La TQM mejora el servicio de mantenimiento de las fotocopiadoras”). Otro ejemplo podría ser un diagrama de la productividad y del absentismo, como el que se muestra en la Figura 6.5(b). Si los dos elementos están estrechamente relacionados, los puntos que representan a los datos formarán una banda estrecha. Si el resultado es un patrón aleatorio, eso quiere decir que los elementos no guardan relación.

Diagramas de causa-efecto

Otra herramienta para identificar problemas de calidad o puntos de inspección es el **diagrama de causa-efecto**, también conocido como **diagrama de Ishikawa** o **gráfico de espina de pez**. La Figura 6.6 muestra un diagrama (observe que la forma es muy pareci-

Diagrama de causa-efecto
Técnica esquemática utilizada para descubrir la posible localización de los problemas de calidad.

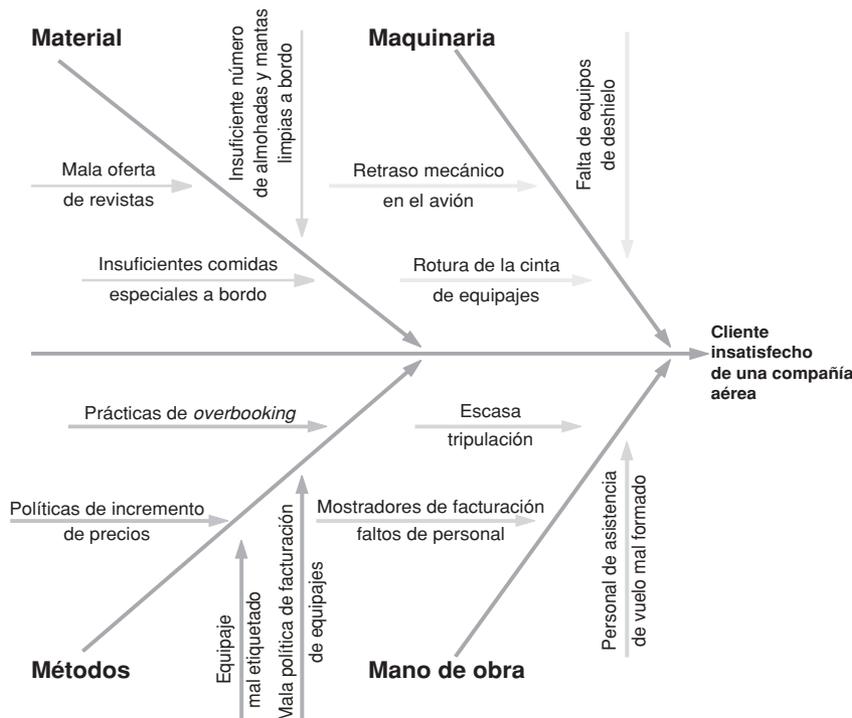


FIGURA 6.6 ■
Diagrama de espina de pez (o diagrama de causa-efecto)

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN EN ACCIÓN

LA TQM MEJORA EL SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE LAS FOTOCOPIADORAS

En la industria de las fotocopiadoras, la tecnología en su diseño ha difuminado la diferencia entre los productos de la mayoría de las empresas. Savin, fabricante de fotocopiadoras propiedad de Ricoh Corp., de Japón, considera que la ventaja competitiva reside en el servicio, por lo que hace hincapié en él más que en las especificaciones del producto propiamente dicho. Como afirma Robert Williams, alto directivo de Savin, “la prosperidad de una empresa depende de la calidad de su servicio”.

He aquí dos métodos con los que Savin consiguió ahorrar costes al mismo tiempo que mejoraba la calidad de sus servicios:

- Utilizando las herramientas de TQM, Savin observó que se perdía bastante tiempo en los servicios efectuados por los técnicos de reparación en los locales de los clientes, cuando los operarios tenían que volver a sus camiones en busca de piezas de repuesto. La empresa decidió preparar un “kit de asistencia técnica” que contuviera

todas las piezas con mayor probabilidad de ser utilizadas por los operarios durante sus servicios de asistencia a domicilio, con el resultado consiguiente de que, en la actualidad, este servicio es más rápido y cuesta menos, y se pueden hacer más servicios por día.

- El principio de Pareto, que afirma que el 20% de la plantilla de una empresa es responsable del 80% de los errores, fue el que sirvió para resolver el problema de tener que repetir los servicios de asistencia a domicilio. La repetición de la visita significaba que no se había realizado correctamente el trabajo la primera vez, por lo que era necesaria una segunda visita a cargo de Savin. Se realizó un cursillo de readiestramiento, al que acudió tan sólo el 11% de los operarios del servicio de asistencia técnica, los que habían tenido que hacer más segundas visitas, y esto se tradujo en un descenso del 19% en el número de éstas.

“La gestión de calidad total —según Williams— es una forma de gestionar la empresa que debiera estar presente en todos los trabajos de la industria de los servicios”.

Fuentes: *The Wall Street Journal* (19 de mayo de 1998), B8, y *Office Systems* (diciembre de 1998), 40-44.

da a la de una espina de pez) para un problema cotidiano de control de calidad: un cliente de una compañía aérea insatisfecho. Cada “espina” representa una posible fuente de error.

El director de operaciones parte de cuatro categorías: material, maquinaria/instalaciones, mano de obra (personal) y métodos. Estas cuatro *M* son las “causas”, y proporcionan una buena lista de puntos de control para un análisis inicial. Causas individuales asociadas a cada categoría se ligan como espinas separadas a lo largo de cada rama, a menudo mediante un proceso de *brainstorming*. Así, por ejemplo, la rama de maquinaria de la Figura 6.6 tiene problemas causados por el equipo de descongelación, retrasos mecánicos y cintas de equipaje averiadas. La confección sistemática de un gráfico de espina de pez pondrá de relieve la existencia de posibles problemas de calidad y puntos de inspección.

Gráficos de Pareto

Un **gráfico de Pareto** es un método de clasificación de errores, problemas o defectos para ayudar a centrar los esfuerzos de resolución de problemas. Están basados en los trabajos de Vilfredo Pareto, economista del siglo XIX. Joseph M. Juran popularizó los trabajos de Pareto al sugerir que el 80% de los problemas de una empresa son resultado de sólo un 20% de causas.

El Ejemplo 1 indica que, de los cinco tipos de quejas identificados, la gran mayoría se debía a un único tipo, el mal servicio de habitaciones.

El análisis de Pareto indica qué problemas, una vez resueltos, pueden producir mayor beneficio. Pacific Bells se dio cuenta de esto cuando buscaba un método para reducir los

Gráficos de Pareto

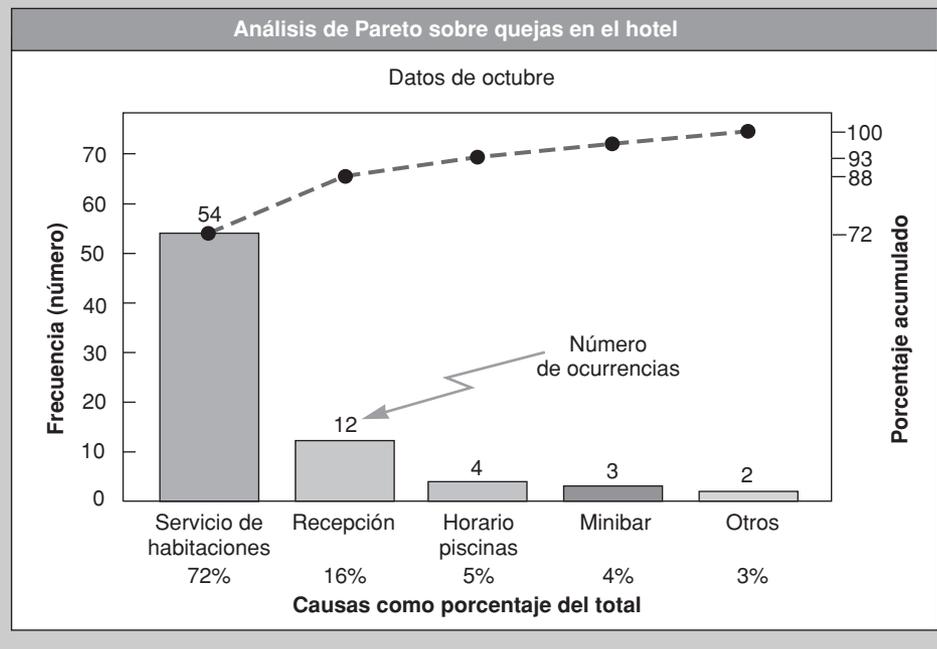
Forma gráfica de identificación de los pocos elementos críticos existentes, en contraposición a los numerosos elementos menos importantes.

EJEMPLO 1

Un diagrama de Pareto

El hotel Hard Rock en Balí acaba de recopilar datos sobre 75 llamadas de quejas al director general durante el mes de octubre. El director ha decidido elaborar un análisis de Pareto de las quejas. Los datos proporcionados son: servicio de habitaciones: 54; retrasos en la recepción (*check-in*): 12; horas de apertura de la piscina: 4; precios del minibar: 3; y varios: 2.

El gráfico de Pareto indica que el 72% de los fallos son resultado de una sola causa: el servicio de habitaciones. La mayoría de las quejas desaparecerán cuando se corrija esta causa.



daños en los cables subterráneos de teléfonos, que era la causa principal de los cortes de línea telefónica que se producían. El análisis de Pareto demostró que el 41% de los daños en los cables se debía a trabajos de construcción. Gracias a esta información, Pacific Bell pudo elaborar un plan para reducir en un 24% el número de cortes de cables en un año, con el correspondiente ahorro de 6 millones de dólares.

Diagramas de flujo

Los **diagramas de flujo** representan gráficamente un proceso o sistema recurriendo a recuadros con anotaciones y líneas interconectadas [véase la Figura 6.5(e)]. Se trata de una herramienta sencilla, pero excelente, para entender o explicar un proceso. En el Ejemplo 2 se observa un diagrama de flujo en el que se muestra el proceso del departamento de envasado y envío de una planta procesadora de pollos.

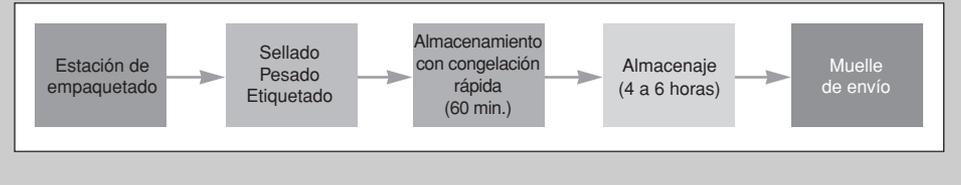
Diagramas de flujo
Diagramas de bloques que describen gráficamente un proceso o un sistema.

Histogramas

Los histogramas muestran el rango de valores de una medida y la frecuencia con la que aparece cada valor [véase la Figura 6.5(f)]. Indican los valores que se repiten más a menudo, así como las variaciones en la medida. Estadísticas descriptivas, tales como la media y la desviación estándar, pueden calcularse para describir la distribución. Sin embargo, los datos deberán dibujarse siempre, de modo que pueda “verse” la forma de la distribución.

EJEMPLO 2

La planta procesadora de pollos WJC, de Little Rock (Arkansas), quiere que sus nuevos operarios comprendan mejor el proceso de envasado y envío de la empresa, y ha elaborado para ello el siguiente diagrama que usará en el programa de formación de sus empleados.



Una presentación visual de la distribución puede permitir comprender también la causa de la variación.

Control estadístico de procesos (SPC)

Control estadístico de procesos (SPC)

Proceso empleado para controlar los estándares, en el que se realizan mediciones y se toman medidas correctoras a medida que se va fabricando un producto o se presta un servicio.

Gráficos de control

Representaciones gráficas de los datos de un proceso en el transcurso del tiempo con unos límites de control predeterminados.

El **control estadístico de procesos** hace un seguimiento de las especificaciones del producto, toma mediciones y adopta, si es necesario, las acciones correctivas mientras se está produciendo un bien o un servicio. Se examinan muestras del output (producto) del proceso; si se encuentran dentro de los límites aceptables, se permite que el proceso continúe. Si, por el contrario, caen fuera de los límites, el proceso se detiene y, normalmente, se identifica y elimina la causa que provoca que se hayan sobrepasado esos límites.

Los **gráficos de control** son representaciones gráficas de los datos en el tiempo, que muestran los límites superior e inferior del proceso que queremos controlar [véase la Figura 6.5(g)]. Los gráficos de control se elaboran de modo que los nuevos datos sean rápidamente comparables con los anteriores. Tomamos muestras del output del proceso y colocamos la media de estas muestras en un gráfico que contenga los límites. Los límites superior e inferior pueden estar en unidades de temperatura, presión, peso y longitud, entre otras.

La Figura 6.7 nos proporciona la representación gráfica de los porcentajes de una muestra en un gráfico de control. Cuando la media de las muestras se sitúa entre los límites establecidos y no presenta tendencia alguna, se dice que el proceso está bajo control y que sólo están presentes variaciones naturales. En caso contrario, el proceso está fuera de control o desajustado.

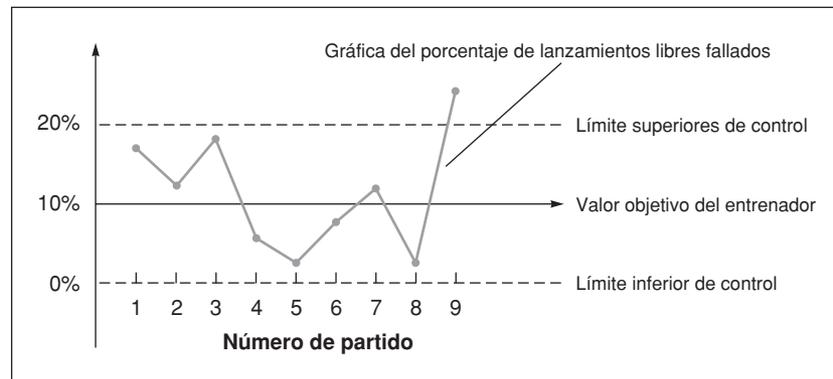


FIGURA 6.7 ■ Gráfico de control para el porcentaje de tiros libres fallados por los Chicago Bulls en sus nueve primeros partidos de la nueva temporada

El suplemento de este capítulo detalla cómo se desarrollan distintos tipos de gráficos de control. También se presentan los fundamentos estadísticos que sustentan el uso de esta importante herramienta.

EL PAPEL DE LA INSPECCIÓN

Si queremos estar seguros de que un sistema está produciendo al nivel de calidad esperado, es necesario controlar el proceso de producción. Los mejores procesos muestran ligeras variaciones con respecto al estándar esperado. La tarea del director de operaciones consiste en poner a punto dichos sistemas, y comprobar, a menudo mediante inspección, que se comportan con arreglo al estándar establecido. Esta **inspección** puede consistir en medir, degustar, palpar, pesar o testear el producto (y algunas veces destruirlo cuando se inspecciona). El objetivo es detectar un mal proceso de forma inmediata. La inspección no corrige deficiencias en el sistema o defectos en los productos, ni tampoco transforma un producto ni incrementa su valor. La inspección solamente descubre deficiencias y defectos; y resulta cara.

La inspección debe ser concebida como una auditoría. Las auditorías no añaden valor a los productos. Pero los directores de operaciones necesitan, igual que los financieros, que se hagan auditorías, y también saber dónde y cuándo auditar. Por lo tanto, existen dos cuestiones básicas relativas a la inspección: (1) *cuándo inspeccionar* y (2) *dónde inspeccionar*.

Cuándo y dónde inspeccionar

La decisión de cuándo y dónde realizar una inspección depende del tipo de proceso y del valor añadido en cada tarea. Las inspecciones (auditorías) pueden realizarse en cualquiera de los puntos siguientes:

1. En la planta de su proveedor mientras se está produciendo.
2. En su propia fábrica, justo después de haber recibido un pedido del proveedor.
3. Antes de procesos costosos o irreversibles.
4. Durante el proceso de producción, operación tras operación.
5. Cuando se ha acabado la producción del bien o servicio.
6. Antes de enviar los productos acabados al cliente desde la planta.
7. En el lugar donde se produce el contacto con el cliente.

Las siete herramientas de TQM analizadas en la sección anterior nos ayudan a determinar “cuándo y dónde debe efectuarse una inspección”. Sin embargo, la inspección no puede sustituir a un producto de calidad robusta producido por empleados bien entrenados en un buen proceso. En un conocido experimento llevado a cabo por una empresa de investigación independiente, se añadieron 100 piezas defectuosas a un lote “perfectos” de productos, sometiéndolo luego a una inspección del cien por cien¹⁰. Los inspectores encontraron sólo 68 piezas defectuosas en la primera inspección. Hicieron falta tres pasadas más para hallar otras 30 piezas defectuosas. Las dos últimas piezas defectuosas jamás fueron descubiertas. Por lo tanto, la conclusión es que existe variabilidad en el proceso de inspección. Además, los inspectores son sólo seres humanos que se aburren y se cansan y los propios equipos de inspección también están sujetos a variabilidad. Ni siquiera con una inspección del cien por cien, los inspectores pueden garantizar la perfección. Por consiguiente, buenos procesos, potenciación de los empleados y control en la fuente (en los

Inspección

Medio de asegurarse de que una operación está produciendo al nivel de calidad esperado.

Una de las constantes de nuestro tratamiento de la calidad es que “la calidad no puede inspeccionarse en un producto”.

¹⁰ *Statistical Quality Control* (Springfield, MA: Monsanto Chemical Company, n.d.), 19.

puestos de trabajo) suelen constituir una solución mejor que tratar de encontrar defectos a través de inspección.

Por ejemplo, en Velcro Industries, como en otras muchas empresas, los trabajadores de planta consideraban que la calidad era algo que concernía sólo a “los chicos de calidad”. Las inspecciones estaban basadas en muestreos aleatorios en los que, si se descubría una pieza defectuosa, se rechazaba y se tiraba. La empresa decidió prestar más atención a los operarios, a los métodos de medición, al diseño y reparación de las máquinas, así como a la comunicación y a las responsabilidades, e invirtió más dinero en la formación. Pasado el tiempo, al disminuir los defectos, Velcro pudo retirar del proceso a la mitad de su plantilla de control de calidad, “los chicos de calidad”.

Inspección en la fuente

La mejor inspección en la que cabe pensar es la no inspección; esa “inspección”, por llamarla de algún modo, se efectúa en el origen, en la fuente, allí donde el operario realiza su trabajo, y se limita a que éste realice su trabajo correctamente y a que él mismo se asegure de ello. Esto puede denominarse **inspección en la fuente** (o control en la fuente), y es coherente con el concepto de potenciación de los empleados, en el que los operarios inspeccionan su propio trabajo. La idea es que cada proveedor, proceso y trabajador *considere el siguiente paso en el proceso como un cliente*, de modo que asegure al “siguiente” cliente un producto perfecto. Esta inspección puede ser asistida mediante el uso de listas de comprobaciones y controles tales como los dispositivos a prueba de fallos llamados *poka-yoke*, nombre de origen japonés.

Un **poka-yoke** es un dispositivo o técnica a toda prueba que garantiza la producción continua de unidades sin defectos¹¹. Estos dispositivos especiales previenen errores y proporcionan una rápida información sobre los problemas existentes. Un sencillo ejemplo de dispositivo poka-yoke es la boca de la manguera de un surtidor de gasolina diesel o con plomo que no cabe en la boca del depósito de un automóvil que utilice gasolina sin plomo. En McDonald’s, la pala de patatas fritas y la cajita tamaño estándar que se utilizan para medir la cantidad correcta son instrumentos poka-yoke. De la misma manera, los paquetes quirúrgicos de los hospitales que contienen todos los objetos necesarios para realizar una intervención quirúrgica son también poka-yoke. Las listas de comprobación son otro tipo de herramienta poka-yoke. La finalidad de la inspección en la fuente es asegurarse de que en todas las fases del proceso se proporciona un producto o servicio de calidad 100%.

Inspección en el sector servicios

En las organizaciones orientadas al servicio pueden situarse puntos de inspección en diferentes lugares, tal como se ilustra en la Tabla 6.4. También aquí el director de operaciones deberá determinar en qué sitios están justificadas las inspecciones, y para tomar esa decisión le serán de utilidad las siete herramientas de TQM.

Inspección de atributos frente a inspección de variables

Quando se realizan las inspecciones, se pueden medir características de calidad como *atributos* o como *variables*. La **inspección de atributos** califica los artículos como buenos o defectuosos. No especifica el *grado* del fallo. Por ejemplo, una bombilla funciona o no. La

Inspección de la fuente

Control o supervisión en el punto de producción o de compra: en la fuente.

Poka-yoke

Traducido literalmente: “a toda prueba”; se trata de un dispositivo o técnica que garantiza la producción de unidades perfectas en cualquier momento.

Inspección de atributos

Inspección que clasifica los artículos como buenos o defectuosos.

¹¹ Para más detalle, véase Alan Robinson, *Modern Approaches to Management Improvement: The Shingo System* (Cambridge, MA: Productivity Press, 1990).

TABLA 6.4 ■ Ejemplos de inspección de servicios

Organización	Puntos de inspección	Estándar
Bufetes de abogados Jones	Recepción	Se responde el teléfono a la segunda llamada
	Facturación	Formato exacto, al momento y correcto
	Abogado	Prontitud en devolver las llamadas
Hotel Hard Rock	Recepción	Se utiliza el nombre del cliente
	Portero	Da la bienvenida a los clientes en menos de 30 segundos
	Habitación	Funcionan todas las luces; baño impecable
	Minibar	Contenido reaprovisionado. Facturación correcta
Hospital Arnold Palmer	Facturación	Formato exacto, al momento y correcto
	Farmacia	Exactitud en la prescripción e inventario
	Laboratorio	Auditoría de la exactitud de las pruebas de laboratorio
	Enfermeras Admisiones	Actualización inmediata de gráficos Registro de los datos correcto y completo
Hard Rock Café	Asistemte	Sirve el agua y el pan en un minuto como máximo
	Asistente	Quita utensilios del plato principal y limpia mesa (migas, etc.) antes de servirse el postre
	Camarero	Conoce y recomienda platos especiales y postres
Grandes Almacenes Nordstrom	Áreas de exposición	Atractivas, bien organizadas y surtidas. Buena iluminación y venta
	Almacenes	Rotación de mercancías; buena organización; limpios
	Vendedores	Aseados, amables, muy competentes

inspección de variables realiza mediciones como el peso, la velocidad, la altura o la resistencia, para ver si el artículo se encuentra dentro de los límites de tolerancia. Si se establece que un cable eléctrico ha de tener 0,01 pulgadas de diámetro, se utilizará un micrómetro para comprobar si el producto está lo suficientemente cerca de este diámetro para pasar la inspección.

El conocer si se van a inspeccionar atributos o variables nos ayudará a decidir qué tipo de control estadístico se va a utilizar, como veremos en el suplemento a este capítulo.

LA GCT TQM EN LOS SERVICIOS

El componente personal de los servicios hace que la calidad en ellos sea es más difícil de medir que en los productos tangibles manufacturados. Generalmente, el usuario de un servicio, como el usuario de un bien, tiene en mente unas cuantas características que le sirven para comparar distintas alternativas. La ausencia de una de estas características puede descartar el servicio en la mente del usuario para posteriores consideraciones. La calidad puede ser percibida asimismo como un conjunto de atributos en el que muchas características secundarias resultan superiores a las de la competencia. Este método de comparación entre productos difiere poco entre bienes y servicios. Sin embargo, lo que sí es muy dife-

Inspección de variables

Clasificación de los artículos inspeccionados respecto a una escala continua, como dimensión, tamaño o dureza, midiendo el artículo según alguna de esas variables.

rente en relación a la elección de los servicios es que en ellos no hay una buena definición de (1) las *diferencias intangibles entre los productos* y (2) las *expectativas intangibles que tienen los clientes sobre esos productos*¹². De hecho, es posible que los atributos intangibles no estén definidos en absoluto. Se trata, a menudo, de imágenes sin palabras en la mente del comprador. Por esta razón, todos los temas de marketing, como la publicidad, la imagen y la promoción, pueden resultar decisivos (véase la fotografía del conductor de UPS).

El director de operaciones desempeña un papel significativo en el tratamiento de importantes aspectos de la calidad del servicio. En primer lugar, *es importante el componente tangible de muchos servicios*. La perfección con la que se diseña y produzca el servicio puede ser determinante. Esta perfección puede consistir en lo exacta, clara y completa que sea la factura que llegue a nuestras manos a la salida del hotel, en que la comida



A los conductores de UPS se les enseñan 340 métodos concretos sobre cómo se entrega correctamente un paquete. ¿Reglamentado? Totalmente. Pero para UPS su uniformidad y eficiencia constituyen la base de su servicio de alta calidad. Fuente: Forbes (10 de enero de 2000), 80.

¹² L. Berry, V. Zeithaml y A. Parasuraman, “Quality Counts in Services. Too”, *Business Horizons* (mayo-junio de 1985), pp. 45-46.

que nos sirven en Taco Bell esté caliente, o en lo bien que funcione el automóvil que acabamos de recoger del taller.

En segundo lugar, otro aspecto del servicio y de la calidad de servicio lo constituye el proceso. Observe que en la Tabla 6.5 nueve de los diez aspectos determinantes de la calidad de servicio guardan relación con el proceso del servicio. Aspectos como la fiabilidad y la cortesía forman parte del proceso. El director de operaciones puede diseñar procesos (productos de servicio) que posean esos atributos y garantizar su calidad mediante las técnicas de TQM analizadas en este capítulo.

En tercer lugar, el director de operaciones debería tener en cuenta que las expectativas del cliente constituyen el estándar que se utiliza para valorar el servicio. La percepción que tiene el cliente de la calidad de servicio deriva de una comparación entre las expectativas anteriores a la recepción del servicio y su experiencia real del servicio. En otras palabras, la calidad del servicio se juzga comprobando si satisface las expectativas prometidas. *El director puede ser capaz de influir tanto sobre la calidad del servicio como sobre las expectativas creadas.* No prometa más de lo que pueda dar.

En cuarto lugar, el director debe ser consciente de la posibilidad de que se produzcan excepciones. Existe un nivel de calidad estándar al que se presta el servicio habitual (por ejemplo, una transacción a través de un cajero automático). No obstante, lo cierto es que se presentan “excepciones” o “problemas” creados por el cliente o por unas condiciones de operación que no son las mejores (por ejemplo, el ordenador que soporta el cajero estropeado). Esto implica que el sistema de control de calidad debe reconocer y disponer de un *conjunto de planes alternativos para cuando las condiciones operativas no sean las óptimas.*

TABLA 6.5 ■ Determinantes de la calidad del servicio

Fiabilidad Implica continuidad en el rendimiento y seriedad. Significa que la empresa realiza bien el servicio a la primera, y que cumple sus promesas.

Capacidad de respuesta Se refiere a la buena disposición y a la rapidez de los empleados para suministrar el servicio. Hace referencia al tiempo de respuesta.

Competencia Significa poseer los conocimientos y aptitudes adecuados para realizar el servicio.

Accesibilidad Comprende accesibilidad y facilidad de contacto.

Cortesía Hace referencia a la buena educación, el respeto, la consideración y la amabilidad del personal de contacto (que incluye a telefonistas, recepcionistas, etcétera).

Comunicación Mantener informados a los clientes en un lenguaje que puedan entender, y escucharlos. Puede implicar que la empresa tenga que adaptar su lenguaje a distintos tipos de clientes, aumentando el nivel de sofisticación con un cliente bien educado o hablando más sencilla y llanamente con un principiante.

Credibilidad Honradez, ser creíble y sincero. Significa sentir como propios los mejores intereses del consumidor.

Seguridad Ausencia de peligro, riesgo o duda.

Entender y conocer al consumidor Realizar el esfuerzo de tratar de comprender lo que necesita el consumidor.

Tangibles Comprende los aspectos físicos del servicio.

Fuente: Adaptado de A. Parasuram, Valerie A. Zeithaml y Leonard L. Berry, *Delivering Quality Service and Balancing Customer Expectations* (Nueva York: Free Press, 1990).

Las empresas bien dirigidas tienen estrategias de “recuperación del servicio”. El personal de Marriott Hotels está formado en la rutina EIDRN¹³: *Escuchar*, *Identificarse con el cliente*, *Disculparse*, *Reaccionar*, *Notificar*, garantizando este último paso que la queja se registra en el sistema. La cadena de hoteles Ritz-Carlton forma a sus empleados para que no se limiten a decir “perdón” sino, más bien, “le ruego que acepte mis disculpas” y les concede un presupuesto para compensar a los huéspedes descontentos¹⁴.

Diseñar el producto, gestionar el proceso de servicio, ajustar el producto a las expectativas del cliente y estar preparado ante las situaciones excepcionales son factores claves para ofrecer un servicio de calidad. El recuadro de *Dirección de producción en acción*, “Richey International espía”, nos ofrece otra perspectiva de cómo los directores de operaciones mejoran la calidad en los servicios.

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN EN ACCIÓN

RICHEY INTERNATIONAL ESPÍA

¿Cómo pueden los servicios de limusinas y los hoteles de lujo mantener la calidad de sus servicios? Respuesta: inspeccionando. Pero ¿y si el producto constituye la prestación de un servicio individualizado, basado, en gran medida, en el comportamiento personal? ¿Cómo se inspecciona entonces? ¿Pues contratando a espías!

Richey International es el espía. Preferred Hotels and Resorts Worldwide e Intercontinental Hotels son organizaciones que han contratado los servicios de Richey para realizar evaluaciones de calidad vía el espionaje. Los empleados de Richey efectúan las inspecciones haciéndose pasar por clientes. Sin embargo, también en estos casos la dirección tendrá que haber determinado qué es lo que el cliente espera y qué servicios concretos va a ofrecerle para satisfacer sus necesidades. Sólo entonces podrán los directores saber dónde y cómo inspeccionar. Una formación intensa y dinámica e inspecciones objetivas refuerzan los comportamientos que satisfarán las expectativas del cliente.

Los hoteles utilizan a los inspectores secretos de Richey para asegurar el cumplimiento escrupuloso de sus estándares. En los hoteles no saben cuándo se va a producir la evaluación ni qué alias utilizarán los espías. Se evalúan

más de cincuenta normas distintas antes de que los inspectores ni siquiera se hayan registrado en un hotel de lujo. En las 24 horas siguientes, se utilizan listas de comprobación, cintas magnetofónicas y fotografías para preparar informes por escrito en los que se evalúan estándares o normas como las siguientes:

- ¿Saluda el portero a cada cliente en menos de 30 segundos?
- ¿Se dirige el recepcionista al cliente por su nombre durante los trámites de registro en el hotel?
- ¿Están inmaculadas la bañera y la ducha de la habitación?
- ¿Cuánto tiempo tardan en servir el café una vez que el cliente se ha sentado a tomar el desayuno?
- ¿Establece el camarero contacto visual?¹⁵
- ¿Era correcta la facturación de las bebidas del minibar?

El establecimiento de estándares, una formación eficiente y las inspecciones son parte de los esfuerzos de TQM en estos hoteles. La calidad no se consigue por casualidad.

Fuentes: *The Wall Street Journal* (12 de mayo de 1999); Bl, 612, y *Forbes* (5 de octubre de 1998), pp. 88-89.

¹³ Nota del revisor: en inglés la rutina se denomina LEARN (Listen, Empathyze, Apologize, React, Notify), que traducido al español es APRENDER.

¹⁴ “A Complaint is a Gift”, *The Economist* (24 de abril de 2004), p. 69.

¹⁵ Nota del revisor: En EE.UU. se considera como norma de educación social establecer un breve contacto visual (p. ej. de un segundo) durante una presentación, o al iniciar una conversación con un extraño, como es este caso.

RESUMEN

Calidad es un concepto que significa diferentes cosas para distintas personas, pero en este capítulo se ha definido como la totalidad de prestaciones y características de un producto o servicio que influyen en su capacidad para satisfacer necesidades manifestadas o implícitas. La definición de las expectativas de calidad es fundamental para que las operaciones sean eficientes y eficaces.

La calidad requiere el establecimiento de un entorno de gestión de calidad total (TQM), debido a la imposibilidad de inspeccionarla en un producto. El capítulo también presenta siete *conceptos* de TQM: mejora continua, Seis Sigma, potenciación de los trabajadores, benchmarking, sistemas “justo a tiempo”, conceptos de Taguchi y conocimiento de las herramientas de TQM. Las siete *herramientas* presentadas en este capítulo son: las hojas de control, los diagramas de dispersión, los diagramas de causa-efecto, los diagramas de Pareto, los diagramas de flujo, los histogramas y el control estadístico de procesos (SPC).

TÉRMINOS
CLAVE

Calidad	Calidad orientada al objetivo
Coste de la calidad	Diagrama de causa-efecto, diagrama de Ishikawa, o gráfico de espina de pez
ISO 9000	Diagramas de Pareto
ISO 14000	Diagramas de flujo
Gestión de calidad total (TQM)	Control estadístico de procesos (SPC)
PDCA	Gráficos de control
Seis Sigma	Inspección
Potenciación de los empleados	Inspección en la fuente
Círculo de calidad	Poka-yoke
Benchmarking	Inspección de atributos
Calidad robusta	Inspección de variables
Función de pérdida de calidad (QLF)	

EJERCICIOS EN INTERNET Y DEL CD-ROM DEL ALUMNO

Visite nuestro sitio web o utilice su CD-ROM del alumno para obtener material sobre este capítulo.



En nuestro sitio web www.prenhall.com/heizer

- Preguntas de autoevaluación
- Problemas prácticos
- Visita virtual a una empresa
- Problemas para resolver con Internet
- Casos en Internet



En su CD-ROM del alumno

- Lección en Power Point
- Problemas prácticos
- Videoclips y casos en vídeo
- Ejercicio Active Model



CUESTIONES PARA EL DEBATE

1. Explique cómo se pueden reducir los costes gracias a una mayor calidad.
2. Como ejercicio para resolver con Internet, averigüe los criterios del Premio Baldrige. Visite el sitio web www.quality.nist.gov.
3. ¿Qué tres puntos de los 14 de Deming cree que son más importantes para el éxito de un programa de TQM? ¿Por qué?
4. Enumere los siete conceptos necesarios para un programa eficaz de TQM. ¿Qué relación tienen con los 14 puntos de Deming?
5. Nombre tres personajes importantes relacionados con los conceptos de calidad de este capítulo. En cada caso, redacte una breve frase sobre cada uno resumiendo su contribución más importante al campo de la gestión de la calidad.
6. ¿Cuáles son las siete herramientas de la TQM?
7. ¿Cómo el miedo en el puesto de trabajo (y en el aula) puede impedir el aprendizaje?
8. ¿Cómo puede controlar una universidad la calidad de su producto (es decir, la formación de sus licenciados)?
9. Philip Crosby insinúa que la calidad es gratis. ¿Por qué?
10. ¿Cuáles son los tres conceptos básicos del planteamiento de Taguchi?
11. ¿Con qué fin se utiliza un diagrama de Pareto en un determinado problema?
12. ¿Cuáles son las cuatro grandes categorías de “causas” que ayudan a dibujar un diagrama de Ishikawa o diagrama de causa-efecto?
13. De los diferentes puntos donde puede ser necesaria la inspección, ¿cuáles se ajustan especialmente bien al caso de la manufactura?
14. ¿Qué papel desempeñan los directores de operaciones en la gestión de los principales aspectos de la calidad de servicio?
15. Explique, con sus propias palabras, qué se quiere decir con *inspección en la fuente*.
16. ¿Cuáles son los 10 determinantes de la calidad de servicio?
17. Nombre varios productos que no tienen por qué tener una gran calidad.
18. ¿Qué significa la fórmula $L = D^2C$?
19. En este capítulo hemos sugerido que es difícil incorporar calidad en el proceso y en las personas. Las inspecciones también son difíciles. Para indicar la dificultad de las inspecciones, cuente el número de letras *E* (tanto mayúsculas como minúsculas) del recuadro de *Dirección de operaciones en acción*, “Richey International espía” (incluyendo el título pero no las notas al pie). ¿Cuántas ha contado? Si cada alumno hace este ejercicio por su cuenta, es muy probable que encuentre una distribución antes que una única cifra.



DILEMA ÉTICO

Un caso judicial copó los titulares de todo el mundo hace unos años cuando una cliente de un restaurante McDonald's para automóviles se derramó una taza de café hirviendo. La anciana de ochenta años afirmó que el café estaba demasiado caliente como para beberse con seguridad dentro de un automóvil, y ganó 2,9 millones de dólares con la demanda (el juez redujo posteriormente la compensación a 640.000 dólares). McDonald's afirmó que el producto se sirvió siguiendo las especificaciones adecuadas y tenía la calidad correcta. Además, en la taza ponía “Precaución: el contenido puede estar caliente”. El café de McDonald's, a 180°, está bastante más caliente (por norma de la empresa)

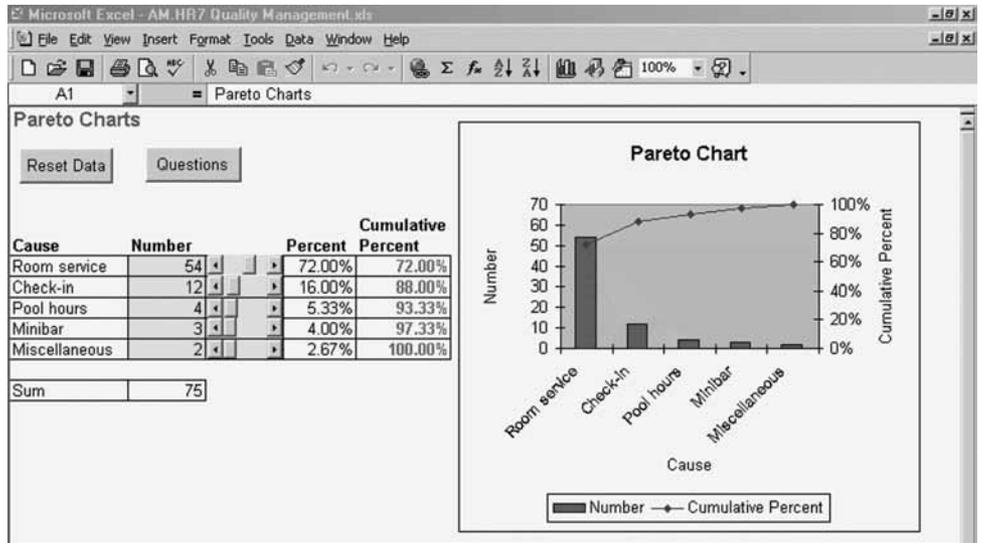
que el café de un restaurante típico, a pesar de los cientos de quejas interpuestas en los diez últimos años por clientes que se han quemado con el café. En otras demandas judiciales análogas, que, dicho sea de paso, dieron lugar a compensaciones más reducidas, también se sentenció a favor del demandante. Por ejemplo, Motor City Bagel Shop fue demandada por el derrame de una taza de café por un cliente en un restaurante para automóviles, y a Starbucks por una cliente que se derramó el café en su propio tobillo.

¿Tienen la culpa McDonald's, Motor City y Starbucks en este tipo de situaciones? ¿Cómo juegan la calidad y la ética en estos casos?



EJERCICIO ACTIVE MODEL

Este ejercicio Active Model aparece en su CD-ROM. Le permite evaluar importantes elementos de un diagrama de Pareto.



ACTIVE MODEL 61. ■ Análisis de Pareto de los datos del hotel del Ejemplo 1.

Preguntas

1. ¿Qué porcentaje sobre total de defectos representan las quejas sobre el servicio de habitaciones?
2. Si lográsemos reducir el número de quejas sobre el servicio de habitaciones a la mitad, ¿cómo afectaría ello al gráfico?



PROBLEMAS

- 6.1. Haga un análisis de Pareto para las siguientes causas de retraso en el proceso de producción de Lument Technology. ¿Qué conclusiones extrae?

Razones del retraso	Frecuencia
Espera de una decisión de los ingenieros	11
No se dispone de los planos	10
El equipo de pruebas está averiado	22
Retraso en la inspección	15
Componentes erróneos	40
Falta de personal	3

- **6.2.** Dibuje un diagrama de dispersión para dos variables de interés [por ejemplo, número de páginas en el periódico por día de la semana; véase el ejemplo en la Figura 6.5(b)].
- **6.3.** Haga un análisis de Pareto de las siguientes causas de malas notas en un examen:

Razón de las malas notas	Frecuencia
Falta de tiempo para acabar el examen	17
Llegar con retraso al examen	7
Dificultad para entender los temas explicados en clase	25
Falta de tiempo de preparación para el examen	2
Se estudiaron temas equivocados	2
Distracciones durante el examen	9
Se acabaron las pilas de la calculadora durante el examen	1
Se olvidó de que tenía un examen	3
Se puso enfermo durante el examen	4

- **6.4.** Dibuje un histograma del tiempo que tardaron usted o sus amigos en recibir sus seis últimos pedidos en un restaurante de comida rápida.
- ⋮ **6.5.** Visite la ventanilla de atención de un restaurante de comida rápida para automóviles en hora de baja demanda. Registre el momento en que llega un nuevo vehículo al final de la cola o a la ventanilla. Registre también el número de personas que van en el vehículo. Registre a continuación el instante en que el vehículo sale de la ventanilla de entrega y calcule el tiempo de la transacción (tiempo entre la llegada y la salida) de cada vehículo. (Incluya a treinta vehículos o más en el estudio).
Con estos datos, construya un diagrama de dispersión de dos variables: número de ocupantes del vehículo y tiempo de la transacción. Utilice a los ocupantes como variable X . ¿Cree que hay una relación entre las dos variables?
- ⋮ **6.6.** Dibuje un diagrama de flujo [como en la Figura 6.5(e) y en el Ejemplo 2] que muestre todos los pasos necesarios para planificar una fiesta.
- ⋮ **6.7.** Analice los distintos tipos de mal comportamiento en la conducción ante un semáforo en rojo. Haga una lista con las diez acciones que considera que es más probable que se produzcan. Incorpore a esa lista una categoría de “otros comportamientos”.
 - a) Elabore una hoja de control [como la de la Figura 6.5(a)] para registrar la frecuencia de estos comportamientos. Utilizando su hoja de control, acuda a un cruce con mucho tráfico en cuatro momentos distintos del día, siendo dos de estos momentos dos horas punta (por la mañana y por la tarde). Durante un periodo de tiempo entre 15 y 20 minutos en cada visita, observe la frecuencia con que se producen las acciones que ha puesto en su lista.
 - b) Dibuje un diagrama de Pareto que muestre la frecuencia relativa de cada acción.
- ⋮ **6.8.** Dibuje un diagrama de espina de pez detallando las razones de por qué no se ajusta bien un tornillo a una tuerca en una línea de montaje.
- ⋮ **6.9.** Analice la tarea cotidiana de llegar a tiempo al trabajo o a la primera hora de clase por la mañana. Dibuje un diagrama de espina de pez que muestre las razones por las que puede llegar tarde.

- **6.10.** Dibuje un diagrama de causa-efecto para reflejar el caso de “Alumno insatisfecho con el proceso de matriculación de la universidad”. Utilice las “cuatro *M*” o cree su propio organigrama. Incluya al menos 12 causas.
- **6.11.** Dibuje un diagrama de espina de pez que muestre las razones por las que puede haber un error en el importe de la hoja de matrícula de su curso universitario en el momento en que va a pagarla.
- **6.12.** María Beth Marrs, directora de un complejo de apartamentos, se siente agobiada por el número de quejas que está recibiendo. Reproducimos a continuación la hoja de control que ha elaborado durante las 12 últimas semanas. Elabore un diagrama de Pareto utilizando esta información. ¿Qué recomendaciones podría hacer?

Semana	Jardines	Aparcamiento/ Caminos de acceso	Piscina	Problemas con inquilinos	Electricidad/ Fontanería
1	✓✓✓	✓	✓	✓✓✓	
2	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓
3	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓	
4	✓	✓✓✓✓	✓	✓	✓✓
5	✓✓	✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓	
6	✓	✓✓✓✓	✓✓		
7		✓✓✓	✓✓	✓✓	
8	✓	✓✓✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓
9	✓	✓✓	✓		
10	✓	✓✓✓✓	✓✓	✓✓	
11		✓✓✓	✓✓	✓	
12	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓	

- **6.13.** Utilice un análisis de Pareto para examinar los siguientes datos recopilados en una cadena de montaje de placas de circuitos impresos.
 - a) Prepare un gráfico con los datos.
 - b) ¿A qué conclusiones llega?

Defecto	Número de ocurrencias del defecto
Componente que no se adhiere	143
Demasiado adhesivo	71
Transistores mal colocados	601
Dimensión errónea de la placa	146
Los agujeros de montaje están mal colocados	12
Problemas de los circuitos en la prueba final	90
Componente erróneo	212

- **6.14.** Un taller de reparación de automóviles ha registrado las siguientes quejas. Utilícelas para preparar un diagrama de causa-efecto basado en las “cuatro *M*” (es decir, ponga títulos en el gráfico y coloque cada queja en la rama adecuada del diagrama).

- a) Me cobraron demasiado: la tarifa por hora era demasiado elevada.
- b) El mecánico manchó de grasa el asiento del conductor.
- c) Me gustaría que dieran cita previa para las revisiones y el mantenimiento.
- d) El vehículo no estaba preparado cuando dijeron que estaría.
- e) El repuesto se ha estropeado.
- f) El repuesto no es tan bueno como la pieza original.
- g) No cerró el tapón del aceite correctamente y pierde aceite.
- h) Mi problema no es importante y es fácil arreglarlo: ¿por qué no lo arreglan de inmediato y postergan otras reparaciones más largas?
- i) El presupuesto que me dieron quedó muy por debajo de lo que me facturaron realmente.
- j) Traje el automóvil para que le cambiaran el aceite y me han hecho una puesta a punto.
- k) Su mecánico sólo está cambiando repuestos: no tiene la más remota idea de qué le pasa a mi automóvil.
- l) No creo que el ordenador de diagnóstico que tienen funcione bien.
- m) Me han cobrado por trabajo que no han hecho.

- ⋮
- 6.15.** Dibuje un diagrama de flujo para lo siguiente:
- a) Llenar el depósito de gasolina en una gasolinera de autoservicio.
 - b) Averiguar el saldo de la cuenta y sacar dinero en un cajero automático.
 - c) Comprar un helado en una heladería.

- ⋮
- 6.16.** Southwest Wood Treating ha estado recibiendo muchas quejas de su principal cliente, Home Station, sobre la calidad de sus envíos de productos tratados con presión. Rick Summers, director de la fábrica, está preocupado porque sólo un cliente le proporciona la única información que tiene la empresa sobre la calidad de los envíos. Decide recopilar información sobre los envíos defectuosos mediante un formulario que ha pedido que cumplimenten los conductores al llegar a las tiendas de los clientes. Se han devuelto los formularios de los primeros 284 envíos. Muestran lo siguiente sobre las ocho últimas semanas:

SEMANA	N.º DE ENVÍOS	N.º DE ENVÍOS DEFECTUOSOS	Por qué fue defectuoso el envío			
			FACTURA INCORRECTA	CARGA INCORRECTA	PRODUCTO ESTROPEADO	RETRASO DEL CAMIÓN
1	23	5	2	2	1	
2	31	8	1	4	1	2
3	28	6	2	3	1	
4	37	11	4	4	1	2
5	35	10	3	4	2	1
6	40	14	5	6	3	
7	41	12	3	5	3	1
8	44	15	4	7	2	2

A pesar de que Rick ha aumentado su capacidad incorporando más trabajadores a su plantilla habitual de 30 empleados, sabe que durante muchas semanas superó su producción habitual de 30 envíos por semana. Un revisión de los datos sobre la rotación de empleados durante las ocho últimas semanas muestra lo siguiente:

Semana	N.º de nuevos contratados	N.º de despidos	N.º total de trabajadores
1	1	0	30
2	2	1	31
3	3	2	32
4	2	0	34
5	2	2	34
6	2	4	32
7	4	1	35
8	3	2	36

- Dibuje un diagrama de dispersión utilizando el número total de envíos y el número de envíos defectuosos. ¿Cree que hay algún tipo de relación?
- Desarrolle un diagrama de dispersión utilizando la variable “rotación de empleados” (número de nuevos contratados más número de despidos) y el número de envíos defectuosos. ¿Muestra el diagrama una relación entre las dos variables?
- Dibuje un gráfico de Pareto para el tipo de defectos que se han producido.
- Dibuje un diagrama de espina de pez que muestre las posibles causas de los envíos defectuosos.



PROBLEMAS EN INTERNET

Visite en nuestro sitio web www.prenhall.com/heizer para los problema adicionales: 6.17 a 6.20.

■ *Caso de estudio* ■

Universidad de Southwestern: (C)*

La popularidad del programa de fútbol americano de la Southwestern University ha ido creciendo durante los cinco últimos años desde la llegada de su nuevo entrenador, Bo Piterno, a la Universidad de Stephenville, Texas [véase Southwestern University: (A), en el Capítulo 3 y (B) en el Capítulo 4]. Con un estadio con una capacidad máxima de 54.000 espectadores que se está quedando pequeño, y un entrenador que reclama un nuevo campo, Joel Wisner, presidente de SWU, se ha

tenido que enfrentar a algunas decisiones difíciles. Tras su fenomenal, pero mínima, victoria sobre su eterno rival, la Universidad de Texas, en el partido de la fiesta anual al inicio del curso académico del pasado otoño, el Dr. Wisner no se mostró tan feliz como se hubiera podido suponer. En vez de ver a antiguos alumnos, estudiantes y profesores en estado de éxtasis, todo lo que Wisner recibió fueron quejas: “las colas en las casetas de venta eran demasiado largas”; “era difícil aparcar y tuvimos que hacerlo más lejos que otros años” (es decir, antes de que el equipo ganara con regularidad); “los asientos no eran cómodos”; “la caravana de coches lle-

* Este caso de estudio está presente a lo largo del texto. Otros temas relativos al estadio de fútbol americano de Southwestern son: (A) dirección del proyecto de renovación del estadio (Capítulo 3); (B) previsión de asistencia de espectadores a los partidos (Capítulo 4); (D) análisis del umbral de rentabilidad de los servicios de restauración (suplemento al Capítulo 7 en el sitio web); (E) localización del nuevo estadio (Capítulo 8 en el sitio web); (F) planificación del inventario de programas de fútbol (Capítulo 2 del volumen *Decisiones Tácticas* en el sitio web); (G) programación del personal de soporte y de seguridad para los días en que hay partido (Capítulo 3 de *Decisiones Tácticas*).

TABLA 6.6 ■ Resultados de la encuesta sobre satisfacción realizada a los hinchas (N = 250)

		Valoración global				
		A	B	C	D	E
Día del partido	A. Aparcamiento	90	105	45	5	5
	B. Tráfico	50	85	48	52	15
	C. Asientos	45	30	115	35	25
	D. Diversiones	160	35	26	10	19
	E. Programa impreso	66	34	98	22	30
Entradas	A. Precios	105	104	16	15	10
	B. Abonos	75	80	54	41	0
Reducciones	A. Precios	16	116	58	58	2
	B. Selección de alimentos	155	60	24	11	0
	C. Velocidad de servicio	35	45	46	48	76
Encuestados						
	Antiguos alumnos	113				
	Estudiantes	83				
	Facultad/personal	16				
	Otros grupos	38				

Comentarios espontáneos en las fichas de la encuesta:

El aparcamiento, un lío	¡Adelante SWU!	Me encantan los nuevos uniformes
Pongan una tribuna	Las colas son horribles	Tardé una hora en aparcar
Se necesitan mejores animadoras	Los asientos son incómodos	El entrenador es magnífico
Hay que duplicar el número de empleados del aparcamiento	Pagaría más por una vista mejor	Hacen falta más fuentes de agua
Todo de primera	Construyan un nuevo estadio	Mejores asientos
Demasiada gente	Se necesitan normas sobre los uniformes de los estudiantes	Los asientos no son cómodos
Los asientos, demasiado estrechos	Quiero asientos con almohadillas	La zona de aparcamiento debería ser mayor
La comida, magnífica	La policía, insuficiente	Soy demasiado viejo para asientos de madera
¡Joe P, presidente!	Los estudiantes, muy ruidosos	Faltó café durante el partido
¡Olía a droga!	El aparcamiento, terrible	Mi empresa pagará una tribuna: ¡constrúyanla!
El estadio está ya un poco viejo	Los lavabos estaban sucios	Los programas, muy caros.
Los asientos estaban duros como piedras	Insuficientes plazas de aparcamiento para minusválidos	Quiero asientos más blandos
Falta vigilancia para tanto tráfico	¡Muy bien, SWU!	¡Ganad a esos Longhorns!
El partido empieza demasiado tarde	Los asientos deberían ser más amplios	Pagaría por una tribuna
Hay que contratar a más policías de tráfico	Los acomodadores son muy amables	La banda de música era increíble
Se necesita una nueva banda de música	Necesitamos asientos mejores	Amo a Piterno
¡Todo fantástico!	Hay que ampliar la zona de aparcamiento	Todo fantástico
Faltan puestos de perritos calientes	Odio las tribunas descubiertas	Construyan un nuevo estadio
Los asientos son todos de grava	Los perritos calientes estaban fríos	Dallas sería un mejor escenario
Se necesitan tribunas	¿3 dólares por un café? ¡Pero bueno!	Ninguna queja
Los asientos huelen mal	Pongan algunas tribunas	El baño, sucio
		Los asientos, muy pequeños

gaba a mitad de camino desde Dallas”, etcétera. “Al presidente de una universidad no le está permitido ganar”, musitó Wisner para sí.

En la reunión con sus colaboradores al lunes siguiente, Wisner se dirigió a su vicepresidente administrativo,

Leslie Gardner, y le dijo: “Me gustaría que te ocuparas de todas esas quejas con el fútbol, Leslie, a ver si te enteras de cuál es el fondo del problema real; y comunícame cómo lo has resuelto”. Gardner no se sorprendió por la petición. “Ya me estoy ocupando del asunto. Joel —res-

pondió—. Hemos realizado encuestas a cincuenta hinchas, escogidos al azar en cada partido de la pasada temporada, para saber qué es lo que piensan. Todo ello forma parte de mi campaña de TQM en el campus. Déjame poner en orden toda la información que tengo, y te daré los resultados dentro de una semana”.

De regreso a su despacho, Leslie sacó los archivos compilados por su ayudante (véase la Tabla 6.6). “Aquí hay un montón de información”, pensó para sí misma.

Preguntas a desarrollar

1. Utilizando por lo menos dos herramientas de calidad distintas, analice los datos y presente las conclusiones obtenidas.
2. ¿Cómo podría aprovecharse mejor la encuesta?
3. ¿Cuál es el próximo paso?



Caso de estudio en vídeo

La cultura de la calidad en el hospital Arnold Palmer

Creado en 1989, el hospital Arnold Palmer es uno de los hospitales más grandes para mujeres y niños de todo Estados Unidos, con 431 camas en dos edificios con un total de 676.000 pies cuadrados. Localizado en el centro de la ciudad de Orlando, Florida, debe su nombre al benefactor del hospital, el famoso jugador de golf, y tiene más de 2.000 empleados que atienden una región geográfica de 18 condados en el centro de Florida y es el único centro traumatológico de Nivel 1 para niños en esa región. El hospital Arnold Palmer proporciona una amplia gama de servicios médicos, que incluye el cuidado intensivo pediátrico y neonatal, oncología y cardiología pediátrica, atención a embarazos de alto riesgo y cuidado intensivo maternal.

El problema de la valoración de la calidad en la atención sanitaria

Una atención sanitaria de calidad es una meta a la que aspiran todos los hospitales, pero el hospital Arnold Palmer ha desarrollado realmente herramientas exhaustivas y científicas para pedir a sus clientes que valoren la calidad de la atención que reciben. El hospital, que participa en una comparación de ámbito nacional en Estados Unidos entre varios hospitales, se encuentra siempre entre el 10% superior en satisfacción general del paciente. La directora ejecutiva Kathy Swanson afirma: “Los hospitales en este campo se distinguirán fundamentalmente sobre base de la satisfacción de sus clientes. Necesitamos información precisa sobre cómo juzgan nuestros pacientes y sus familiares la calidad de nuestra

atención, por lo que reviso los resultados de los cuestionarios todos los días. La encuesta en profundidad me ayuda a mí, y a otros miembros de mi equipo, a aprender rápidamente de las opiniones de los pacientes”. Los empleados del hospital tienen la autorización de dar regalos de un valor de hasta 200 dólares a los pacientes que se quejan con razón de cualquier servicio del hospital, ya sea la comida, la amabilidad, la rapidez de respuesta a una solicitud o la limpieza del hospital.

Swanson no se limita únicamente a las encuestas, que se envían por correo ordinario a los pacientes a la semana de haberlos dado de alta, sino también en diversas medidas internas. Estas medidas suelen partir de los escalafones inferiores, donde los empleados ven un problema y desarrollan métodos para hacer un seguimiento de su evolución. La tradicional filosofía del hospital respalda el concepto de que cada paciente es importante y debe ser respetado como persona. Todo paciente tiene derecho a una atención sanitaria exhaustiva, humanitaria y centrada en la familia, y proporcionada por un equipo con la formación adecuada y dirigido por un médico.

Algunas de las medidas a las que Swanson hace un cuidadoso seguimiento para lograr una mejora continua son las tasas de mortalidad, de infección, de readmisión, los costes por caso y la duración de la hospitalización. Las herramientas que utiliza a diario son diagramas de Pareto, gráficos de flujo y de proceso, además de benchmarking con otros hospitales, tanto de la región del sudeste como de todo Estados Unidos.

El resultado de todos estos esfuerzos ha sido una cultura de calidad manifestada por la elevada puntuación recibida por el hospital Arnold Palmer en satisfac-

ción de los pacientes y en una de las mayores tasas de supervivencia de bebés con enfermedades graves.

Preguntas para el debate*

1. ¿Por qué es importante para el hospital Arnold Palmer obtener la valoración que hacen los pacientes sobre la calidad de la atención sanitaria? ¿Tiene el paciente los conocimientos necesarios para valorar la atención sanitaria que recibe?
2. ¿Cómo crearía una cultura de calidad en una organización como el hospital Arnold Palmer?

3. ¿Qué técnicas practica el hospital Arnold Palmer en su búsqueda de la calidad y la mejora continua?
4. Dibuje un diagrama de espina de pez que ilustre las variables de la calidad de una paciente que acaba de dar a luz en el hospital Arnold Palmer (o en cualquier otro hospital).

* Puede que quiera revisar este caso de vídeo en su CD antes de responder a estas preguntas.

Fuente: Profesores Barry Render (Rollins College), Jay Heizer (Texas Lutheran University) y Beverly Amer (Northern Arizona State University).



Caso de estudio en vídeo

La la calidad en la empresa de Hoteles Ritz-Carlton

Ritz-Carlton. Sólo el nombre evoca ya imágenes de lujo y calidad. Como primera empresa hotelera ganadora del Premio Nacional Malcolm Baldrige a la Calidad, el Ritz considera la calidad como la razón de ser de la empresa. Esto significa un compromiso diario de satisfacer los deseos de su clientela y de asegurarse de que cada uno de sus hoteles está libre de cualquier fallo.

En el sector hotelero resulta difícil cuantificar la calidad. Los clientes del Ritz no compran precisamente un producto: lo que compran es una experiencia. Por ello, la creación de una combinación adecuada de elementos que contribuyan a que la experiencia sea inolvidable constituye el reto y el objetivo que persiguen todos sus empleados, desde el departamento de mantenimiento hasta la dirección.

Antes de presentarse al Premio Baldrige, la dirección de la empresa emprendió un riguroso ejercicio de autoevaluación de sus propias operaciones, destinado a medir y cuantificar la calidad. Se estudiaron diecinueve procesos, entre ellos el servicio de habitaciones, el sistema de reserva y registro de clientes, la entrega de mensajes y el servicio de desayuno. Este periodo de autoestudio incluyó la medición estadística de los flujos de trabajo en los procesos y los tiempos de ciclo en áreas que van desde la prestación del servicio de habitaciones y de la realización de reservas hasta el aparca-

miento del automóvil por el mozo y la eficiencia del servicio de limpieza. Los resultados obtenidos se utilizaron para crear puntos de referencia (benchmarks) de rendimiento con los que medir la actuación futura.

Con objetivos concretos y cuantificables, los directivos y los empleados del Ritz-Carlton se centran ahora en la mejora continua. El objetivo es lograr la satisfacción de los clientes al cien por cien: Si la experiencia de un huésped no satisface las expectativas, el Ritz-Carlton corre el riesgo de perder a ese cliente frente a la competencia.

Un método que la empresa ha empleado para dar más sentido a sus esfuerzos por la calidad es organizar a sus empleados en equipos de trabajo “autodirigidos”. Estos equipos determinan la programación del trabajo, que trabajo debe hacerse, y cómo resolver los problemas de calidad en sus propias áreas de trabajo. Para que puedan ver la relación de su área de trabajo específica con los objetivos globales de la empresa, se ofrece asimismo a los empleados la oportunidad de recibir formación complementaria sobre el sector hotelero. Ritz-Carlton considera que un empleado con mayores conocimientos y más información está en mejor disposición para tomar decisiones correctas en interés de la organización.

Preguntas para el debate*

1. ¿Cómo podría la cadena hotelera Ritz-Carlton controlar sus éxitos en la consecución de la calidad?

2. Muchas empresas afirman que su objetivo es proporcionar productos o servicios de calidad. “¿Qué acciones cabría esperar de una empresa que pretende que la calidad sea algo más que un simple eslogan o cliché?”
3. ¿Por qué motivo es posible que al hotel Ritz-Carlton le cueste menos hacer las cosas bien a la primera?
4. ¿Cómo podrían utilizarse los gráficos de control, los diagramas de Pareto y los de causa-efecto

para identificar los problemas de calidad en un hotel?

5. ¿Cuáles son algunas de las medidas no financieras de la satisfacción del cliente que se pueden utilizar en el Ritz-Carlton?

* Puede que quiera revisar este caso de vídeo en su CD antes de responder a estas preguntas.

Fuente: Adaptado de C. T. Horngren, S. M. Datar y G. Foster, *Cost Accounting*, 12.ª edición (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2006).

■ CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES ■

Visite nuestro sitio web www.prenhall.com/heizer para ver los siguientes casos prácticos de estudio:

- **Westover Electrical, Inc.:** Este fabricante de motores eléctricos tiene un largo historial de defectos en el proceso de cableado.
- **Quality Cleaners:** Esta pequeña empresa de limpieza necesita un sistema de gestión de la calidad.
- **Hotel del Casino Belair en Zimbabwe:** Un hotel para turistas en África que tiene que analizar las hojas de comentarios de sus clientes.

Harvard ha seleccionado estos casos del Harvard Business School para acompañar este capítulo (textbookcasematch.hbsp.harvard.edu):

- **GE: Traemos cosas buenas a esta vida (A)** (#899-162): Ilustra la complejidad de gestionar los cambios y el empuje que pueden proporcionar las iniciativas.
- **Wainwright Industries (A): Más allá del Baldrige** (#396-219): Hace el seguimiento del crecimiento de una empresa de suministros del automóvil y de su cultura sobre la calidad.
- **Romeo Engine Plant** (#197-100): Los empleados de esta fábrica de motores para automóviles deben resolver los problemas y garantizar la calidad, en vez de limitarse a ver cómo se fabrican las piezas.
- **Motorola-Penang** (#494-135): La directora de esta fábrica en Malasia se muestra escéptica sobre los esfuerzos de potenciación de los empleados en otras fábricas de Motorola.
- **Medida del deleite: la búsqueda de la calidad en el Servicio de Tarjeta Universal de AT&T (A)** (#694-047): Relaciona las medidas del rendimiento y las políticas de retribución con los preceptos de gestión de calidad.



BIBLIOGRAFÍA

- Beer, M., "Why Total Quality Management Programs Do Not Persist: The Role of Management Quality and Implications for Leading a TQM Transformation", *Decision Sciences* 34, n.º 4 (otoño 2003): pp. 623-642.
- Berry, L. L., A. Parasuraman y V. A. Zeithaml, "Improving Service Quality in America: Lessons Learned", *The Academy of Management Executive* 8, n.º 2 (mayo 1994): pp. 32-52.
- Brown, Mark G., *Baldrige Award Winning Quality*, 13.ª ed. University Park, IL: Productivity Press, 2004.
- Crosby, P. B., *Quality Is Still Free*. New York: McGraw-Hill, 1996.
- Echempati, Raghu y Christy White, "Case Study of Hinge Alignment Problems: A Six Sigma Quality Analysis", *Production and Inventory Management Journal* 41, n.º 2 (segundo trimestre 2000): pp. 1-8.
- Foster, S. Thomas, *Managing Quality*, 2.ª ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2004.
- Giflow, H. S. *et al.*, *Quality Management*, 3.ª ed. New York: McGraw-Hill, 2005.
- Goetsch, David L. y Stanley B. Davis, *Understanding and Implementing ISO 9000 and Other ISO Standards*, 2.ª ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.
- Goetsch, David L. y Stanley B. Davis, *Quality Management*, 4.ª ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003.
- Ireland, Samuel, "Quality and Nonprofit Organizations", *Quality Progress* (marzo 1999): pp. 96-99.
- Juran, Joseph M. y A. B. Godfrey, *Juran's Quality Handbook*. 5.ª ed. New York: McGraw-Hill, 1999.
- Pande, P. S., R. P. Neuman y R. R. Cavanagh, *What Is Design for Six Sigma?* New York: McGraw-Hill, 2005.
- Pil, F. K. y S. Rothenberg, "Environmental Performance as a Driver of Superior Quality", *Production and Operations Management* 12, n.º 3 (otoño 2003): pp. 404-415.
- Prahalad, C. K. y M. S. Krishnan, "The New Meaning of Quality in the Information Age", *Harvard Business Review* (septiembre-octubre, 1999): pp. 109-118.
- Stewart, D. M., "Piecing Together Service Quality: A Framework for Robust Service", *Production and Operations Management* (verano 2003): pp. 246-265.
- Summers, Donna, *Quality Management*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2005.
- Tonkin, L. P., "Supercharging Business Improvements: Motorola's Six Sigma Leadership Tools", *Target: Innovation at Work* 20, n.º 1 (first issue 2004): pp. 50-53.



RECURSOS EN INTERNET

American Society for Quality:

<http://www.asq.org/>

ISO Central Secretariat:

<http://www.iso.ch/>

Juran Institute:

<http://www.juran.com/>

Links to benchmarking sites:

<http://www.ebenchmarking.com>

National Institute of Standards and Technology:

<http://www.quality.nist.gov/>

Quality Assurance Institute:

<http://www.qaiusa.com>

Quality Digest:

<http://www.qualitydigest.com/>

Quality Progress:

<http://www.qualityprogress.asq.org/>

Vilfredo Pareto and other economists:

<http://cepa.newschool.edu/het/profiles.pareto.htm>

CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

6

CONTENIDO DEL SUPLEMENTO

CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS (CEP)

Gráficos de control para variables
 El teorema central del límite
 Fijación de los límites del gráfico de medias (gráfico \bar{x})
 Fijación de límites del gráfico de rangos (gráfico R)
 Utilización de los gráficos de medias y los gráficos de rango
 Gráficos de control para los atributos
 Cuestiones directivas y gráficos de control

CAPACIDAD DEL PROCESO

Ratio de capacidad del proceso (C_p)
 Índice de capacidad del proceso (C_{pk})

MUESTREO DE ACEPTACIÓN

Curva de característica operativa
 Calidad media de salida

RESUMEN
 TÉRMINOS CLAVE
 UTILIZACIÓN DE SOFTWARE PARA EL CEP
 PROBLEMAS RESUELTOS
 EJERCICIOS EN INTERNET Y DEL CD-ROM DEL ALUMNO
 CUESTIONES PARA EL DEBATE
 EJERCICIO ACTIVE MODEL
 PROBLEMAS
 PROBLEMAS PARA RESOLVER CON INTERNET
 CASOS DE ESTUDIO: BAYFIELD MUD COMPANY; PROGRAMACIÓN PUNTUAL DE ALABAMA AIRLINES
 CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES
 BIBLIOGRAFÍA
 RECURSOS EN INTERNET

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Cuando haya completado este capítulo, deberá ser capaz de:

Identificar o definir:

Causas naturales e imputables de variación
 El teorema central del límite
 Inspección de atributos y variables
 Control de procesos
 Gráficos \bar{x} y gráficos R
 LCL y UCL*

C_p y C_{pk}

Muestreo de aceptación

Curva de característica operativa (OC)

AQL y LTPD

AOQ

Riesgo del productor y riesgo del consumidor

Describir o explicar:

El papel del control estadístico de calidad

Control estadístico de procesos (CEP)

Proceso utilizado para controlar estándares, efectuar mediciones y tomar las medidas correctoras adecuadas mientras se elabora un producto o se presta un servicio.

Gráfico de control

Representación gráfica de los datos de un proceso a lo largo del tiempo.

Variaciones naturales

Son variaciones que, hasta cierto punto, cabe esperar que afecten a cada proceso de producción; también denominadas causas comunes.

Variaciones imputables

Se trata de variaciones en un proceso de producción que pueden atribuirse a causas específicas.

En este suplemento nos referimos al control estadístico de procesos utilizado por Betz-Dearborn, IBM, GE y Motorola para conseguir estándares de calidad. También presentamos el muestreo de aceptación. El **control estadístico de procesos** es la aplicación de técnicas estadísticas al control de procesos. El *muestreo de aceptación* se utiliza para determinar si se acepta o rechaza el material evaluado mediante una muestra.

CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS (CEP)

El **control estadístico de procesos (CEP)** es una técnica estadística de uso muy extendido para asegurar que los procesos cumplen las normas. Todos los procesos están sujetos a ciertos grados de variabilidad. Walter Shewhart, de Bell Laboratories, estudiando los datos de los procesos en los años veinte, estableció la distinción entre las variaciones por causas naturales y por causas *imputables*, desarrollando una herramienta simple pero eficaz para separarlas: el **gráfico de control**.

Utilizamos el control estadístico de procesos para medir el funcionamiento de un proceso. Se dice que un proceso está funcionando bajo *control estadístico* cuando las únicas causas de variación son causas comunes (naturales). El proceso, en primer lugar, debe controlarse estadísticamente, detectando y eliminando las causas de variación especiales (imputables)¹. Después se puede predecir su funcionamiento y determinar su capacidad para satisfacer las expectativas de los consumidores. El *objetivo* de un sistema de control de procesos es *proporcionar una señal estadística cuando aparezcan causas de variación imputables*. Una señal de este tipo puede adelantar la toma de una medida adecuada para eliminar estas causas imputables.

Variaciones naturales Las variaciones naturales afectan a todos los procesos de producción, y siempre hay que contar con ellas. Las **variaciones naturales** son las diferentes fuentes de variación de un proceso que está bajo control estadístico. Se comportan como un sistema constante de causas aleatorias. Aunque sus valores individuales sean todos diferentes, como grupo forman una muestra que puede describirse a través de una distribución. Cuando estas distribuciones son normales, se caracterizan por dos parámetros. Estos parámetros son:

- La media, μ (la medida de la tendencia central; en este caso, el valor medio).
- La desviación estándar, σ (es decir, la medida de la dispersión).

Siempre que la distribución (medición de la producción) se mantenga dentro de los límites especificados, se dice que el proceso está “bajo control”, y se toleran pequeñas variaciones.

Variaciones imputables Las **variaciones imputables** de un proceso suelen deberse a causas específicas. Factores como el desgaste de la maquinaria, equipos mal ajustados, trabajadores fatigados o insuficientemente formados, así como nuevos lotes de materias primas, son fuentes potenciales de variaciones imputables.

¹ Es laborioso eliminar las causas imputables. Como observó W. Edwards Deming, gurú de la calidad: “Un estado de control estadístico no es el estado natural de un proceso de fabricación, sino, más bien, un logro alcanzado por la eliminación, una a una y mediante esfuerzos concretos, de causas especiales de una variación excesiva”. Véase W. Edwards Deming, “On Some Statistical Aids toward Economic Production”, *Interfaces* 5, n.º 4 (1975), 5.

Las variaciones naturales y las imputables plantean dos tareas distintas al director de operaciones. La primera es *asegurarse de que el proceso puede funcionar* bajo control, sólo con variaciones naturales. La segunda es, evidentemente, *identificar y eliminar las variaciones imputables* para que el proceso pueda seguir bajo control.

Muestras Debido a las variaciones naturales y a las imputables, los procesos de control estadístico utilizan medias de pequeñas muestras (a menudo de cuatro a ocho elementos) en lugar de datos sobre piezas particulares. Las piezas recogidas individualmente tienden a ser demasiado irregulares como para hacer visibles las tendencias con prontitud.

La Figura S6.1 nos proporciona una visión detallada de los principales pasos a seguir en la determinación de las variaciones del proceso. El eje horizontal puede ser el peso (como los gramos de cereal por caja), la longitud (los milímetros de un tornillo) o cualquier medida física. El eje vertical es la frecuencia. Las muestras de cinco cajas de cereal en la Figura S6.1 (a) se pesan, y (b) forman una distribución, que (c) puede variar. Las distribuciones constituidas en (b) y (c) quedarán integradas en un módulo predecible (d), sólo en el caso de que se den variaciones naturales. Si se manifiestan las causas imputables de variación, entonces podremos esperar, o bien que varíe la media, o bien que varíe la dispersión, como ocurre en el caso (e).

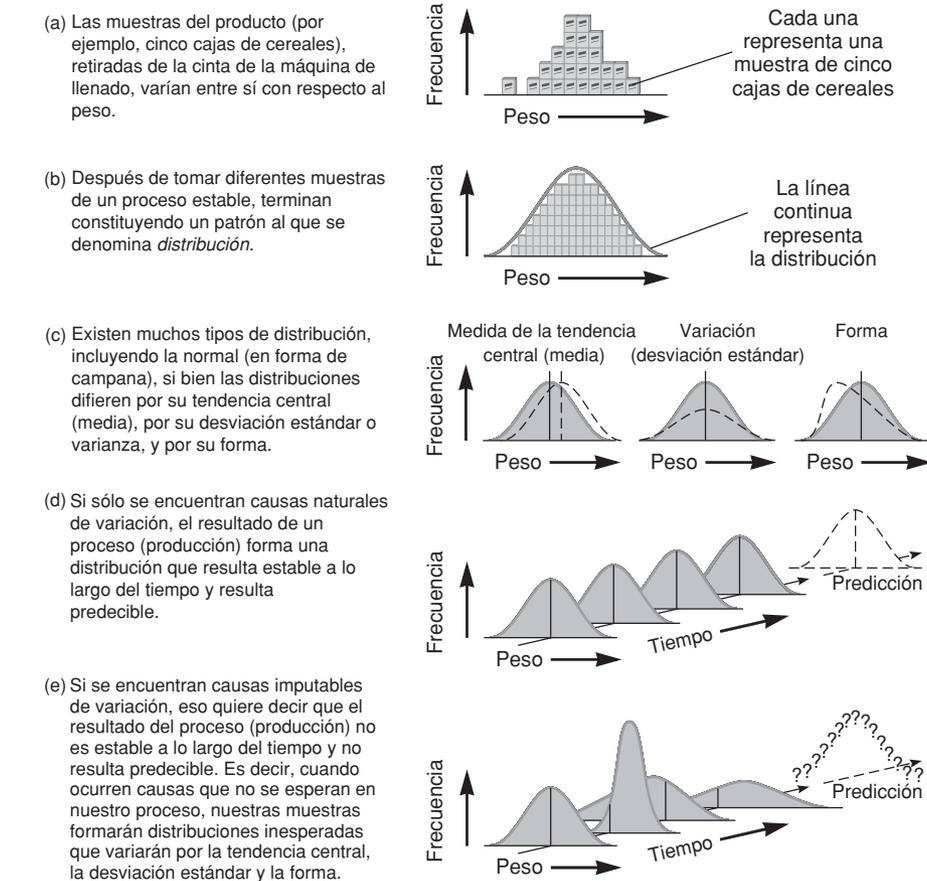
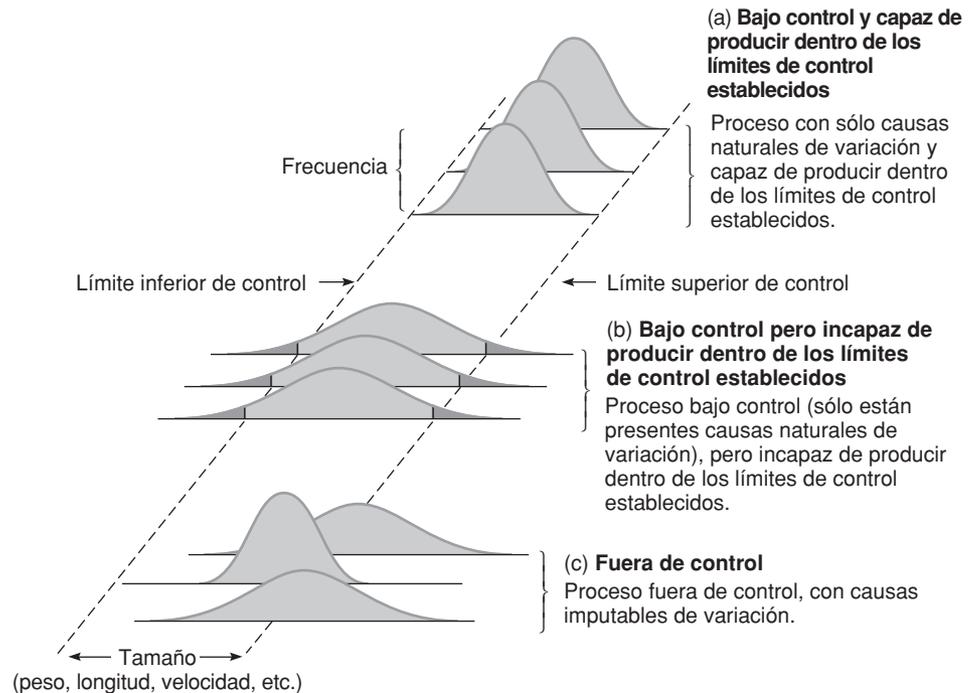


FIGURA S6.1 ■ Variaciones naturales e imputables

BetzDearborn, división de Hercules Incorporated, tiene su oficina central en Trevose, Pennsylvania, y es un proveedor general de sustancias químicas destinadas al tratamiento de aguas industriales, aguas residuales y sistemas de proceso. La empresa se sirve del control estadístico del proceso para hacer un seguimiento de los programas de tratamiento en una amplia gama de industrias de todo el mundo. El laboratorio de garantía de calidad de BetzDearborn utiliza también técnicas de muestreo estadístico para controlar los procesos de fabricación en todas las fábricas de producción de la empresa.

FIGURA S6.2 ■
Control del proceso:
tres tipos de
resultados
del proceso



Gráficos de control El proceso de construcción de los gráficos de control está basado en los conceptos de la Figura S6.2. La figura muestra tres distribuciones que son el resultado de tres tipos de procesos. Dibujamos los resultados de pequeñas muestras y, después, examinamos las características de los datos resultantes para ver si el proceso está dentro de los “límites de control”. El propósito de los gráficos de control es ayudarnos a distinguir entre variaciones naturales y variaciones por causas imputables. Como vemos en la Figura S6.2, el proceso puede estar: (a) bajo control, y *ser capaz de producir dentro de los límites establecidos*; (b) bajo control, *pero no ser capaz de producir dentro de los límites de control*, o (c) fuera de control. Ahora veremos cómo crear gráficos que ayuden al director de operaciones a mantener los procesos bajo control.

Gráfico \bar{x}

Se trata de un gráfico de control de calidad que indica cuándo se producen los cambios en la tendencia central de un proceso de producción.

Gráfico R

Es un gráfico de control que sigue el “rango” en una muestra, e indica la aparición de una ganancia o pérdida de uniformidad en la dispersión de un proceso de producción.

Gráficos de control para variables

Las variables son características que tienen dimensiones continuas, así como un número infinito de valores, como, por ejemplo, peso, velocidad, longitud o resistencia. Para supervisar un proceso de naturaleza continua se utilizan gráficos de control para la media \bar{x} y el rango R . El gráfico **gráfico \bar{x}** (\bar{x} barra) nos informa si los cambios han tenido lugar en la tendencia central (la media, en este caso) del proceso. Esto puede ser debido a factores que van del desgaste de herramientas a incrementos graduales de temperatura, la utilización de métodos diferentes en el segundo turno, o el uso de nuevos materiales más fuertes. Los valores del **gráfico R** indican incrementos o decrementos en uniformidad. Estos cambios pueden deberse a desgastes de cojinetes, pérdida de una parte de una herramienta, flujo imprevisible de lubricante en la máquina, o descuido por parte del operario de la máquina. Los dos tipos de gráficos van a la par cuando se controlan las variables, ya que sirven para medir los dos parámetros fundamentales: la tendencia central y la dispersión.

El teorema central del límite

El fundamento teórico de los gráficos \bar{x} está en el **teorema central del límite**. En términos generales, este teorema dice que, independientemente de la distribución de la población de todas las piezas o servicios, la distribución de las \bar{x} (cada una de las medias de una muestra de la población) tenderá a seguir una curva de distribución normal cuando aumente el número de muestras. Y, afortunadamente, incluso si la muestra (n) es bastante pequeña (digamos 4 o 5), la distribución de las medias seguirá aproximadamente una curva de distribución normal. El teorema también dice que (1) la media de la distribución de las \bar{x} (con notación $\bar{\bar{x}}$) será igual que la media de toda la población (con notación μ); y (2) la desviación estándar (o desviación típica) de la *distribución muestral*, $\sigma_{\bar{x}}$, será la *desviación estándar de la población*², σ , dividida por la raíz cuadrada del tamaño de la muestra (n). En otras palabras:

$$y \quad \bar{\bar{x}} = \mu \tag{S6.1}$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{S6.2}$$

La Figura S6.3 muestra tres posibles distribuciones de población, cada una con su propia media, μ , y su propia desviación estándar, σ . Si se extraen una serie de muestras aleatorias ($\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_h$), cada una de tamaño n , de cualquier distribución de la población (que puede ser normal, beta, uniforme, etcétera), la distribución resultante de las \bar{x}_i será como la que se muestra en el gráfico.

Además, la distribución de la muestra, tal como se indica en la Figura S6.4, tendrá menos variabilidad que la distribución del proceso. Como la distribución de la muestra es normal, podemos señalar que:

- el 95,45% de las veces, las medias de las muestras se situarán entre $\pm 2\sigma_{\bar{x}}$ si el proceso sólo tiene variaciones naturales.
- el 99,73% de las veces, las medias de las muestras se situarán entre $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$ si el proceso sólo tiene variaciones naturales.

Teorema central del límite

Fundamento teórico de los gráficos \bar{x} que señala que, con independencia de la distribución de la población de todas las piezas o servicios, la distribución de \bar{x} tenderá a seguir una normal a medida que aumente el número de muestras.

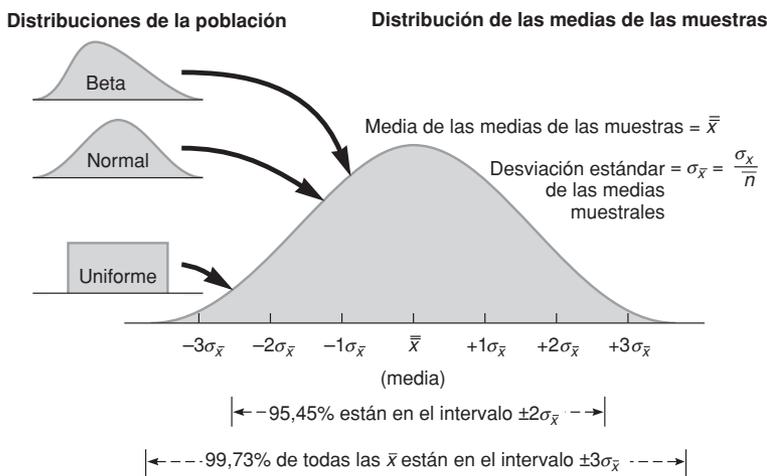


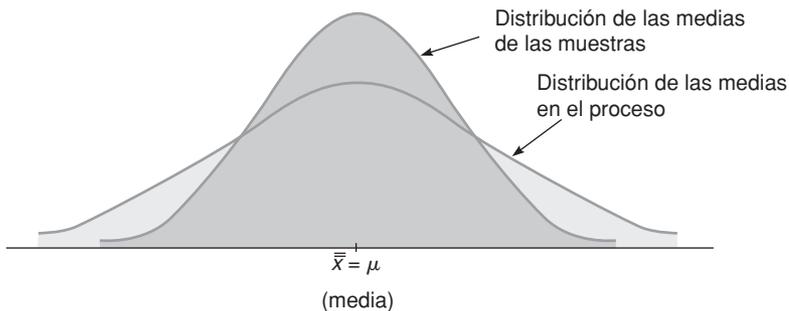
FIGURA S6.3 ■ La relación entre la distribución de la población y las distribuciones muestrales

Independientemente de la distribución de la población (beta, normal, uniforme), cada una con su propia media (μ) y desviación estándar (σ), la distribución de las medias de las muestras es una normal.

² Nota: La desviación estándar se calcula fácilmente: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$

FIGURA S6.4 ■ La distribución de las medias de las muestras es normal, y tiene menos variabilidad que la distribución del proceso

En esta figura, la distribución del proceso de la que se ha extraído la muestra era también normal, pero podría haber sido cualquier distribución.



Si un punto del gráfico de control se sitúa fuera de los límites de control $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$, entonces estamos seguros al 99,73% de que el proceso ha cambiado. Ésta es la teoría en la que se basan los gráficos de control.

Fijación de los límites del gráfico de medias (gráfico \bar{x})

Si conocemos a través de datos históricos la desviación estándar de la población de un proceso, σ , podemos determinar los límites de control superior e inferior utilizando las siguientes fórmulas:

$$\text{Límite de control superior (UCL)} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}} \quad (\text{S6.3})$$

$$\text{Límite de control inferior (LCL)} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}} \quad (\text{S6.4})$$

donde $\bar{\bar{x}}$ = media de las medias de las muestras, o un valor objetivo establecido para el proceso

z = número de desviaciones estándar normales (2 para 95,5% de confianza, 3 para 99,73%)

$\sigma_{\bar{x}}$ = desviación estándar de la media de las muestras = σ/\sqrt{n}

σ = desviación estándar de la población

n = tamaño de la muestra

El Ejemplo S1 indica cómo fijar límites de control para medias de muestras utilizando desviaciones estándar.

EJEMPLO S1

Fijación de límites de control utilizando muestras

Cada hora se toman muestras de las cajas de “Copos de avena” de un gran lote de producción. Para fijar límites de control que incluyan un 99,73% de las medias de las muestras, se seleccionan al azar y se pesan muestras de nueve cajas. Reproducimos, a continuación, las nueve cajas escogidas en la primera hora.

Copos de avena 17 onzas	Copos de avena 13 onzas	Copos de avena 16 onzas	Copos de avena 18 onzas	Copos de avena 17 onzas	Copos de avena 16 onzas	Copos de avena 15 onzas	Copos de avena 17 onzas	Copos de avena 16 onzas
----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------



Archivo de datos de Excel OM Ch06SExS1.xla

El peso medio en la primera muestra es = $\frac{17 + 13 + 16 + 18 + 17 + 16 + 15 + 17 + 16}{9}$
 = 16,1 onzas

Asimismo, se sabe que la desviación de la población estándar (σ) es de 1 onza. No mostramos las cajas que se ha tomado como muestra entre la segunda y la duodécima hora, pero reproducimos a continuación los resultados obtenidos:

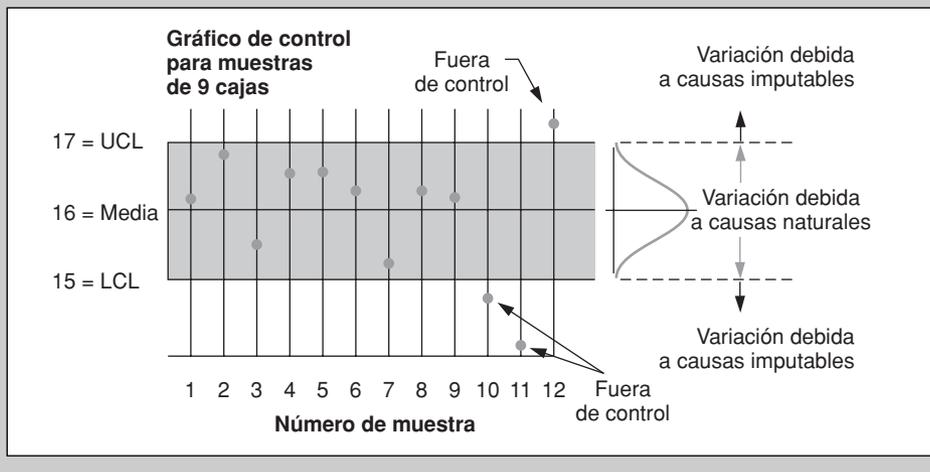
Peso de la muestra		Peso de la muestra		Peso de la muestra	
Hora	(media de 9 cajas)	Hora	(media de 9 cajas)	Hora	(media de 9 cajas)
1	16,1	5	16,5	9	16,3
2	16,8	6	16,4	10	14,8
3	15,5	7	15,2	11	14,2
4	16,5	8	16,4	12	17,3

La media de los valores medios de las 12 muestras se calcula para dar un resultado exacto de 16 onzas. Tenemos, pues, $\bar{\bar{x}} = 16$ onzas, $\sigma = 1$ onza, $n = 9$, y $z = 3$. Los límites de control son:

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}} = 16 + 3\left(\frac{1}{\sqrt{9}}\right) = 16 + 3\left(\frac{1}{3}\right) = 17 \text{ onzas}$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}} = 16 - 3\left(\frac{1}{\sqrt{9}}\right) = 16 - 3\left(\frac{1}{3}\right) = 15 \text{ onzas}$$

Se representan las 12 muestras en el gráfico de control reproducido más abajo. Como los promedios de las medias de muestras recientes caen fuera de los límites de control superior e inferior de 17 y 15, podemos concluir que el proceso se está volviendo irregular y no está bajo control.



Cuando las desviaciones estándar del proceso, o bien no se encuentran disponibles, o bien resultan difíciles de calcular, generalmente calculamos los límites de control basándonos en los valores medios del rango más que en las desviaciones estándar. La Tabla S6.1 nos facilita los valores de conversión necesarios para hacerlo. Se define el rango como la diferencia entre el elemento más grande y el más pequeño de una muestra. Por ejemplo, la

El rango es la diferencia entre los elementos mayor y menor de una muestra.

caja más pesada de “Copos de avena” en la primera hora del Ejemplo S1 pesaba 18 onzas, y la más ligera 13, de manera que el rango de esa hora es de 5 onzas. Utilizamos la Tabla S6, y las ecuaciones

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \quad (S6.5)$$

y

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \quad (S6.6)$$

donde \bar{R} = promedio de intervalo de muestra

A_2 = valor encontrado en la Tabla S6.1

$\bar{\bar{x}}$ = media de las medias de las muestras

TABLA S6.1 ■
Factores para
calcular los límites
de los gráficos de
control (3 sigma)

Tamaño de la muestra, n	Factor de la media, A_2	Intervalo superior, D_4	Intervalo inferior, D_3
2	1,880	3,268	0
3	1,023	2,574	0
4	0,729	2,282	0
5	0,577	2,115	0
6	0,483	2,004	0
7	0,419	1,924	0,076
8	0,373	1,864	0,136
9	0,337	1,816	0,184
10	0,308	1,777	0,223
12	0,266	1,716	0,284

Fuente: Reproducido con la autorización de la American Society for Testing Materials. Copyright 1951. Tomado de Special Technical Publication 15-C, “Quality Control of Materials”, págs. 63 y 72.

El Ejemplo S2 muestra cómo fijar los límites de control para medias de muestras utilizando la Tabla S6.1 y el rango medio.

EJEMPLO S2



Archivo
de datos
Excel OM
Ch06SExS2.xls

Fijación de límites de la media utilizando valores tabulares

Super Cola embotella refrescos cuya etiqueta dice “peso neto: 16 onzas”. Tomando varias series de muestras, cada una de ellas de cinco botellas, se ha observado que el promedio global del proceso es de 16,01 onzas. El rango medio del proceso es de 0,25 onzas. Se quieren determinar los límites de control superior e inferior del proceso.

En la Tabla S6.1, para un tamaño muestral de 5, en la columna de factor de la media A_2 , encontramos el número 0,577. Por lo tanto, los límites superior e inferior del gráfico de control son:

$$\begin{aligned} UCL_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \\ &= 16,01 + (0,577)(0,25) \\ &= 16,01 + 0,144 \\ &= 16,154 \text{ onzas} \\ LCL_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \\ &= 16,01 - 0,144 \\ &= 15,866 \text{ onzas} \end{aligned}$$

Fijación de límites del gráfico de rangos (gráfico R)

En los Ejemplos S1 y S2 hemos determinado los límites superior e inferior para la media del proceso. Además de ocuparse de la media del proceso, los directores de operaciones están interesados también en la dispersión o variabilidad del proceso. Aun cuando la media del proceso está bajo control, la variabilidad puede no estarlo. Por ejemplo, por el propio funcionamiento de un equipo se afloja una pieza de éste que llena las cajas de copos de avena. Como resultado, la media de las muestras puede continuar siendo la misma, pero la variación entre ellas puede ser muy elevada. Por esta razón, los directores de operaciones utilizan los gráficos de rangos para controlar la variabilidad del proceso, así como los gráficos de medias para seguir los valores medios del proceso. La teoría en apoyo de los gráficos de rangos es la misma que la de los gráficos de medias. Se fijan límites para que contengan ± 3 desviaciones estándar de la distribución del rango medio \bar{R} . Podemos utilizar las siguientes ecuaciones para fijar los límites superior e inferior:

$$UCL_R = D_4 \bar{R} \quad (\text{S6.7})$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} \quad (\text{S6.8})$$

donde UCL_R = límite de control superior para el intervalo
 LCL_R = límite de control inferior para el intervalo
 D_4 y D_3 = valores de la Tabla S6.1

El Ejemplo S3 muestra cómo fijar los límites de control utilizando la Tabla S6.1 y el rango medio.

Es importante darse cuenta de que cuando se determinan los valores de UCL_R y LCL_R utilizamos el rango medio, \bar{R} . Pero cuando dibujamos los puntos para crear el gráfico R , utilizamos los valores del rango *particular* de cada muestra.

Fijación de límites del rango utilizando los valores de la tabla

El rango medio de un proceso de carga de camiones es de 5,3 libras. Si el tamaño de la muestra es 5, determinense los límites de control superior e inferior del gráfico.

Si observamos la Tabla S6.1 para un tamaño de muestra de 5, comprobamos que $D_4 = 2,115$, y $D_3 = 0$. Los límites de control de rango son:

$$UCL_R = D_4 \bar{R} = (2,115)(5,3 \text{ libras}) = 11,2 \text{ libras}$$

$$LCL_R = D_3 \bar{R} = (0)(5,3 \text{ libras}) = 0$$

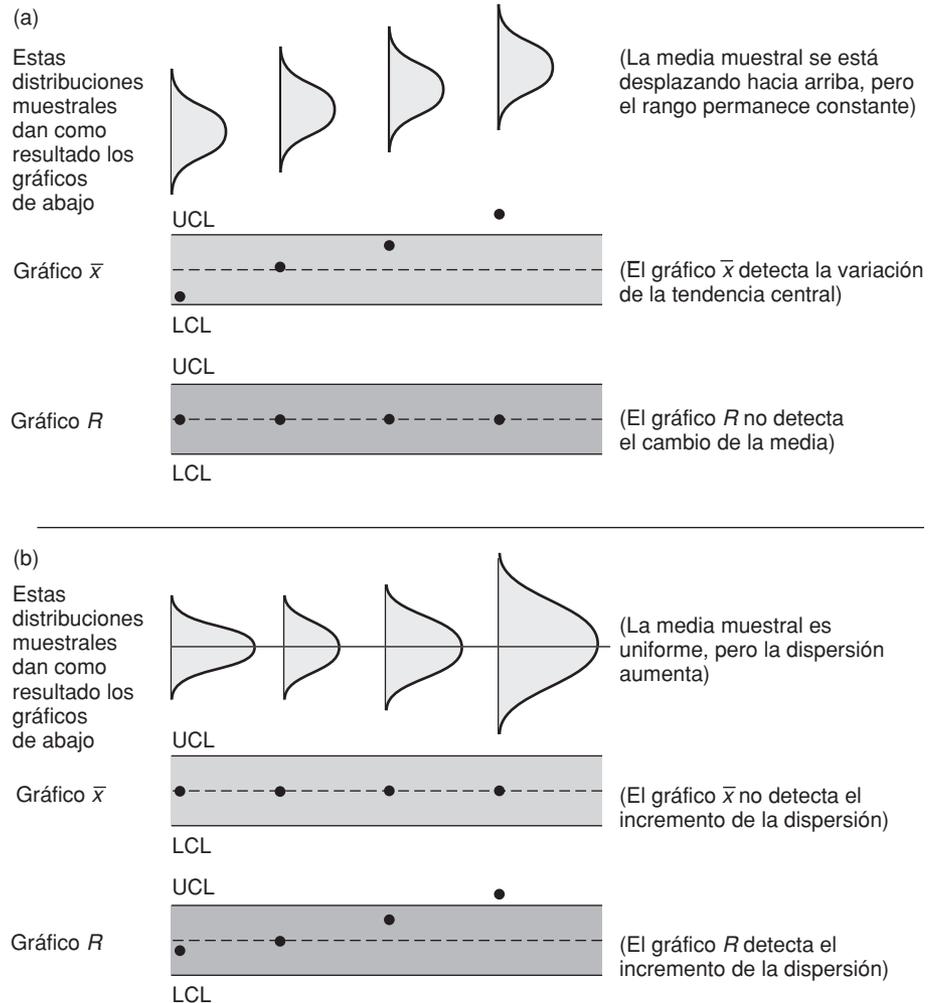
EJEMPLO S3

Utilización de los gráficos de medias y los gráficos de rango

Podemos definir la distribución normal con dos parámetros: la *media* y la *desviación estándar*. Los gráficos \bar{x} (media) y R siguen esos dos parámetros. El gráfico \bar{x} responde a las variaciones de la media del proceso, mientras que el gráfico R refleja las variaciones de la desviación estándar del proceso. Por consiguiente, utilizando ambos gráficos podemos seguir los cambios que se produzcan en la distribución del proceso.

Por ejemplo, las muestras y el gráfico \bar{x} resultante de la Figura S6.5(a) muestran el cambio de la media del proceso, pero como la dispersión es constante, no se detecta cambio alguno en el gráfico R . A la inversa, las muestras y el gráfico \bar{x} de la Figura S6.5(b) no detectan cambio alguno (por la inexistencia de ellos), pero el gráfico R sí señala el cambio en la dispersión. Ambos gráficos son necesarios para seguir el proceso con exactitud.

FIGURA S6.5 ■
Los gráficos de media y de rango se complementan mutuamente al mostrar la media y la dispersión de la distribución normal



Los dos parámetros son:
 Media → medida de la tendencia central.
 Rango → medida de la dispersión.

Pasos que se deben seguir cuando se utilizan gráficos de control Hay cinco pasos que se suelen seguir al utilizar los gráficos \bar{x} y R :



Vídeo S6.1

CEP en Harley-Davidson

1. Tomar de 20 a 25 muestras de $n = 4$ o $n = 5$, cada una de un proceso estable, y calcular la media y el rango de todas.
2. Calcular las medias globales ($\bar{\bar{x}}$ y $\bar{\bar{R}}$), fijar límites de control adecuados, generalmente del orden del 99,73%, y calcular los límites de control superior e inferior preliminares. *Si el proceso no es estable en la actualidad*, hay que utilizar la media deseada, μ , en vez de $\bar{\bar{x}}$ para calcular los límites.
3. Representar las medias muestrales y los rangos en sus respectivos gráficos de control, y determinar si caen fuera de los límites aceptables.
4. Investigar los puntos o trazados que indican que el proceso está fuera de control. Tratar de asignar las causas de la variación y, luego, reiniciar el proceso.
5. Recoger muestras adicionales y, en caso necesario, revalidar los límites de control utilizando los nuevos datos.

En este suplemento aparecen aplicaciones de gráficos de control, así como en el recuadro de *Dirección de producción en acción*, “El color del dinero es verde para DuPont y el medio ambiente”.

DIRECCIÓN DE OPERACIONES EN ACCIÓN

EL COLOR DEL DINERO ES VERDE PARA DUPONT Y EL MEDIO AMBIENTE

DuPont ha observado que el control estadístico de procesos (CEP) es un excelente método para resolver los problemas medioambientales. Para reducir drásticamente (en un 35%) los desechos de fabricación y los residuos peligrosos, DuPont recopiló información de sus sistemas de control de calidad y de sus bases de datos sobre la gestión de material.

Los diagramas de causa-efecto y los gráficos de Pareto indicaron dónde se encontraban los problemas importantes. A continuación la empresa empezó a reducir los materiales de desecho al perfeccionar sus estándares de CEP para la fabricación. Al poner en relación los sistemas de control de su fábrica, basados en métodos informativos, con las normas sobre la calidad del aire, DuPont consiguió reducir las emisiones existentes. Utilizando conjuntamente un sistema de evaluación de proveedores y los requisitos

de compra JAT, la empresa estableció controles sobre los materiales peligrosos que entraban.

En la actualidad DuPont consigue aprovechar alrededor de 7 millones de kilos de plástico al año, reciclándolos para fabricar nuevos productos en lugar de acumularlos en los vertederos. Gracias a su método electrónico de compra ha logrado reducir a su mínima expresión la cantidad de desechos de papel, y la introducción de nuevos diseños de empaquetado ha disminuido en casi un 40% la cantidad de materiales residuales generados durante el procesamiento de sus productos.

Al conjugar el CEP con las medidas ecológicas, DuPont ha conseguido mejoras notables en su calidad, muy superiores a las pautas reglamentarias. Las innovaciones introducidas por DuPont en la resolución de los problemas medioambientales han producido, al mismo tiempo, notables ahorros en los costes.

Fuentes: P. E. Bornes, *Business and Economic Review* (enero-marzo 1998), 21-24; *Environmental Quality Management* (verano de 1998), 97-110; y *Purchasing* (6 de noviembre de 1997), 114.

Gráficos de control para los atributos

Los gráficos de control de \bar{x} y R no son aplicables cuando estamos tomando muestras de *atributos*, que suelen clasificarse como *defectuosos* y *no defectuosos*. La medición de los defectuosos implica contarlos (por ejemplo, el número de bombillas que no funcionan en un lote determinado, o el número de letras o de datos mecanografiados equivocadamente), mientras que las variables suelen medirse en función de su longitud o de su peso. Dos son los tipos de gráficos del control de atributos: (1) los que miden el *porcentaje* de defectos en una muestra (denominados gráficos p), y (2) los que cuentan el *número* de defectos (llamados gráficos c).

Gráficos p El recurso a los **gráficos p** es la mejor manera de controlar los atributos. Aunque los atributos, sean buenos o malos, siguen la distribución binomial, se puede utilizar la distribución normal para calcular los límites del gráfico p cuando los tamaños de la muestra son grandes. El procedimiento se asemeja al del gráfico \bar{x} , que también se basa en el teorema central del límite.

Las fórmulas de los límites de control superior e inferior del gráfico p son las siguientes:

$$UCL_p = \bar{p} + z\sigma_{\bar{p}} \quad (\text{S6.9})$$

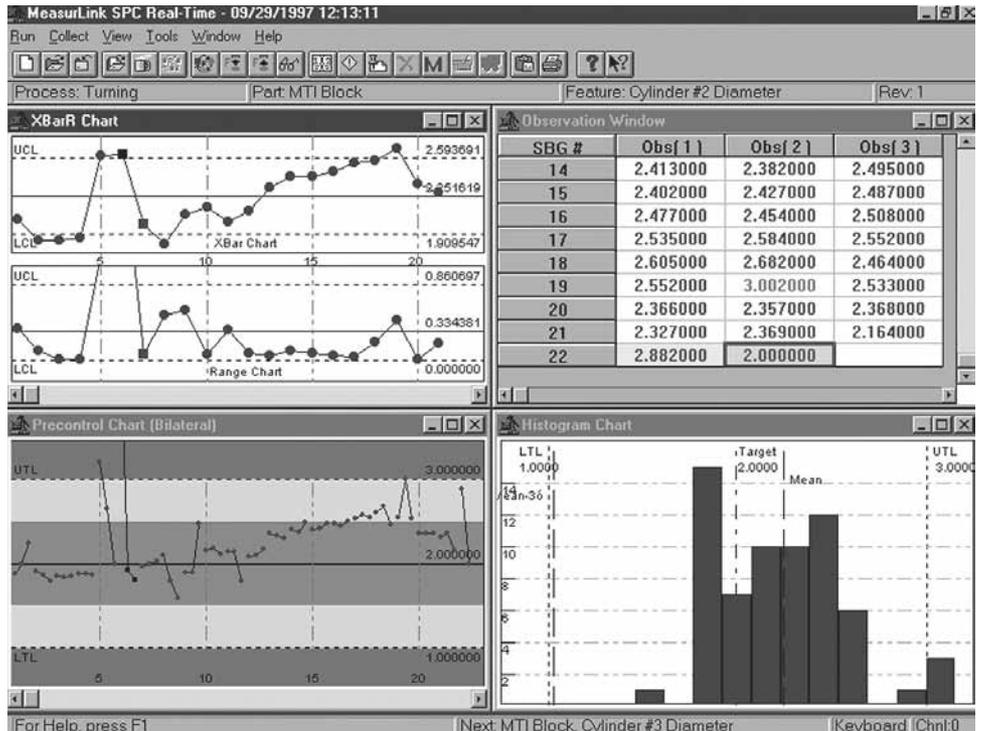
$$LCL_p = \bar{p} - z\sigma_{\bar{p}} \quad (\text{S6.10})$$

Gráficos p

Gráficos de control de calidad que se utilizan para controlar los atributos.

La empresa Mitutoyo Corporation usa gráficos de variables con un software CEP directamente conectado a los dispositivos de medición

Aunque los gráficos CEO pueden hacerse con programas informáticos, éste está preparado a mano. Este gráfico se actualiza cada hora y refleja una semana de turnos de trabajo



donde \bar{p} = fracción media atributos defectuosos en la muestra
 z = número de desviaciones estándar ($z = 2$ para límites del 95,5%;
 $z = 3$ para límites del 99,73%)
 $\sigma_{\hat{p}}$ = desviación estándar de la distribución de la muestra

$\sigma_{\hat{p}}$ se calcula por la fórmula:

$$\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}} \quad (\text{S6.11})$$

donde n = tamaño de cada muestra.

El Ejemplo S4 muestra cómo se deben fijar los límites de control de esas desviaciones estándar en los gráficos p .

EJEMPLO S4

Definición de los límites de control para el porcentaje de defectuosos

Los grabadores de datos de ARCO introducen a diario miles de registros de pólizas de seguros. La tabla reproducida a continuación nos ofrece muestras del trabajo realizado por 20 grabadores. Se sometieron a una minuciosa revisión cien de los registros realizados por cada grabador, y se contaron los errores descubiertos. Acto seguido, se calculó el porcentaje de defectos en cada una de las muestras.

Se definen los límites de control con objeto de incluir el 99,73% de la variación aleatoria en el proceso de grabación cuando está bajo control.

Número de muestra	Número de errores	Fracción de defectos	Número de muestra	Número de errores	Fracción de defectos
1	6	0,06	11	6	0,06
2	5	0,05	12	1	0,01
3	0	0,00	13	8	0,08
4	1	0,01	14	7	0,07
5	4	0,04	15	5	0,05
6	2	0,02	16	4	0,04
7	5	0,05	17	11	0,11
8	3	0,03	18	3	0,03
9	3	0,03	19	0	0,00
10	2	0,02	20	4	0,04
				<u>80</u>	

$$\bar{p} = \frac{\text{Número total de errores}}{\text{Número total de registros analizados}} = \frac{80}{(100)(20)} = 0,04$$

$$\sigma_{\bar{p}} = \sqrt{\frac{(0,04)(1 - 0,04)}{100}} = 0,02$$

(Nota: 100 es el tamaño de cada muestra = n)

$$UCL_p = \bar{p} + z\sigma_{\bar{p}} = 0,04 + 3(0,02) = 0,10$$

$$LCL_p = \bar{p} - z\sigma_{\bar{p}} = 0,04 - 3(0,02) = 0$$

(puesto que no podemos tener un porcentaje negativo de defectos)

Quando proyectamos los límites de control y el porcentaje de defectuosos vemos que sólo un administrativo (el 17) está fuera de control. La empresa debería examinar más de cerca el trabajo individual de este administrativo para ver si existe un problema más serio (véase la Figura S6.6).

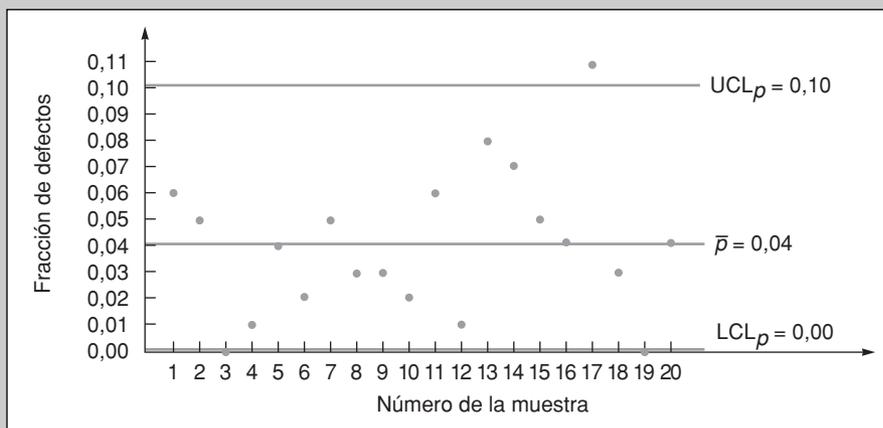


FIGURA S6.6 ■ Gráfico p para la introducción de datos del Ejemplo S4



Active Model S6.1

El Ejemplo S4 se ilustra con más detalle en el ejercicio Active Model S6.1 del CD-ROM y en uno de los ejercicios al final del capítulo.

El recuadro sobre *Dirección de producción en acción*, “El costoso experimento de Unisys Corp. en sanidad”, ofrece una aplicación real del Ejemplo S4.

Gráficos *c*

Se trata de unos gráficos de control de calidad utilizados para controlar el número de defectos por unidad de output.

Gráficos *c* En el Ejemplo S4 se ha contado el número de registros defectuosos introducidos. Un registro defectuoso era aquel que no estaba “completamente” bien porque contenía, al menos, un defecto. Evidentemente, un registro mal introducido puede contener más de un defecto. Utilizamos los **gráficos *c*** para controlar el número de defectos por unidad de output (por registro de póliza de seguros, en el ejemplo anterior).

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN EN ACCIÓN

EL COSTOSO EXPERIMENTO DE UNISYS CORP. EN LOS SERVICIOS DE ATENCIÓN SANITARIA

Las cosas se presentaban de color de rosa cuando Unisys Corp se expandió al negocio computerizado de prestación de servicios sanitarios. Acababa de arrebatar a Blue Cross/Blue Shield de Florida la firma de un contrato por 86 millones de dólares para hacerse cargo de los servicios relacionados con los seguros médicos de los empleados de ese Estado. Su misión consistía en ocuparse de las reclamaciones de 215.000 empleados de Florida, lo que, al parecer, constituía un área de crecimiento sencilla y lucrativa para una empresa de informática a la antigua como Unisys.

Pero, un año más tarde, no sólo se había roto el contrato, sino que Unisys fue penalizada con una multa de más de 500.000 dólares por no haberse ajustado a las normas de calidad establecidas. Señalamos, a continuación, dos de las medidas de calidad, ambas atributos (es decir, “defectuosos” o “no defectuosos”), en los que la empresa estaba fuera de control.

1. **Porcentaje de reclamaciones procesadas con errores.** Según una auditoría efectuada a lo lar-

go de tres meses por Coopers & Lybrand, Unisys cometió errores en un 8,5% de las reclamaciones procesadas. La norma tolerada por la industria es de un 3,5% de “defectos”.

2. **Porcentaje de reclamaciones procesadas en el plazo de 30 días.** En la medición de este atributo, un “defecto” consiste en un tiempo de procesamiento más largo que el tiempo asignado en el contrato. En la muestra de un mes, el 13% de las reclamaciones rebasaron el límite de 30 días, muy por encima del 5% permitido por el Estado de Florida.

El contrato de Florida se convirtió en un auténtico quebradero de cabeza para Unisys, que subestimó el volumen de reclamaciones sanitarias tramitadas en función de la actividad laboral. James Unruh, el director general, decidió cerrar el grifo de las futuras ambiciones en el ámbito de la asistencia sanitaria. Mientras tanto, Ron Poppel, del Estado de Florida, comentó: “Realmente necesitamos a alguien que esté en el mundo de los seguros”.

Fuentes: Knight Ridder Tribune Business News (7 de febrero de 2002); Business Week (16 de junio de 1997), 6.

Los gráficos de control de defectos son de gran ayuda para vigilar procesos en los que se puede incurrir en una gran cantidad de errores, aunque su número sea, en realidad, relativamente pequeño. Los defectos pueden ser, por ejemplo, errores en las palabras de un periódico, circuitos dañados en un microchip, manchas en una mesa, u olvido del pepinillo en una hamburguesa de un restaurante de comida rápida.

La distribución de probabilidad de Poisson³, cuya varianza es igual a su media, constituye la base de los gráficos *c*. Dado que *c* es el número medio de defectos por unidad, la fórmula de la desviación estándar es igual a \sqrt{c} . Para calcular los límites de control de \bar{c} con un 99,73% de fiabilidad, utilizamos la fórmula

³ Una distribución de probabilidad de Poisson es una distribución discreta utilizada cuando los elementos de interés (en este caso, defectos) no son frecuentes y/o se producen en el tiempo y en el espacio.

$$\text{Límites de control} = \bar{c} \pm 3 \sqrt{\bar{c}} \quad (\text{S6.12})$$

El Ejemplo S5 nos indica cómo fijar los límites de control para un gráfico \bar{c} .

Fijación de los límites de control para el número de defectuosos

Red Top Cab Company es una empresa de taxis que recibe bastantes quejas diarias sobre el comportamiento de sus conductores. En un periodo de nueve días (los días son unidades de medida) el propietario ha recibido el siguiente número de llamadas de pasajeros irritados: 3, 0, 8, 9, 6, 7, 4, 9 y 8, para un total de 54 quejas.

Para calcular los límites con una fiabilidad del 99,73% tomamos

$$\bar{c} = \frac{54}{9} = 6 \text{ quejas por día}$$

Por tanto,

$$\text{UCL}_c = \bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}} = 6 + 3 \sqrt{6} = 6 + 3(2,45) = 13,35$$

$$\text{LCL}_c = \bar{c} - 3 \sqrt{\bar{c}} = 6 - 3 \sqrt{6} = 6 - 3(2,45) = 0 \leftarrow \text{(ya que no puede ser negativo)}$$

Cuando el propietario dibujó estos datos en un gráfico de control y colgó el gráfico de forma ostensible en el vestuario de los conductores, el número de llamadas recibidas disminuyó a un promedio de tres por día. ¿Puede explicar qué ocurrió?

EJEMPLO S5



Archivo de datos
Excel OM
Ch06SExS5.
xla

Cuestiones directivas y gráficos de control

Si el mundo fuera un sitio ideal, no habría necesidad de gráficos de control. La calidad sería uniforme y tan grande que los empleados no necesitarían perder ni tiempo ni dinero con el muestreo y el control de variables o atributos. Pero, como la mayoría de los procesos no ha alcanzado la perfección, los directores deben tomar tres decisiones trascendentales relativas a los gráficos de control.

En primer lugar, deben seleccionar los puntos de sus procesos que necesitan un CEP. Deben preguntarse qué partes del trabajo son fundamentales para tener éxito, o qué sectores del trabajo tienden a quedar fuera de control.

En segundo lugar, los directores necesitan decidir si los gráficos de variables (o sea, \bar{X} y R) o los gráficos de atributos (p y c) son los adecuados. Los gráficos de variables controlan los pesos o las dimensiones. Los gráficos de atributos realizan una valoración basada en la disyuntiva “sí/no” o “seguir/parar”, y suelen ser menos costosos. La Tabla S6.2 puede ayudarle a comprender cuándo puede utilizar cada uno de estos tipos de gráficos de control.

En tercer lugar, la empresa debe definir unas políticas de CEP claras y específicas para que los empleados las cumplan. Por ejemplo, ¿hay que detener el proceso de grabación de datos si aparece una tendencia en el porcentaje de registros defectuosos grabados?; o ¿debería pararse una cadena de montaje si la longitud media de cinco muestras sucesivas se encuentra por encima de la línea central? La Figura S6.7 ilustra algunos de los modelos que hay que vigilar a lo largo del tiempo que dura un proceso.

Disponemos de una herramienta denominada **prueba de serie**, que nos ayuda a identificar el tipo de anomalías en un proceso que se observa en la Figura S6.7. En general, una serie de 5 puntos por encima o por debajo del objetivo o de la línea central signifi-

Prueba de serie

Forma de examinar los puntos en un gráfico de control para comprobar si hay alguna variación no aleatoria.

TABLA S6.2 ■
Ayuda para decidir
qué tipo de gráfico
de control hay que
utilizar

Datos de variables

UTILIZACIÓN DE UN GRÁFICO \bar{x} Y UN GRÁFICO R

1. Las observaciones son *variables*, que suelen ser productos medidos en función de su tamaño o peso. Los ejemplos son la anchura o longitud de un cable que se está fabricando o el peso de una lata de sopa Campbell.
2. Se recopilan entre 20 y 25 muestras de $n = 4$, $n = 5$ o más, cada una de un proceso estable, y se calcula la media para un gráfico \bar{x} y el rango para un gráfico R .
3. Se hace un seguimiento de muestras de n observaciones cada una, como en el Ejemplo S1.

Datos de atributos

UTILIZACIÓN DE UN GRÁFICO p

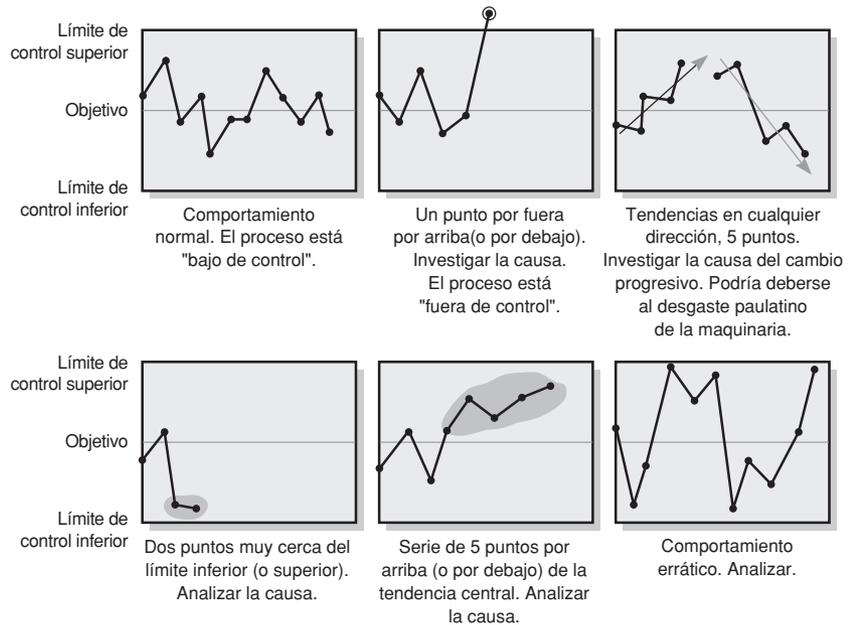
1. Las observaciones son *atributos* que se pueden clasificar como bueno o malo (o aprobado-suspense; funciona-estropeado), es decir, tienen dos estados.
2. Se utilizan defectos en porcentajes o proporciones o cocientes.
3. Hay varias muestras, con muchas observaciones cada una. Por ejemplo, 20 muestras de $n = 100$ observaciones en cada muestra, como en el Ejemplo S4.

UTILIZACIÓN DE UN GRÁFICO c

1. Las observaciones son *atributos* cuyos defectos por unidad de producto pueden contarse.
2. Se utiliza el número de unidades contadas, que es un número pequeño respecto a las posibles ocurrencias.
3. Los defectos pueden ser: número de fallos en una mesa; quejas en un día; crímenes en un año; asientos rotos en un estadio; erratas en este capítulo; o quejas como en el Ejemplo S5.

FIGURA S6.7 ■
Patrones que hay que
vigilar en los gráficos
de control

Fuente: Adaptado de Bertrand L. Hansen, *Quality Control: Theory and Applications* (1991), 65. Reproducido con autorización de Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.



fica que nos hallamos ante una variación imputable o no aleatoria. Cuando ocurre esto, si bien todos los puntos pueden caer dentro de los límites centrales, se enciende la señal de alarma. Esto quiere decir que el proceso no está estadísticamente bajo control. En libros que tratan sobre los métodos de calidad se describen distintas pruebas de serie⁴.

⁴ Véase Gerald Smith, *Statistical Process Control and Process Improvement*, 5.^a edición (Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2004).

CAPACIDAD DEL PROCESO

Un control estadístico de procesos implica que queremos mantener el proceso bajo control, y que la variación natural de dicho proceso debe ser lo suficientemente pequeña (estrecha) para traducirse en productos que cumplan con los estándares (la calidad) requeridos. Pero un proceso que está bajo control estadístico puede no generar bienes o servicios que satisfacen sus *especificaciones de diseño* (tolerancias). La capacidad de un proceso de satisfacer las especificaciones del diseño, definidas por el diseño de ingeniería o los requisitos del consumidor, se denomina **capacidad del proceso**. Incluso si ese proceso puede estar estadísticamente bajo control (estable), el resultado del proceso puede no ser conforme a las especificaciones.

Por ejemplo, pongamos por caso que el tiempo que un consumidor espera tener que esperar para que le cambien un neumático en Quik Lube es de 12 minutos con una tolerancia aceptable de más menos dos minutos. Esta tolerancia genera una especificación superior de 14 minutos y una especificación inferior de 10 minutos. El proceso de cambio de neumático debe ser capaz de operar dentro de estos límites; de lo contrario, no se satisfarán los requisitos de algunos consumidores. Como ejemplo en las manufacturas, las tolerancias de los rodamientos de Harley-Davidson son extremadamente reducidas, de sólo 0,0005 pulgadas.

Hay dos mediciones habituales para determinar cuantitativamente si un proceso es capaz: la ratio o cociente de capacidad del proceso (C_p) y el índice de capacidad del proceso (C_{pk}).

Ratio de capacidad del proceso (C_p)

Para que un proceso se considere capaz, sus valores deben estar entre la especificación superior y la inferior. Esto suele significar que la capacidad del proceso está en el intervalo de más menos 3 desviaciones estándar de la media del proceso. Puesto que este rango de valores es de 6 desviaciones estándar, la tolerancia de un proceso capaz, que es la diferencia entre la especificación superior y la inferior, debe ser mayor o igual que 6σ .

La ratio de capacidad del proceso, C_p , se calcula como

$$C_p = \frac{\text{Límite de especificación superior} - \text{Límite de especificación inferior}}{6\sigma} \quad (\text{S6.13})$$

El Ejemplo S6 muestra el cálculo del cociente C_p .

Ratio de capacidad del proceso (C_p)

En un proceso de gestión de reclamaciones de seguros de GE, $\bar{x} = 210$ minutos, y $\sigma = 0,516$ minutos.

La especificación del diseño para satisfacer las expectativas del consumidor es 210 ± 3 minutos. Así pues, el límite de especificación superior es 213 minutos y el inferior es 207 minutos.

$$C_p = \frac{\text{Límite de especificación superior} - \text{Límite de especificación inferior}}{6\sigma} = \frac{213 - 207}{6(0,516)} = 1,938$$

Capacidad del proceso

La capacidad de cumplir las especificaciones del diseño.

C_p
Un cociente (una ratio) para calcular si un proceso cumple las especificaciones del diseño.

EJEMPLO S6



Active Model
S6.2

El Ejemplo S6 se ilustra más en el ejercicio Active Model S6.2 del CD-ROM.

⁵ Véase *A Pocket Guide of Tools for Quality*, de GE, Methuen, MA (1994), 139-143.

Puesto que un cociente de 1,00 significa que el 99,73% de los resultados del proceso está dentro de los límites de especificación, este cociente sugiere que estamos ante un proceso muy capaz, con un incumplimiento inferior a 4 reclamaciones por millón.

Un proceso capaz tiene un cociente C_p de, al menos, 1,0. Si el C_p es inferior a 1,0, el proceso da lugar a productos o servicios fuera de su tolerancia permisible. Con un C_p de 1,0, se puede esperar que 2,7 elementos de cada 1.000 estén “fuera de las especificaciones”⁶. Cuanto mayor sea la ratio (o cociente) de la capacidad del proceso, mayor será la probabilidad de que el proceso se encuentre dentro de las especificaciones del diseño. Muchas empresas han elegido un cociente C_p de 1,33 como objetivo para reducir la variabilidad del proceso. Esto significa que se puede esperar que sólo haya 64 partes por millón fuera de las especificaciones.

Recuerde que en el Capítulo 6 hablamos del concepto de calidad *Six Sigma*, promovido por GE y Motorola. Esta norma fija un C_p de 2,0, con sólo 3,4 elementos defectuosos por millón (muy próximo a cero defectos), en vez de 2,7 elementos por mil de los límites tres sigma.

Aunque C_p hace referencia a la diversidad (dispersión) del resultado del proceso respecto a su tolerancia, no se fija en lo bien que se centra la media del proceso en torno al valor objetivo.

Índice de capacidad del proceso (C_{pk})

El índice de capacidad del proceso, C_{pk} , mide la diferencia entre las dimensiones deseadas y las dimensiones reales de los bienes o servicios producidos.

La fórmula del C_{pk} es:

$$C_{pk} = \text{mínimo de} \left[\frac{\text{Límite de especificación superior} - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - \text{Límite de especificación inferior}}{3\sigma} \right] \quad (\text{S6.14})$$

donde \bar{X} = media del proceso

σ = desviación estándar de la población del proceso

Cuando el índice C_{pk} es igual a 1,0, la variación del proceso está centrada dentro de los límites superior e inferior de especificación, y el proceso es capaz de producir dentro de unas desviaciones estándar de ± 3 (menos de 2.700 unidades defectuosas por millón). Un C_{pk} de 2,0 significa que el proceso es capaz de producir menos de 3,4 unidades defectuosas por millón. La Figura S6.8 muestra el significado de varias medidas del C_{pk} , y el Ejemplo S7 muestra una aplicación del índice C_{pk} .

C_{pk}
Un cociente de variación natural (3σ) entre el centro del proceso y el límite de especificación más próximo.

EJEMPLO S1

Índice de la capacidad del proceso (C_{pk})

Es usted el director de mejoras del proceso, y ha desarrollado una nueva máquina para cortar plantillas destinadas a las mejores zapatillas de deporte fabricadas por la empresa, y está entusiasmado porque el objetivo de la empresa es no sobrepasar la cifra de 3,4 unidades defectuosas

⁶ Esto se debe a que un C_p de 1,00 tiene un 99,73% de los resultados dentro de las especificaciones. Así pues, $1,00 - 0,9973 = 0,0027$; con 1.000 elementos, hay $0,0027 \times 1.000 = 2,7$ defectuosos.

por millón, y la máquina de la que dispone ahora puede ser la innovación que necesita. Las planillas tienen un margen de $\pm 0,001$ de pulgada del grosor exigido de $0,250''$. Quiere saber si debería sustituir la máquina existente, que tiene un C_{pk} de 1,0, por lo que decide calcular el C_{pk} de la nueva máquina y tomar una decisión a partir de este dato.

Límite superior de especificación = $0,251''$

Límite inferior de especificación = $0,249''$

Media del nuevo proceso = $\bar{X} = 0,250''$

Desviación estándar calculada del nuevo proceso = $\sigma = 0,0005''$

$$C_{pk} = \text{mínimo de} \left[\frac{\text{Límite de especificación superior} - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - \text{Límite de especificación inferior}}{3\sigma} \right]$$

$$C_{pk} = \text{mínimo de} \left[\frac{(0,251) - 0,250}{(3)0,0005}, \frac{0,250 - (0,249)}{(3)0,0005} \right]$$

Los dos cálculos dan: $\frac{0,001}{0,0015} = 0,67$

Como la nueva máquina tiene un C_{pk} de sólo 0,67, *no* debería sustituir la máquina existente.

Si la media del proceso no está centrada en la media deseada (especificada), entonces se utiliza el numerador más pequeño en la Ecuación S6.14 (el mínimo de la diferencia entre el límite superior de especificación y la media o el límite inferior de especificación y la media). Esta aplicación de C_{pk} se ilustra en el Problema resuelto S6.4.

Cuando un proceso está centrado entre el límite de especificación superior y el límite de especificación inferior (como en el caso del Ejemplo S6), el cociente de capacidad del

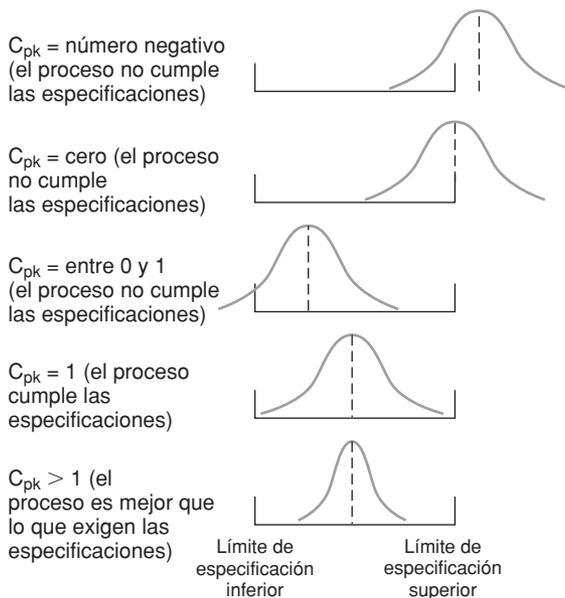


FIGURA S6.8 ■ Significados de las medidas C_{pk}

Un índice C_{pk} de 1,0 indica que la variación del proceso está centrada dentro de los límites superior e inferior de control. Cuando el índice C_{pk} es mayor que 1, el proceso se orienta más al objetivo, y tiene menos unidades defectuosas. Si el C_{pk} es inferior a 1,0, el proceso no tendrá una producción dentro de la tolerancia especificada.

proceso será el mismo que el índice de capacidad del proceso. Sin embargo, el índice C_{pk} mide la capacidad *real* de un proceso, independientemente de que su media esté centrada, o no, entre los límites de especificación. Puesto que en el mundo real las distribuciones de los procesos suelen *no* estar centradas, la mayoría de las empresas utilizan el C_{pk} para expresar sus expectativas a los proveedores. Por ejemplo, Cummins Engine Company exigía inicialmente a los proveedores que utilizarasen un C_{pk} superior a 1,33, y después colaboró con los proveedores para aumentar esa capacidad hasta un C_{pk} superior a 1,67.

MUESTREO DE ACEPTACIÓN⁷

Muestreo de aceptación

Un método para medir muestras aleatorias de lotes de productos en función de unos estándares predeterminados.

El **muestreo de aceptación** es un tipo de prueba que implica tomar muestras aleatorias de lotes de productos acabados, medirlos y compararlos con estándares predeterminados. El muestreo es menos costoso que la inspección del cien por cien de la producción. La calidad de la muestra se utiliza para juzgar la de todos los elementos del lote. Aunque pueden inspeccionarse tanto atributos como variables con el muestreo de aceptación, en las empresas es más común la utilización de la inspección de atributos, como se ilustra en esta sección.

El muestreo de aceptación puede aplicarse cuando las materias primas llegan a la fábrica, o en la inspección final, pero normalmente se realiza en el control de lotes de productos comprados al exterior. Un lote rechazado por causa de un nivel inaceptable de defectos observados en la muestra puede (1) devolverse al proveedor o (2) inspeccionarse al cien por cien para encontrar todos los defectos, facturándose generalmente al proveedor el coste de la inspección total. No obstante, el muestreo de aceptación no debe sustituir los controles adecuados del proceso. De hecho, la tendencia actual es a establecer controles estadísticos de calidad al nivel del proveedor, de modo que se puede suprimir el muestreo de aceptación.

Curva de característica operativa

Curva de característica operativa

Un gráfico que describe en qué medida un plan de aceptación discrimina entre lotes buenos y malos.

La **curva de característica operativa (CO)** representa la capacidad de un plan de aceptación para discriminar entre lotes buenos y lotes malos. Cada curva está relacionada con un plan específico, es decir, con una combinación de n (tamaño de la muestra) y c (nivel de aceptación). Esta curva muestra la probabilidad de que el plan acepte lotes de diferentes niveles de calidad.

En el muestreo de aceptación suele haber dos partes implicadas: la que fabrica el producto y la que lo consume. Al especificar un plan de muestreo cada parte pretende evitar incurrir en errores costosos al aceptar o rechazar un lote. El productor es generalmente el responsable de reemplazar todas las unidades defectuosas en el lote rechazado o pagar el envío de un lote nuevo al cliente. Por consiguiente, el productor desea evitar el fallo que supone el rechazo de un lote bueno (**riesgo del productor**). Por otra parte, el cliente o consumidor desea prevenir la equivocación de aceptar un lote malo, porque los defectos encontrados en un lote que ya ha sido aceptado suelen ser responsabilidad del consumidor (**riesgo del consumidor**). La curva de característica operativa muestra las características de un plan de muestreo particular, incluyendo los riesgos de adoptar una decisión equivocada⁸.

Riesgo del productor

El error de que un buen lote del productor sea rechazado en un muestreo.

Riesgo del consumidor

El error de la llegada al consumidor de un lote malo pasado por alto en el muestreo.

⁷ Véase el Tutorial 2 del CD-ROM para un análisis ampliado del muestreo de aceptación.

⁸ Observe que el muestreo corre siempre el riesgo de llevar a conclusiones erróneas. Supongamos en este ejemplo que la población total sometida a control comprende un total de 1.000 chips, de los que en realidad sólo 30 (un 3%) son defectuosos. Esto significa que nosotros querríamos aceptar la remesa de chips, porque el índice de defectos permisible es del 4%. Sin embargo, si se extrajera una muestra aleatoria de $n = 50$ chips, podría ser que encontraríamos 0 defectos y aceptaríamos ese suministro (lo que estaría bien), o podríamos encontrar los 30 defectos en la muestra. Si ocurriera esto último, podríamos llegar a la conclusión errónea de que la población entera era defectuosa en un 60%, y de que habría que rechazarla por completo.

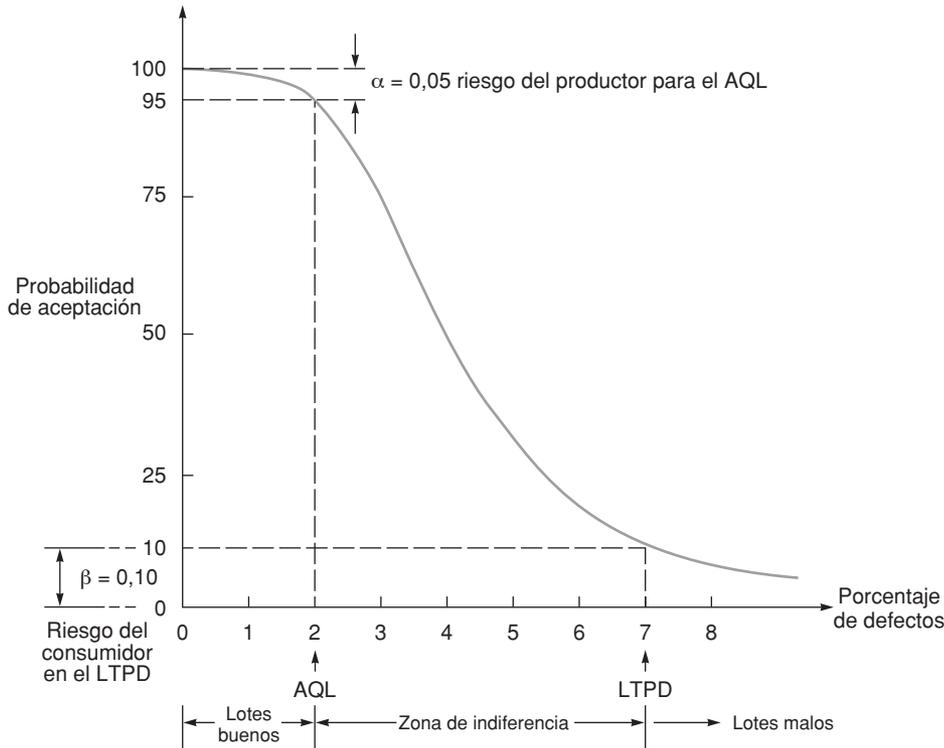


FIGURA S6.9 ■
Curva de característica operativa (CO) que muestra los riesgos del productor y del consumidor

Un lote bueno en este plan de aceptación particular tiene un 2% o menos de unidades defectuosas. Un lote malo tiene un 7% o más de unidades defectuosas.

Se puede utilizar la Figura S6.9 para ilustrar con más detalle un plan de muestreo. En esta figura se representan cuatro conceptos.

El **nivel de calidad aceptable (AQL, acceptable quality level)** es el nivel de calidad más bajo que estamos dispuestos a aceptar. En otras palabras, deseamos aceptar lotes que tengan este nivel de calidad o uno mejor. Si un nivel aceptable de calidad equivale a 20 defectos en un lote de 1.000 elementos o piezas, entonces el AQL será 20/1.000, es decir, un 2% de piezas defectuosas.

El **porcentaje de tolerancia de defectuosos en un lote (LTPD, lot tolerance percent defective)** es el nivel de calidad de un lote que consideramos malo. Nosotros queremos rechazar lotes que están en este nivel de calidad o en uno inferior. Si se admite que un nivel inaceptable de calidad es un nivel de 70 piezas defectuosas en un lote de 1.000, quiere decirse que el LTPD es 70/1.000 = 7% defectuoso.

Para derivar un plan de muestreo, el productor y el consumidor deben definir no sólo los “lotes buenos” y los “lotes malos” a través del AQL y el LTPD, sino que deben especificar igualmente los niveles de riesgo.

El **riesgo del productor (α)** es la probabilidad de que se rechace un lote “bueno”. Es el riesgo de que una muestra aleatoria pueda dar una proporción mucho mayor de defectos que la existente para todos los elementos. Un lote con un nivel de calidad aceptable sigue teniendo una probabilidad de ser rechazado igual a α . Los planes de muestreo están con frecuencia concebidos para que el riesgo del productor sea $\alpha = 0,05$, o el 5%.

El **riesgo del consumidor (β)** es la probabilidad de que se acepte un lote “malo”. Es el riesgo de que en una muestra aleatoria se pueda dar una proporción de defectos inferior a

Nivel aceptable de calidad (AQL)

El nivel de calidad de un lote considerado bueno.

Porcentaje de tolerancia de defectuosos en un lote (LTPD, Lot Tolerance Percent Defective)

Nivel de calidad de un lote considerado malo.

Error tipo I

Estadísticamente hablando, la probabilidad de rechazar un lote bueno.

Error tipo II

Estadísticamente hablando, la probabilidad de aceptar un lote malo.

Calidad media de salida (AOQ)

Porcentaje defectuoso en un lote medio de productos inspeccionados mediante un muestreo de aceptación.

la existente en la población global de artículos. Un valor habitual en los planes de muestreo para el riesgo del consumidor es $\beta = 0,10$, o 10%.

La probabilidad de rechazar un buen lote recibe la denominación de **error del tipo I**. La probabilidad de aceptar un lote malo es un **error del tipo II**.

Los planes de muestreo y las curvas de característica operativa pueden elaborarse por computadora (como se observa en el software disponible con este texto), por tablas publicadas o mediante cálculos, utilizando distribuciones binomiales o de Poisson.

Calidad media de salida

En la mayoría de los planes de muestreo, cuando se rechaza un lote se inspecciona el lote entero y se sustituyen todos los elementos defectuosos. El uso de esta técnica de reemplazo mejora la calidad media de salida en cuanto al porcentaje de defectos. De hecho, dado (1) cualquier plan de muestreo que reemplace todos los elementos defectuosos encontrados, y (2) el verdadero porcentaje entrante de piezas defectuosas en el lote, resulta posible determinar la **calidad media de salida (AOQ, Average Outgoing Quality)** como porcentaje de elementos defectuosos. La ecuación de AOQ es

$$AOQ = \frac{(P_d)(P_a)(N - n)}{N} \quad (S6.15)$$

donde P_d = porcentaje real de unidades defectuosas del lote

P_a = probabilidad de aceptar el lote

N = número de elementos del lote

n = número de elementos de la muestra

El valor máximo de AOQ corresponde al porcentaje medio máximo de elementos defectuosos o a la menor calidad media del plan de muestreo. Se denomina *límite de la calidad media de salida (AOQL)*.

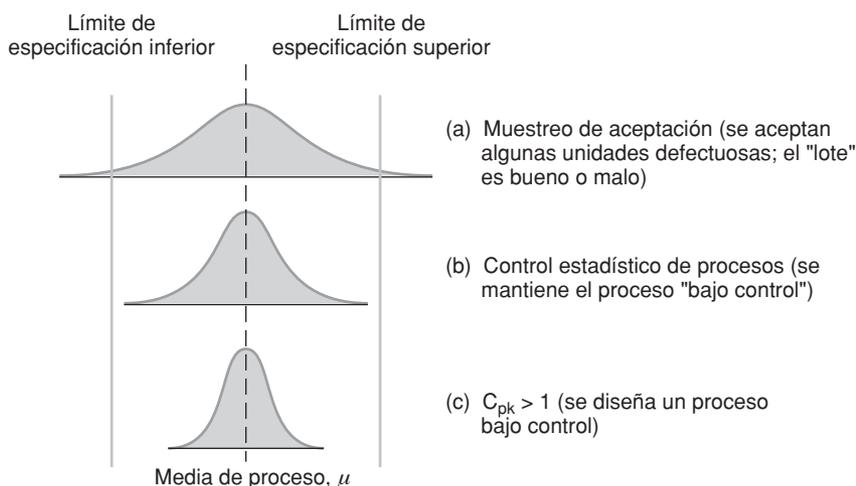


FIGURA S6.10 ■ La aplicación de las técnicas estadísticas del proceso contribuye a la identificación y a la reducción sistemática de la variabilidad del proceso

El muestreo de aceptación resulta útil para examinar los lotes entrantes. Cuando se sustituyen los elementos defectuosos por elementos buenos el muestreo de aceptación ayuda a mejorar la calidad de los lotes, al reducir el porcentaje saliente de elementos defectuosos.

En la Figura S6.10 se comparan el muestreo de aceptación, el CEP y el C_{pk} . Tal como se observa en la figura (a) el muestreo de aceptación acepta por definición algunas unidades malas, (b) los gráficos de control intentan mantener el proceso bajo control, pero (c) el índice C_{pk} hace hincapié en mejorar el proceso. En nuestra calidad de directores de operaciones, eso es lo que queremos hacer: mejorar el proceso.

El control estadístico de procesos constituye una herramienta estadística primordial para el control de la calidad. Los gráficos de control del CEP ayudan a los directores de operaciones a distinguir entre variaciones naturales y variaciones imputables. El gráfico \bar{x} y el gráfico R se utilizan en el muestreo de variables, y el gráfico p y el c en el muestreo de atributos. El índice C_{pk} es una forma de expresar la capacidad del proceso. Las curvas de característica operativa facilitan el muestreo de aceptación, y ofrecen al director herramientas para evaluar la calidad de un envío o de una serie de producción.

RESUMEN

Control estadístico de procesos (CEP)
 Gráfico de control
 Variaciones naturales
 Variación imputables
 Gráfico \bar{x}
 Gráfico R
 Teorema central del límite
 Gráficos p
 Gráficos c
 Prueba de serie
 Capacidad del proceso
 C_p

C_{pk}
 Muestreo de aceptación
 Curva de característica operativa
 Riesgo del productor
 Riesgo del consumidor
 Nivel de calidad aceptable (AQL)
 Porcentaje de tolerancia de defectuosos en un lote (LTPD)
 Error tipo I
 Error tipo II
 Calidad media de salida (AOQ)

TÉRMINOS CLAVE

UTILIZACIÓN DE SOFTWARE PARA EL CEP

Se puede utilizar Excel, Excel OM y POM para Windows para elaborar gráficos de control para la mayoría de los problemas de este capítulo.



Creación de hojas de cálculo de Excel para calcular los límites de control para un gráfico c

Se utilizan con frecuencia las hojas de cálculo Excel, y de otro tipo, en la industria para mantener gráficos de control. El Programa S6.1 es un ejemplo de cómo se puede utilizar Excel para calcular los límites de control de un gráfico c . Los gráficos c se utilizan cuando se conoce el número de defectos por unidad de producto. Se utilizan los datos del Ejemplo S5. En este ejemplo se produjeron 54 quejas a lo largo de 9 días. Excel también incluye un proceso de realización de gráficos con el Asistente para hacer Gráficos.

PROGRAMA S6.1 ■
Una hoja de cálculo de Excel para crear un gráfico *c* para el Ejemplo S5

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Red Top Cab Company							
2								
3	Number of samples		9					
4								
5		Complaints		Results				
6	Day 1	3		Total Defects	54			
7	Day 2	0		Defect rate, λ	6			
8	Day 3	8		Standard deviation	2.45			
9	Day 4	9		z value	3			99.73%
10	Day 5	6		Upper Control Limit	13.348489			
11	Day 6	7		Center Line	6			
12	Day 7	4		Lower Control Limit	0			
13	Day 8	9						
14	Day 9	8						

Valor	Celda	Fórmula de Excel
Total defectos	E6	=SUM(B6:B14)
Tasa de defectos, λ	E7	=E6/B3
Desviación estándar	E8	=SQRT(E7)
Límite de control superior	E11	=E7+E9*E8
Línea central	E12	=E7
Límite de control inferior	E13	=IF(E7-E9*E8>0,E7-E9*E8,0)



Cómo utilizar Excel OM

El módulo de control de calidad de Excel OM permite desarrollar gráficos \bar{x} , *p* y *c*. El Programa S6.2 ilustra el método de la hoja de cálculo de Excel OM para calcular los límites de control \bar{x} de la empresa Oat Flakes del Ejemplo S1.

Oat Flakes No cambiar esta celda sin alterar el número de filas en la tabla de datos.

Quality Control *x bar chart*

Number of samples: 12
 Sample size: 9
 Population standard deviation: 1

Data

Hour	Mean
Hour 1	16.1
Hour 2	16.8
Hour 3	15.5
Hour 4	16.5
Hour 5	16.5
Hour 6	16.4
Hour 7	15.2
Hour 8	16.4
Hour 9	16.3
Hour 10	14.8
Hour 11	14.2
Hour 12	17.3
Average	16

Results

x-bar value	16
z value	3
Sigma x bar	0.33333
Upper control limit	17
Center line	16
Lower control limit	15

Callouts and instructions:

- Introduzca la ponderación de la media para cada una de las 12 muestras.
- Introduzca la desviación estándar de la población, y después los datos de cada muestra. Finalmente, puede cambiar el número de desviaciones estándar.
- Introduzca el tamaño de cada una de las muestras horarias que ha tomado.
- = B22
- Introduzca el número deseado de desviaciones estándar.
- = B7/SQRT(B6)
- Utilice el promedio global como línea central; sume y reste el número deseado de desviaciones estándar para crear los límites de control superiores e inferiores; p. ej.: LCL = F10 - F11 · F12.
- Calcular x barra (el promedio de peso global de todas las muestras) = PROMEDIO (B10:B21).

PROGRAMA S6.2 ■ Datos en Excel OM y algunas fórmulas para los cereales del Ejemplo S1



Utilización de POM para Windows

El módulo de control de calidad POM para Windows tiene la capacidad de calcular todos los gráficos de control de CEP que aparecen en este suplemento. También incluye los muestreos de aceptación y las curvas de características operativas. Véase el Apéndice IV en el volumen “Decisiones tácticas” para más detalles.



PROBLEMAS RESUELTOS

Problema resuelto S6.1

Un fabricante de piezas de máquinas de precisión produce vástagos redondos para su utilización en la construcción de prensas de perforación. El diámetro medio de un vástago es de 0,56 pulgadas. Las muestras de inspección contienen 6 vástagos cada una. El rango medio de esas muestras es de 0,006 pulgadas. Determinése el límite superior y el inferior del gráfico de control \bar{x} .

Solución

El factor medio A_2 de la Tabla S6.1 (donde el tamaño de la muestra es 6) es 0,483. Con este factor se pueden obtener los límites de control superior e inferior.

$$\begin{aligned} UCL_{\bar{x}} &= 0,56 + (0,483)(0,006) \\ &= 0,56 + 0,0029 \\ &= 0,5629 \\ LCL_{\bar{x}} &= 0,56 - 0,0029 \\ &= 0,5571 \end{aligned}$$

Problema resuelto S6.2

Nocaf Drinks, Inc., es el productor de las botellas Nocaf de café descafeinado. Cada botella debería tener un peso neto de 4 onzas. La máquina que llena las botellas con café es nueva, y el director de operaciones quiere asegurarse de que está correctamente ajustada. Bonnie Crutcher, la directora de operaciones, toma una muestra de $n = 8$ botellas, y apunta la media y el rango de cada muestra en onzas. La tabla siguiente nos ofrece los datos de varias muestras. Observe que cada muestra tiene 8 botellas.

Solución

Vemos, en primer lugar, que $\bar{\bar{x}} = 4,03$ y $\bar{R} = 0,51$. Luego, utilizando la Tabla S6.1, vemos que:

$$\begin{aligned} UCL_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = 4,03 + (0,373)(0,51) = 4,22 \\ LCL_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = 4,03 - (0,373)(0,51) = 3,84 \\ UCL_R &= D_4\bar{R} = (1,864)(0,51) = 0,95 \\ LCL_R &= D_3\bar{R} = (0,136)(0,51) = 0,07 \end{aligned}$$

Parece que el rango y la media del proceso están bajo control.

Muestra	Rango de muestra	Promedio de la muestra	Muestra	Rango de muestra	Promedio de la muestra
A	0,41	4,00	E	0,56	4,17
B	0,55	4,16	F	0,62	3,93
C	0,44	3,99	G	0,54	3,98
D	0,48	4,00	H	0,44	4,01

¿Está la máquina bien ajustada y bajo control?

Problema resuelto S6.3

Altman Distributors, Inc. despacha pedidos por catálogo. Entre los últimos 100 pedidos enviados, el porcentaje de errores fue de 0,05. Determinéense los límites superior e inferior de este proceso para un margen de confianza del 99,73%.

Solución

$$\begin{aligned} UCL_p &= \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,05 + 3\sqrt{\frac{(0,05)(1-0,05)}{100}} \\ &= 0,05 + 3(0,0218) = 0,1154 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LCL_p &= \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,05 - 3(0,0218) \\ &= 0,05 - 0,0654 = 0 \text{ (porque el porcentaje de unidades defectuosas no puede ser negativo)} \end{aligned}$$

Problema resuelto S6.4

Ettlie Engineering tiene un nuevo sistema de inyección por catalizador para su línea de producción de encimeras. Su departamento de ingeniería de procesos ha llevado a cabo experimentos, y ha determinado que la media es de 8,01 gramos, con una desviación estándar de 0,03. Sus especificaciones son:

$$\mu = 8,0 \text{ y } \sigma = 0,04, \text{ lo que significa un límite superior de especificación de } 8,12 [= 8,0 + 3(0,04)]$$

$$\text{y un límite inferior de especificación de } 7,88 [= 8,0 - 3(0,04)].$$

¿Cuál es el rendimiento C_{pk} del sistema de inyección? Utilizando la fórmula:

$$C_{pk} = \text{mínimo de} \left[\frac{\text{Límite superior de especificación} - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - \text{Límite inferior de especificación}}{3\sigma} \right]$$

donde \bar{X} = media del proceso

σ = desviación estándar de la población del proceso

$$\begin{aligned} C_{pk} &= \text{mínimo de} \left[\frac{8,12 - 8,01}{(3)(0,03)}, \frac{8,01 - 7,88}{(3)(0,03)} \right] \\ &= \left[\frac{0,11}{0,09} = 1,22, \frac{0,13}{0,09} = 1,44 \right] \end{aligned}$$

El mínimo es 1,22, de manera que el C_{pk} de 1,22 se encuentra dentro de las especificaciones, y posee un índice de error implícito de menos de 2.700 unidades defectuosas por millón.

EJERCICIOS EN INTERNET Y DEL CD-ROM DEL ALUMNO

Visite nuestra página web o utilice el CD-ROM del estudiante para obtener ayuda sobre este capítulo.



En nuestro sitio web www.prenhall.com/heizer

- Preguntas de autoevaluación
- Problemas prácticos
- Visita virtual a una empresa
- Problemas para resolver con Internet
- Casos en Internet



En su CD-ROM del alumno

- Lección en PowerPoint
- Problemas prácticos
- Videoclips
- Ejercicios Active Model
- Software Excel OM
- Archivos de datos para Excel OM
- POM para Windows



CUESTIONES PARA EL DEBATE

1. Defina los dos tipos de variación de Shewhart. ¿Qué otro nombre reciben?
2. Defina “bajo control estadístico”.
3. Explique brevemente para qué sirven los gráficos \bar{x} y R .
4. ¿Qué puede hacer que un proceso esté fuera de control?
5. Defina cinco pasos utilizados en el desarrollo y utilización de los gráficos \bar{x} y R .
6. Dé una lista de causas posibles de variaciones imputables.
7. Explique cómo puede encontrar más fácilmente muestras “fuera de los límites” una persona que utilice gráficos de control 2 sigma en vez de 3 sigma. ¿Cuáles son algunas posibles consecuencias?
8. ¿Cuándo se utiliza la media deseada, μ , para determinar la línea central de un gráfico de control en vez de $\bar{\bar{x}}$?
9. ¿Se puede decir que un proceso está “fuera de control” porque es demasiado bueno? Explique su respuesta.
10. En un gráfico de control, ¿cuál sería el efecto sobre los límites de control si se varía el tamaño de la muestra de una muestra a la siguiente?
11. Defina C_{pk} y explique qué significa un C_{pk} de 1,0. ¿Qué es un cociente C_p ?
12. ¿Qué implica una serie de 5 puntos por encima o por debajo de una línea central en un gráfico de control?
13. ¿Cuál es el nivel de calidad aceptable (AQL) y el porcentaje de tolerancia de defectuosos en un lote (LTPD)? ¿Cómo se utilizan?
14. ¿Qué es una prueba de serie y cuándo se utiliza?
15. Analice las cuestiones directivas relativas a la utilización de los gráficos de control.
16. ¿Qué es una curva CO?
17. ¿Para qué sirve el muestreo de aceptación?
18. ¿Qué dos riesgos existen cuando se utiliza el muestreo de aceptación?
19. ¿Es un proceso capaz un proceso perfecto? Es decir, ¿genera un proceso capaz sólo productos que satisfacen las especificaciones? Explique su respuesta.



EJERCICIO ACTIVE MODEL

Este ejercicio Active Model está en su CD. Le permite evaluar importantes elementos de los gráficos c .