

## Administración de la calidad

### Descripción del capítulo

#### PERFIL GLOBAL DE LA COMPAÑÍA: LA ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD PROPORCIONA UNA VENTAJA COMPETITIVA EN MOTOROLA

#### CALIDAD Y ESTRATEGIA

#### DEFINICIÓN DE CALIDAD

- Implicaciones de la calidad
- Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige
- Costo de la calidad (COQ)

#### ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE CALIDAD

- ISO 9000
- ISO 14000

#### ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD TOTAL

- Mejora continua
- Delegación de autoridad en los empleados
- Punto de comparación
- Justo a tiempo (JIT)
- Conceptos de Taguchi
- Conocimiento de las herramientas de TQM

#### HERRAMIENTAS DE TQM

- Hojas de verificación
- Diagramas de dispersión
- Diagramas causa y efecto
- Gráficas de Pareto
- Diagramas de flujo

Histogramas

Control estadístico de procesos (SPC)

#### FUNCIÓN DE LA INSPECCIÓN

- Cuándo y dónde inspeccionar
- Inspección de la fuente
- Inspección en la industria del servicio
- Inspección por atributos contra variables

#### TQM EN LOS SERVICIOS

- RESUMEN
- TÉRMINOS CLAVE
- EJERCICIOS EN INTERNET Y EL CD-ROM DEL ESTUDIANTE
- PREGUNTAS PARA ANALIZAR
- EJERCICIO DE RAZONAMIENTO CRÍTICO
- EJERCICIO DEL MODELO ACTIVO
- PROBLEMAS
- PROBLEMAS DE TAREA EN INTERNET
- CASO DE ESTUDIO: SOUTHWESTERN UNIVERSITY: (C)
- CASO DE ESTUDIO EN VIDEO: CALIDAD EN RITZ-CARLTON HOTEL COMPANY
- CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES
- BIBLIOGRAFÍA
- RECURSOS DE INTERNET

### OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

*Al terminar de estudiar este capítulo usted será capaz de*

#### IDENTIFICAR O DEFINIR:

- Calidad
- Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige
- Estándares internacionales de calidad ISO
- Conceptos de Taguchi

#### DESCRIBIR O EXPLICAR:

- Por qué es importante la calidad
- Administración de la calidad total (TQM)
- Gráficas de Pareto
- Gráficas de proceso
- Productos de calidad robusta
- Inspección
- Las ideas de Deming, Juran y Crosby

# PERFIL GLOBAL DE LA COMPAÑÍA:

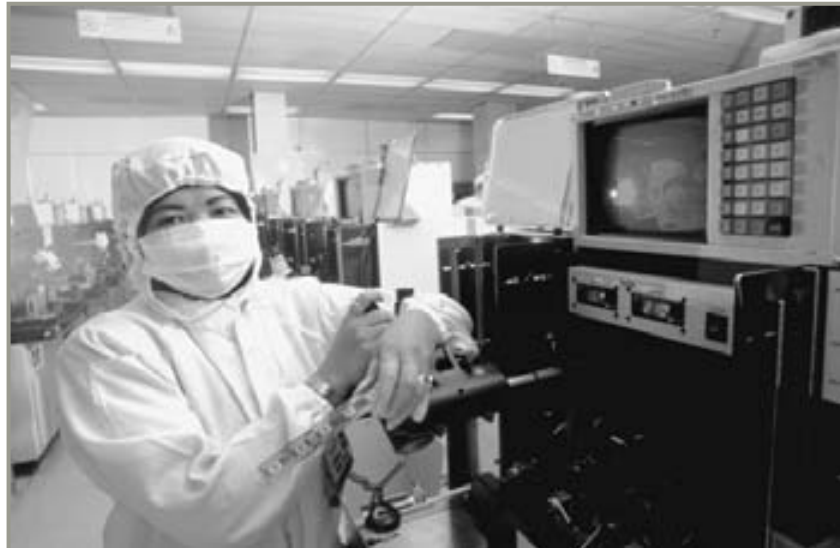
## La administración de la calidad proporciona una ventaja competitiva en Motorola

**M**otorola decidió hace algunos años ser líder mundial en calidad. Sin duda, Motorola es tan buena, que se convirtió en la primera ganadora del Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige. Motorola cree en la administración de la calidad total y la practica desde los niveles altos, en particular desde su presidente honorario Robert Galvin. La empresa logra su notable calidad demostrando el compromiso de sus altos ejecutivos con la calidad y que trasmite a toda la organización global.

Con el propósito de lograr que su enfoque en la calidad funcionara, Motorola realizó una serie de actividades:

- Comenzó un firme programa de educación en el mundo entero para asegurar que sus empleados comprendieran la calidad y el control estadístico de los procesos.
- Estableció metas, a saber, su programa Six Sigma. El programa Six Sigma significa que se espera una tasa de defectos de no más de unas cuantas partes por millón.
- Estableció la participación amplia de los empleados y de los equipos de empleados. Más de 4,000 equipos de "satisfacción total del cliente" de todo el mundo participan motivados por los premios basados en el desempeño de su equipo.

Las divisiones de Motorola esperan una revisión de la calidad en el servicio cada dos años. Se seleccionan cinco equipos con personal de varias partes de la compañía para llevar a cabo la revisión. Después, el administrador general y el personal tienen una sesión con los equipos para analizar los aspectos de la revisión. Se analizan las fortalezas y debilidades y se recomiendan las mejoras que deben realizarse.



*Al mismo tiempo que en las instalaciones de prueba acelerada de vida (PAV) de Motorola se ponen a prueba los localizadores en cuanto a condiciones extremas de impactos de temperatura, polvo, agua y vibraciones, también debe ponerse a prueba la capacidad electrónica, como se hace en este caso.*



*El enérgico compromiso de Motorola con la calidad ha exigido un movimiento igualmente enérgico hacia la capacitación de los empleados, lo que ha llevado a Motorola a la vanguardia en capacitación. En la fotografía los empleados de la planta de Tempe, Arizona, trabajan en una pieza de equipo durante la sesión de capacitación.*

# MOTOROLA



*A causa del fuerte interés de Motorola en la participación de los empleados y la administración de la calidad total, los equipos de empleados a menudo son responsables de evaluar y mejorar sus propios procesos. Este equipo es de Penang, Malasia.*

El sistema está funcionando; le da uniformidad y solidez a Motorola. Toda la organización se compromete con las metas corporativas y ésta es una poderosa herra-

mienta de la calidad. Este esfuerzo por la calidad a permitido que Motorola se mueva de 6,000 mil piezas defectuosas por millón hace sólo cinco años a 40 piezas de-

fectuosas por millón en la actualidad. Motorola considera que ahorró 700 millones en costos de manufactura durante estos cinco años.

**DIEZ DECISIONES ESTRATÉGICAS DE AO**

- Diseño de bienes y servicios
- Administración de la calidad**
- Estrategia de proceso
- Estrategias de localización
- Estrategias de distribución de planta
- Recursos humanos
- Administración de la cadena de suministro
- Administración de inventarios
- Programación
- Mantenimiento

## CALIDAD Y ESTRATEGIA

Como lo han comprobado Motorola y muchas otras empresas, la calidad es un tónico maravilloso para mejorar las operaciones. La administración de la calidad ayuda a construir estrategias exitosas de *diferenciación, bajo costo y respuesta rápida*. Por ejemplo, la definición de las expectativas del cliente ha ayudado a Bose Corp. a *diferenciar* exitosamente sus bocinas estéreo entre las mejores del mundo. Nucor aprendió a producir acero de calidad a *bajo costo* al desarrollar procesos de producción eficientes que producen una calidad consistente. Y Dell Computer *responde* con rapidez a los pedidos del cliente porque sus sistemas de calidad, con muy poco retrabajo (volver a trabajar una pieza defectuosa), le han permitido lograr una entrega rápida en sus plantas. Sin duda, la calidad puede ser el factor crítico para el éxito en estas empresas lo mismo que en Motorola.

Como se sugiere en la figura 6.1, las mejoras en la calidad ayudan a que las empresas aumenten sus ventas y reduzcan los costos, estos dos factores ayudan a aumentar la rentabilidad. A menudo el incremento en las ventas ocurre cuando las empresas aceleran su respuesta, reducen los precios de venta al lograr economías de escala y mejoran su reputación si hay calidad en sus productos. De igual forma, la mejora en la calidad permite que los costos bajen cuando las empresas aumentan su productividad y disminuyen el retrabajo, el desperdicio y los costos de garantías.

Un análisis de los fabricantes de aire acondicionado documentó que calidad y productividad se relacionan en forma positiva. En el estudio, las compañías con más alta calidad eran cinco veces más productivas (medidas en unidades producidas por hora de mano de obra) que las compañías con calidad más baja. En realidad, cuando se consideran las implicaciones de los costos a largo plazo y el potencial para aumentar las ventas de una organización, los costos totales bien pueden ser mínimos cuando 100% de los bienes o servicios son perfectos y libres de defectos.

La calidad, o la falta de ella, afecta a toda la organización desde el proveedor hasta el cliente y desde el diseño de producto hasta el mantenimiento. No obstante, y quizá aún más importante, la *construcción* de una organización que logre la calidad también afecta a toda la organización, y es una tarea demandante. En la figura 6.2 se muestra el flujo de actividades que la organización necesita seguir para lograr la administración de la calidad total (TQM, *total quality management*). Una serie de actividades exitosas comienza por un entorno organizacional que promueve la calidad, seguido del entendimiento de los principios de la calidad y después por un esfuerzo para lograr que los empleados se comprometan con las actividades necesarias para implantar la calidad. Cuando esto se hace de manera correcta, lo común es que la organización satisfaga a sus clientes y obtenga una ventaja competitiva. La meta final es ganar clientes. Como la calidad origina muchas otras cosas buenas, es un buen lugar para empezar.

## DEFINICIÓN DE CALIDAD

Los sistemas de administración de la calidad total se manejan mediante la identificación y satisfacción de las necesidades del cliente. Una administración de la calidad total cuida a su cliente. En consecuencia, aceptamos la definición de **calidad** adoptada por la American Society for Quality: “La totalidad de rasgos y características de un producto o servicio que respaldan su habilidad para satisfacer las necesidades establecidas o implícitas.”<sup>1</sup>

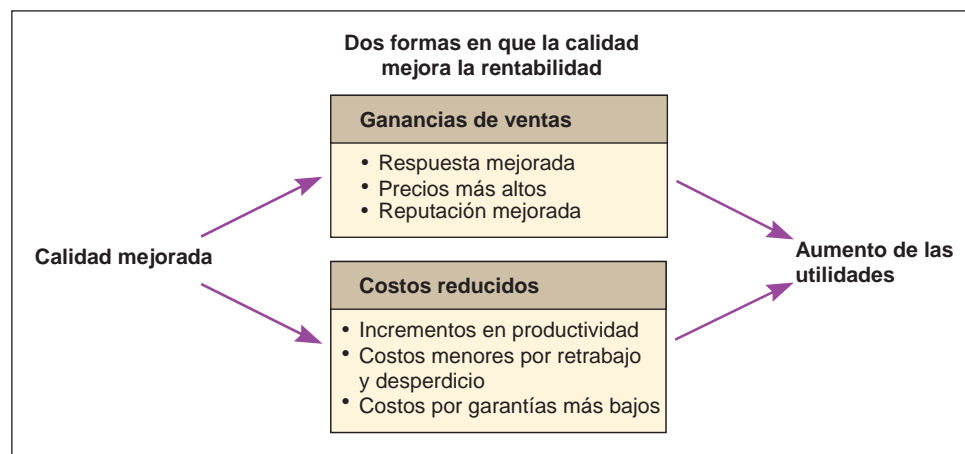
Sin embargo, otras personas consideran que las definiciones de la calidad se clasifican en varias categorías. Algunas definiciones que se *basan en el usuario* proponen que la calidad “está en los ojos del observador”. Las personas de marketing se inclinan por este enfoque lo mismo que los clientes. Para ellos,

### Calidad

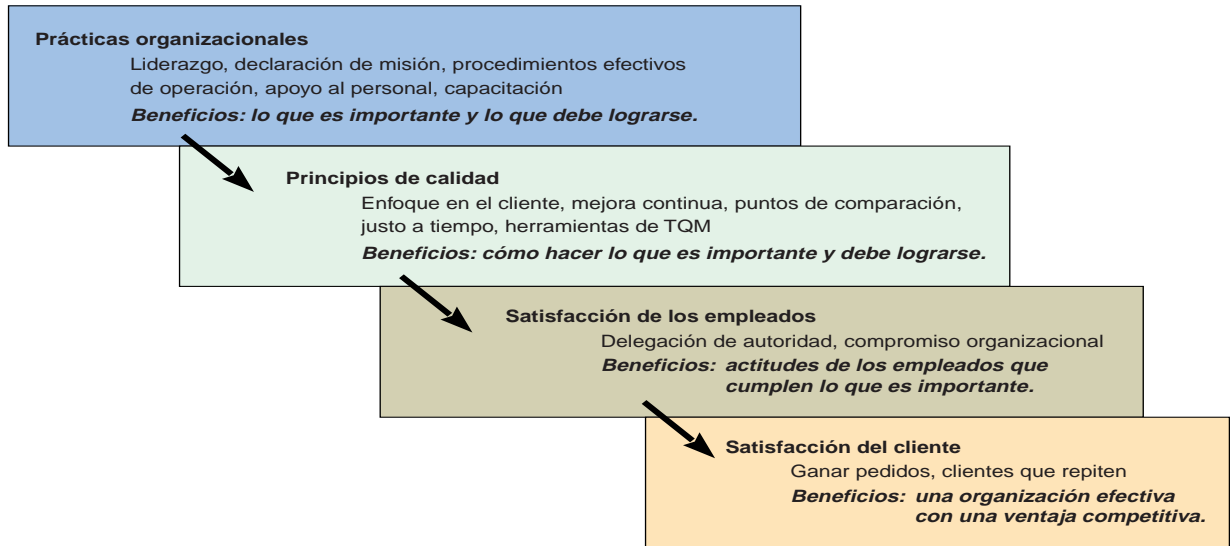
Capacidad de un bien o servicio para cumplir las necesidades del cliente.

**FIGURA 6.1** ■

Formas en que la calidad mejora la rentabilidad



<sup>1</sup>Visite el sitio Web de la American Society for Quality en [www.asq.org](http://www.asq.org).



**FIGURA 6.2** ■ Flujo de actividades necesarias para lograr la administración de la calidad total

La calidad puede estar en los ojos del observador, aunque para crear un bien o un servicio, los administradores de operaciones deben definir las expectativas del observador (el cliente).

una mejor calidad significa mejor desempeño, características más atractivas y otras mejoras (algunas veces costosas). Para los gerentes de producción, la calidad *se basa en la manufactura*. Creen que calidad significa sujetarse a los estándares y “hacerlo bien la primera vez”. El tercer enfoque *se basa en el producto* y observa a la calidad como una variable precisa y medible. Desde este punto de vista, por ejemplo, un helado realmente bueno tiene altos niveles de mantequilla.

En este texto se desarrollan enfoques y técnicas para atender las tres categorías de calidad. Las características que componen la calidad deben definirse primero mediante la investigación (un enfoque de la calidad basada en el usuario). Después estas características se traducen en atributos específicos de producto (un enfoque de la calidad basada en el producto). Entonces se organiza el proceso de manufactura para asegurar que los productos se elaboren con las especificaciones precisas (un enfoque de la calidad basada en la manufactura). Un proceso que ignore cualquiera de estos pasos no dará como resultado un producto de calidad.

## Implicaciones de la calidad

Además de ser un elemento decisivo en las operaciones, la calidad tiene otras implicaciones. Señalamos otras razones por las que es importante la calidad:

1. *Reputación de la compañía.* La organización esperaría que su reputación de calidad —buena o mala— la acompañe. La calidad se mostrará en las percepciones acerca de los nuevos productos, las prácticas laborales y las relaciones con los proveedores de la empresa. La autopromoción no es sustituto de productos de calidad.
2. *Responsabilidad del producto.* Cada vez más las cortes piensan que las organizaciones que diseñan, producen o distribuyen productos o servicios fraudulentos son responsables de los daños o perjuicios que resulten de su uso. La legislación como el Consumer Product Safety Act en Estados Unidos establece y hace cumplir los estándares de producto prohibiendo los artículos que no reúnen esos estándares. Alimentos contaminados que provocan enfermedades, lámparas de noche que se incendian, llantas que se despedazan o tanques de gasolina que explotan al impactarse el automóvil derivarían en gastos legales gigantescos, arreglos fuera de la corte o pérdidas cuantiosas y publicidad adversa.
3. *Implicaciones globales.* En esta era tecnológica, la calidad es una preocupación internacional así como de la administración de operaciones. Para que país y compañía compitan de manera efectiva en la economía global, los productos deben reunir las expectativas de calidad, diseño y precio. Los productos inferiores dañan la rentabilidad de la empresa y la balanza comercial de la nación.



### Video 6.1

TQM en los hoteles Ritz-Carlton

Encontrará más información sobre el Premio Baldrige y su sistema de calificación de 1,000 puntos en [www.quality.nist.gov](http://www.quality.nist.gov).

## Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige

Las implicaciones globales de la calidad son tan importantes que Estados Unidos estableció el *Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige* por el logro de la calidad. El premio lleva el nombre del ex secretario de Comercio estadounidense Malcolm Baldrige. Las empresas ganadoras incluyen a Motorola, Miliiken, Xerox, Federal Express, Ritz-Carlton Hotels, AT&T, Cadillac y Texas Instruments.

Los japoneses tienen un premio similar, el Deming Prize, en honor del estadounidense W. Edwards Deming.

## Costo de la calidad (COQ)

Cuatro grandes categorías de costos se asocian con la calidad. Los denominados **costos de la calidad (COQ)** son:

- *Costos de prevención*: costos asociados con la reducción de partes o servicios defectuosos potenciales (ejemplo, capacitación, programas de mejora de la calidad).
- *Costos de evaluación*: costos relacionados con la evaluación de los productos, procesos, partes y servicios (ejemplo, pruebas, laboratorios, inspectores).
- *Falla interna*: costos que resultan al producir partes o servicios defectuosos antes de la entrega al cliente (ejemplo, retrabajo, desperdicio, tiempos de descomposturas).
- *Costos externos*: costos que ocurren después de la entrega de partes o servicios defectuosos (ejemplo, retrabajo, bienes devueltos, responsabilidades, pérdida de buena voluntad o imagen, costos para la sociedad).

Los tres primeros se estiman en forma razonable, pero es muy difícil cuantificar los costos externos. Cuando GE tuvo que recoger 3.1 millones de lavadoras de platos en 1999 (ya que se alegó que un apagador defectuoso había iniciado siete incendios), el costo de las reparaciones excedió el valor de todas las lavadoras. Esto llevó a que muchos expertos consideraran que el costo de una mala calidad siempre se subestima.

Observadores de la administración de la calidad, incluidos Philip Crosby y Genichi Taguchi, creen que, haciendo un balance, el costo de los productos de calidad es sólo una fracción de los beneficios. Consideran que los verdaderos perdedores son las organizaciones que no trabajan con firmeza en la calidad. Por ejemplo, Philip Crosby afirmó que la calidad es gratis. “No es un regalo, pero es gratuita. Lo que cuesta dinero son las cosas sin calidad: todas las acciones que implican no hacerlo bien desde la primera vez.”<sup>2</sup>

## ESTÁNDARES INTERNACIONALES DE CALIDAD

### ISO 9000

La calidad es tan importante globalmente que el mundo entero se está uniendo en torno a un solo estándar de calidad, **ISO 9000**. ISO 9000 es el único estándar de calidad con reconocimiento internacional. En 1987, 91 naciones integrantes (incluido Estados Unidos) publicaron una serie de estándares para asegurar la calidad, conocidos en todos lados como **ISO 9000**. Estados Unidos, a través del American National Standards Institute, adoptó la serie ISO 9000 como la serie ANSI/ASQ Q9000.<sup>3</sup> El enfoque de los estándares es establecer procedimientos de administración de la calidad mediante liderazgo, documentación detallada, instrucciones de trabajo y archivo de registros. Estos procedimientos no mencionan la calidad real del producto, más bien manejan los estándares que se deben seguir en su totalidad.

Para obtener el certificado ISO 9000, las organizaciones pasan por un proceso de 9 a 18 meses que involucra la documentación de procedimientos de la calidad, una evaluación *in situ* y una serie de auditorías continuas de los productos o servicios. Para hacer negocios en el nivel global —especialmente en Europa— es crucial estar incluido en el directorio ISO. En 2003, se habían otorgado más de 400,000 certificaciones a empresas de 158 países. Alrededor de 40,000 empresas estadounidenses cuentan con el certificado ISO 9000.

ISO revisó sus estándares en diciembre de 2000 para inclinarlos más hacia un sistema de administración de la calidad, lo cual se detalla en su componente **ISO 9001: 2000**. El liderazgo de la alta administración y los requerimientos y satisfacción del cliente desempeñan un papel mucho más importante en su componente **ISO 9001: 2000**,<sup>4</sup> mientras que la documentación de procedimientos se destaca menos.

### Costo de la calidad (COQ)

Costo de hacer las cosas mal, es decir, el precio por no cumplir lo establecido.



#### TAKUMI

Ideograma japonés que simboliza una dimensión más amplia que la calidad, un proceso más profundo que la educación y un método más perfecto que la persistencia.

#### ISO 9000

Conjunto de estándares de calidad desarrollados por la International Standards Organization (ISO).

“ISO” en griego significa *igual* o *uniforme*, como al decir uniforme en todo el mundo.

Visite los sitios Web [www.iso.ch](http://www.iso.ch) o [www.asq.org](http://www.asq.org) para aprender más sobre los estándares ISO.

<sup>2</sup>Philip B. Crosby, *Quality Is Free* (Nueva York: McGraw-Hill, 1979). Además, J. M. Juran afirma, en su libro *Juran on Quality by Design* (Free Press, 1992, p. 119), que los costos de la mala calidad “son enormes, pero los montos no se conocen con precisión. En la mayor parte de las compañías los sistemas de contabilidad proporcionan sólo una mínima parte de la información necesaria para cuantificar los costos de la mala calidad. Es necesario invertir gran cantidad de tiempo y esfuerzo en ampliar el sistema contable para que cubra todos los aspectos”.

<sup>3</sup>ASQ es la American Society for Quality.

<sup>4</sup>Craig Cochran, “The ISO to Know”, *IIE Solutions* (diciembre de 2001): 30-34.

*El anuncio de la certificación ISO 9000 está a la vista, pero esta planta Bridgestone/Firestone en Decatur, Illinois, produjo miles de llantas defectuosas. Las bases de la manufactura de las llantas han sido las mismas desde hace más de 100 años en esta planta que produce, en gran parte a mano, más de 25 mil llantas diarias.*



## ISO 14000

La continua internacionalización de la calidad se hace evidente con el desarrollo de **ISO 14000**. ISO 14000 es un estándar de administración sobre aspectos ambientales que contiene cinco elementos centrales: **1.** administración sobre aspectos ambientales; **2.** auditoría; **3.** evaluación del desempeño; **4.** etiquetado, y **5.** evaluación del ciclo de vida. El nuevo estándar implica varias ventajas:

- Una imagen pública positiva y poca exposición por responsabilidad legal.
- Un enfoque sistemático adecuado en la prevención de la contaminación mediante la minimización de los efectos ecológicos de productos y actividades.
- Cumplimiento de los requerimientos reglamentarios y oportunidades de ventaja competitiva.
- Reducción de la necesidad de auditorías múltiples.

Este estándar es aceptado en todo el mundo.

## ADMINISTRACIÓN DE LA CALIDAD TOTAL

La **administración de la calidad total (TQM)** se refiere al énfasis que se pone en la calidad en toda la organización, desde el proveedor hasta el cliente. TQM destaca el compromiso de la administración para dirigir continuamente a toda la compañía hacia la excelencia en todos los aspectos de productos y servicios que son importantes para el cliente.

TQM es importante porque las decisiones sobre la calidad influyen en cada una de las 10 decisiones que toman los administradores de operaciones. Cada decisión trata algún aspecto relacionado con la identificación o el cumplimiento de las expectativas del cliente. Satisfacer dichas expectativas exige el énfasis en la TQM si la empresa piensa competir como líder en los mercados mundiales.

El experto en calidad W. Edwards Deming usaba 14 puntos (tabla 6.1) para indicar la forma de implantar TQM.<sup>5</sup> Nosotros los concretamos en seis conceptos para un programa efectivo de TQM: **1.** mejora continua; **2.** delegación de autoridad en los empleados; **3.** punto de comparación; **4.** justo a tiempo (JIT); **5.** conceptos de Taguchi, y **6.** conocimiento de las herramientas de TQM.

### Mejora continua

La administración de la calidad total requiere un proceso sin fin de mejora continua que cubre personas, equipo, proveedores, materiales y procedimientos. La base de esta filosofía es que cada aspecto de la operación es susceptible de mejora. La meta final es la perfección, la cual nunca se alcanza pero siempre se busca.

<sup>5</sup>John C. Anderson, Manus Rungtusanatham y Roger G. Schroeder, "A Theory of Quality Management Underlying the Deming Management Method", *Academy of Management Review* 19, núm. 3 (1994): 472-509.

### ISO 14000

Estándar de administración del medio ambiente establecido por la International Standards Organization (ISO).

### Administración de la calidad total (TQM)

Administración de la organización completa con la finalidad de que logre la excelencia en todos los aspectos de los productos y servicios que son importantes para el cliente.

Un aspecto crítico para mejorar la calidad es el liderazgo de la administración. El motivo de ISO para renovar el ISO 9000 fue que las versiones anteriores carecían de fuerza en lo que requerían de los altos niveles de administración.

TABLA 6.1 ■

### 14 puntos de Deming para implementar la mejora de la calidad

1. Crear un propósito consistente.
2. Dirigir para promover el cambio.
3. Construir calidad dentro del producto; dejar de depender de las inspecciones para encontrar los problemas.
4. Edificar relaciones de largo plazo con base en el desempeño en lugar de hacer negocios con base en el precio.
5. Mejorar el producto, la calidad y el servicio de manera continua.
6. Comenzar la capacitación.
7. Destacar el liderazgo.
8. Eliminar el temor.
9. Derribar las barreras entre departamentos.
10. Dejar de sermonear a los trabajadores.
11. Apoyar, ayudar y mejorar.
12. Remover los obstáculos para enorgullecerse en el trabajo.
13. Instituir un programa vigoroso de educación y autosuperación.
14. Hacer que todos en la compañía trabajen en la transformación.

Fuente: Al cabo de varios años, Deming revisó sus 14 puntos en varias ocasiones. Véase W. Edwards Deming, "Philosophy Continues to Flourish", *APICS-The Performance Advantage* 1, núm. 4 (octubre de 1991): 20.

### PHRA

Modelo de mejora continua para planear, hacer, revisar y actuar.



FIGURA 6.3 ■  
Ciclo PHRA

### Kaizen

Término japonés que define el proceso continuo de mejora por incrementos.

### Six sigma

Programa de calidad que genera productos o servicios 99.9997% precisos.

### Delegación de autoridad en los empleados

Ampliación del trabajo de los empleados para que la responsabilidad y autoridad agregadas lleguen al nivel más bajo posible en la organización.

**Planear-hacer-revisar-actuar** Walter Shewhart, uno de los pioneros en administración de la calidad, desarrolló un modelo circular conocido como **PHRA** (planear, hacer, revisar, actuar; en inglés PD-CA, *Plan-Do-Check-Act*) como su versión de mejora continua. Más tarde, Deming llevó este concepto a Japón durante su trabajo ahí después de la Segunda Guerra Mundial. El ciclo PHRA se muestra en la figura 6.3 como un círculo para destacar la naturaleza continua del proceso de mejora.

**Six Sigma** Los japoneses emplean la palabra **kaizen** para describir este proceso continuo de mejora sin fin, el establecimiento y logro de metas cada vez más altas. En Estados Unidos *TQM* y *cero defectos* también se emplean para describir los esfuerzos continuos por mejorar.

El término **six sigma**, que hicieron popular Motorola, Honeywell y General Electric, se refiere a un programa de TQM con una capacidad de proceso extremadamente alta (precisión de 99.9997%). Por ejemplo, si cada año 20 millones de pasajeros documentan su equipaje en el aeropuerto Heathrow de Londres, el resultado de un programa six sigma para el manejo de equipaje sería de sólo 72 pasajeros con problemas de maletas extraviada. Con el programa 3-sigma, de mayor uso (que se verá en el suplemento de este capítulo), el resultado sería de 3,660 pasajeros con equipaje extraviado *cada día*. El enfoque de General Electric es certificar a los empleados como "cinta negra" en six sigma después de completar una capacitación estadística minuciosa, después enviarlos a capacitar a sus compañeros.

Ya sea PHRA, *kaizen*, cero defectos o six sigma, el administrador de operaciones es un participante clave en la construcción de una cultura laboral que apoye la mejora continua.

### Delegación de autoridad en los empleados

La **delegación de autoridad en los empleados** significa involucrarlos éstos en cada paso del proceso de producción. La literatura de administración de empresas sugiere que alrededor de 85% de los problemas de calidad tiene que ver con materiales y procesos, no con el desempeño de los empleados. Por lo tanto, la tarea es diseñar equipo y procesos que produzcan la calidad deseada. Esto se logra mejor a través de un alto nivel de participación de quienes entienden las deficiencias del sistema. Quienes tienen que ver con el sistema en forma cotidiana lo comprenden mejor que nadie. Un estudio indicó que los programas TQM que delegan las responsabilidades de la calidad en los empleados de la planta, tienen el doble de posibilidades de éxito que los que se implementan a través de directrices de "arriba hacia abajo".<sup>6</sup>

Cuando ocurre una falta de cumplimiento, pocas veces es el trabajador el que está mal. O bien el producto estaba mal diseñado, el sistema que produce el producto estaba mal diseñado o el empleado estaba mal capacitado. Aun cuando el empleado puede ayudar a solucionar el problema, rara vez el empleado lo ocasiona.

Las técnicas para delegar autoridad en los empleados incluyen **1.** construcción de redes de comunicación que incluyen a los empleados; **2.** desarrollo de supervisores abiertos y solidarios; **3.** traslado de responsabilidades tanto de los gerentes como del personal administrativo a los empleados de producción; **4.** construcción de organizaciones con un estado de ánimo alto, y **5.** creación de estructuras formales de organización tales como equipos y círculos de calidad.

<sup>6</sup>"The Straining of Quality", *The Economist* (14 de enero de 1995): 55. Nosotros también vemos que ésta es una de las fortalezas de Southwest Airlines, que ofrece un servicio nacional sin lujos, porque sus empleados, con su buen carácter y su trato amigable, ayudan a merecer el número 1 en las calificaciones de calidad. (Véase *Wall Street Journal* [27 de abril de 2000].)



**Círculo de calidad**

Grupo de empleados que se reúne en forma regular con un facilitador, para resolver problemas relacionados con el trabajo en el área donde laboran.

**Punto de comparación**

Selección de un estándar de desempeño demostrado que represente la mejor ejecución de una actividad o proceso.

**Video 6.2**

Estrategia de punto de comparación de Xerox

Los equipos se forman para estudiar una diversidad de temas. Un tema típico para los equipos es la calidad. Tales equipos suelen conocerse como círculos de calidad. Un **círculo de calidad** es un grupo de empleados que se reúne periódicamente para resolver problemas relacionados con el trabajo. Sus miembros reciben capacitación para planeación en equipo, solución de problemas y control estadístico de la calidad. Por lo general, se reúnen una vez por semana (casi siempre después del trabajo, pero a veces en su horario de trabajo). Aunque los miembros no reciben una recompensa económica, sí tienen el reconocimiento de la empresa. Un miembro del equipo con capacitación especial, llamado facilitador, por lo regular ayuda a capacitar a los otros miembros y se encarga de que las reuniones se desarrollen con fluidez. Los equipos enfocados en la calidad han demostrado ser una manera efectiva en costos de incrementar la productividad y la calidad.

**Punto de comparación**

El punto de comparación o *benchmarking* es otro de los ingredientes del programa TQM de la organización. El **punto de comparación** implica la selección de un estándar demostrado de productos, servicios, costos o prácticas que representa el mejor desempeño de todos los procesos o actividades muy semejantes a las propias. La idea es desarrollar una meta y después desarrollar un estándar o punto de comparación contra el cual medir el propio desempeño. Los pasos para desarrollar los puntos de comparación son:<sup>7</sup>

- Determinar qué se quiere comparar.
- Formar un equipo de *benchmarking*.
- Identificar a los colegas del punto de comparación.
- Recolectar y analizar la información del punto de comparación.
- Actuar para igualar o superar el punto de comparación.

En una situación ideal, encontrará una o más organizaciones similares que son líderes en las áreas particulares que desea estudiar. Después usted se compara (se evalúa con relación a esa referencia) con ellas. La compañía no debe pertenecer a su industria. En realidad, para establecer estándares de clase mundial es mejor buscar fuera de su industria. Si una industria ha aprendido una forma rápida de competir vía un rápido desarrollo de producto mientras la suya aún no lo logra, no obtiene beneficios al estudiar su industria. Lo que se analiza en el recuadro *AO en acción*, “La reputación de L. L. Bean lo hace un punto de comparación favorito”, es exactamente lo que hicieron Xerox y DaimlerChrysler cuando acudieron a L. L. Bean como punto de comparación para el llenado de pedidos y manejo de almacén. Los puntos de



**W. Edwards Deming** (izquierda). En su cruzada por la calidad, Deming insiste en que la administración acepte la responsabilidad de construir buenos sistemas. Considera que el empleado no es capaz de producir artículos que superen en promedio la calidad que el proceso genera. El doctor Deming murió en 1993.



**J. M. Juran** (centro). Pionero en enseñar a los japoneses cómo mejorar la calidad, cree firmemente en el compromiso, apoyo y participación de la alta dirección en el esfuerzo por la calidad. Asimismo, es un convencido de los equipos que de manera continua buscan cómo elevar los estándares de calidad. Juran difiere de Deming en su enfoque en el cliente y su definición de calidad como adecuado para el uso, no necesariamente en las especificaciones escritas.



**Philip B. Crosby** (derecha). *Quality Is Free* fue el libro publicado en 1979 con el que Crosby atrajo la atención del público. Crosby creía en el trueque tradicional entre el costo de mejorar la calidad y el costo de la mala calidad, el costo de la mala calidad siempre se subestima. El costo de la mala calidad debe incluir todas las cosas que incluye no hacer bien el trabajo la primera vez. Crosby murió en 2001.

“No existe una razón en lo absoluto para tener errores o defectos en ningún producto o servicio”.

Philip Crosby

<sup>7</sup>Adaptado de Michael J. Spendolini, *The Benchmarking Book* (Nueva York, AMACON, 1992).

# AO EN ACCIÓN

## La reputación de L. L. Bean lo hace un punto de comparación favorito

Cuando Xerox se propuso mejorar el llenado de sus pedidos, fue con L. L. Bean. ¿Qué tienen en común las partes de las fotocopadoras con la parafernalia exterior de Bean? Nada, pero los administradores de Xerox pensaron que sus procesos de llenado de pedidos eran similares: ambos implican el manejo de productos tan variados en forma y tamaño que el trabajo debe realizarse a mano. Resultó que Bean era capaz de “levantar” pedidos tres veces más rápido que Xerox. La lección aprendida permitió a Xerox bajar 10% sus costos de almacén. “Muchas compañías sufren porque se niegan a aceptar que otros son capaces de hacer mejor las cosas”, dice Robert Camp, gerente de benchmarking de Xerox.

Después DaimlerChrysler fue a estudiar los métodos de almacén de Bean. Los empleados de Bean usan diagramas de flujo para detectar los movimientos desperdiciados. La práctica dio como resultado que un empleado sugiriera almacenar los artículos voluminosos cerca de las estaciones de empaque. Tan impresionada quedó DaimlerChrysler que decidió seguir la política y confiar más en las soluciones de los problemas propuestas en el nivel del trabajador.

En la actualidad L. L. Bean recibe hasta cinco solicitudes de visita a la semana para estudiarlo como punto de comparación, demasiadas para manejarlas. La compañía sólo programa las que muestran un “genuino interés en la calidad y no simple curiosidad”, comenta Robert Olive, gerente de planta de Bean.

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

comparación suelen tomar la forma de “las mejores prácticas” encontradas en otras empresas. La tabla 6.2 ilustra las mejores prácticas para resolver las quejas de los clientes.

**TABLA 6.2 ■**

Las mejores prácticas para resolver las quejas de los clientes

- *Facilitar a los clientes la presentación de su queja:* es investigación de mercado gratuita.
- *Responder con rapidez a la queja:* agrega clientes y lealtad.
- *Resolver las quejas en el primer contacto:* reduce los costos.
- *Usar computadoras para el manejo de quejas:* permite descubrir tendencias y alinear sus servicios.
- *Contratar a los mejores para el servicio al cliente:* debe ser parte de la capacitación formal y del desarrollo profesional.

Fuente: Guía del gobierno canadiense para el mecanismo de las quejas.

Los puntos de comparación pueden y deben establecerse en una variedad de áreas. La administración de calidad total no necesita menos.<sup>8</sup>

## Justo a tiempo (JIT)

La filosofía que respalda justo a tiempo (**JIT**, *just-in-time*) es mejora continua y cumplimiento de la solución de problemas. Los sistemas JIT se diseñan para producir y entregar bienes justo cuando se necesitan. JIT se relaciona con la calidad en tres formas:

- *JIT reduce el costo de la calidad.* Esto ocurre porque el desperdicio, el retrabajo, la inversión en inventario y los costos por daños se relacionan de manera directa con el inventario que se tiene a mano. Como se tiene menos inventario con JIT, los costos son menores. Además, el inventario oculta la mala calidad, mientras que JIT la *expone* de inmediato.
- *JIT mejora la calidad.* En la medida en que JIT acorta el tiempo de entrega, mantiene fresca la evidencia del error y limita el número de fuentes potenciales de error. JIT crea, de hecho, un sistema de advertencia temprana de los problemas de calidad, tanto al interior de la empresa como con los vendedores.
- *Mejor calidad significa menos inventario y un mejor sistema JIT fácil de usar.* A menudo el propósito de mantener un inventario es protegerse del mal desempeño de producción como resultado de una calidad poco confiable. Si existe una calidad constante, JIT permite que las empresas reduzcan todos los costos asociados con el inventario.

## Conceptos de Taguchi

La mayoría de los problemas de calidad son resultado del diseño deficiente del producto y el proceso.<sup>9</sup> Genichi Taguchi proporcionó tres conceptos tendientes a mejorar la calidad tanto del producto como del proceso. Estos conceptos son: *calidad robusta*, *función de pérdida de calidad* y *calidad orientada a una meta*.

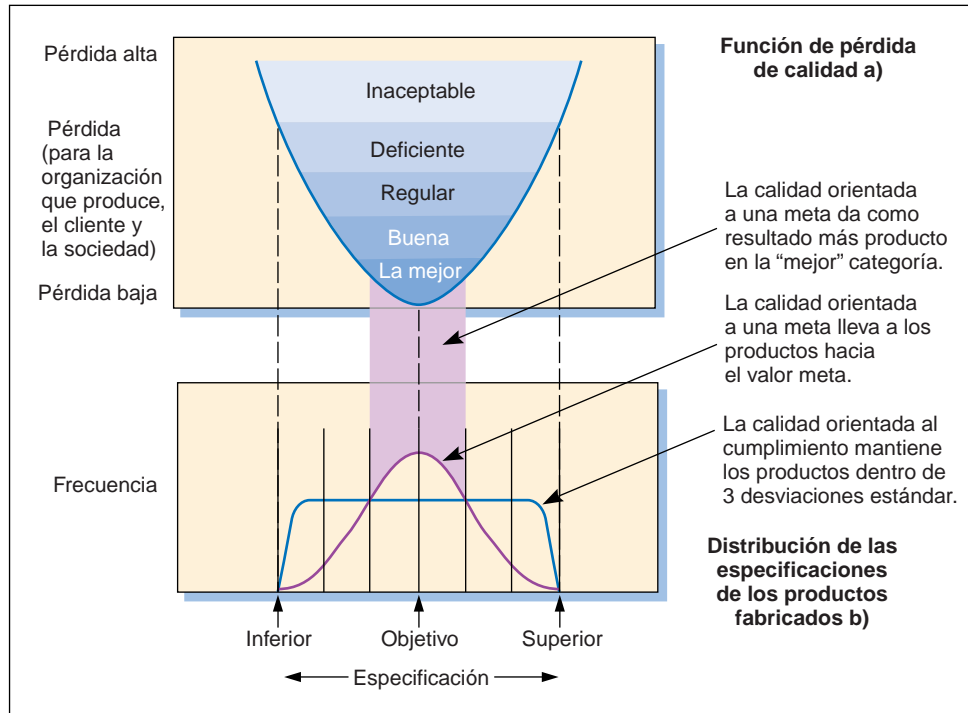
<sup>8</sup>Observe que el punto de comparación funciona bien para evaluar qué tan bien está haciendo lo que hace en comparación con la industria, pero la aproximación más imaginativa al proceso de mejora, consiste en preguntar, “¿en realidad deberíamos estar haciendo esto?” Comparar sus operaciones de almacén con el maravilloso trabajo de L. L. Bean está bien, pero quizá deba tener un almacén “de paso” (véase el suplemento del capítulo 11) o contratar a alguien de fuera para que realice la función de almacenamiento.

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

**FIGURA 6.4 ■**

a) Función de pérdida de calidad; b) Distribución de especificaciones de los productos fabricados

*Taguchi se dirige a la meta porque si los productos fabricados se acercan a los límites superior e inferior de las especificaciones aceptables, el resultado es una función de pérdida de calidad mayor.*



**Calidad robusta**

Productos que de manera consistente satisfacen las necesidades del cliente a pesar de las condiciones adversas en el proceso de producción.

**Función de pérdida de calidad (QLF)**

Función matemática que identifica todos los costos relacionados con la mala calidad y que muestra la forma en que estos costos se incrementan cuando la calidad del producto se aleja de lo que el cliente desea.

Los productos con **calidad robusta** son aquellos que se producen de manera uniforme y consistente en condiciones adversas de manufactura y ambientales. La idea de Taguchi es eliminar los *efectos* de las condiciones adversas en lugar de eliminar las causas. Taguchi sugiere que eliminar los efectos es a menudo más barato que eliminar las causas, y es más efectivo al fabricar un producto robusto. De esta forma, las pequeñas variaciones en materiales y proceso no destruyen la calidad del producto.

La **función de pérdida de calidad (QLF, quality loss function)** identifica todos los costos relacionados con la mala calidad y muestra la forma en que estos costos aumentan cuando el producto se aleja de ser exactamente lo que el cliente desea. Estos costos no sólo incluyen la insatisfacción del cliente, sino también los costos de garantía y de servicio; los costos internos de inspección, reparación y desperdicio; y costos que se describen mejor como costos para la sociedad. Observe que la figura 6.4a muestra la función de la pérdida de la calidad como una curva que se incrementa a una tasa creciente. Toma la forma general de una ecuación cuadrática simple:

$$L = D^2C$$

donde  $L$  = pérdida para la sociedad  
 $D^2$  = cuadrado de la distancia al valor meta  
 $C$  = costo de la desviación en el límite de la especificación

Todas las pérdidas para la sociedad debidas al desempeño deficiente se incluyen en la función de pérdida. A menor pérdida, más deseable el producto. Cuanto más lejos se encuentra el producto del valor meta, más grave es la pérdida.

Taguchi observó que las especificaciones tradicionales orientadas al cumplimiento de especificaciones (es decir, el producto es bueno mientras caiga dentro de los límites de tolerancia) son demasiado simplistas. Como se muestra en la figura 6.4b, la calidad orientada al simple cumplimiento acepta todos los productos que están dentro de los límites de tolerancia, produciendo más unidades que están lejos de la meta. Por lo tanto, la pérdida (costo) es mayor en términos de satisfacción del cliente y beneficios para la sociedad. Por otra parte, la calidad orientada a una meta, busca mantener al producto en la especificación deseada, produciendo más (y mejores) unidades cerca de la meta. La **calidad orientada a una meta** es una filosofía de mejora continua para llevar al producto a la meta exacta.

**Calidad orientada a una meta**

Filosofía de mejora continua para colocar el producto justo en la meta.

**Conocimiento de las herramientas de TQM**

Con la finalidad de delegar autoridad en los empleados e implantar TQM como esfuerzo continuo, todos en la organización deben estar capacitados en las técnicas de TQM. En la siguiente sección nos enfocamos en algunas de las diversas y crecientes herramientas que se emplean en la cruzada de la TQM.

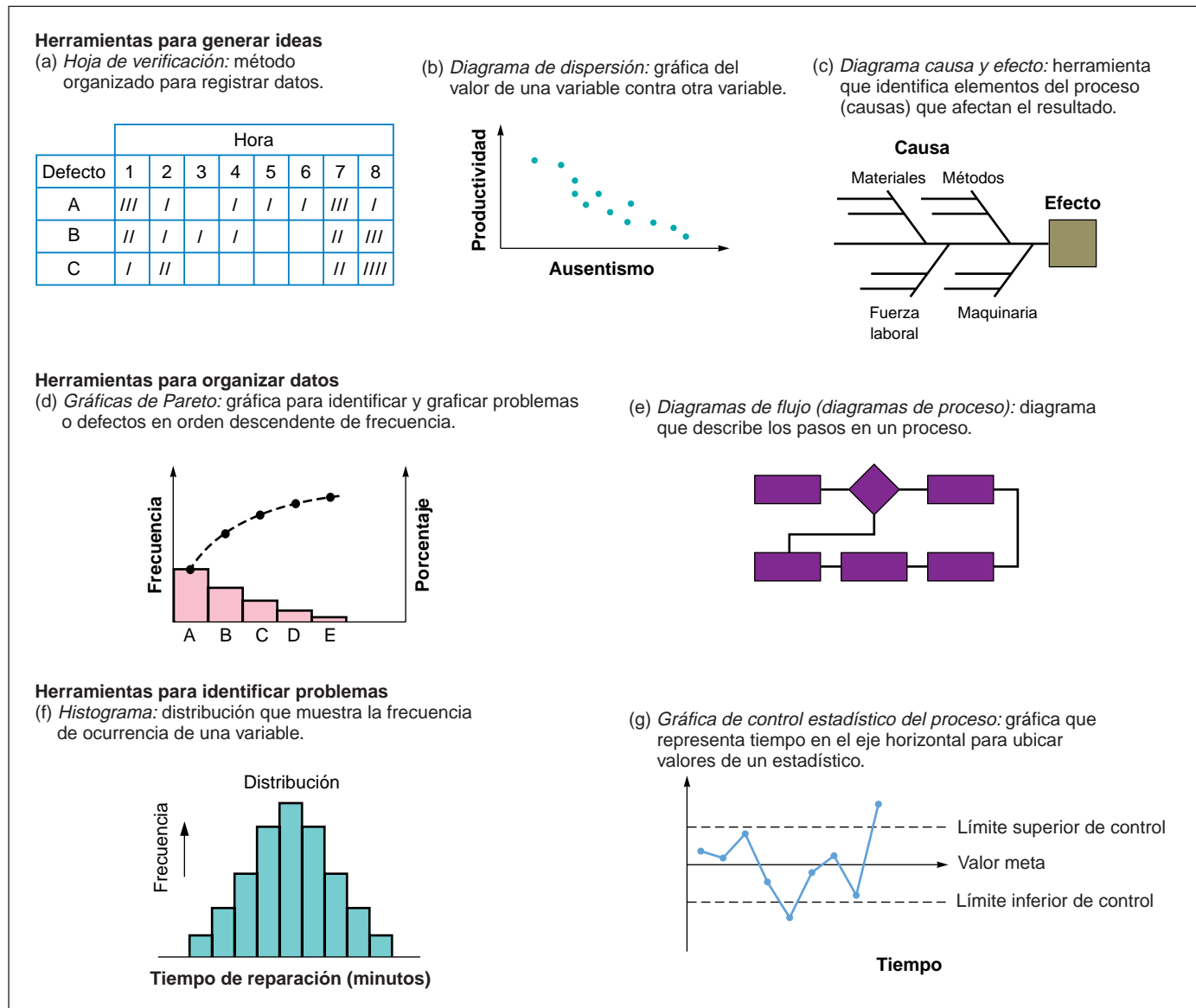


FIGURA 6.5 ■ Siete herramientas de TQM

## HERRAMIENTAS DE TQM

“La calidad nunca es un accidente; siempre es el resultado del esfuerzo inteligente”.

John Ruskin

En la figura 6.5 se muestran siete herramientas que son particularmente útiles en el esfuerzo de TQM. En seguida señalamos en qué consisten estas herramientas.

### Hojas de verificación

La hoja de verificación es cualquier tipo de formato diseñado para registrar datos. En algunos casos el registro se realiza con la finalidad de observar con facilidad los patrones mientras se toman los datos (véase la figura 6.5a). Las hojas de verificación ayudan a que los analistas encuentren hechos o patrones que puedan ayudar en análisis subsecuentes. Un ejemplo sería un dibujo que muestre las áreas donde ocurren defectos o una hoja de verificación que muestre el tipo de reclamaciones del cliente.

### Diagramas de dispersión

Los diagramas de dispersión muestran la relación entre dos medidas. Un ejemplo es la relación positiva entre la duración de una llamada de servicio y el número de veces que el encargado de reparaciones regresa al camión por partes (como se comenta en el recuadro *AO en acción* “TQM mejora el servicio de fotocopiado”). Otro ejemplo sería una gráfica de la productividad contra ausentismo que se muestra en la

# AO EN ACCIÓN

## TQM mejora el servicio de fotocopiado

En la industria de las fotocopiadoras, la tecnología en diseño de copiatoras ha nublado la distinción entre los productos de las compañías. Savin, fabricante de fotocopiadoras de la marca japonesa Ricoh Corp., considera que la ventaja competitiva debe encontrarse en el servicio y destaca el servicio al cliente en lugar de las especificaciones del producto. Robert Williams, vicepresidente de Savin, comenta: "la fortuna de una compañía está en la calidad de su servicio".

Presentamos dos formas en las que Savin reduce sus gastos mientras mejora la calidad de su servicio:

- Mediante el uso de las herramientas de TQM, Savin descubrió que una parte significativa del tiempo de atención a llamadas de servicios se desperdiciaba cuando los ingenieros regresaban al camión por refacciones. La empresa ensambló un "juego de servicio" que permite

a los ingenieros llevar a donde se encuentra el cliente las partes con mayor probabilidades de uso. Ahora los servicios son más rápidos, cuestan menos y pueden atenderse más en un día.

- El principio de Pareto de que 20% del personal causa 80% de los errores se empleó para detectar el problema de las "llamadas de segunda vez". La llamada de segunda vez significa que el trabajo no se hizo bien la primera vez y que es necesaria una segunda visita a cargo de Savin. La capacitación de sólo 11% de los ingenieros encargados de atender al cliente con la mayoría de las llamadas de segunda vez, dio como resultado una disminución de 19% de las visitas de segunda vez.

De acuerdo con Williams, "la administración de la calidad total, es un enfoque de la forma de hacer negocios que debe penetrar todos los trabajos en la industria de servicios".

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

figura 6.5b. Si los dos elementos se relacionan de manera estrecha, los datos puntuales formarán una franja bien delimitada. Si se obtiene un patrón aleatorio, los elementos no guardan relación.

### Diagrama causa y efecto

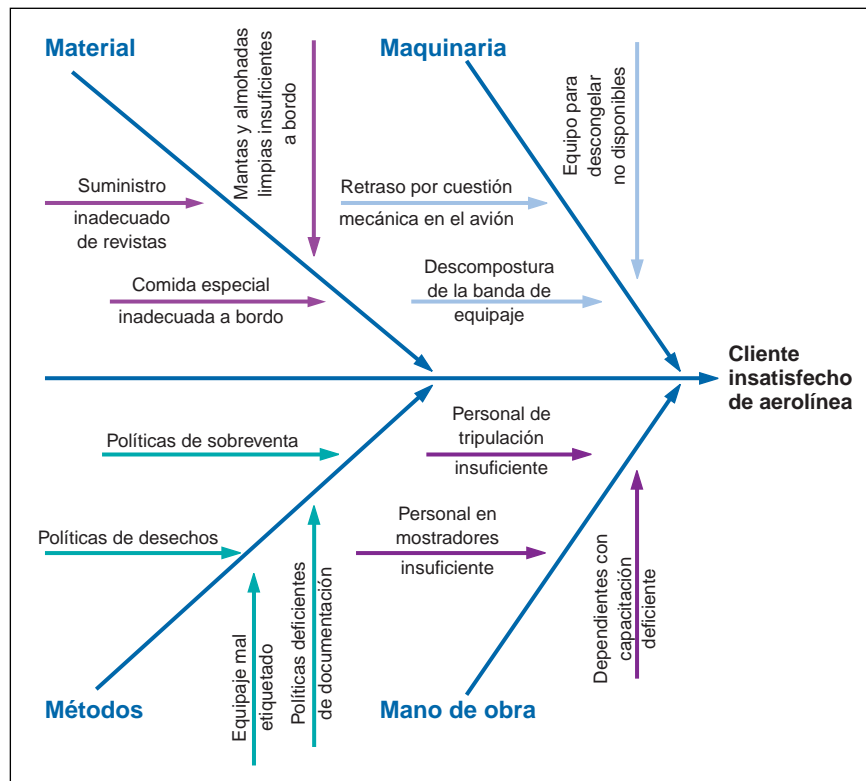
Técnica esquemática usada para descubrir posibles lugares con problemas de calidad.

### Diagramas causa y efecto

Otra herramienta para identificar problemas de calidad y puntos de inspección es el **diagrama causa y efecto**, también conocido como **diagrama de Ishikawa** o **diagrama de pescado**. La figura 6.6 ilustra un diagrama (observe que la forma es parecida al esqueleto de un pescado) para un problema cotidiano de control de calidad, un cliente insatisfecho de una aerolínea. Cada "hueso" representa una fuente posible de error.

FIGURA 6.6 ■

Diagrama de pescado (o causa y efecto) para problemas con el servicio al cliente en una aerolínea



El administrador de operaciones comienza con cuatro categorías: material, maquinaria/equipo, mano de obra y métodos. Estas cuatro “M” son las “causas” y representan una buena lista de revisión para el análisis inicial. Las causas individuales asociadas con cada categoría se enlazan como huesos separados a lo largo de esa rama, a menudo a través de una lluvia de ideas. Por ejemplo, la rama de maquinaria en la figura 6.6, tiene problemas provocados por la falta de equipo para descongelar, retrasos mecánicos y descompostura de las bandas de equipaje. Cuando las gráficas de pescado se elaboran en forma sistemática, se destacan los posibles problemas de calidad y los puntos de inspección.

### Gráficas de Pareto

#### Gráficas de Pareto

Forma gráfica de identificar los pocos elementos críticos en oposición con los muchos elementos menos importantes.

Las **gráficas de Pareto** son un método para organizar errores, problemas o defectos con el propósito de ayudar a enfocar los esfuerzos para la solución de problemas. Tienen como base el trabajo de Vilfredo Pareto, un economista del siglo XIX. Joseph M. Juran popularizó el trabajo de Pareto cuando sugirió que 80% de los problemas de una empresa son resultado de sólo 20% de las causas.

En el ejemplo 1 se indica que de los cinco tipos de quejas identificados, la vasta mayoría era de un tipo, en este caso, la deficiencia del servicio al cuarto.

### Ejemplo 1

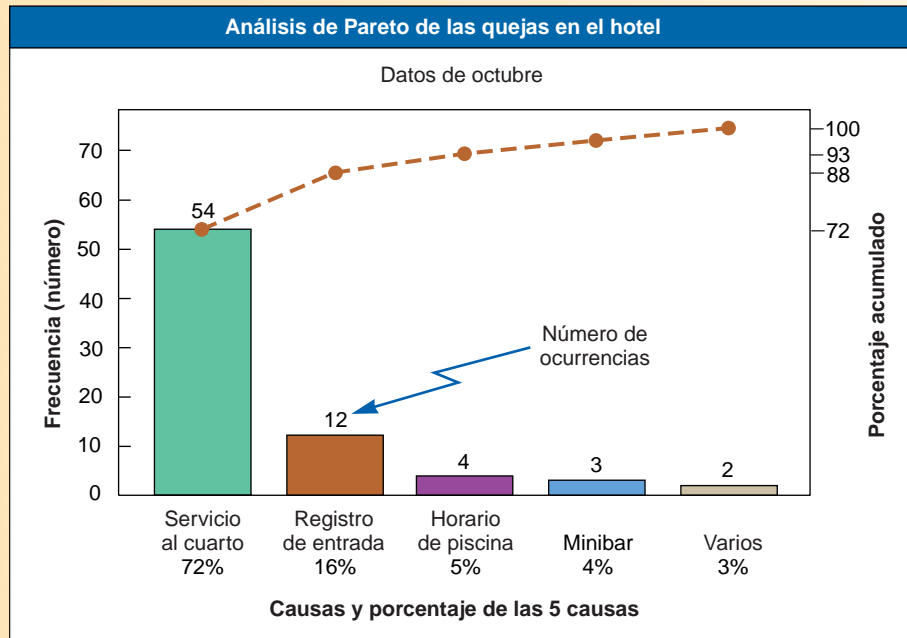
El Hard Rock Hotel en Bali recabó los datos de 75 llamadas de quejas hechas al gerente general durante el mes de octubre. El gerente decidió preparar una análisis de Pareto de ellas. De acuerdo con los datos, 54 son de servicio al cuarto; 12 de demoras en el registro de entrada; 4 sobre los horarios de la alberca; 3 de los precios del minibar, y 2 sobre aspectos varios.

La siguiente gráfica de Pareto indica que 72% de las llamadas fueron el resultado de una causa, servicio al cuarto. La mayoría de las quejas se eliminarán cuando se corrija esta causa.



#### Modelo activo 6.1

El ejemplo 1 se ilustra con más detalle en el modelo activo 6.1 del CD-ROM y en el ejercicio de la página 207.



El análisis de Pareto indica qué problemas darán el mayor pago. Pacific Bell descubrió esto cuando intentaba encontrar la forma de reducir los daños a los cables telefónicos subterráneos, la primera causa de fallas en el servicio telefónico. El análisis de Pareto mostró que la causa de 41% de los daños a los cables eran los trabajos de construcción. Con esta información, Pacific Bell pudo elaborar un plan para reducir 24% los costos en un año, lo que le significó un ahorro de \$6 millones de dólares.

### Diagramas de flujo

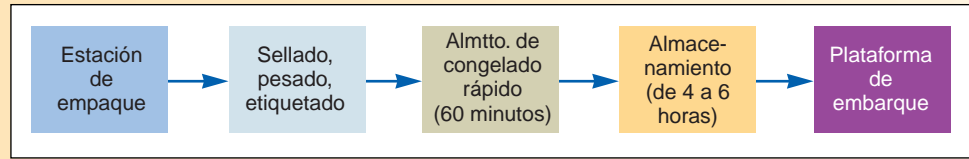
#### Diagramas de flujo

Diagramas de bloques que describen gráficamente un proceso o sistema.

Los **diagramas de flujo** representan gráficamente un proceso o sistema utilizando cuadros y líneas interconectadas (figura 6.5e). Son sencillos pero excelentes cuando se busca explicar un proceso o que tenga sentido. En el ejemplo 2 se usa un diagrama de flujo para mostrar el proceso del departamento de empaque y envío en una planta de procesamiento de carne de pollo.

## Ejemplo 2

En la planta de procesamiento de carne de pollo WJC Chicken, en Little Rock, Arkansas, desean que sus nuevos empleados entiendan mejor el proceso de empaque y embarque. Prepararon la siguiente gráfica para ayudar al nuevo programa de capacitación de empleados.



## Histogramas

Los **histogramas** muestran el intervalo de valores de una medida y la frecuencia con la que ocurre cada valor (véase la figura 6.5f). Nos muestran las lecturas que ocurren con mayor frecuencia así como las variaciones en las medidas. Es posible calcular estadísticas descriptivas, como las desviaciones promedio y estándar, para describir una distribución. No obstante, los datos siempre deben graficarse con la finalidad de “ver” la forma de la distribución. La presentación visual de la distribución también ofrece ideas sobre la causa de la variación.

## Control estadístico de procesos (SPC)

Mediante el **control estadístico de procesos (SPC, statistical process control)** es posible monitorear estándares, tomar medidas y llevar a cabo las acciones correctivas cuando el producto o servicio está en producción. Se examinan muestras de los resultados del proceso; y si se encuentran dentro de los límites aceptables, se permite que el proceso continúe. Si caen fuera de ciertos intervalos específicos, el proceso se detiene y, generalmente, se localiza y remueve la causa asignable.

Una **gráfica de control** es una presentación gráfica de los datos en el tiempo que muestra los límites inferiores y superiores para el proceso que deseamos controlar (véase la figura 6.5g). Las gráficas de control están construidas de tal forma que permiten la rápida comparación de los nuevos datos con la información del desempeño anterior. Tomamos muestras de la salida del proceso y graficamos el promedio de estas muestras en una gráfica con los límites. En una gráfica de control, los límites inferior y superior se marcan en unidades de temperatura, presión, peso, longitud, etcétera.

En la figura 6.7 se grafican los porcentajes de una muestra en una gráfica de control. Cuando el promedio de las muestras está dentro de los límites de control inferior y superior y no se presenta ningún patrón discernible, se dice que el proceso está bajo control y que sólo hay variaciones naturales. De otra forma el proceso está desajustado y fuera de control.

En el suplemento de este capítulo se detalla la forma de desarrollar diferentes tipos de gráficas de control, y se aborda también el fundamento estadístico que apoya el uso de esta importante herramienta.

## FUNCIÓN DE LA INSPECCIÓN

Para asegurar que el sistema está produciendo al nivel de calidad esperado, se requiere controlar proceso. Los mejores procesos presentan muy poca variación del estándar esperado. La tarea del administrador de operaciones es construir tales sistemas de control para verificar, a menudo por inspección, que funcionen de acuerdo con el estándar. Esta **inspección** implica medir, degustar, tocar, pesar o poner a prueba el producto (algunas veces incluso destruirlo cuando se inspecciona). Su objetivo es detectar de inmediato

### Control estadístico de procesos (SPC)

Proceso que usado para supervisar estándares, tomar medidas y llevar a cabo las acciones correctivas cuando un producto o servicio se está produciendo.

### Gráfica de control

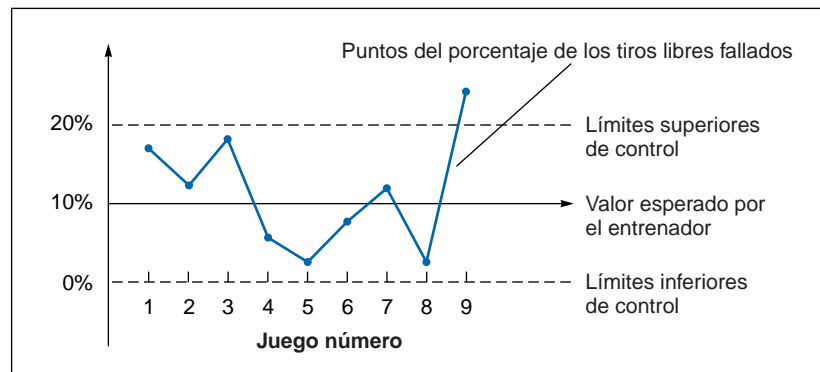
Presentaciones gráficas de los datos de un proceso en el tiempo con límites de control predeterminados.

### Inspección

Medio de asegurar que una operación está produciendo en el nivel de calidad esperado.

FIGURA 6.7 ■

Gráfica de control para los tiros libres fallados por los Toros de Chicago durante sus primeros nueve juegos de la nueva temporada



cualquier problema en el proceso. Las inspecciones no corrigen las deficiencias en un sistema ni los defectos en un producto; tampoco cambian el producto ni incrementan su valor. Las inspecciones sólo encuentran las deficiencias y defectos y son costosas.

Se debe pensar en la inspección como una auditoría; las auditorías no agregan valor al producto. Sin embargo, los administradores de operaciones, igual que los administradores financieros, necesitan las auditorías y necesitan saber cuándo y dónde auditar. Por lo tanto, existen dos aspectos básicos relacionados con la inspección: **1. cuándo inspeccionar** y **2. dónde inspeccionar**.

## Cuándo y dónde inspeccionar

Decidir dónde y cuándo inspeccionar depende del tipo de proceso y el valor agregado en cada etapa. Las inspecciones (auditorías) se llevan a cabo en cualquiera de los siguientes puntos:

1. En la planta de su proveedor mientras el proveedor está produciendo.
2. En sus instalaciones al recibir los bienes de su proveedor.
3. Antes de procesos costosos o irreversibles.
4. Durante un proceso de producción paso a paso.
5. Cuando la producción o servicio se completen.
6. Antes de entregar en sus instalaciones.
7. En el punto de contacto con el cliente.

Uno de los temas en nuestro análisis de la calidad es que “la calidad no se puede inspeccionar dentro de un producto”.

Las siete herramientas de TQM analizadas en la sección previa ayudan en esta decisión de “cuándo y dónde inspeccionar”. Sin embargo, la inspección no sustituye un producto robusto producido por empleados bien capacitados a través de un buen proceso. En un experimento realizado por una empresa de investigación independiente, se agregaron cien piezas defectuosas a un lote de artículos “perfecto” y fueron sometidas a una inspección de 100%.<sup>10</sup> Los inspectores encontraron sólo 68 de las piezas defectuosas en la primera inspección. Sólo después de tres revisiones los inspectores encontraron los siguientes 30 defectos. Los últimos dos defectos nunca se encontraron. La conclusión es que lo importante es saber que en el proceso de inspección hay variabilidad. Además, los inspectores son seres humanos: se cansan, se aburren y el propio equipo de inspección tiene variabilidad. Incluso en una inspección de 100% los inspectores no pueden garantizar la perfección. En consecuencia, los buenos procesos y la delegación de autoridad en los empleados son casi siempre una mejor solución que tratar de encontrar los defectos mediante la inspección.

Por ejemplo, en Velcro Industries, como en muchas organizaciones, los operarios de las máquinas veían a la calidad como el trabajo de “aquellas personas del departamento de calidad”. Las inspecciones tenían como base el muestreo aleatorio y si una parte se veía mal se eliminaba; la compañía decidió poner más atención en los operarios, la reparación y el diseño de maquinaria, los métodos de medición, la comunicación y las responsabilidades, así como invertir más dinero en capacitación. Con el paso del tiempo conforme disminuyeron los defectos, Velcro pudo eliminar a la mitad de las personas de control de calidad que intervenían en el proceso.

## Inspección de la fuente

La mejor inspección se piensa como no inspeccionar; esta “inspección” siempre se realiza en la fuente, sólo significa hacer el trabajo de manera apropiada con el operario asegurando que así se haga. A esto se le llama **inspección de la fuente** (o control de la fuente) y es congruente con el concepto de delegación de autoridad, donde cada empleado supervisa su propio trabajo. La idea es que cada proveedor, proceso y empleado *trate el siguiente paso en el proceso como si fuera el cliente*, para asegurar un producto perfecto al siguiente “cliente”. Esta inspección se apoya con listas de revisión y controles tales como el mecanismo libre de fallas denominado *poka-yoke*, término tomado del japonés.

El **poka-yoke** es un dispositivo a prueba de tontos o técnica que asegura la producción de unidades buenas todo el tiempo.<sup>11</sup> Estos dispositivos especiales evitan errores y proporcionan retroalimentación sobre los problemas. Un ejemplo sencillo de un mecanismo poka-yoke es la pistola de la bomba de gasolina con plomo que no entra en la boca del tanque de gasolina “sin plomo” de su coche. En McDonald’s el cucharón de las papas fritas y la bolsa de tamaño estándar usados para medir la cantidad exacta son poka-yokes. Del mismo modo, en un hospital, el preempacado de material quirúrgico que contiene exactamente los artículos necesarios para una operación es un dispositivo poka-yoke. Las listas de verificación son otro tipo de poka-yoke. La idea de la inspección de la fuente y poka-yokes es asegurar la entrega de 100% de productos o servicios buenos en cada paso del proceso.

### Inspección de la fuente

Control y supervisión en el punto de producción o venta, en la fuente.

### Poka-yoke

Traducido literalmente “a prueba de tontos” ha empezado a significar un mecanismo o técnica para asegurar la producción de una unidad cada vez con menos defectos.

<sup>10</sup>Statistical Quality Control (Springfield, MA: Nonsanto Chemical Company, n.d.): 19.

<sup>11</sup>Encuentra un análisis más profundo en Alan Robinson, *Modern Approaches to Management Improvement: The Singo System* (Cambridge, MA: Productivity Press, 1990).



*El análisis de los buenos métodos y las herramientas apropiadas puede dar como resultado dispositivos poka-yokes que mejoren la calidad y la velocidad. Aquí, se observan dos poka-yokes. Primera, el cucharón de aluminio automáticamente coloca las papas fritas en forma vertical y, segunda, el contenedor de tamaño adecuado asegura que la porción servida sea la correcta. Esta combinación también acelera la entrega y garantiza que las papas fritas se sirvan justo como el cliente las solicita.*



### Inspección en la industria del servicio

En las organizaciones orientadas al *servicio*, los puntos de inspección se asignan en una amplia variedad de lugares, como se ilustra en la tabla. 6.3. De nuevo el administrador de operaciones debe decidir dónde se justifican las inspecciones y dónde son útiles las siete herramientas de TQM al elaborar estos juicios.

### Inspección por atributos contra variables

Cuando se lleva acabo la inspección, las características de calidad se miden como *atributos* o *variables*. La **inspección por atributos** clasifican los artículos en buenos y defectuosos. No hace caso del *grado* de la falla. Por ejemplo, el foco enciende o no. La **inspección por variables** mide dimensiones como, peso, velocidad, altura, o fuerza para ver si un artículo cae dentro del intervalo aceptable. Si se supone una pieza de alambre eléctrico tiene un diámetro de 0.01 pulgadas, suele utilizarse un micrómetro para observar si el producto se acerca lo suficiente para pasar la inspección.

Saber si se inspeccionan atributos o variables ayuda a decidir qué enfoque de control estadístico de la calidad se debe tomar, como se observará en el suplemento de este capítulo.

#### Inspección por atributos

Verificación que clasifica los artículos como buenos o defectuosos.

#### Inspección por variables

Clasificación de los artículos inspeccionados como si cayeran en una escala continua de dimensión, tamaño o fuerza.

**TABLA 6.3 ■**

Ejemplos de inspección en los servicios

ORGANIZACIÓN	LO QUE SE INSPECCIONA	ESTÁNDAR
Despacho de abogados de Jones	Desempeño de recepcionista Facturación Abogado	Contestar el teléfono al segundo timbre Precisa, oportuna y en el formato correcto Rapidez en regresar llamadas
Hotel Hard Rock	Recepción en mostrador Portero Habitación Minibar	Empleo del nombre del cliente Dar la bienvenida al huésped antes de 30 segundos Todas las luces funcionando, baño perfectamente limpio Resurtido y los cargos reflejados con precisión en la factura
Bayfield Community Hospital	Facturación Farmacia Laboratorio Enfermeras Admisiones	Precisa, oportuna y en el formato correcto Precisión en prescripciones e inventario Auditoría para prueba de precisión de laboratorio Actualización inmediata del expediente clínico Introducción de datos correcta y completa
Hard Rock Cafe	Ayudante de camarero Ayudante de camarero  Meseros	Servir agua y pan en 1 minuto Retirar todos los artículos de comida y limpiar migajas antes del postre Conocer y sugerir los platos especiales y postres
Tienda departamental Nordstrom	Áreas de exhibición Almacén Cajeras	Atractivas, bien organizadas, surtidas, buena iluminación Rotación de productos, organizados, limpios Pulcras, corteses y muy conocedoras

## TQM EN LOS SERVICIOS

El componente subjetivo de los servicios es más difícil de medir que la calidad de un componente tangible. Casi siempre, el usuario de un servicio, como el usuario de un bien, tiene en mente características que forman una base para comparar entre las alternativas. La carencia de cualquier característica evitaría que el servicio sea sujeto de mayores consideraciones. La calidad también se percibe como un conjunto de atributos donde muchas de las características menores son superiores a las de la competencia. Este enfoque de la comparación del producto difiere un poco entre bienes y servicios. Sin embargo, lo que es muy diferente sobre la selección de los servicios es la escasa definición de las **1. diferencias intangibles entre productos** y **2. las expectativas intangibles del cliente sobre dichos productos**.<sup>12</sup> En realidad, los atributos intangibles tal vez ni siquiera estén definidos. A menudo existen imágenes no habladas en la mente del comprador. Por estos aspectos de marketing como publicidad, imagen y promoción llegan a establecer una diferencia.

El administrador de operaciones juega un papel significativo al abordar varios aspectos importantes de la calidad en el servicio. Primero, *el componente tangible de muchos servicios es importante*. Lo bien o mal que se haya diseñado y producido un servicio establece una diferencia. Puede tratarse de la precisión, la claridad, o que estén todos los elementos incluidos en la factura de un hotel, qué tan caliente se sirve la comida en Taco Bell o qué tan bien responde su automóvil después de recogerlo del taller.

Segundo, otro aspecto del servicio y la calidad en el servicio es el proceso. Observe en la tabla 6.4 que nueve de diez de las determinantes de calidad en el servicio se relacionan con los *procesos del servicio*. Aspectos como la confiabilidad y la cortesía son parte del proceso. El administrador de operaciones *diseña procesos (productos de servicio) que tengan estos atributos* y aseguren su calidad a través de las técnicas de TQM analizadas en este capítulo.

Tercero, el administrador de operaciones debe tomar en cuenta que las expectativas del cliente son el estándar contra el cual se juzga el servicio. Las percepciones del cliente sobre la calidad en el servicio son el resultado de la comparación entre sus expectativas antes del servicio y su experiencia real del servicio. En otras palabras, la calidad en el servicio se juzga con base en el cumplimiento de las expectativas. *El administrador influye tanto en la calidad del servicio como en las expectativas*. No prometa más de lo que sea capaz de dar.

Cuarto. El administrador debe esperar excepciones. Hay un nivel estándar de calidad al cual se entrega el servicio en forma regular, como el manejo de una transacción por parte de la cajera de un banco. No obstante, “hay excepciones” o “problemas” iniciados por el cliente o por condiciones de operación inferiores a las óptimas (por ejemplo, se descompone la computadora). Esto implica que el sistema de control de la calidad debe reconocer y *contar con un conjunto de planes alternativos para las condiciones de operación inferiores a lo óptimo*.

**TABLA 6.4 ■**

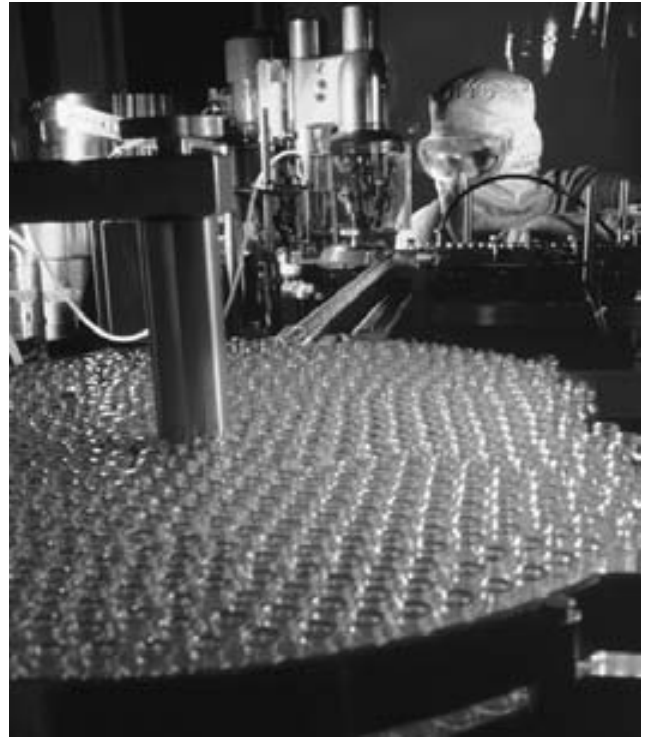
Factores determinantes de la calidad en el servicio

<b>Confiabilidad</b> implica la congruencia entre el desempeño y la seguridad. Significa que la empresa ejecuta bien el servicio la primera vez y que la empresa cumple sus promesas.
<b>Respuesta</b> se refiere a la voluntad y la prontitud con que los empleados prestan el servicio. Implica tiempos límite del servicio.
<b>Competencia</b> significa que se poseen las destrezas o el conocimiento requerido para desempeñar el servicio.
<b>Accesibilidad</b> supone la capacidad de acercarse y establecer contacto.
<b>Cortesía</b> incluye gentileza, respeto, consideración, trato amable del personal de atención al público (repcionista, operadores de teléfono, etcétera).
<b>Comunicación</b> significa tener informado al cliente en un lenguaje que pueda comprender así como escucharlos. Esto significaría que la compañía necesite ajustar su lenguaje para diferentes clientes; aumentando el nivel de sofisticación con el cliente bien educado y hablando de manera simple y llana con el cliente común.
<b>Credibilidad</b> quiere decir confianza, credibilidad y honestidad. Involucra realmente tener en cuenta los intereses del cliente.
<b>Seguridad</b> es estar libre de peligro riesgo o duda.
<b>Comprensión o conocimiento del cliente</b> implica hacer el esfuerzo por comprender las necesidades del cliente. Los aspectos <b>tangibles</b> incluyen la evidencia física del servicio.

Fuente: Condensado con autorización del *Journal of Marketing*, publicado por la American Marketing Association de A. Parasuraman, Valarie A. Zeithaml y Leonard L. Berry (otoño de 1985): 44.

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

*El diseño del proceso de alta calidad para el llenado de estos frascos farmacéuticos, en condiciones de esterilidad, es mucho más fructificante que tener a un inspector para que evalúe el conteo de bacterias en los frascos llenos como resultado de un sistema deficiente. Los sistemas de buena calidad se enfocan en procesos de calidad y no en inspecciones después de los hechos.*



Diseñar el producto, administrar el proceso de servicio, igualar las expectativas del cliente con el producto y preparar las excepciones son claves para la calidad en los servicios. El recuadro *AO en acción*, “Espías de Richey International”, proporciona otra visión de cómo los administradores de operaciones mejoran la calidad en los servicios.

## AO EN ACCIÓN

### Espías de Richey International

¿Cómo mantienen su calidad los hoteles de lujo? Inspeccionan. Pero, cuando el producto es un servicio uno a uno, que depende en gran medida del comportamiento personal, ¿cómo realizar la inspección? ¡Contratando espías!

Richey International es el espía. Tanto los hoteles selectos y centros vacacionales como las cadenas intercontinentales en todo el mundo han contratado a Richey para evaluar su calidad a través del espionaje. Los empleados de Richey, haciéndose pasar por clientes, realizan la inspección. Sin embargo, la administración debe haber establecido las expectativas del cliente y los servicios específicos que llevan a la satisfacción del cliente. Sólo entonces los administradores de operaciones sabrán dónde y cómo inspeccionar. La capacitación rigurosa y las inspecciones objetivas refuerzan los comportamientos capaces de satisfacer las expectativas del cliente.

Los hoteles contratan a los inspectores disfrazados de Richey para asegurar su desempeño en estándares exigentes. Los hoteles no saben cuándo se llevará a cabo una evaluación ni los “alias” que se usarán. Se evalúan más de 50 estándares distintos antes de que los inspectores lleguen

siquiera a registrarse en un hotel de lujo. Durante las siguientes 24 horas y usando listas de revisión, grabaciones en video y fotografías, preparan por escrito los informes e incluyen la evaluación de estándares como:

- ¿El portero da la bienvenida a cada huésped en menos de 30 segundos?
- ¿El encargado del mostrador principal usa el nombre del huésped mientras se registra?
- ¿Están la tina y la regadera impecables?
- ¿Cuántos minutos pasan desde que el cliente se sienta a desayunar hasta que se le sirve un café?
- ¿El mesero estableció contacto visual con el cliente?
- ¿Se facturaron de manera correcta los cargos por minibar?

Estándares establecidos, capacitación rigurosa e inspecciones son parte del esfuerzo de TQM en estos hoteles. La calidad no ocurre por accidente.

Fuentes: *The Wall Street Journal* (12 de mayo de 1999): B1, B12; y *Forbes* (5 de octubre de 1998): 88-89.

## RESUMEN

*Calidad* es un término que significa distintas cosas para diferentes personas. En este capítulo se define como “la totalidad de aspectos y características de un producto o servicio que respaldan su capacidad para satisfacer las necesidades establecidas o implícitas”. La definición de las expectativas de calidad es crucial para las operaciones eficaces y eficientes.

La calidad requiere la construcción de un entorno de administración de la calidad total (TQM), porque la calidad no se puede inspeccionar en un producto. El capítulo también analiza seis conceptos de TQM: mejora continua, delegación de autoridad en empleados, punto de comparación, justo a tiempo, conceptos de Taguchi y el conocimiento de las herramientas de TQM. Las siete herramientas de TQM que se tratan en este capítulo son hojas de verificación, diagramas de dispersión, diagramas causa y efecto, gráficas de Pareto, diagramas de flujo, histogramas y control estadístico de procesos (SPC).

## TÉRMINOS CLAVE

Calidad (p. 190)	Calidad orientada a una meta (p. 197)
Costo de la calidad (COQ) (p. 192)	Diagrama causa-efecto, diagrama de Ishikawa o diagrama de pescado (p. 199)
ISO 9000 (p. 192)	Gráficas de Pareto (p. 200)
ISO 14000 (p. 193)	Diagramas de flujo (p. 200)
Administración de la calidad total (TQM) (p. 193)	Control estadístico de procesos (SPC) (p. 201)
PHRA (p. 194)	Gráfica de control (p. 201)
<i>Kaizen</i> (p. 194)	Inspección (p. 201)
Six sigma (p. 194)	Inspección de la fuente (p. 202)
Delegación de autoridad en los empleados (p. 194)	Poka-yoke (p. 202)
Círculo de calidad (p. 195)	Inspección por atributos (p. 203)
Punto de comparación (p. 195)	Inspección por variables (p. 203)
Calidad robusta (p. 197)	
Función de pérdida de calidad (QLF) (p. 197)	

## EJERCICIOS EN INTERNET Y EL CD-ROM DEL ESTUDIANTE

Visite nuestra página Web o use el CD-ROM del estudiante como ayuda con el material de este capítulo.



En nuestra página Web, [www.pearsoneducacion.net/heizer](http://www.pearsoneducacion.net/heizer)

- Autoevaluaciones
- Problemas de práctica
- Ejercicios en Internet
- Artículos e investigación actuales
- Recorrido virtual por una compañía
- Problemas de tarea en Internet
- Casos en Internet



En su CD-ROM del estudiante

- Exposición en Power Point
- Problemas de práctica
- Video clips y caso en video
- Ejercicio de Modelo activo



## PREGUNTAS PARA ANALIZAR

1. Explique de qué forma una mejor calidad bajaría los costos.
2. Como un ejercicio en Internet, determine el criterio del premio Baldrige. Visite el sitio [www.quality.nist.gov](http://www.quality.nist.gov).
3. ¿De los 14 puntos de Deming, cuáles son los tres que considera más importantes para el éxito de un programa TQM? ¿Por qué?
4. Enumere los seis conceptos necesarios para un programa de TQM efectivo. ¿Cómo se relacionan con los 14 puntos de Deming?
5. Mencione tres personas importantes asociadas con los conceptos de calidad estudiados en este capítulo. En cada caso, escriba una frase que resuma la contribución principal de cada uno al campo de la administración de la calidad.
6. ¿Cuáles son las siete herramientas de TQM?
7. ¿De qué forma el temor en el lugar de trabajo (y en el salón de clases) inhibe el aprendizaje?
8. ¿De qué forma una universidad controla la calidad de sus resultados (es decir sus alumnos graduados)?
9. Philip Crosby sugirió que la calidad es gratuita. ¿Por qué?
10. Enumere los tres conceptos centrales del enfoque Taguchi.
11. ¿Cuál es el propósito de usar una gráfica de Pareto para un problema determinado?
12. ¿Cuáles son las cuatro categorías amplias de “causas” que ayudan a la estructura inicial de un diagrama de Ishikawa o diagrama de causa y efecto?

- 13. De los diversos puntos donde puede ser necesaria la inspección, ¿cuáles se aplican especialmente bien en la manufactura?
- 14. ¿Qué papel desempeñan los administradores de operaciones en la orientación de los aspectos principales de la calidad del servicio?

- 15. Explique con sus propias palabras qué significa *inspección de la fuente*.
- 16. ¿Cuáles son los diez factores determinantes de la calidad en el servicio?
- 17. Mencione algunos productos que no requieran alta calidad.
- 18. ¿Qué significa la fórmula  $L = D^2C$ ?

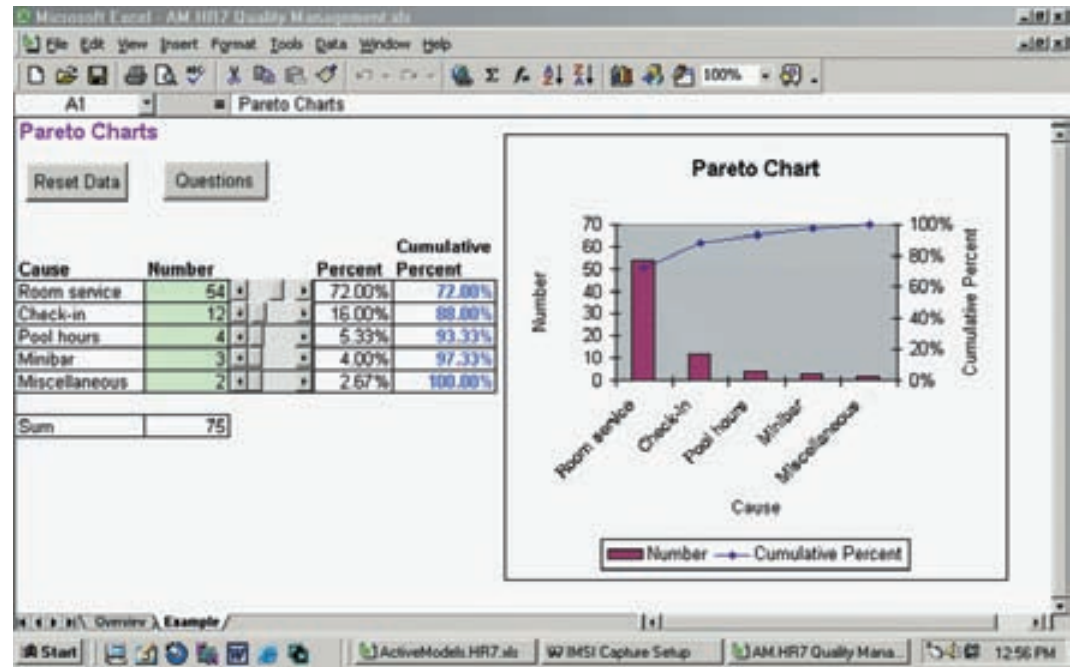
## EJERCICIO DE RAZONAMIENTO CRÍTICO

En este capítulo sugerimos que la integración de la calidad en un proceso y las personas que intervienen en él es difícil. Las inspecciones también son difíciles. Sólo para indicar qué tan difíciles son las inspecciones, cuente el número de letras E (mayúsculas y minúsculas) que hay en el recuadro AO

en acción, “Espías de Richey International” (incluido el título pero no el pie de página. ¿Cuántas encontró? Si cada estudiante las cuenta individualmente, lo más seguro es que usted encuentre una distribución más que un solo número.

## EJERCICIO DEL MODELO ACTIVO

Este Modelo activo aparece en su CD-ROM. Le permite evaluar elementos importantes de la gráfica de Pareto.



### MODELO ACTIVO 6.1 ■

Análisis de Pareto de los datos del hotel en el ejemplo 1

### Preguntas

- 1. ¿Qué porcentaje de defectos globales representan las reclamaciones del servicio al cuarto?
- 2. Si pudiéramos reducir las reclamaciones del servicio al cuarto a la mitad, ¿cómo afectaría esto la gráfica?

## PROBLEMAS

- 6.1 Desarrolle un análisis de Pareto sobre las siguientes causas de demora en el proceso de producción de Lument Technology. ¿Cuál es su conclusión?

RAZÓN DEL RETRASO	FRECUENCIA
Esperar la decisión de los ingenieros	11
No se dispone de esquemas	10
Equipo de pruebas descompuesto	22
Demora en la inspección	15
Partes inadecuadas	40
Falta de personal disponible	3

- 6.2 Desarrolle un diagrama de dispersión para dos variables de interés (por ejemplo, las páginas de un periódico por día de la semana; véase el ejemplo en la figura 6.5b).
- 6.3 Desarrolle un análisis de Pareto para las siguientes causas de bajas calificaciones en un examen:

RAZONES DE BAJA CALIFICACIÓN	FRECUENCIA
Tiempo insuficiente para terminar	15
Retraso para llegar al examen	7
Dificultad para comprender el material	25
Tiempo insuficiente de preparación	2
Estudio del material equivocado	2
Distracciones en el aula de examen	9
Se acabaron las baterías de la calculadora durante el examen	1
Olvido de la fecha del examen	3
Sentirse enfermo durante el examen	4

- 6.4 Desarrolle un histograma para el tiempo que les llevó a usted y sus amigos, obtener seis órdenes recientes en un restaurante de comida rápida.
- : 6.5 Observe la operación de una ventanilla de pedidos de un restaurante de comida rápida fuera de las horas pico. Registre cada vez que llega un coche a la ventanilla de pedidos o al final de la línea de espera. Anote también el número de personas que van en el vehículo. Después registre el tiempo de recorrido completo del auto (tiempo entre llegada y salida). (Incluya 30 o más vehículos en su estudio.)  
Con estos datos, construya un diagrama de dispersión de las dos variables: número de ocupantes en cada vehículo y tiempo de recorrido total. Use a los ocupantes como variable X. ¿Parece haber alguna relación entre las dos variables?
- : 6.6 Elabore un diagrama de flujo (como en la figura 6.5e y el ejemplo 2) que muestre todos los pasos que implica la planeación de una fiesta.
- : 6.7 Considere los tipos de malos hábitos de manejo que puedan ocurrir en un semáforo. Elabore una lista con los diez que usted cree que tienen mayor probabilidad de ocurrir. Agregue la categoría “otro” a su lista.
  - a) Elabore una hoja de verificación (como en la figura 6.5a) para registrar la frecuencia de ocurrencia de estos hábitos. Con su hoja de verificación, acuda al cruce de dos calles muy transitadas, cuatro horas distintas del día, dos de esas horas deben ser de mucho tráfico (entrada al trabajo, salida a comer). Durante 15 o 20 minutos en cada visita observe la frecuencia con que ocurren los hábitos de su lista.
  - b) Construya una gráfica de Pareto que muestre la frecuencia relativa de ocurrencia de cada hábito.
- : 6.8 Dibuje un diagrama de pescado con detalles de las razones por las que un tornillo podría no estar bien ajustado a una tuerca en una línea de ensamble.
- : 6.9 Considere la tarea cotidiana de llegar a tiempo al trabajo o llegar a tiempo a la primera clase de la mañana. Dibuje un diagrama de pescado que muestre las razones por las que podría llegar tarde en las mañanas.
- : 6.10 Construya un diagrama de causa y efecto que refleje el siguiente enunciado: “los estudiantes están insatisfechos con los procesos de inscripción”. use el método de las “4 M” o genere su propio esquema de organización. Incluya cuando menos 12 causas.
- : 6.11 Dibuje un diagrama de pescado para describir las razones que podrían dar lugar a que su cuenta muestre una cuota equivocada cuando llega a pagar su inscripción a la escuela.
- : 6.12 Mary Beth Marrs, gerente de un complejo de departamentos, se siente abrumada por el número de reclamaciones que está recibiendo. La tabla presenta la hoja de verificación que registró durante las últimas 12 semanas. Desarrolle una gráfica de Pareto con esta información. ¿Cuáles son sus recomendaciones?

SEMANA	JARDINES	EST./ ENTRADAS	ALBERCA	PROB. DE INQUILINOS	ELECTRICIDAD/ PLOMERÍA
1	✓✓✓	✓	✓	✓✓✓	
2	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓	✓
3	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓	
4	✓	✓✓✓✓	✓	✓	✓✓
5	✓✓	✓✓✓✓	✓✓✓✓	✓✓	
6	✓	✓✓✓✓	✓✓	✓✓	
7		✓✓✓	✓✓	✓✓	
8	✓	✓✓✓✓✓	✓✓	✓✓✓	✓
9	✓	✓✓	✓		
10	✓	✓✓✓✓	✓✓	✓✓	
11		✓✓✓	✓✓	✓	
12	✓✓	✓✓✓	✓✓✓	✓	

- 6.13 Emplee el análisis de Pareto para investigar los datos recolectados en la línea de ensamble de tarjetas de circuitos impresos.
- Prepare una gráfica con los datos.
  - ¿A qué conclusiones llegó?

DEFECTO	NÚM. DE OCURRENCIAS DEL DEFECTO
Los componentes no se adhieren	143
Exceso de adhesivo	71
Transistores mal ubicados	601
Dimensión defectuosa de la tarjeta	146
Perforaciones de montaje en posición incorrecta	12
Problemas de circuito en la prueba final	90
Componente equivocado	212

- 6.14 Un taller de reparación de automóviles registró las siguientes reclamaciones. Úselas para preparar un diagrama de causa y efecto con base en las “4 M” (es decir, etiquete el diagrama y coloque cada reclamación en la rama correspondiente).
- Cobró de más; sus tarifas de mano de obra son demasiado altas.
  - El mecánico dejó engrasado el asiento del conductor.
  - Desearía que se pudieran hacer citas para servicio y reparaciones.
  - No terminaron mi carro cuando lo prometieron.
  - La parte que reemplazaron falló.
  - La refacción no es tan buena como la parte original.
  - No apretaron bien el tapón del aceite, está goteando.
  - Mi problema es sencillo y fácil de arreglar. ¿Por qué no se hacen cargo de él ahora mismo y dejan para después las reparaciones que llevan más tiempo?
  - La estimación de su presupuesto estaba muy lejos de la realidad.
  - Traje mi automóvil para un simple cambio de aceite, pero ustedes hicieron eso y también una afinación completa.
  - Su mecánico sólo cambia partes, no tiene la menor idea de lo que le pasa a mi coche.
  - No creo que su computadora de diagnóstico esté funcionando bien.
  - Me cobraron por un trabajo que no hicieron.

- 6.15 Desarrolle un diagrama de flujo para una de las siguientes situaciones:
- Llenado del tanque de gasolina en una estación de autoservicio.
  - Determinar el balance de su cuenta y realizar un retiro en un cajero automático.
  - Recibir un cono de helado de yogurt en una nevería.

- 6.16 Southwest Wood Treating ha recibido muchas reclamaciones de su cliente principal, Home Station, por la calidad de sus embarques de productos tratados a presión. Rick Summers, gerente de la planta, está preocupado porque un cliente le proporcionó la única información con que cuenta la compañía sobre la calidad de sus embarques. Decidió recabar información de los embarques defectuosos mediante un formato que los choferes deben llenar al llegar a las tiendas de sus clientes. Se ha recibido los formatos de los primeros 284 embarques registrados, y muestran los siguientes datos de las últimas ocho semanas:

SEMANA	NÚM. DE EMBARQUES	NÚM. DE EMBARQUES CON DEFECTO	RAZÓN DE EMBARQUE DEFECTUOSO			
			NOTA DE EMBARQUE EQUIVOCADA	CARGA EN CAMIÓN EQUIVOCADO	PRODUCTO DAÑADO	RETRASO DE CAMIONES
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

Si bien Rick incrementó su capacidad agregando más trabajadores a su contingente normal de 30 personas, sabía bien que durante muchas semanas había superado el resultado normal de 30 embarques a la semana. Una revisión de su rotación durante las ocho semanas muestra lo siguiente:

SEMANA	NÚM. DE NUEVOS CONTRATADOS	NÚM. DE CONT. CANCELADOS	NÚM. 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

- a) Desarrolle un diagrama de dispersión usando el número total de embarques y el número de embarques defectuosos. ¿Parece haber alguna relación?
- b) Desarrolle un diagrama de dispersión con la variable “rotación” (número de nuevos contratados más el número de contratos terminados) y el número de embarques defectuosos. ¿Considera que el diagrama describe alguna relación entre las dos variables?
- c) Desarrolle una gráfica de Pareto para el tipo de defectos que han ocurrido.
- d) Dibuje un diagrama de pescado que muestre las posibles causas de los embarques defectuosos.



**PROBLEMAS DE TAREA EN INTERNET**

Visite nuestra página en Internet en [www.pearsoneducacion.net/heizer](http://www.pearsoneducacion.net/heizer) para ver los siguientes problemas adicionales de tarea: del 6.17 al 6.20.

**CASO DE ESTUDIO**

**Southwestern University: (C) \***

La popularidad del programa de fútbol de Southwestern University ha resurgido cada año desde la llegada de su nuevo entrenador Bo Piterno, hace cinco años, al colegio de Stephenville, Texas. (Véase Southwestern University: (A) en el capítulo 3 y (B) en el capítulo 4.) Con el estadio de Southwestern cerrado por la ampliación a 54,000 asientos y la presión del entrenador para que terminen el nuevo estadio, el presidente de SWU, Joel Wisner, enfrenta varias decisiones difíciles. Después de lograr la victoria sobre su archienemigo, la University of Texas, en el partido de bienvenida el otoño pasado, el doctor Wisner no está tan contento como se esperaría. En lugar de recibir el entusiasmo de ex alumnos, estudiantes, docentes y la comunidad, todo lo que Wisner escuchó fueron reclamos. “Las colas en los locales de los concesionarios eran demasiado largas”, “fue más difícil encontrar estacionamiento y estuvo más lejos que

en los años anteriores” (es decir, antes de que el equipo ganara con regularidad), “los asientos no eran cómodos”, “el tráfico llegaba hasta la mitad del camino a Dallas”, etcétera. “El presidente de una universidad simplemente no gana”, se decía a sí mismo Wisner.

Durante la reunión con su personal el siguiente lunes, Wisner se dirigió a su vicepresidente de administración, Leslie Gardner: “desearía que usted se hiciera cargo de las reclamaciones del futbol, Leslie. Vea cuáles son los *verdaderos* problemas e infórmeme cómo piensa resolverlos”. La petición no pareció sorprender a Gardner, “ya empecé a estudiarlo, Joel”, respondió. “Hemos estado encuestando a 50 seguidores por juego durante el último año para saber qué es lo que piensan. Todo esto es parte del esfuerzo de TQM en todo el campus. Sólo permíteme revisar unas cuantas cosas y me pondré en contacto la próxima semana.”

Al regresar a su oficina, Gardner tomó el fólder que su asistente había compilado (tabla 6.5), lo revisó y pensó, “hay muchísima información aquí”.

**TABLA 6.5**

Resultados de la encuesta sobre satisfacción de los seguidores (N = 250)		CALIFICACIÓN GENERAL				
		A	B	C	D	E
<b>DÍA DE JUEGO</b>	A. Estacionamiento	90	105	45	5	5
	B. Tráfico	50	85	48	52	15
	C. Asientos	45	30	115	35	25
	D. Entretenimiento	160	35	26	10	19
	E. Programa impreso	66	34	98	22	30
<b>BOLETOS</b>	A. Precios	105	104	16	15	10
	B. Abonos por temporada	75	80	54	41	0
<b>CONCESIONES</b>	A. Precios	16	116	58	58	2
	B. Opciones de comida	155	60	24	11	0
	C. Rapidez del servicio	35	45	46	48	76
<b>ENTREVISTADOS</b>						
	Ex alumnos	113				
	Estudiantes	83				
	Docentes/administrativos	16				
	Ninguno de los anteriores	38				



**COMENTARIOS LIBRES EN TARJETAS DE ENCUESTA:**

El estacionamiento es un lío	Las colas están tremendas	Me tomó una hora estacionarme
Agreguen palcos	Los asientos son incómodos	El entrenador es maravilloso
Consigan mejores porristas	Yo pagaría más por ver mejor	Pongan más bebederos
Dupliquen los encargados del estacionamiento	Hagan un nuevo estadio	Mejoren los asientos
Todo está bien	Los estudiantes necesitan un código de vestuario	Los asientos son incómodos
Demasiado lleno	Quiero asientos acojinados	Agranden el estacionamiento
Asientos muy angostos	No hay suficiente policía	Soy demasiado viejo para los asientos de banca
Buena comida	Estudiantes demasiado rudos	No sirven café durante el juego
¡Joe P. para presidente!	El estacionamiento es terrible	Mi compañía va a comprar un palco ¡constrúyanlo!
Olí que alguien fumaba droga	Los baños no estaban limpios	Programas muy caros
El estadio es muy viejo	No hay suficientes espacios para discapacitados en el estacionamiento	Quiero asientos más suaves
Los asientos parecen de piedra	Bien hecho, SWU	¡Acaben con esos Longhorns!
No hay suficientes policías para el tráfico	Pongan asientos más grandes	Yo pagaría por un palco
Los juegos comienzan muy tarde	Los acomodadores son amables	La banda estuvo magnífica
Contraten más policías para el tráfico	Necesitan mejores asientos	Amo a Pitterno
Necesitan una nueva banda	Amplíen los lotes de estacionamiento	Todo maravilloso
¡Grandioso!	Odio los asientos en gradas	Construyan un nuevo estadio
Necesitan más puestos de hot dogs	Los <i>hot dogs</i> estaban fríos	Muevan los juegos a Dallas
Los asientos son totalmente de metal	¿3 dólares por un café? No es posible	Sin quejas
Necesitan palcos	Pongan palcos	Baños sucios
Los asientos apestan	Preciosos los nuevos uniformes	Asientos demasiado pequeños
¡Adelante SWU!		

**Preguntas para analizar**

1. Empleando cuando menos dos herramientas de TQM, analice los datos y presente sus conclusiones.
2. ¿Cómo podría haber sido más útil la encuesta?
3. ¿Cuál es el siguiente paso?

\* Este caso integrado se presenta a lo largo del libro. Otros aspectos que enfrenta Southwestern University con su estadio de fútbol son: (A) Administración del proyecto de renovación (capítulo 3); (B) Pronóstico de la asistencia a los juegos (capítulo 4); (D) Planeación de inventario para los programas de fútbol (capítulo 12); (E) Programación de oficiales/personal de seguridad del campus para los días de juego (capítulo 13).

**CASO DE ESTUDIO EN VIDEO****Calidad en Ritz-Carlton Hotel Company**

*Ritz-Carlton*. Este nombre por sí solo evoca imágenes de lujo y calidad. Como la primera compañía de hoteles en ganar el Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige, el Ritz maneja la calidad como si fuera la razón de ser de la compañía. Esto significa el compromiso diario con la satisfacción de las expectativas del cliente y asegurar que cada hotel esté libre de deficiencias.

En la industria hotelera la calidad llega a ser difícil de cuantificar. Los huéspedes no compran un producto cuando se hospedan en el Ritz, compran una experiencia. En consecuencia, crear la combinación correcta de elementos que hagan sobresalir dicha experiencia es la meta y el desafío de cada empleado, desde el mantenimiento hasta la administración.

Antes de competir por el Premio Baldrige, la administración de la compañía llevó a cabo un riguroso autoexamen de sus operaciones con la intención de cuantificar la calidad. Se estudiaron 19 procesos, incluidos el envío de servicio al cuarto, reservación y registro de huéspedes, entrega de mensajes y servicio de desayuno. Este periodo de autoestudio incluyó la medición estadística del flujo de trabajo en los procesos y tiempos de ciclo para áreas que iban del tiempo de entrega de servicio al cuarto y reservaciones hasta la eficiencia del valet parking y la limpieza. Los resultados se usaron para desarrollar puntos de comparación contra los cuales se pudieran medir las actividades futuras.

Una vez establecidos sus objetivos cuantificables específicos, administradores y empleados de Ritz-Carlton se enfocaron en la mejora continua. La meta es la satisfacción del cliente al 100%: si la experiencia de un cliente no cumple sus expectativas, Ritz-Carlton corre el riesgo de que ese huésped se vaya con la competencia.

Una de las formas en que la compañía ha dado más significado a sus esfuerzos por la calidad es organizar a sus empleados en equipos de trabajo “autodirigidos”. Los equipos de empleados determinan cómo programar el trabajo, qué trabajo necesita realizarse y qué hacer sobre los problemas de calidad que se presentan en sus propias áreas. Con el propósito de que los empleados observen la relación entre su área específica y las metas finales, también se les brinda la oportunidad de recibir capacitación adicional en las operaciones del hotel. Ritz-Carlton está convencido de que un empleado más educado e informado está en una mejor posición para tomar decisiones que benefician a la organización.

**Preguntas para analizar\***

1. ¿De qué formas Ritz-Carlton supervisa su éxito en lograr la calidad?
2. Muchas compañías afirman que su meta es entregar productos y servicios de calidad. ¿Qué acciones podría esperar de parte de una compañía que intenta que la calidad sea algo más que un lema o una frase hueca?
3. ¿Por qué podría costar menos a Ritz-Carlton “hacer las cosas bien” la primera vez?
4. ¿Cómo se emplean las gráficas de control, las gráficas de Pareto y los diagramas de causa y efecto para identificar los problemas de calidad en un hotel?
5. ¿Cuáles serían algunas de las medidas no financieras de satisfacción del cliente que son útiles en Ritz-Carlton?

\* Quizá desee ver el caso en video en su CD-ROM antes de responder estas preguntas.

Fuente: Adaptado de C. T. Horngren, G. Foster y S. M. Dator, *Cost Accounting*, 11a. ed. (Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003).

## CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES

**Casos de estudio en Internet: visite nuestro sitio Web en [www.pearsoneducacion.net/heizer](http://www.pearsoneducacion.net/heizer) para obtener estos casos de estudio gratuitos:**

- **Westover Electrical, Inc.:** Este fabricante de motores eléctricos tiene una larga lista de defectos en su proceso de cableado.
- **Falls Church General Hospital:** Estableciendo estándares de calidad en un hospital con 615 camas.
- **Quality Cleaners:** Pequeña empresa de limpieza que necesita un sistema de administración de calidad.
- **Belair Casino Hotel, Zimbabwe:** Este centro vacacional en África necesita analizar las tarjetas de comentarios de sus clientes.

**Harvard ha seleccionado estos casos de Harvard Business School para acompañar este capítulo ([textbookcasematch.hbsp.harvard.edu](http://textbookcasematch.hbsp.harvard.edu)):**

- **Wainwright Industries (A): Beyond the Baldrige (# 396-219):** Sigue el crecimiento de una compañía proveedora de autopartes y su cultura de calidad.
- **Romeo Engine Plant (# 197-100):** Los empleados de esta planta de motores para automóvil deben resolver los problemas para asegurar la calidad y no revisar las partes que se han hecho.
- **Motorola-Penang (# 494-135):** La administradora de esta planta en Malasia duda que funcionen los esfuerzos de delegación de autoridad en otros sitios de Motorola.
- **Measure of Delight: The pursuit of quality at AT&T Universal Card Service (A) (# 694-047):** Vincula la medida de desempeño y las políticas de remuneración con los preceptos de calidad de la administración.



## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, S. W., J. D. Daly y M. F. Johnson. "Why Firms Seek ISO 9000 Certification: Regulatory Compliance or Competitive Advantage?" *Production and Operations Management* 8, núm. 1 (primavera de 1999): 28-43.
- Berry, L. L., A. Parasuraman y V. A. Zeithaml. "Improving Service Quality in America: Lessons Learned". *The Academy of Management Executive* 8, núm. 2 (mayo de 1994): 32-52.
- Choi, T. Y. y K. Eboch. "The TQM Paradox: Relations among TQM Practices, Plant Performance and Customer Satisfaction". *Journal of Operations Management* 17, núm. 1 (diciembre de 1998): 59-76.
- Crosby, P. B. *Let's Talk Quality*. Nueva York: McGraw-Hill, 1989.
- Deming, W. E. *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: Center for Advanced Engineering Study, 1986.
- Echempati, Raghu y Christy White. "Case Study of Hinge Alignment Problems: A Six Sigma Quality Analysis". *Production and Inventory Management Journal* 41, núm. 2 (segundo trimestre de 2000): 1-8.
- Foster, Thomas A. *Managing Quality*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- Goetsch, David L. y Stanley B. Davis. *Quality Management*, 3a. ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.
- Harvey, J. "Service Quality: A Tutorial". *Journal of Operations Management* 16, núm. 5 (octubre de 1998): 583-597.
- Ireland, Samuel. "Quality and Nonprofit Organizations". *Quality Progress* (marzo de 1999): 96-99.
- Juran, Joseph M. *Juran's Quality Handbook*. Nueva York: McGraw-Hill, 1999.
- Paton, S. M. "Service Quality: Disney Style". *Quality Digest* (enero de 1997): 24-29.
- Peace, G. S. *Taguchi Methods: A Hands-On Approach*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1993.
- Prahalad, C. K. y M. S. Krishnan. "The New Meaning of Quality in the Information Age". *Harvard Business Review* (septiembre-octubre de 1999): 109-118.
- Summers, Donna. *Quality*, 2a. ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.



## RECURSOS DE INTERNET

American Society for Quality:

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

ISO Central Secretariat:

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

Juran Institute:

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

Vínculos con sitios de benchmarking:

<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 y otros economistas:

<http://cepa-newschool.edu/het/profile.pareto.html>

# Control estadístico del proceso

## Descripción del suplemento

### CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO (SPC)

Gráficas de control para variables  
 Teorema del límite central  
 Determinación de los límites de la gráfica de la media (gráficas  $\bar{x}$ )  
 Determinación de los límites de la gráfica del rango (gráficas  $R$ )  
 Uso de las gráficas de media y de rango  
 Gráficas de control para atributos  
 Aspectos de administración y gráficas de control

### HABILIDAD DEL PROCESO

Razón de habilidad del proceso ( $C_p$ )  
 Índice de habilidad del proceso ( $C_{pk}$ )

### MUESTREO DE ACEPTACIÓN

Curva característica de operación  
 Calidad de salida promedio

### RESUMEN

TÉRMINOS CLAVE  
 USO DE EXCEL OM PARA SPC  
 USO DE POM PARA WINDOWS  
 PROBLEMAS RESUELTOS  
 EJERCICIOS EN INTERNET Y EL CD-ROM DEL ESTUDIANTE  
 PREGUNTAS PARA ANALIZAR  
 EJERCICIO DEL MODELO ACTIVO  
 PROBLEMAS  
 PROBLEMAS DE TAREA EN INTERNET  
 CASOS DE ESTUDIO: BAYFIELD MUD COMPANY, PUNTUALIDAD EN ALABAMA AIRLINES  
 CASOS DE ESTUDIO ADICIONALES  
 BIBLIOGRAFÍA  
 RECURSOS DE INTERNET

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

*Al terminar de estudiar este suplemento usted será capaz de*

### IDENTIFICAR O DEFINIR:

Las causas naturales y asignables de las variaciones  
 El teorema del límite central  
 Inspección por atributos y variables  
 Control del proceso  
 Gráficas  $\bar{x}$  y gráficas  $R$   
 LCI y LCS  
 Gráficas  $p$  y gráficas  $c$   
 $C_p$  y  $C_{pk}$   
 Muestreo de aceptación  
 Curva OC  
 NCA y PDTL  
 CSP  
 Riesgo del productor y del consumidor

### DESCRIBIR O EXPLICAR:

El papel del control estadístico de la calidad



*BetzDearborn, una división de Hercules Incorporated, tiene sus oficinas centrales en Treviso, Pennsylvania. Es proveedor global de químicos especializados para el tratamiento de aguas industriales, aguas de desecho y sistemas de procesamiento. La compañía emplea el control estadístico del proceso para vigilar el desempeño de los programas de tratamiento de una amplia variedad de industrias en todo el mundo. En el laboratorio de aseguramiento de la calidad de BetzDearborn (que se muestra aquí) también se emplean las técnicas de muestreo estadístico para dar seguimiento a los procesos de manufactura en todas las plantas de producción de la compañía.*

### Control estadístico del proceso (SPC)

Procedimiento empleado para supervisar estándares, tomar medidas y acciones correctivas mientras el producto o servicio se está produciendo.

En este suplemento estudiamos el control estadístico del proceso, las mismas técnicas que emplean BetzDearborn, IBM, GE y Motorola para alcanzar los estándares de calidad. Asimismo, introducimos el muestreo de aceptación. El **control estadístico del proceso** es la aplicación de las técnicas estadísticas al control del proceso. El *muestreo de aceptación* se usa para determinar si se acepta o rechaza el material evaluado por una muestra.

## CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO (SPC)

El control estadístico del proceso (SPC, statistical process control) es una técnica estadística ampliamente usada para asegurar que los procesos cumplan los estándares. Todos los procesos están sujetos a cierto grado de variabilidad. En la década de los veinte, mientras estudiaba los datos del proceso, Walter Shewhart de Laboratorios Bell hizo una distinción entre las causas comunes y especiales de la variación. En la actualidad muchos se refieren a dichas variaciones como causas *naturales* y causas *asignables*. Walter Shewhart también desarrolló una herramienta simple pero poderosa para separarlas: la **gráfica de control**.

*Empleamos el control estadístico del proceso para medir el desempeño de un proceso.* Se dice que el proceso opera bajo *control estadístico* cuando su única fuente de variación la constituyen las causas comunes (naturales). Primero el proceso debe ponerse bajo control estadístico detectando y eliminando las causas especiales (asignables) de variación.<sup>1</sup> Entonces su desempeño es predecible y se evalúa su habilidad para satisfacer las expectativas. El *objetivo* de un sistema de control es *proporcionar una señal estadística cuando están presentes causas de variación asignables*. Dicha señal es capaz de acelerar las acciones apropiadas para eliminar las causas asignables.

### Gráfica de control

Presentación gráfica de los datos del proceso en el tiempo.

<sup>1</sup>Eliminar las causas asignables implica trabajo. Como lo observó el gurú de la calidad W. Edwards Deming: “un estado de control estadístico no es el estado natural del proceso de manufactura. Por el contrario, es un logro al que se llega mediante un esfuerzo determinado para eliminar, una a una, las causas especiales de variación excesiva”. Véase W. Edwards Deming, “On Some Statistical Aids toward Economic Production”, *Interfaces* 5, núm. 4, (1975): 5.

**Variación natural**

Variabilidades que deben esperarse y que afectan, en cierto grado, todo proceso de producción; también se conocen como causas naturales.

**Variación asignable**

Variación en un proceso de producción que se rastrea hasta sus causas específicas.

**Variaciones naturales** Las variaciones naturales afectan casi todos los procesos de producción y son algo que se espera. Las **variaciones naturales** son las muchas fuentes de variación que ocurren dentro de un proceso que está bajo control estadístico. Las variaciones naturales se comportan como un sistema constante de causas fortuitas. Aun cuando los valores individuales son diferentes, como grupo forman un patrón que puede describirse como una *distribución*. Cuando estas distribuciones son *normales* se caracterizan por dos parámetros:

- media,  $\mu$  (medida de la tendencia central, en este caso el valor promedio)
- desviación estándar,  $\sigma$  (medida de la dispersión)

Siempre que la distribución (medidas de los resultados) permanezca dentro de los límites especificados, se dice que el proceso está “bajo control” y se toleran las variaciones naturales.

**Variación asignable** La **variación asignable** en un proceso que se rastrea hasta su causa específica. Factores como el desgaste de la maquinaria, el desajuste de equipos, la fatiga o la mala capacitación de los trabajadores, o nuevos lotes de materias primas, son fuentes potenciales de variaciones asignables.

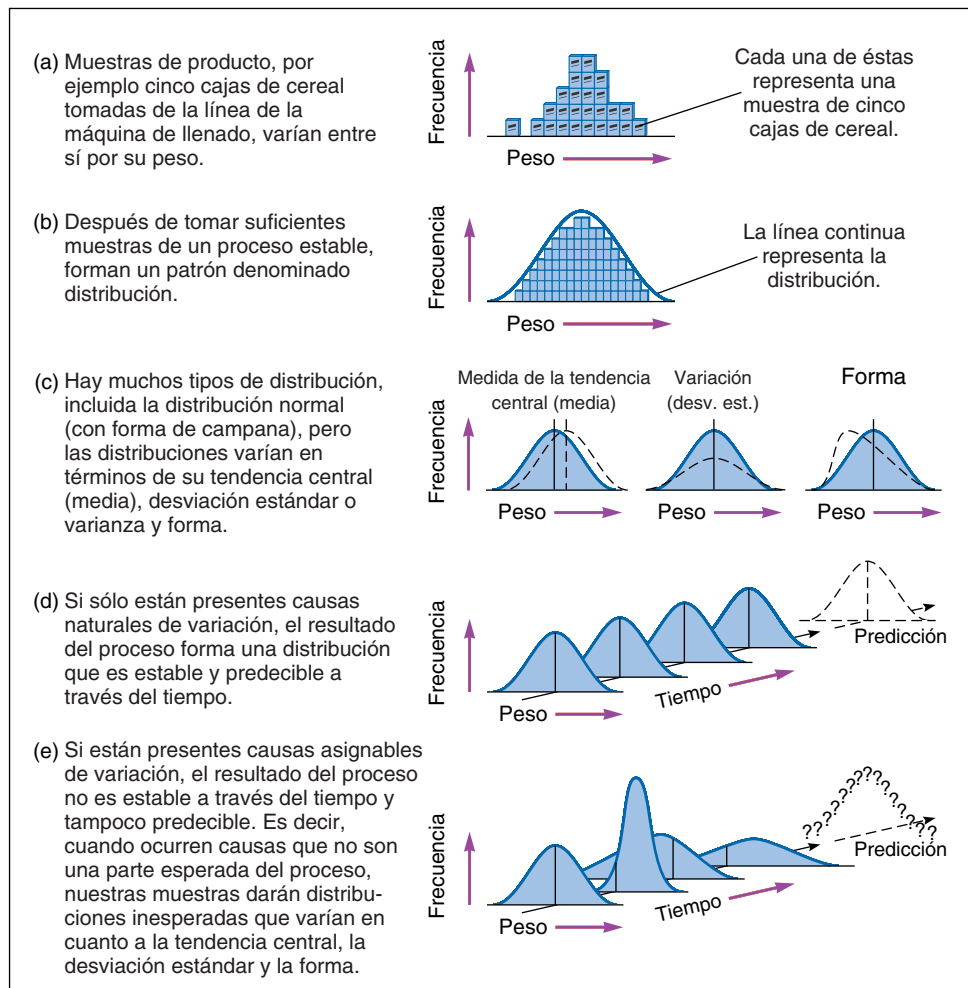
Las variaciones naturales y asignables distinguen dos tareas para los administradores de operaciones. La primera es *asegurarse de que el proceso opera bajo control con sólo la variación natural*. La segunda es, por supuesto, *identificar y eliminar las variaciones asignables* con la finalidad de mantener los procesos bajo control.

**Muestras** Debido a las variaciones naturales y asignables, el control estadístico del proceso usa promedios de pequeñas muestras (a menudo de cuatro a ocho artículos) en contraste con los datos de las partes individuales. Las piezas individuales tienden a ser demasiado erráticas para percibir las tendencias con rapidez.

En la figura S6.1 se observan con detalle los pasos importantes para determinar las variaciones de los procesos. La escala horizontal será el peso (como el número de onzas en las cajas de cereal), la longitud

**FIGURA S6.1** ■

Variaciones natural y asignable



(como en los postes de una barda) o cualquier otra medida física. La escala vertical es la frecuencia. Las muestras de cinco cajas de cereal en la figura S6.1 *a*) se pesan, *b*) forman una distribución, *c*) que puede variar. Las distribuciones formadas en *b*) y *c*) caerán dentro de un patrón predecible, *d*) si sólo la variación natural está presente. Cuando existen causas asignables de variación, entonces podemos esperar ya sea que varíe la media o que varíe la dispersión, como ocurre en *e*).

**Gráficas de control** El proceso para la construcción de una gráfica de control se basa en los conceptos presentados en la figura S6.2. Esta figura muestra tres distribuciones que representan los resultados de tres tipos de proceso. Para observar si el proceso está dentro de los “límites de control”, graficamos las muestras pequeñas y luego examinamos las características de los datos resultantes. El propósito de la gráfica de control es ayudar a distinguir las variaciones naturales de las variaciones debidas a causas asignables. Como se observa en la figura S6.2, un proceso está *a*) bajo control y *el proceso es capaz de producir dentro de los límites de control establecidos*, *b*) bajo control *pero el proceso no es capaz de producir dentro de los límites establecidos*, o *c*) fuera de control. A continuación veremos algunas formas de construir gráficas de control que ayudan a los administradores de operaciones a mantener un proceso bajo control.

**Gráfica  $\bar{x}$**

Gráfica de control de calidad para variables que indica cuándo ocurren cambios en la tendencia central de un proceso de producción.

**Gráfica *R***

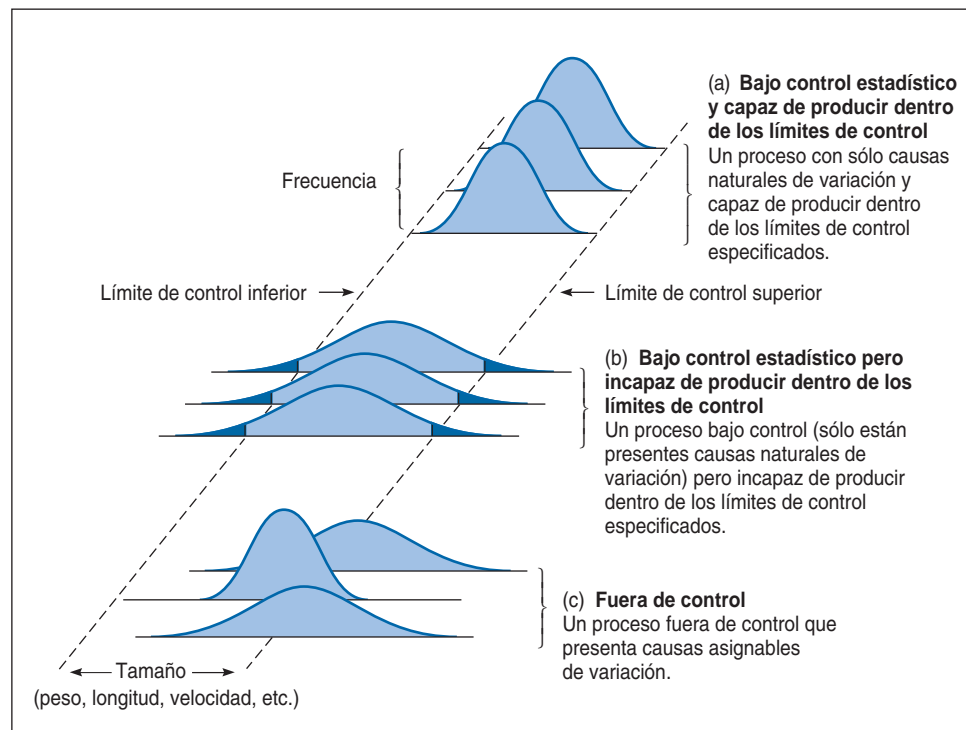
Gráfica de control que da seguimiento al “rango” dentro de una muestra; indica cuando ocurre una ganancia o pérdida de uniformidad en la dispersión de un proceso de producción.

**Gráficas de control para variables**

Las variables son características que tienen dimensiones continuas. Tienen un número infinito de posibilidades. Algunos ejemplos son peso, velocidad, duración, fuerza. Las gráficas de control para la media,  $\bar{x}$  (que se lee *x* barra), y para el rango (o intervalo de variación), *R*, se emplean para vigilar procesos con dimensiones continuas. La **gráfica  $\bar{x}$**  nos indica si han ocurrido cambios en la tendencia central (en este caso la media) de un proceso. Estos cambios llegan a atribuirse a factores como desgaste de herramientas, un aumento gradual de la temperatura, el uso de un método diferente en el segundo turno, o a materiales nuevos o más fuertes. Los valores de la **gráfica *R***, indican que ha ocurrido una ganancia o pérdida en la dispersión. Quizá el cambio se deba al desgaste de los soportes, a una herramienta desajustada, al flujo errático de los lubricantes hacia la máquina o al descuido del operario de una máquina. Las dos gráficas van a la par cuando se trata de monitorear las variables porque miden los dos parámetros cruciales: tendencia central y dispersión.

**FIGURA S6.2 ■**

Control del proceso: tres tipos de resultados del proceso



### Teorema del límite central

#### Teorema del límite central

Fundamento teórico de las gráficas  $\bar{x}$  que establece que, independientemente de la distribución de la población de todas las partes o servicios, la distribución de  $\bar{x}$  tiende a seguir una curva normal cuando aumenta el número de muestras.

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

El fundamento teórico de las gráficas  $\bar{x}$  es el **teorema del límite central**. Este teorema establece que, independientemente de la distribución de la población, la distribución de las  $\bar{x}$  (cada una de las cuales es la media de una muestra sacada de la población) tiende a seguir una curva normal cuando aumenta el número de muestras. Por fortuna, incluso cuando la muestra ( $n$ ) es bastante pequeña (digamos 4 o 5), en general, la distribución de los promedios todavía seguirá una curva normal. El teorema también establece que **1.** la media de la distribución de las  $\bar{x}$  (denominada  $\bar{\bar{x}}$ ) será igual a la media de la población global (llamada  $\mu$ ); y **2.** la desviación estándar de la *distribución de las muestras*,  $\sigma_{\bar{x}}$ , será la *desviación estándar de la población*,<sup>2</sup>  $\sigma$ , dividida entre la raíz cuadrada del tamaño de la muestra,  $n$ . En otras palabras:

$$\bar{\bar{x}} = \mu \tag{S6-1}$$

y

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

La figura S6.3 muestra tres distribuciones de población posibles, cada una con su propia media,  $\mu$ , y su propia desviación estándar,  $\sigma$ . Si una serie de muestras aleatorias ( $\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3, \bar{x}_4$ , etcétera), cada una de tamaño  $n$ , se toma de cualquier distribución de población (la cual es normal, beta, uniforme u otra), la distribución resultante de las  $\bar{x}_i$  tendrá la apariencia mostrada en la figura S6.3.

Más aún, la distribución de las muestras que se ilustra en la figura S6.4 tendrá menos variabilidad que la distribución del proceso. Como la distribución de las muestras es normal, podemos afirmar que:

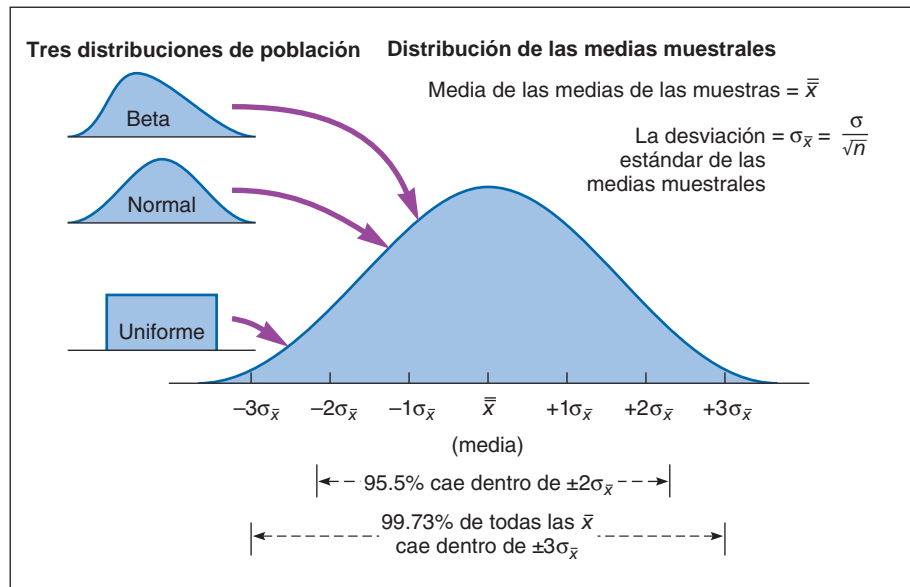
- 95.45% del tiempo, los promedios de las muestras caerán dentro de  $\pm 2\sigma_{\bar{x}}$  si el proceso sólo tiene variaciones naturales.
- 99.73% del tiempo, los promedios de las muestras caerán dentro de  $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$  si el proceso sólo tiene variaciones naturales.

Si un punto cae fuera de los límites de control  $\pm 3\sigma_{\bar{x}}$  de la gráfica de control, entonces estamos 99.73% seguros de que el proceso cambió. Ésta es la teoría que sustenta las gráficas de control.

**FIGURA S6.3** ■

#### Relación entre la población y las distribuciones muestrales

Sin importar la distribución de la población (por ejemplo, normal, beta, uniforme), cada una con su propia media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ), la distribución de las medias de las muestras es normal.

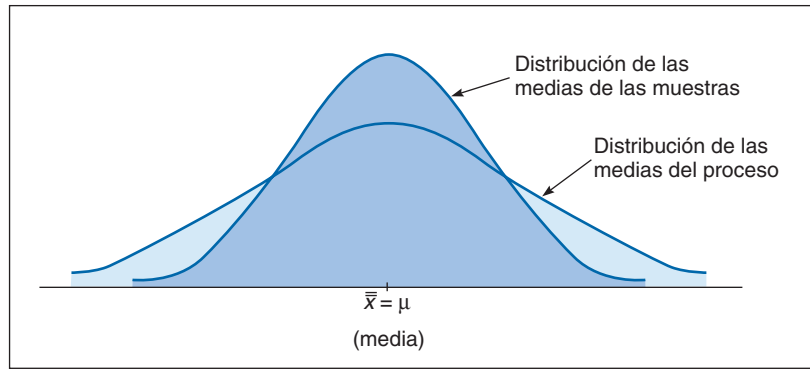


<sup>2</sup>Nota: La desviación estándar se calcula fácilmente como:  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ .

**FIGURA S6.4 ■**

La distribución muestral de las medias es normal y tiene menos variabilidad que la distribución del proceso

En esta figura, la distribución del proceso del cual se tomó la muestra también era normal pero pudo haber tenido cualquier distribución.



“Todo lo que hace el control de la calidad es encontrar nuestros errores. Quiero comenzar a evitarlos”.

### Determinación de los límites de la gráfica de la media (gráficas $\bar{x}$ )

Si conocemos, a partir de los datos históricos, la desviación estándar de la población de un proceso,  $\sigma$ , podemos fijar los límites de control superior e inferior con estas fórmulas:

$$\text{Límite de control superior (LCS)} = \bar{\bar{x}} + z\sigma_{\bar{x}} \tag{S6-3}$$

$$\text{Límite de control inferior (LCI)} = \bar{\bar{x}} - z\sigma_{\bar{x}} \tag{S6-4}$$

- donde
- $\bar{\bar{x}}$  = media de las medias de las muestras o el valor meta establecido para el proceso
  - $z$  = número de desviaciones estándar (2 para 95.45% de confianza, 3 para 99.73%)
  - $\sigma_{\bar{x}}$  = desviación estándar de las medias de la muestra =  $\sigma/\sqrt{n}$
  - $\sigma$  = desviación estándar de la población (proceso)
  - $n$  = tamaño de la muestra

El ejemplo S1 muestra cómo establecer los límites de control para las medias de las muestras empleando las desviaciones estándar.

### Ejemplo S1

Cada hora se toman muestras del peso de las cajas de hojuelas de avena dentro de un lote de producción grande. Con la finalidad de establecer límites de control que incluyan 99.73% de las medias muestrales, se seleccionan en forma aleatoria muestras de nueve cajas y se pesan. Se dan los datos de las nueve cajas seleccionadas en la hora 1:

Hojuelas de avena 17 oz.	Hojuelas de avena 13 oz.	Hojuelas de avena 16 oz.	Hojuelas de avena 18 oz.	Hojuelas de avena 17 oz.	Hojuelas de avena 16 oz.	Hojuelas de avena 15 oz.	Hojuelas de avena 17 oz.	Hojuelas de avena 16 oz.
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------



$$\begin{aligned} \text{El peso promedio en la primera muestra} &= \frac{17 + 13 + 16 + 18 + 17 + 16 + 15 + 17 + 16}{9} \\ &= 16.1 \text{ onzas} \end{aligned}$$

También se sabe que la desviación estándar ( $\sigma$ ) de la población, es 1 onza. No mostramos las cajas de la muestra de la hora 2 a la 12, pero presentamos el resto de los resultados:

PESO DE LA MUESTRA		PESO DE LA MUESTRA		PESO DE LA MUESTRA	
HORA	(PROM. DE 9 CAJAS)	HORA	(PROM. DE 9 CAJAS)	HORA	(PROM. 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

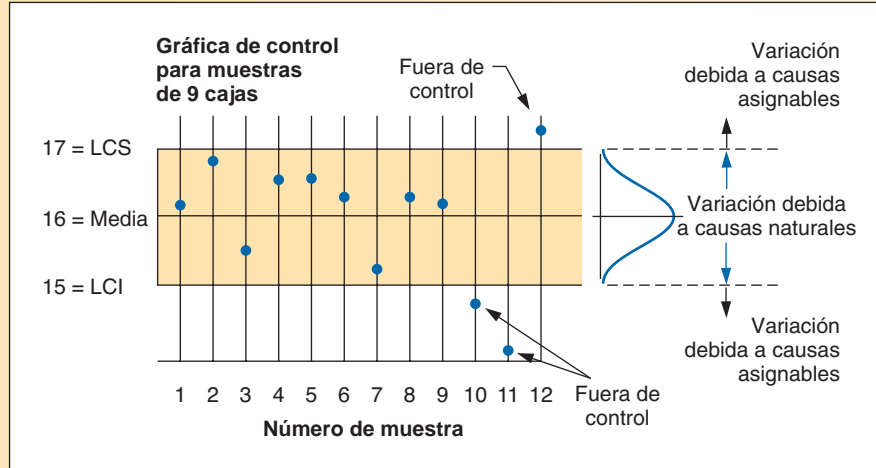


La media promedio de las 12 muestras se calculó exactamente en 16 onzas. Por lo tanto, tenemos  $\bar{\bar{x}} = 16$  onzas,  $\sigma = 1$  onza,  $n = 9$  y  $z = 3$ . Los límites de control son:

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

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

Después graficamos las 12 muestras en la gráfica de control que se presenta en seguida. Como las medias de los promedios de muestras recientes caen fuera de los límites de control superior e inferior de 17 y 15, podemos concluir que el proceso se está tornando errático y *sin* control.



El rango es la diferencia entre el artículo más grande y el más pequeño en una muestra.

Puesto que las desviaciones estándar del proceso no están disponibles o es difícil cuantificarlas, lo usual es calcular los límites de control con base en los valores del *rango* promedio en lugar de las desviaciones estándar. La tabla S6.1 proporciona las conversiones necesarias para hacerlo. El *rango* se define como la diferencia entre el elemento más grande y más pequeño de una muestra. Por ejemplo, la caja más pesada de hojuelas de avena en la hora 1, del ejemplo S1, era de 18 onzas y la más ligera era de 13 onzas, entonces el rango para esa hora es 5 onzas. Empleamos la tabla S6.1 y las ecuaciones

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \tag{S6-5}$$

y

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \tag{S6-6}$$

donde  $\bar{R}$  = rango promedio de las muestras  
 $A_2$  = valor encontrado en la tabla S6.1  
 $\bar{\bar{x}}$  = media de las medias de la muestra

**TABLA S6.1 ■**

Factores para el cálculo de los límites de control de la gráfica (3 sigma)

TAMAÑO DE LA MUESTRA, $n$	FACTOR DE LA MEDIA, $A_2$	RANGO SUPERIOR, $D_4$	RANGO INFERIOR, $D_3$
2	1.880	3.268	0
3	1.023	2.574	0
4	.729	2.282	0
5	.577	2.115	0
6	.483	2.004	0
7	.419	1.924	0.076
8	.373	1.864	0.136
9	.337	1.816	0.184
10	.308	1.777	0.223
12	.266	1.716	0.284

Fuente: Reimpreso con autorización de American Society for Testing Materials, Copyright 1951. Tomado de *Special Technical Publication 15-C*, "Quality Control Materials", pp. 63 y 72.

El ejemplo S2 muestra cómo establecer los límites de control para las medias de las muestras empleando la tabla S6.1 y el rango promedio.

### Ejemplo S2



Archivo de datos Excel  
OM Ch06SExS2.xls

Las botellas de refrescos Super Cola muestran una etiqueta que dice “contenido neto 16 onzas”. Se ha encontrado un promedio global del proceso de 16.01 onzas tomando varios lotes de muestras, donde cada muestra contenía 5 botellas. El rango promedio del proceso es .25 de onza. Determine los límites de control inferior y superior para los promedios en este proceso.

Buscando al tamaño de muestra de 5 en la tabla S6.1 en la columna  $A_2$  del factor de la media, encontramos el número .577. Por lo tanto, los límites inferior y superior de la gráfica de control son:

$$\begin{aligned} \text{LCS}_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} \\ &= 16.01 + (.577)(.25) \\ &= 16.01 + .144 \\ &= 16.154 \text{ onzas} \\ \text{LCI}_{\bar{x}} &= \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} \\ &= 16.01 - .144 \\ &= 15.866 \text{ onzas} \end{aligned}$$

### Determinación de los límites de la gráfica del rango (gráficas R)

En los ejemplos S1 y S2, determinamos el límite de control inferior y superior para el *promedio* del proceso. Además de preocuparse por el promedio del proceso, los administradores de operaciones se interesan en la *dispersión* o *rango* del proceso. Aunque el promedio del proceso esté bajo control, la dispersión del proceso puede no estarlo. Por ejemplo, algo podría haberse aflojado en una pieza del equipo que llena las cajas con hojuelas de avena. Como resultado, el promedio de las muestras permanecería igual, aunque la variación entre las muestras podría ser demasiado grande. Por ello, los administradores de operaciones emplean las gráficas de control para rangos que les permiten monitorear la variabilidad del proceso, así como las gráficas de control para promedios que les permiten vigilar la tendencia central del proceso. La teoría que fundamenta las gráficas de control para rangos es la misma que la de las gráficas de control para el promedio del proceso. Se establecen límites que contienen  $\pm 3$  desviaciones estándar de la distribución del rango promedio  $\bar{R}$ . Las siguientes ecuaciones se utilizan para establecer los límites de control inferior y superior para los rangos:

$$\text{LCS}_R = D_4\bar{R} \tag{S6-7}$$

$$\text{LCI}_R = D_3\bar{R} \tag{S6-8}$$

Es importante destacar que cuando se construye el  $\text{LCS}_R$  y el  $\text{LCI}_R$ , empleamos el rango promedio,  $\bar{R}$ . Pero cuando se grafican los puntos una vez desarrollada la gráfica R, usamos los valores del rango *individual* para cada muestra.

donde  $\text{LCS}_R$  = límite de control superior de la gráfica para el rango  
 $\text{LCI}_R$  = límite de control inferior de la gráfica para el rango  
 $D_4$  y  $D_3$  = valores de la tabla S6.1

El ejemplo S3 muestra cómo establecer los límites de control empleando la tabla S6.1 y el rango promedio.

### Ejemplo S3

El *rango* promedio del proceso de carga de camiones es de 5.3 libras. Si el tamaño de la muestra es 5, determine los límites de control superior e inferior de la gráfica.

Si buscamos en la tabla S6.1 un tamaño de muestra de 5, encontramos que  $D_4 = 2.115$  y  $D_3 = 0$ . Los límites de control para el rango son:

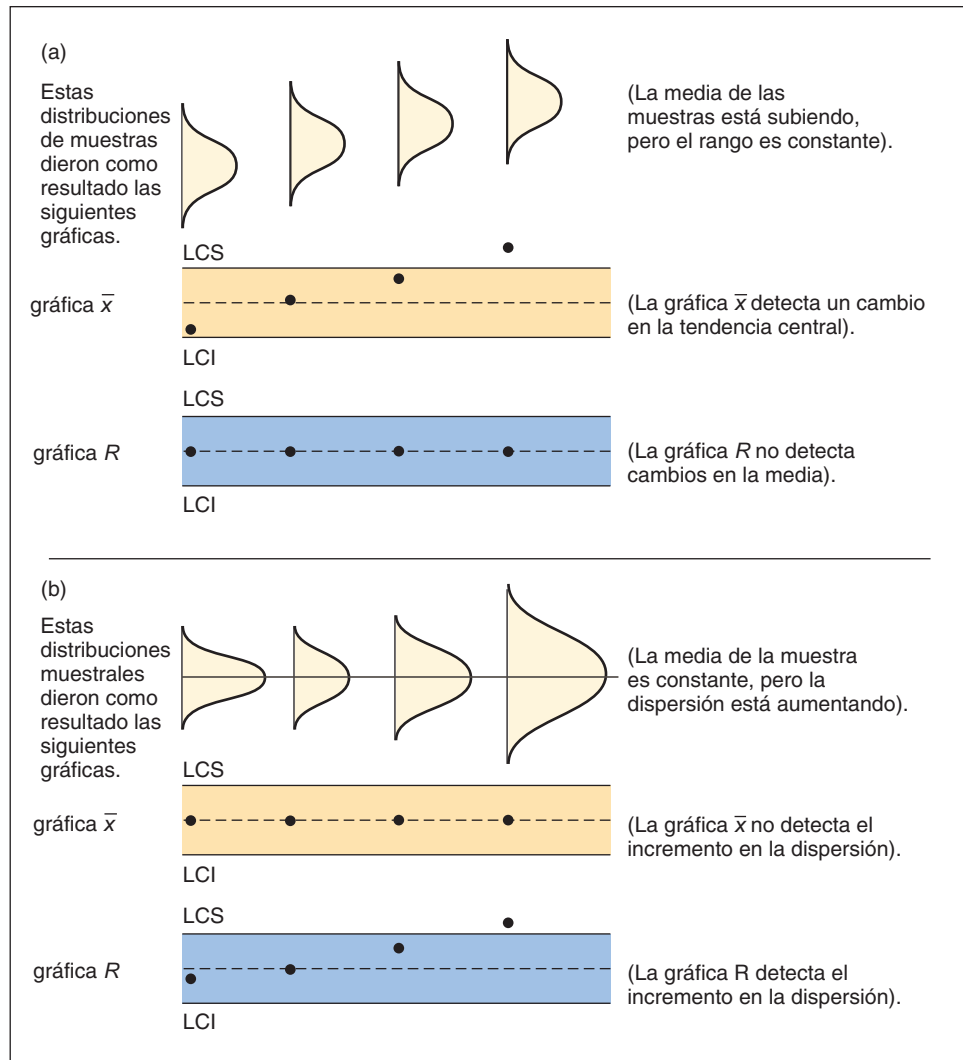
$$\begin{aligned} \text{LCS}_R &= D_4\bar{R} = (2.115)(5.3 \text{ libras}) = 11.2 \text{ libras} \\ \text{LCI}_R &= D_3\bar{R} = (0)(5.3 \text{ libras}) = 0 \end{aligned}$$

### Uso de las gráficas de media y de rango

La distribución normal se define por dos parámetros, la *media* y la *desviación estándar*. La gráfica  $\bar{x}$  (media) y la gráfica R imitan a estos dos parámetros. La gráfica  $\bar{x}$  es sensible a los cambios en la media del proceso, mientras que la gráfica R es sensible a los cambios en la desviación estándar del proceso. En consecuencia al usar ambas gráficas podemos dar seguimiento a los cambios en la distribución del proceso.

**FIGURA S6.5 ■**

Las gráficas de media y rango se complementan al mostrar la media y la dispersión de la distribución normal



**Video S6.1**

SPC en Harley-Davidson

Por ejemplo, las muestras y la gráfica  $\bar{x}$  que se obtiene en la figura S6.5a muestran un cambio en la media del proceso pero, como la dispersión es constante, la gráfica R no detecta cambios. Por el contrario, las muestras y la gráfica  $\bar{x}$  en la figura S6.5b no detectan cambios (porque ninguno está presente), pero la gráfica R sí detecta el cambio en la dispersión. Ambas gráficas son necesarias para dar un seguimiento preciso al proceso.

**Pasos que se deben seguir cuando se usan las gráficas de control** Son cinco los pasos que normalmente se realizan cuando se emplean las gráficas  $\bar{x}$ - y las gráficas R.

1. Recolectar 20 o 25 muestras de  $n = 4$  o  $n = 5$  cada una a partir de un proceso estable y calcular la media y el rango de cada una.
2. Calcular las medias globales ( $\bar{\bar{x}}$  y  $\bar{\bar{R}}$ ), establecer los límites de control apropiados, usualmente en el nivel de 99.73% y calcular los límites de control superior e inferior preliminares. Si el proceso no está estable en ese momento, use la media deseada,  $\mu$ , en lugar de  $\bar{\bar{x}}$  para establecer los límites.
3. Graficar las medias y los rangos de las muestras en sus respectivas gráficas de control y determinar si caen fuera de los límites aceptables.
4. Investigar los puntos o patrones que indiquen que el proceso está fuera de control. Intentar asignar las causas de la variación y después reanudar el proceso.
5. Recolectar muestras adicionales y, de ser necesario, revalidar los límites de control con los nuevos datos.

En los ejemplos de este suplemento, así como en el recuadro *AO en acción*, “verde es el color del dinero para DuPont y el medio ambiente”, se presentan algunas aplicaciones de las gráficas de control.

# AO EN ACCIÓN

## Verde es el color del dinero para DuPont y el medio ambiente

DuPont descubrió que el control estadístico del proceso (SPC) es un excelente enfoque para la solución de problemas ambientales. Con la meta de acabar con 35% de los desperdicios de manufactura y desechos sólidos, DuPont reunió información de sus sistemas de control de la calidad y de las bases de datos sobre su administración de materiales.

Los diagramas de causa y efecto y las gráficas de Pareto revelaron dónde ocurrían los principales problemas. Entonces la compañía comenzó a disminuir el desperdicio de materiales a través de estándares mejorados de SPC para la producción. Uniendo los sistemas de monitoreo basados en la información de la planta y los estándares de la calidad del aire, DuPont identificó formas de reducir las emisiones. Usando un sistema de evaluación de proveedores vinculado con los requerimientos de compra JIT, la compañía implantó controles sobre la entrada de materiales nocivos.

Actualmente, DuPont ahorra al año más de 15 millones de libras de plástico reciclándolo para obtener otros productos en lugar de tirarlo en rellenos. A través de compras electrónicas la empresa ha reducido el papel de desecho a casi nada y con la utilización de nuevos diseños de empaque redujo el desperdicio de material en proceso en casi 40%.

Integrando el control estadístico de procesos con las actividades para el cumplimiento de las normas ambientales, DuPont ha realizado mejoras importantes en la calidad que superan por mucho los lineamientos reglamentarios. Las innovaciones de DuPont en la solución de problemas ambientales han permitido, al mismo tiempo, enormes ahorros en costos.

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

## Gráficas de control para atributos

Las gráficas de control  $\bar{x}$  y  $R$  no son aplicables a los muestreos de *atributos*, los cuales casi siempre se clasifican como *defectuosos* o *no defectuosos*. La medición de *defectuosos* implica contarlos (por ejemplo, número de focos malos en un lote determinado, o número de cartas o registros de datos escritos con error) mientras que las *variables* suelen medirse por longitud o peso. Existen dos tipos de gráficas de control para atributos: **1.** las que miden el *porcentaje* de defectos en una muestra —denominadas gráficas *p*— y **2.** las que *cuentan* el número de defectos —llamadas gráficas *c*—.

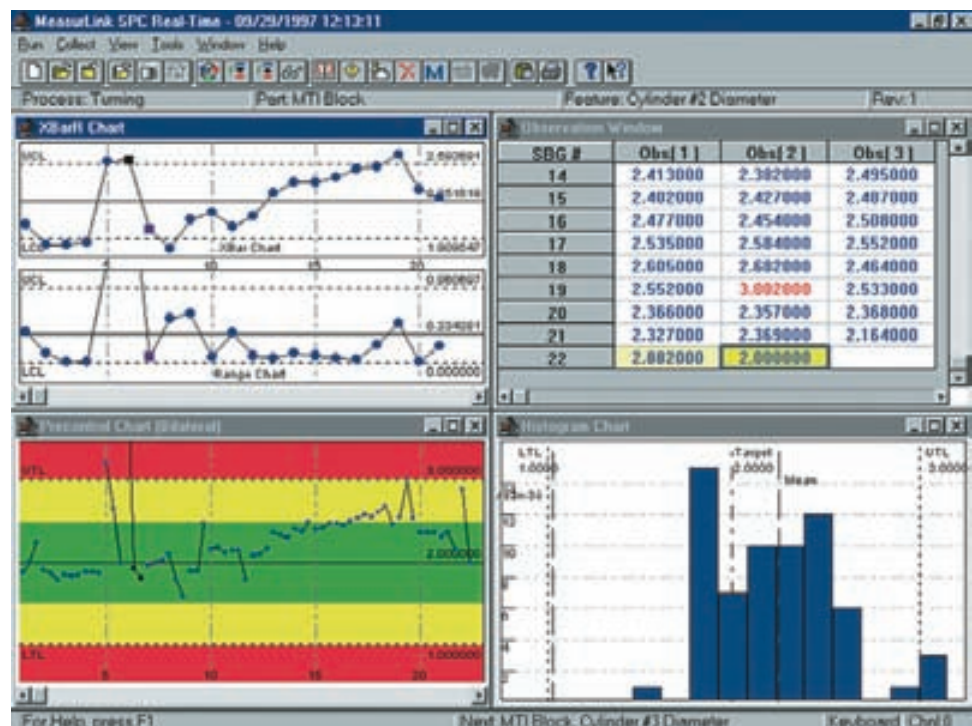
### Gráficas p

Gráficas de control de calidad que se usan para controlar atributos.

### Gráficas p

La principal forma de controlar los atributos es usar las **gráficas p**. Aunque los atributos que son buenos o malos siguen una distribución binomial, se utiliza la distribución normal para calcular los límites de la gráfica *p* cuando los tamaños de las muestras son grandes. El procedimiento se asemeja al enfoque de la gráfica  $\bar{x}$  que también tiene como base el teorema del límite central.

Despliegue de una gráfica para variables de Mitutoyo Corporation usando un software de SPC que está vinculado directamente con mecanismos de medición.



Si bien algunas gráficas SPC se generan por computadora, ésta se prepara a mano. Esta gráfica se actualiza cada hora y refleja una semana de turnos de trabajo.



Se presentan las fórmulas para los límites de control superior e inferior de la gráfica  $p$ :

$$LCS_p = \bar{p} + z\sigma_{\hat{p}} \tag{S6-9}$$

$$LCI_p = \bar{p} - z\sigma_{\hat{p}} \tag{S6-10}$$

donde  $\bar{p}$  = fracción media de defectos en la muestra  
 $z$  = número de desviaciones estándar ( $z = 2$  para límites 95.45%;  
 $z = 3$  para límites de 99.73%)  
 $\sigma_{\hat{p}}$  = desviación estándar para la distribución de la muestra

$\sigma_{\hat{p}}$  se estima con la siguiente fórmula:

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

donde  $n$  = tamaño de cada muestra.

El ejemplo S4 muestra la forma de establecer cada límite de control de las gráficas  $p$  para estas desviaciones estándar.

### Ejemplo S4



Archivo de datos Excel  
OM Ch06SExS4.xls

Los encargados de la captura de datos en ARCO introducen miles de registros de seguros cada día. En la tabla se presentan las muestras del trabajo de 20 empleados. Se examinaron cuidadosamente cien registros capturados por cada empleado y se contó el número de errores. Después se calculó la fracción defectuosa en cada muestra.

Establezca los límites de control que incluyan 99.73% de la variación aleatoria en el proceso de captura cuando está bajo control.

NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE ERRORES	FRACCIÓN DEFECTUOSA	NÚMERO DE MUESTRA	NÚMERO DE ERRORES	FRACCIÓN DEFECTUOSA
1	6	.06	11	6	.06
2	5	.05	12	1	.01
3	0	.00	13	8	.08
4	1	.01	14	7	.07
5	4	.04	15	5	.05
6	2	.02	16	4	.04
7	5	.05	17	11	.11
8	3	.03	18	3	.03
9	3	.03	19	0	.00
10	2	.02	20	4	.04
				80	

$$\bar{p} = \frac{\text{número total de errores}}{\text{número total de registros examinados}} = \frac{80}{(100)(20)} = .04$$

$$\sigma_{\hat{p}} = \sqrt{\frac{(.04)(1 - .04)}{100}} = .02 \text{ (0.196 se redondeó hacia arriba)}$$

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



**Modelo activo S6.1**

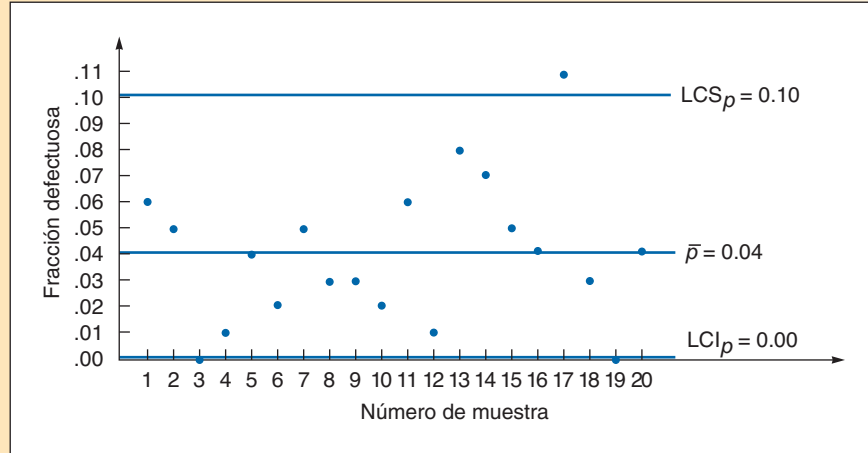
El ejemplo S4 se ilustra más a fondo en el modelo activo S6.1 en el CD-ROM y en el ejercicio de la página 235.

$$LCS_p = \bar{p} + z\sigma_{\hat{p}} = .04 + 3(.02) = .10$$

$$LCI_p = \bar{p} - z\sigma_{\hat{p}} = .04 - 3(.02) = 0$$

(debido a que no podemos tener un porcentaje de defectos negativo)

Cuando graficamos los límites de control y la fracción defectuosa de la muestra, encontramos que sólo una persona que captura datos (número 17) está fuera de control. Es posible que la empresa quiera examinar el trabajo individual un poco más de cerca para observar si existen problemas serios (véase la figura S6.6).



**FIGURA S6.6** ■ Gráfica p para la captura de datos del ejemplo S4

**Gráficas c**

Gráfica de control de la calidad que se usa para regular el número de defectos por unidad de salida.

El recuadro *AO en acción*, “el costoso experimento en los servicios del cuidado de la salud de Unisys Corp.”, proporciona un seguimiento del mundo real al ejemplo S4.

**Gráficas c** En el ejemplo S4, contamos el número de registros defectuosos capturados. Un registro defectuoso es aquel que no está exactamente correcto porque tiene cuando menos un defecto. Sin embargo, un registro malo puede contener más de un defecto. Las **gráficas c** se usan para controlar el *número* de defectos por unidad de salida (o por registro de seguros en el caso anterior).

# AO EN ACCIÓN

**El costoso experimento en los servicios del cuidado de la salud de Unisys Corp.**

Cuando Unisys Corp., se expandió al negocio de los servicios computarizados para el cuidado de la salud, las cosas se veían prometedoras. Justo acababa de ganar la licitación contra Blue Cross/Blue Shield de Florida para un contrato de 86 millones de dólares para atender los servicios de seguros médicos de los empleados del estado de Florida. Su trabajo consistía en manejar el procesamiento de las reclamaciones de los 215 mil empleados del estado, un área en crecimiento aparentemente sencilla y lucrativa para una vieja compañía de computadoras como Unisys.

Pero un año después, no sólo el contrato se había revocado, sino que Unisys fue multada con más de 500,000 dólares por no reunir los estándares de calidad. A continuación mostramos dos de las medidas de la calidad, ambas de atributos (es decir, “defectuoso” o “no defectuoso”) en las que la empresa estaba fuera de control:

1. **Porcentaje de reclamaciones procesadas con errores.** Una auditoría de un periodo de 3 meses, realizada por Coopers & Lybrand, encontró que Unisys cometía errores en 8.5% de las reclamaciones procesadas. El estándar de la industria es 3.5% de “defectos”.
2. **Porcentaje de reclamaciones procesadas en 30 días.** Para la medida de este atributo, un “defecto” es un tiempo de procesamiento más largo que el tiempo asignado en el contrato. En una muestra de un mes, 13% de las reclamaciones excedieron el límite de 30 días, mucho más arriba del 5% permitido por el estado de Florida.

El contrato de Florida era una migraña para Unisys, que subestimó la intensidad del trabajo de las reclamaciones sobre salud. Su director general, James Unruh, simplemente suspendió las ambiciones futuras en el cuidado de la salud. Mientras tanto, el ejecutivo del estado de Florida, Ron Poppel, comenta: “en realidad, necesitamos alguien que esté dentro del negocio de los seguros”.

Fuentes: Knight Ridder Tribune Business News (7 de febrero de 2002): 1, y Business Week (16 de junio de 1997): 6.

La prueba de resistencia en esta tela proporciona una observación más para la gráfica de control. Si la tensión promedio está “fuera de control”, o si una “corrida” de cinco promedios está por arriba o por debajo de la línea central, el proceso debe detenerse y ajustarse.



Las gráficas de control de defectos son útiles para vigilar procesos en los que existe un gran número de errores potenciales, pero que en realidad ocurre un número relativamente pequeño. Los defectos pueden ser errores en las palabras de un periódico, circuitos malos en un microchip, imperfecciones en una mesa o la falta de pepinillos en una hamburguesa.

La distribución de probabilidad de Poisson,<sup>3</sup> donde la varianza es igual a la media, es la base de las gráficas  $c$ . Como  $c$  es el número promedio de los defectos por unidad, la desviación estándar es igual a  $\sqrt{c}$ . Para calcular los límites de control de 99.73% para  $\bar{c}$ , utilizamos la fórmula

$$\text{límites de control} = \bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}} \tag{S6-12}$$

El ejemplo S5 muestra cómo establecer los límites de control para una gráfica  $\bar{c}$ .

### Ejemplo S5



Archivo de datos Excel  
OM Ch06SEXS1a

Red Top Cab Company recibe varias quejas al día sobre el comportamiento de sus conductores. Durante un periodo de 9 días (donde los días son la unidad de medida), el propietario recibió los siguientes números de llamadas de pasajeros irritados: 3, 0, 8, 9, 6, 7, 4, 9, 8, es decir, un total de 54 reclamaciones.

Para calcular los límites de control de 99.73%, tomamos

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

Por lo tanto,

$$LCS_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 6 + 3\sqrt{6} = 6 + 3(2.45) = 13.35$$

$$LCI_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 6 - 3\sqrt{6} = 6 - 3(2.45) = 0 \leftarrow \text{(ya que no puede ser negativo)}$$

Después de que el propietario trazó una gráfica de control que resumía estos datos y la colocó en un lugar visible del cuarto de casilleros de los conductores, el número de llamadas recibidas descendió a un promedio de tres por día. ¿Podría usted explicar por qué ocurrió esto?

### Aspectos de administración y gráficas de control

En un mundo ideal, no hay necesidad de gráficas de control. La calidad es uniforme y tan alta que los empleados no necesitan perder tiempo ni dinero en el muestreo y monitoreo de variables y atributos. Sin embargo, como los procesos aún no llegan a la perfección, los administradores deben tomar tres decisiones importantes acerca de las gráficas de control.

Primero, los administradores deben seleccionar los puntos de su proceso que requieren SPC. Tal vez se pregunten: “¿qué partes del trabajo son cruciales para el éxito?” o “¿qué partes del trabajo tienen mayor tendencia a salirse de control?”

<sup>3</sup>Una distribución de probabilidad de Poisson es una distribución discreta que, en general, se usa cuando los elementos de interés (en este caso defectos) son poco frecuentes y ocurren en un tiempo y espacio dados.

**TABLA S6.2 ■**

**Ayuda para decidir qué gráfica de control usar**

**USO DE UNA GRÁFICA  $\bar{x}$  Y UNA GRÁFICA  $R$**

1. Las observaciones son *variables*, las cuales normalmente son las medidas del tamaño o peso de los productos. Ejemplos de ello son el grosor y la longitud de un cable y el peso de una lata de sopa Campbell's.
2. Reúna 20 o 25 muestras de  $n = 4, n = 5$ , o más, cada una de un proceso estable, y calcule la media de una gráfica  $\bar{x}$  y el rango para una gráfica  $R$ .
3. Rastreamos muestras de  $n$  observaciones cada una, como en el ejemplo S1.

**USO DE UNA GRÁFICA  $p$**

1. Las observaciones son *atributos* que se clasifican como buenos o malos (pasa-no pasa, funciona-no funciona), es decir, en dos estados.
2. Manejamos fracciones, proporciones o porcentajes de defectos.
3. Existen diversas muestras, con muchas observaciones en cada una. Por ejemplo, 20 muestras de  $n = 100$  observaciones en cada una, como en el ejemplo S4.

**USO DE UNA GRÁFICA  $c$**

1. Las observaciones son *atributos* cuyos defectos por unidad de salida se pueden contar.
2. Manejamos el número contado, el cual es una pequeña parte de las ocurrencias posibles.
3. Los defectos serían: imperfecciones en un escritorio; reclamaciones en un día; crímenes en un año; asientos rotos en un estadio; erratas en un texto impreso o puntos corridos en un rollo de tela.

Segundo, los administradores deben decidir si son apropiadas las gráficas de variables (es decir,  $\bar{x}$  y  $R$ ) o las gráficas de atributos (es decir,  $p$  y  $c$ ). Las gráficas de variables supervisan pesos o dimensiones. Las gráficas de atributos son más una evaluación "si-no" o "pasa-no pasa" y su implantación tiende a ser menos costosa. La tabla S6.2 lo ayudará a comprender cuándo utilizar cada tipo de gráficas de control.

Tercero, la compañía debe establecer políticas de SPC claras y específicas para que las sigan los empleados. Por ejemplo, ¿debe detenerse un proceso de captura de datos si aparece una tendencia en el porcentaje de registros defectuosos que se capturan? ¿Debe pararse una línea de ensamble si la longitud promedio de cinco muestras sucesivas está arriba de la línea central? La figura S6.7 muestra algunos patrones que deben observarse en un proceso a través del tiempo.

Se dispone de una herramienta llamada **corrida de prueba** para ayudarnos a identificar el tipo de anomalías en un proceso, como se observa en la figura S6.7. En general, una corrida de cinco puntos arriba o abajo del objetivo, o línea central, sugiere la presencia de una variación asignable o no aleatoria. Cuando así ocurre se tiene una señal, aunque todos los puntos caigan dentro de los límites de control. Esto significa que el proceso quizá no esté estadísticamente bajo control. Diversas corridas de pruebas se describen en los libros bajo el tema de métodos de calidad.<sup>4</sup>

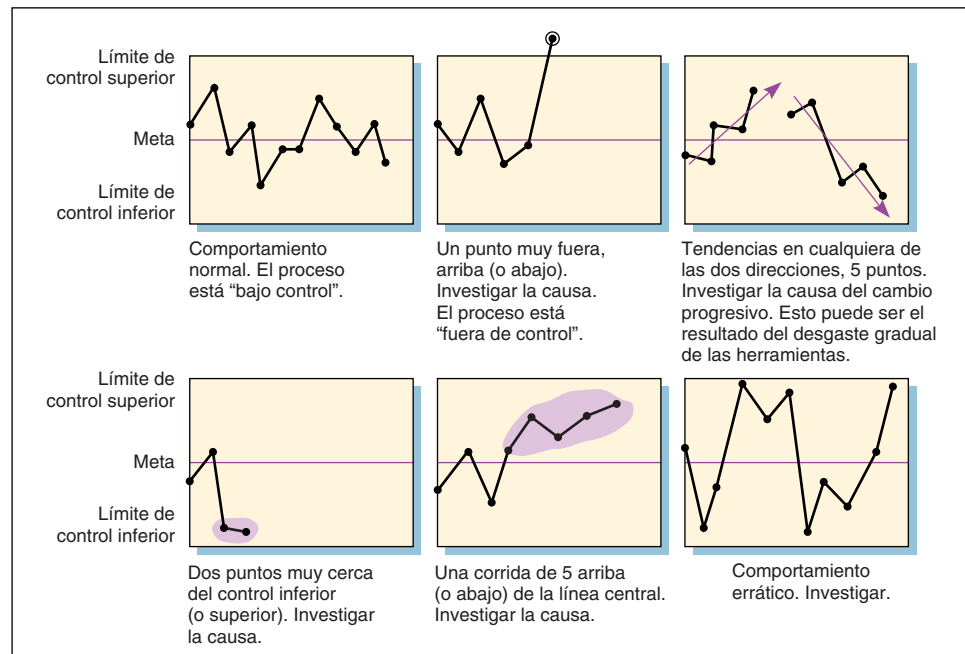
**Corrida de prueba**

Una manera de examinar los puntos en una gráfica de control para observar si existen variaciones no aleatorias.

**FIGURA S6.7 ■**

**Patrones observables en las gráficas de control**

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



<sup>4</sup>Véase James R. Thompson y Jacob Koroncki, *Statistical Process Control for Quality Improvement* (Nueva York: Chapman & Hall, 1993), o Fred Aslup y Ricky Watson, *Practical Statistical Process Control* (Nueva York: Van Nostrand Reinhold, 1993).



## HABILIDAD DEL PROCESO

Cuando nos referimos al “control estadístico del proceso”, lo que queremos decir es que deseamos mantener el proceso bajo control. Esto significa que la variación natural del proceso debe ser suficientemente pequeña (estrecha) como para elaborar productos que reúnan los estándares (calidad) requeridos. Sin embargo, un proceso que se encuentra bajo control estadístico podría no fructificar en bienes y servicios que cumplen sus *especificaciones de diseño* (tolerancias). La habilidad de un proceso para cumplir las especificaciones de diseño, establecidas por ingeniería de diseño o por los requerimientos del cliente, se denomina **habilidad del proceso**. Aun cuando un proceso esté bajo control estadístico (estable), a veces el resultado no reúne las especificaciones.

Por ejemplo, digamos que el tiempo que un cliente está dispuesto a esperar para que terminen el trabajo de lubricación de su automóvil en Quick Lube es 12 minutos, con una tolerancia aceptable de  $\pm 2$  minutos. Esta tolerancia da una especificación superior de 14 minutos y una especificación inferior de 10 minutos. El proceso de lubricación debe ser capaz de operar dentro de estas especificaciones de diseño; de no ser así, los requerimientos de algunos clientes no quedarán satisfechos. En un ejemplo de manufactura, las tolerancias de los engranes en Harley-Davidson son extremadamente bajas, sólo ¡0.0005 pulgadas!

Existen dos medidas populares para determinar cuantitativamente si un proceso es capaz: la razón de habilidad del proceso ( $C_p$ ) y el índice de habilidad del proceso ( $C_{pk}$ ).

### Razón de habilidad del proceso ( $C_p$ )

Para que un proceso sea capaz, sus valores deben caer dentro de las especificaciones superior e inferior. Eso significa en general que la habilidad del proceso está dentro de  $\pm 3$  desviaciones estándar de la media del proceso. Puesto que este intervalo de valores es de 6 desviaciones estándar, la tolerancia de un proceso capaz, que es la diferencia entre las especificaciones superior e inferior, debe ser mayor o igual que  $6\sigma$ .<sup>5</sup>

La razón de la habilidad del proceso,  $C_p$ , se calcula como:

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

Un proceso capaz tiene una  $C_p$  de cuando menos 1.0. Si  $C_p$  es menor que 1.0, los productos o servicios que produce el proceso están fuera de su tolerancia permitida. Con una  $C_p$  de 1.0, se espera que 2.7 partes en 1000 estén “fuera de especificaciones”.<sup>6</sup> Cuanto mayor sea la razón de habilidad del proceso, mayor es la probabilidad de que el proceso esté dentro de las especificaciones de diseño. Muchas empresas han elegido como meta una razón  $C_p$  de 1.33 para reducir la variabilidad del proceso. Esto significa que esperan que sólo 64 partes por millón estén fuera de lo especificado.

### Ejemplo S6



#### Modelo activo S6.2

El ejemplo 6 se ilustra con más detalle en el modelo activo S6.2 en el CD-ROM.

En el proceso de reclamaciones de seguros de GE,  $\bar{x} = 210.0$ , y  $\sigma = .516$  minutos.

La especificación de diseño para cumplir las expectativas del cliente es  $210 \pm 3$  minutos. Por lo tanto, la especificación superior es 213 minutos y la especificación inferior 207 minutos.

$$C_p = \frac{\text{Especificación superior} - \text{especificación inferior}}{6\sigma} = \frac{213 - 207}{6(.516)} = 1.938$$

Dado que una razón de 1.00 significa que 99.73% de los resultados de un proceso están dentro de las especificaciones, esta razón sugiere un proceso muy capaz, con una inconformidad inferior a 4 reclamaciones por millón.

Recuerde que en el capítulo 6 mencionamos el concepto de calidad *six sigma*, donde GE y Motorola van a la cabeza. Este estándar se calcula en una razón  $C_p$  de 2.0, con sólo 3.4 partes defectuosas por millón (muy cerca de cero defectos) en lugar de 2.7 partes por 1,000 con los límites 3 sigma.

Si bien  $C_p$  se relaciona con la dispersión del resultado del proceso relativa a su tolerancia, no observa la forma en que el promedio del proceso se centra en su valor meta.

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

<sup>6</sup>Esto se debe a que  $C_p$  igual a 1.0 tiene 99.73% de resultados dentro de las especificaciones. Por lo cual,  $1.00 - .9973 = .0027$ ; en 1000 partes, hay  $.0027 \times 1000 = 2.7$  defectos.

Con una  $C_p$  de 2.0, 99.99966% de los resultados están “dentro de especificaciones”. Por lo cual,  $1.00 - .9999966 = .0000034$ ; en un millón de partes, hay 3.4 defectos.

#### Habilidad del proceso

Aptitud para cumplir con las especificaciones de diseño.

#### $C_p$

Razón o cociente para determinar si un proceso reúne las especificaciones de diseño.

## Índice de habilidad del proceso ( $C_{pk}$ )

**$C_{pk}$**   
Proporción de la variación natural ( $3\sigma$ ) entre el centro del proceso y el límite de especificación más cercano.

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

La fórmula del índice  $C_{pk}$  es:

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

donde  $\bar{X}$  = media del proceso  
 $\sigma$  = desviación estándar de la población de un proceso

Cuando el índice  $C_{pk}$  es igual a 1.0, la variación del proceso se centra entre los límites de especificación inferior y superior y el proceso es capaz de producir dentro de  $\pm 3$  desviaciones estándar (menos de 2,700 defectos por millón). Un  $C_{pk}$  de 2.0 significa que el proceso es capaz de producir menos de 3.4 defectos por millón. La figura S6.8 muestra el significado de varias medidas de  $C_{pk}$  y el ejemplo S7 muestra una aplicación de  $C_{pk}$ .

### Ejemplo S7

Usted es el gerente de mejoras de proceso y ha desarrollado una nueva máquina para cortar las plantillas de la mejor línea de zapatos deportivos de la compañía. Está emocionado porque la meta de la empresa es no más de 3.4 defectos por millón, y esta máquina parece ser la innovación que usted necesita. Las plantillas no pueden exceder por más de  $\pm .001$  pulgada el grosor requerido de .250 pulgada. Usted desea saber si necesita reemplazar la máquina existente, cuyo  $C_{pk}$  es 1.0. Por lo tanto, decide determinar el  $C_{pk}$  de la nueva máquina y tomar su decisión con base en ello.

Límite de especificación superior = .251 de pulgada

Límite de especificación inferior = .249 de pulgada

Media del nuevo proceso  $\bar{X}$  = .250 de pulgada.

Desviación estándar estimada del nuevo proceso =  $s$  = .0005 pulgada.

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

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

Ambos cálculos dieron:  $\frac{.001}{.0015} = 0.67$ .

Con un  $C_{pk}$  de sólo 0.67, la nueva máquina *no* debe reemplazar a la existente.

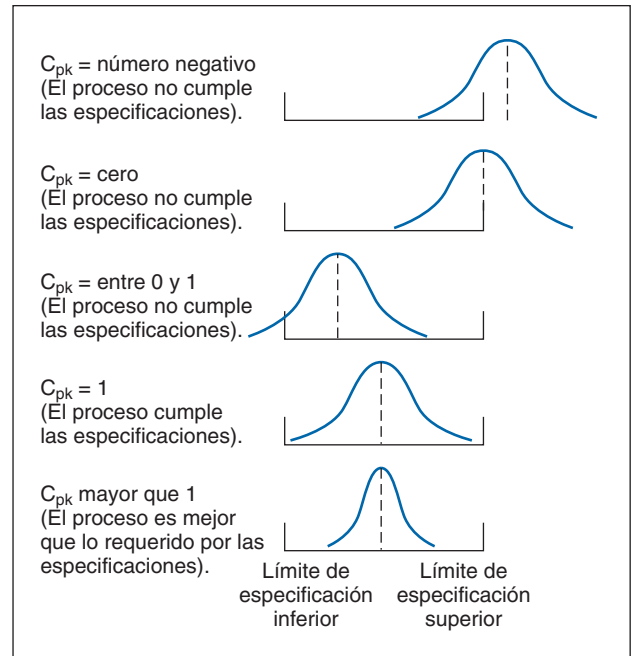
Si la media del proceso no está centrada en la media deseada (especificada), entonces se usa el número más pequeño en el numerador de la ecuación (S6-14) (el mínimo entre el límite superior de la especificación, menos la media y el del límite inferior de la especificación menos la media). Esta aplicación de  $C_{pk}$  se muestra en el problema resuelto S6.4.

Cuando el proceso se centra entre el límite superior y el límite inferior de la especificación (como fue el caso en el ejemplo S6) la razón de habilidad del proceso será igual al índice de habilidad del proceso. No obstante, el índice  $C_{pk}$  mide la habilidad *real* de un proceso, esté o no esté centrada su media entre los límites de la especificación. Como en la vida real a menudo las distribuciones de los procesos *no* están centradas, la mayoría de las compañías emplean el  $C_{pk}$  para dar a conocer sus expectativas a los proveedores. Cummings Engine Company, por ejemplo, primero solicitó a sus proveedores que emplearan un  $C_{pk}$  arriba de 1.33 y después trabajó con ellos para elevar esa habilidad a un  $C_{pk}$  superior a 1.67.

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 de control inferior y superior. Cuando el  $C_{pk}$  aumenta a más de 1, el proceso se orienta cada vez más a la meta, con menos defectos. Si el  $C_{pk}$  es menor que 1.0, el proceso no producirá dentro de la tolerancia especificada.

MUESTREO DE ACEPTACIÓN<sup>7</sup>

## Muestreo de aceptación

Método para medir muestras aleatorias de lotes o grupos de productos contra estándares predeterminados.

## Curva característica de operación (OC)

Gráfica que describe qué tan bien un plan de aceptación discrimina entre lotes buenos y malos.

## Riesgo del productor

Error que consiste en que el muestreo rechace un buen lote del productor.

## Riesgo del consumidor

Error que consiste en que el consumidor acepte un mal lote o descuido en el muestreo.

El **muestreo de aceptación** es una manera de probar que implica tomar muestras aleatorias de “lotes” o grupos de productos terminados para medirlas contra estándares predeterminados. El muestreo es más económico que la inspección al 100%. La calidad de la muestra se emplea para juzgar la calidad de todos los artículos en el lote. Aun cuando se inspeccionan los atributos y las variables mediante el muestreo de aceptación, es más común usar la inspección por atributos como se ilustra en esta sección.

El muestreo de aceptación suele aplicarse cuando los materiales llegan a la planta o en la inspección final, pero casi siempre se emplea para controlar los lotes de productos comprados que llegan. Un lote de artículos rechazados, con base en un nivel inaceptable de defectos encontrados en la muestra, puede **1.** regresarse al proveedor o **2.** inspeccionarse al 100% para separar todos los defectuosos, usualmente cobrando al proveedor el costo de esta tarea. No obstante, el muestreo de aceptación no sustituye los controles adecuados del proceso. De hecho, el enfoque actual es construir controles estadísticos de calidad de los proveedores con la finalidad de eliminar el muestreo de aceptación.

## Curva característica de operación

La **curva característica de operación (OC)** describe qué tan bien un plan de aceptación discrimina entre lotes buenos y lotes malos. Una curva pertenece a un plan específico, es decir, a una combinación de  $n$  (tamaño de la muestra) y  $c$  (nivel de aceptación). Lo que se intenta es mostrar la probabilidad de que el plan acepte lotes con distintos niveles de calidad.

En el muestreo de aceptación casi siempre intervienen dos partes: el fabricante del producto y el consumidor del producto. Al especificar un plan de aceptación, cada parte quiere eludir los costosos errores de aceptar o rechazar un lote. Por lo común, el productor tiene la responsabilidad de reemplazar todas las partes defectuosas rechazadas en el lote o pagar al cliente el embarque de un nuevo lote. En consecuencia, el productor desea evitar el error de que un lote bueno sea rechazado (**riesgo del productor**). Por su parte, el cliente o consumidor trata de evitar el error de aceptar un lote malo, porque los defectos encontrados en un lote previamente aceptado casi siempre son responsabilidad del cliente (**riesgo del consumidor**). La curva OC muestra las características de un plan de muestreo particular, incluidos los riesgos de tomar una mala decisión.<sup>8</sup>

<sup>7</sup>Una amplia discusión sobre muestreo de aceptación se encuentra el Tutorial 2 en su CD-ROM.

<sup>8</sup>Observe que con el muestreo siempre se corre el peligro de llegar a una conclusión equivocada. Digamos en este ejemplo que la población total bajo observación es una carga de 1,000 chips de computadora, de los cuales en realidad sólo 30 (o 3%) son defectuosos. Eso significa que querríamos aceptar el embarque de chips, porque 4% de defectos es el promedio aceptado. Sin embargo, si tomáramos una muestra aleatoria de  $n = 50$  chips, es posible que encontráramos 0 defectos y aceptáramos el embarque (lo cual está bien), pero también podríamos encontrar en la muestra el total de los 30 defectos. Si ocurriera esto último, podríamos concluir de manera equivocada que 60% de la población total tiene defectos y rechazarla toda.

**FIGURA S6.9** ■

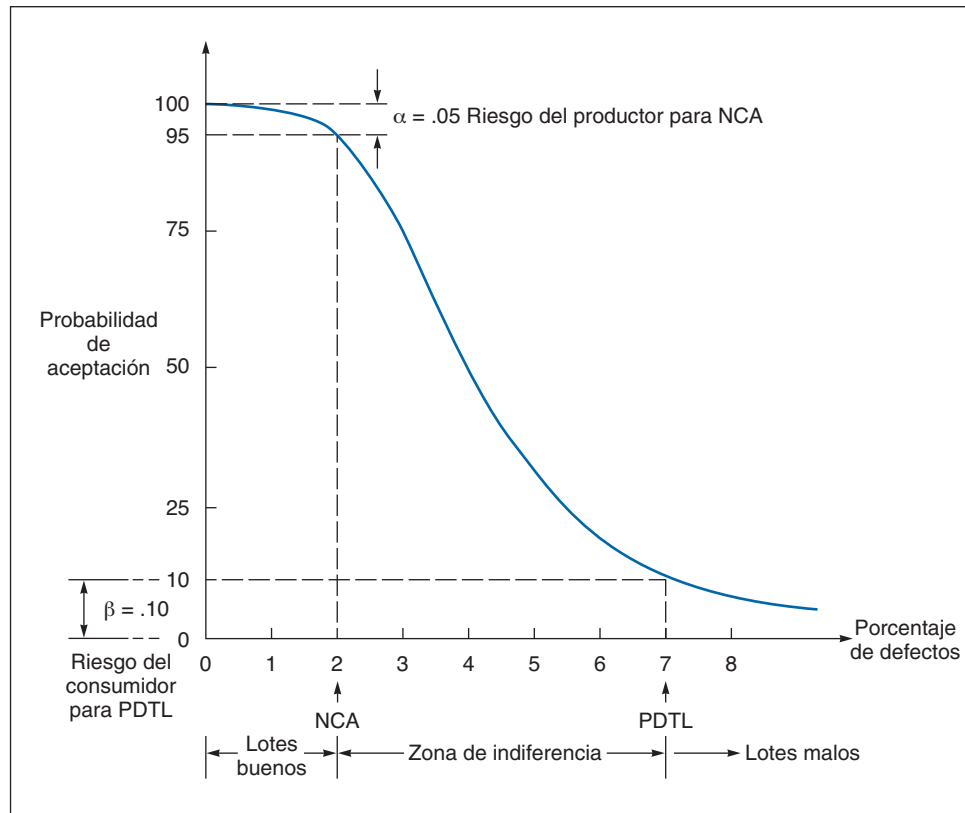
Curva característica de operación (OC) que muestra los riesgos del productor y del consumidor

Para este plan particular de aceptación, un buen lote tiene como máximo 2% de defectos. Un mal lote tiene 7% de defectos o más.



**Modelo activo S6.3**

La figura S6.9 se ilustra con más detalle en el modelo activo S6.3 del CD-ROM.



La figura S6.9 ilustra con mayor detalle un plan de aceptación. En dicha figura se manejan cuatro conceptos.

**Nivel de calidad aceptable (NCA)**

Nivel de calidad que se considera bueno para un lote.

El **nivel de calidad aceptable (NCA)** es el nivel de calidad más bajo que estamos dispuestos a aceptar. En otras palabras, estamos dispuestos a aceptar lotes con éste nivel de calidad o mejor, pero no peor. Si el nivel aceptable de calidad es 20 defectos en un lote de 1,000 artículos o partes, entonces el NCA es  $20/1,000 = 2\%$  de defectos.

**Porcentaje de defectos tolerados en el lote (PDTL)**

Nivel de calidad que se considera malo para un lote.

El **porcentaje de defectos tolerados en el lote (PDTL)** es el nivel de calidad de un lote que consideramos malo. Queremos rechazar los lotes que tengan este nivel de calidad o uno menor. Si se acuerda que el nivel inaceptable de calidad es 70 defectos en un lote de 1,000, entonces el PDTL es  $70/1,000 = 7\%$  de defectos.

Para obtener un plan de muestreo, productor y consumidor deben definir no sólo qué es un “lote bueno” y un “lote malo” a través del NCA y el PDTL, sino también especificar los niveles de riesgo.

El **riesgo del productor ( $\alpha$ )** es la probabilidad de que un lote “bueno” sea rechazado. Éste es el riesgo de que una muestra aleatoria pueda dar como resultado una proporción de defectos mucho mayor que la de la población de todos los artículos. Un lote con un nivel de calidad aceptable NCA aún tiene una probabilidad  $\alpha$  de ser rechazado. Los planes de muestreo a menudo se diseñan para establecer el riesgo del productor en  $\alpha = .05$ , o 5%.

*Este dispositivo de rastreo con láser, de Faro Technologies, permite que los trabajadores de control de la calidad midan e inspeccionen partes y herramientas durante la producción. El rastreador mide objetos desde una distancia de 100 pies y toma hasta mil lecturas por segundo.*



**Error tipo I**

En términos estadísticos, la probabilidad de que se rechace un buen lote.

**Error tipo II**

En términos estadísticos, la probabilidad de que se acepte un mal lote.

El *riesgo del consumidor* ( $\beta$ ) es la probabilidad de que se acepte un lote “malo”. Éste es el riesgo de que una muestra aleatoria dé como resultado una proporción de defectos menor que la de la población total de artículos. El valor común del riesgo del consumidor en los planes de muestreo es  $\beta = .10$ , o 10%.

La probabilidad de rechazar un lote bueno se denomina **error tipo I**. La probabilidad de aceptar un lote malo se le llama **error tipo II**.

Los planes de muestreo y las curvas OC se desarrollan por computadora (como se observa en el software disponible con este libro), empleando tablas publicadas como la U.S. Military Standard MIL-STD-105 y la tabla Dodge-Roming o, mediante cálculos usando las distribuciones binomial o de Poisson.<sup>9</sup>

**Calidad de salida promedio**

En la mayoría de los planes de muestreo, cuando se rechaza un lote se inspecciona el lote entero y se reemplazan todos los artículos defectuosos. El uso de esta técnica de reemplazo mejora la calidad de salida promedio en términos del porcentaje de defectos. De hecho, dado **1.** cualquier plan de muestreo que reemplace todos los artículos defectuosos encontrados y **2.** el porcentaje de defectos de entrada verdadero para el lote, es posible determinar la **calidad de salida promedio (CSP)** como un porcentaje de defectos. La ecuación para CSP es:

$$CSP = \frac{(P_d)(P_a)(N - n)}{N} \tag{S6-15}$$

- donde  $P_d$  = porcentaje de defectos verdadero del lote
- $P_a$  = probabilidad de aceptar el lote
- $N$  = número de artículos en el lote
- $n$  = número de artículos en la muestra

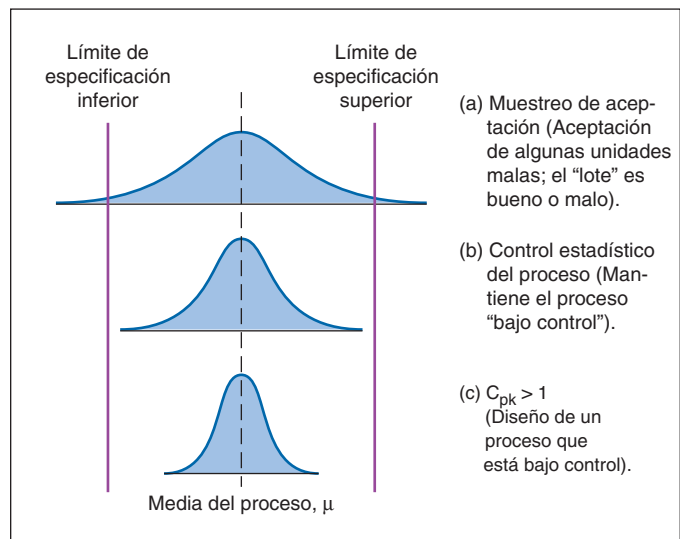
El valor máximo de CSP corresponde al porcentaje de defectos promedio más alto o a la calidad promedio más baja para el plan de muestreo. Esto se conoce como *límite de calidad de salida promedio (LCSP)*.

El muestreo de aceptación es útil para observar los lotes entrantes. Cuando se reemplazan las partes defectuosas con partes buenas, el muestreo de aceptación ayuda a incrementar la calidad de los lotes al reducir el porcentaje de defectos de salida.

En la figura S6.10 se comparan el muestreo de aceptación, SPC, y el índice  $C_{pk}$ . Como se ve en esa figura, **a)** el muestreo de aceptación, por definición, acepta algunas unidades malas, **b)** las gráficas de control buscan mantener el proceso bajo control, pero **c)** el índice  $C_{pk}$  centra la atención en mejorar el proceso. Como administradores de operaciones, eso es precisamente lo que queremos hacer: mejorar el proceso.

**FIGURA S6.10 ■**

La aplicación de las técnicas estadísticas de procesos contribuye a la identificación y reducción sistemática de la variabilidad de un proceso



<sup>9</sup>Las dos tablas que se emplean con más frecuencia para los planes de aceptación son *Military Standard Sampling Procedures and Tables for Inspection by Attributes* (MIL-STD-105D) (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1963), y H. F. Dodge y H. G. Roming, *Sampling Inspection Tables—Single and Double Sampling*, 2a. ed. (Nueva York: John Wiley, 1959).

**Calidad de salida promedio (CSP)**

Porcentaje de defectos en un lote promedio de bienes inspeccionado mediante el muestreo de aceptación.

## RESUMEN

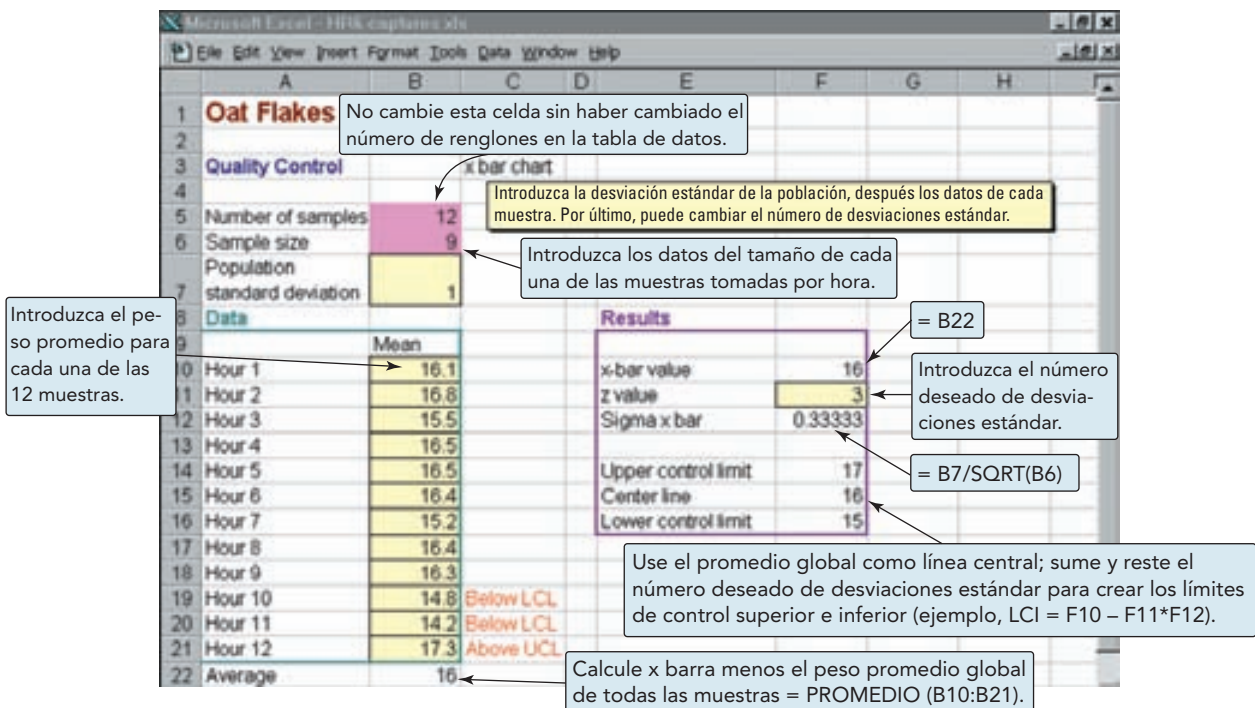
El control estadístico de procesos es la principal herramienta estadística para el control de la calidad. Las gráficas de control para SPC ayudan a los administradores de operaciones a distinguir entre las variaciones naturales y asignables. Las gráficas  $\bar{x}$  y las gráficas  $R$  se utilizan para el muestreo de variables, mientras que las gráficas  $p$  y gráficas  $c$  para el muestreo de atributos. El índice  $C_{pk}$  es una forma de expresar la habilidad del proceso. Las curvas características de operación (OC) facilitan el muestreo de aceptación y proporcionan al administrador las herramientas para evaluar la calidad de una corrida de producción o de un embarque.

## TÉRMINOS CLAVE

- Control estadístico del proceso (SPC) (p. 214)
- Gráfica de control (p. 214)
- Variación natural (p. 215)
- Variación asignable (p. 215)
- Gráfica  $\bar{x}$  (p. 216)
- Gráfica  $R$  (p. 216)
- Teorema del límite central (p. 217)
- Gráficas  $p$  (p. 222)
- Gráficas  $c$  (p. 224)
- Corrida de prueba (p. 226)
- Habilidad del proceso (p. 227)
- $C_p$  (p. 227)
- $C_{pk}$  (p. 228)
- Muestreo de aceptación (p. 229)
- Curva característica de operación (OC) (p. 229)
- Riesgo del productor (p. 229)
- Riesgo del consumidor (p. 229)
- Nivel de calidad aceptable (NCA) (p. 230)
- Porcentaje de defectos tolerados en el lote (PDTL) (p. 230)
- Error tipo I (p. 231)
- Error tipo II (p. 231)
- Calidad de salida promedio (CSP) (p. 231)

## USO DE EXCEL OM PARA SPC

Excel y otras hojas de cálculo se usan ampliamente en la industria para mantener las gráficas de control. El módulo de control de calidad de Excel OM tiene la capacidad de elaborar gráficas  $\bar{x}$  gráficas  $p$  y gráficas  $c$ . El programa S6.1 ilustra el enfoque de las hojas de cálculo de Excel OM para calcular los límites de control  $\bar{x}$  para la compañía Oat Flakes del ejemplo S1. Excel también tiene integrada la posibilidad de graficar con Chart Wizard.



**PROGRAMA S6.1** ■ Información de entrada de Excel OM y fórmulas seleccionadas para el ejemplo S1 de Oat Flakes

## USO DE POM PARA WINDOWS

El módulo de control de calidad de POM para Windows calcula todas las gráficas de control de SPC presentadas en este suplemento. Asimismo maneja muestreo de aceptación y curvas características de operación. Véanse más detalles en el apéndice V.