

Capítulo 8



Administración de la calidad

Presentación del capítulo

- 8.1 Definiciones de calidad
- 8.2 Calidad de los servicios
- 8.3 Planeación, control y mejoramiento de la calidad
- 8.4 Pioneros de la calidad
- 8.5 Estándares ISO 9000
- 8.6 Reconocimiento Malcolm Baldrige
- 8.7 Calidad de la cadena de suministro
- 8.8 Calidad y desempeño financiero
- 8.9 Razón por la cual fracasan algunos esfuerzos hacia el mejoramiento de la calidad
- 8.10 Aspectos y términos clave
 - Usted decida
 - Ejercicios por internet
 - Preguntas de análisis
 - Bibliografía



La calidad es uno de los cuatro objetivos fundamentales de las operaciones, junto con el costo, la flexibilidad y en la entrega. Aun cuando la administración de la calidad es de carácter interfuncional e involucra a toda la organización, el área de operaciones tiene una responsabilidad especial en cuanto a la elaboración de un producto de calidad para el cliente. Ello requiere la cooperación de toda la organización y una cuidadosa atención de la gerencia y control de la calidad. Este capítulo expone la administración de la calidad y, el siguiente, estudia el control y el mejoramiento de la misma.

En años recientes, ha habido un gran interés en la administración de la calidad; en Estados Unidos es difícil tomar un periódico sin leer acerca del reconocimiento Baldrige, el ISO 9000, Seis Sigmas, o algún enfoque utilizado por una compañía en particular para mejorar su calidad. Estos temas se abordan aquí junto con otros aspectos de la administración de la calidad.

La administración de la calidad ha tenido diversos significados a lo largo de los años. A principios del siglo xx, la calidad significaba inspección y que era el método primordial que se aplicaba para asegurar productos de calidad. En la década de 1940, la calidad adquirió una connotación estadística dado el comienzo del uso de métodos estadísticos para controlarla dentro de la variación natural de los procesos. El pionero en estadística Walter Shewhart desarrolló gráficas de control estadístico para mantener un proceso dentro de un estado de control estadístico y reducir, de este modo, la cantidad de inspecciones requeridas. En la década de 1960, el significado del término *administración de la calidad* se amplía

Liderazgo operativo The Ritz-Carlton Hotel Company, L.L.C., ganador del reconocimiento Malcolm Baldrige

The Ritz-Carlton Hotel Company, L.L.C., es una compañía de excelencia en la administración de hoteles la cual desarrolla y opera 73 hoteles y centros de descanso de lujo en todo el mundo. En esencia, la empresa se concentra en ejecutivos industriales, planificadores de reuniones y viajeros de prestigio. Emplea 38 000 personas altamente capacitadas y motivadas para proporcionar un servicio de calidad. The Ritz-Carlton Hotel Company, actualmente propiedad de Marriott, ha ganado numerosos premios de calidad y es la única corporación hotelera que ha recibido dos reconocimientos Malcolm Baldrige.



Ritz-Carlton traduce las peticiones de sus huéspedes en exigencias a los empleados, a través de sus Estándares de Oro y su proceso de planeación estratégica. Ellos han elegido aquello que más desean sus clientes y se los ofrecen de las formas más sencillas. Los datos de Ritz-Carlton comprueban que el entendimiento que su personal tiene respecto a los Estándares de Oro está directamente relacionado con la satisfacción del consumidor.

Los trabajadores responden a las peticiones de los clientes tanto a nivel de equipo como a nivel individual. Brindan un servicio altamente personalizado e individual. Los gustos y las aversiones de los huéspedes se capturan y se registran en una historia computarizada la cual aporta información de las preferencias personales de cientos de miles de clientes frecuentes del Ritz-Carlton. Cuando un cliente regresa, esa información se proporciona a los empleados que lo atienden; así, el servicio se da a los niveles más bajos posibles de la organización.

Si un trabajador detecta una aversión o un problema, se le dota de autoridad para que complazca de inmediato al cliente, o bien, puede llamarle a cualquier otro empleado para que lo asista; a ello se le denomina servicio lateral y depende de personal bien capacitado, perceptivo y motivado junto con un sistema bien definido para la entrega del servicio. Con más de un millón de contactos con el cliente en un día muy activo, Ritz-Carlton asume que las peticiones de sus huéspedes y los requisitos de calidad deben ser impulsados por cada empleado al nivel más bajo de la corporación.

Los resultados indican que los hoteles Ritz-Carlton están haciendo un trabajo excepcional al traducir los deseos de sus clientes en un comportamiento de los empleados y en excelentes sistemas. El 97% de los huéspedes de Ritz-Carlton reportan haber tenido una *experiencia memorable* mientras se alojaron en uno de sus hoteles.

Fuente: Adaptado de Stephen George y Arnold Weimerskirch (1998); y www.ritzcarlton.com (2009). Logo reimpresso con permiso. Se reservan todos los derechos.

para incluir a toda la organización así como a todas las funciones que contribuyen en el diseño y en la producción de calidad. La calidad era interpretada no sólo como un acto de producción; además de ello, era algo en lo que la totalidad de la organización se debería esforzar por dar al cliente. En la actualidad, la calidad está asumiendo un significado más amplio, incluyendo un mejoramiento continuo, una ventaja competitiva y un enfoque centrado en el consumidor. El cuadro de Liderazgo operativo muestra la manera en la que el Hotel Ritz-Carlton, el cual ha ganado dos veces el Reconocimiento Nacional de Calidad Malcolm Baldrige en Estados Unidos, implantó los principios modernos de calidad.

8.1 DEFINICIONES DE CALIDAD

La calidad se define aquí como el hecho de *satisfacer o superar las peticiones del cliente ahora y en el futuro*. Ello significa que el producto o el servicio es apto para el uso del cliente. La **aptitud para el uso** se relaciona con los beneficios que el consumidor recibe y con la satisfacción del mismo; sólo él, y no el productor, la puede determinar.

Además, la **satisfacción del cliente** es un concepto relativo que varía de un consumidor a otro; de la misma forma, uno puede estar satisfecho con los productos de hoy, pero puede no estarlo en el futuro. Por ejemplo: mientras que alguien podría considerar un automóvil Ford como perfectamente satisfactorio, otro puede no pensar así, pero si el cliente de Ford gana la lotería, dicho automóvil podría ya no ser satisfactorio para él; ahora, quizá prefiera un Mercedes o un Jaguar. Cada persona define la calidad en relación con sus propias expectativas en un punto particular en el tiempo.

Ritz-Carlton. Cualquiera de las damas y caballeros del Ritz-Carlton puede gastar hasta 2 000 dólares para corregir de inmediato un problema de un huésped o para lidiar con quejas. Sus empleados fueron el factor clave para que Ritz-Carlton obtuviera el Reconocimiento Nacional de Calidad Malcolm Baldrige y el nivel más alto de satisfacción de los huéspedes en la industria de los hoteles de lujo.



Desde el punto de vista del productor, no puede tolerarse alguna variación respecto a las especificaciones. Éste debe detallar los atributos de la calidad del producto o servicio tan cuidadosamente como sea posible y, acto seguido, debe esforzarse por cumplir con ellas a la vez que se mejora el proceso a través del tiempo; si el producto resultante cubre los deseos del consumidor, será juzgado por el cliente mismo.

En la siguiente sección, definimos la calidad del servicio; sin embargo, cuando el

producto es un bien manufacturado, pueden establecerse las siguientes dimensiones de la calidad:

- Calidad del diseño.
- Calidad de la conformidad.
- *Capacidades.*
- Servicio de campo.

La **calidad del diseño** se determina antes de que se elabore un producto y es, de ordinario, la responsabilidad fundamental de un equipo interfuncional de diseño del producto, incluyendo a los miembros de mercadotecnia, ingeniería, operaciones y otras funciones.

La calidad del diseño se estipula a través de una investigación de mercado, el concepto del diseño y las especificaciones; por lo común, la investigación de mercado se centra en evaluar las necesidades del cliente. Puesto que hay distintas formas de satisfacer tales requerimientos, debe desarrollarse un concepto particular de diseño; por ejemplo: el cliente puede solicitar un transporte económico y eficiente en cuanto al consumo de energía —una necesidad que puede ser satisfecha a través de un gran número de automóviles, donde cada uno representa un concepto diferente del diseño—. El concepto del diseño da, entonces, como resultado, un conjunto de especificaciones para el producto, como un plano de diseño del proceso digitalizado y una lista de materiales.

La **calidad de la conformidad** alude a la elaboración de un producto capaz de satisfacer las especificaciones. Cuando éste se ajusta a ellas, el área de operaciones lo considera de calidad indistintamente de la calidad de las especificaciones del diseño; por ejemplo: unos zapatos de bajo precio tendrán una alta calidad de conformidad si se hacen de acuerdo con ciertas especificaciones y una baja calidad de conformidad si no las satisfacen. De este modo, la calidad del diseño y la de la conformidad representan dos aplicaciones diferentes del término *calidad*.

Otro aspecto de la calidad se asocia con las llamadas capacidades: disponibilidad, confiabilidad y condiciones de mantenimiento. Cada uno de tales términos entraña una dimensión de tiempo y, por lo tanto, amplía el significado de la calidad más allá del nivel de calidad inicial. La adición del tiempo a la definición de calidad es, desde luego, indispensable para reflejar una satisfacción continua por parte del cliente.

La **disponibilidad** define la continuidad del servicio para el consumidor. Un producto está disponible si se encuentra en un estado operacional y no inactivo a causa de reparaciones o mantenimiento. En el contexto militar, la disponibilidad se iguala con la prontitud operacional. La disponibilidad puede medirse cuantitativamente como sigue:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de buen funcionamiento}}{\text{Tiempo de buen funcionamiento} + \text{tiempo inactivo}}$$

La **confiabilidad** se refiere a la cantidad de tiempo que puede usarse un producto antes de que falle. Formalmente hablando, es la probabilidad de que un producto funcione durante un periodo especificado sin fallas. La confiabilidad de un foco en términos de 1 000 horas de servicio puede ser, por ejemplo, de 80%; en este caso, si se prueban muchos bulbos con base en periodos de 1 000 horas, 80% de ellos permanecerá encendido la totalidad del



tiempo y 20% fallará dentro de ese lapso. Asimismo, la confiabilidad de un producto se vincula con el tiempo medio entre las fallas (MTBF, *mean time between failure*), lo que constituye, precisamente, el tiempo promedio que el producto funciona de una falla a la siguiente. Entre más prolongado sea el tiempo medio entre las fallas, más confiable será el producto.

Las **condiciones de mantenimiento** remiten a la restauración de un producto o servicio una vez que ha fallado. Todos los clientes consideran el mantenimiento o las reparaciones como una molestia; por lo tanto, un alto grado de condiciones de mantenimiento es deseable, de modo que un producto se pueda restaurar para utilizarlo con rapidez; por ejemplo: Caterpillar Company brinda excelentes condiciones de mantenimiento mediante el suministro de partes de refacciones en cualquier parte del mundo en 48 horas. Las condiciones de mantenimiento pueden medirse a través del tiempo medio para la reparación (MTTR, *mean time to repair*) del producto.

Entonces, la disponibilidad es una combinación de la confiabilidad y de las condiciones de mantenimiento. Si un producto tiene una evaluación alta tanto en la confiabilidad como en las condiciones de mantenimiento, también poseerá un nivel alto en cuanto a disponibilidad. La relación anterior acerca de la disponibilidad puede reexpresarse en términos de tiempo medio entre fallas y tiempo medio para su reparación:

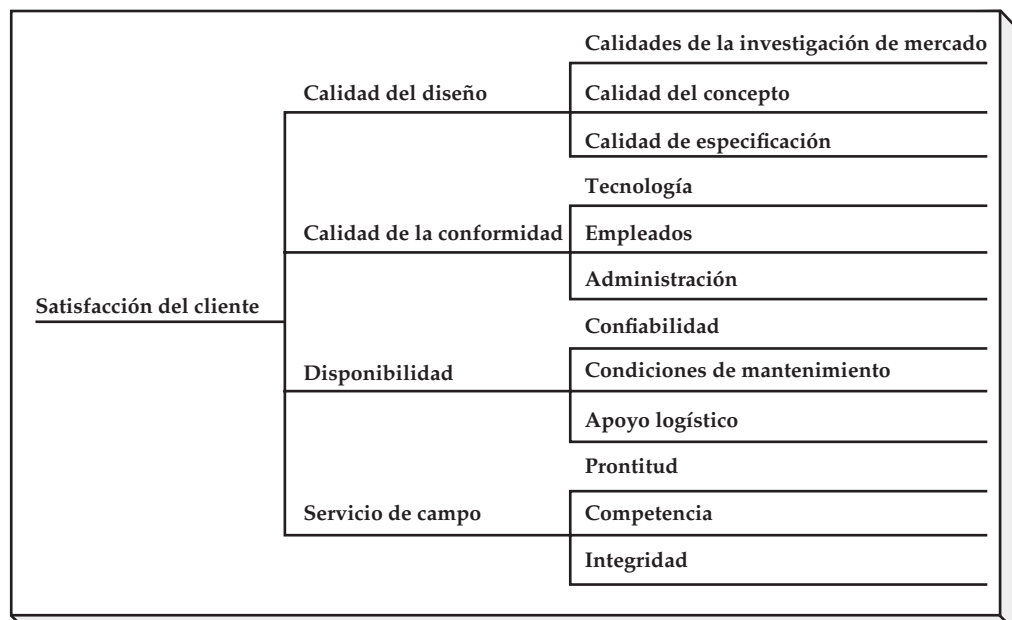
$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo medio entre fallas}}{\text{Tiempo medio entre fallas} + \text{tiempo medio para su reparación}}$$

Por ejemplo: si un producto cuenta con un tiempo medio entre fallas de ocho horas y un tiempo medio para su reparación de dos horas cada vez que falla, su disponibilidad será de 80 por ciento.

El **servicio de campo**, la última dimensión de la calidad, representa la garantía y la reparación o reemplazo del producto después que se ha vendido. El servicio de campo también se denomina servicio al cliente, servicio de ventas o, simplemente, servicio; es intangible, ya que está relacionado con variables como la prontitud, la competencia y la integridad. El cliente espera que cualquier problema se corrija rápidamente, de una manera satisfactoria, y con un alto grado de honestidad y de cortesía.

En la figura 8.1 se resumen las cuatro distintas dimensiones de la calidad.¹ Como puede observarse, la calidad es algo más que sólo un buen diseño del producto; se amplía al

FIGURA 8.1
Diferentes tipos de calidad.



¹ Estas dimensiones están estrechamente vinculadas con las conocidas dimensiones de la calidad de Garvin (1987).

control de calidad de la producción, a la calidad a lo largo de la vida del producto y a la calidad del servicio de campo luego de la venta.

8.2 CALIDAD DE LOS SERVICIOS

La definición y la medición de la **calidad de un servicio** son del todo distintas a las de la calidad de la manufactura. Como se definió en el capítulo 5, la calidad de servicio entraña dimensiones que consisten en el producto expedido, el servicio tangible (explícito) y el servicio psicológico (implícito). Aunque la calidad del producto que se ofrece puede medirse mediante el uso de las dimensiones de manufactura, los servicios tangible y psicológico requieren de mediciones distintas.

Las mediciones de la manufactura pueden ser altamente objetivas mientras que muchas medidas de servicio son perceptivas o subjetivas; como la calidad del diseño de la manufactura puede evaluarse con las características que el producto ofrece, como la velocidad de aceleración de un automóvil y su distancia normal para frenar. La calidad de la conformidad puede calcularse a través del costo de los desperdicios y de los reprocesamientos de la fábrica. Aunque no todo se mide en forma objetiva en la manufactura, en la calidad del servicio el caso es exactamente el opuesto: casi todas las medidas son subjetivas.

La medida más popular de la calidad del servicio se conoce como **SERVQUAL**² y se mide a través de un cuestionario para el cliente con base en cinco medidas perceptivas del servicio:

1. **Consideraciones tangibles.** La apariencia de las instalaciones físicas de la compañía, de sus equipos y de su personal; por ejemplo: si un restaurante está sucio y no es presentable y si los empleados tienen una apariencia desarreglada, la calidad de las consideraciones tangibles será baja.
2. **Confiabilidad.** La capacidad de la empresa para ejecutar el servicio prometido de un modo confiable y exacto sin errores; si un restaurante toma una reservación para las 7:00 pm y si el cliente no es sentado en la mesa rápidamente o si los meseros le llevan una comida equivocada, la confiabilidad será baja. Observe que la confiabilidad del servicio (denominada de una manera más precisa como conformidad) se define de una forma diferente de la confiabilidad para la manufactura.
3. **Receptividad.** La disposición de la corporación para proporcionar un servicio que sea rápido y útil para el cliente. En un restaurante, la comida debería servirse de manera oportuna y con la ayuda respectiva cuando ésta sea necesaria para entender el menú.
4. **Seguridad.** El conocimiento y la cortesía de los empleados de la organización así como su capacidad para transmitir confianza. En el ejemplo del restaurante: ¿conoce el mesero el menú y es cortés al brindar el servicio?
5. **Empatía.** La atención cuidadosa e individualizada que la compañía les ofrece a sus clientes. ¿Ayuda el mesero del restaurante a cada cliente y les muestra interés?

Como puede verse, dichas dimensiones del servicio son muy distintas de las de la manufactura y reflejan la estrecha interacción que los empleados poseen con los consumidores en el suministro de un servicio.

SERVQUAL aplica un cuestionario que consta de 22 reactivos (o preguntas) que miden de modo agregado esas cinco dimensiones. La calidad del servicio se basa en la brecha (o diferencia matemática) entre lo que espera el cliente en cada dimensión y lo que realmente se le suministra; en el caso de que el cliente no espere una gran cantidad de empatía, la calidad puede ser alta aun cuando no se le ofrezca mucha. El empleo de brechas como una medida de la calidad del servicio ha sido muy debatido; mientras algunos argumentan que el nivel percibido del servicio proporcionado debe medir sólo la calidad del servicio, otros alegan que la brecha entre lo que se otorga y lo que se espera es una mejor medida de

²Parasuraman *et al.* (1991, 1988).

la calidad. A pesar de que las cinco dimensiones de SERVQUAL cuentan con un alto nivel de aceptación para la medición general de la calidad, los aspectos específicos de la medición a través del SERVQUAL han sido fuertemente debatidos en la literatura;³ no obstante, SERVQUAL se usa extensamente en la práctica para medir tanto los servicios al menudeo como los bancarios, los telefónicos, las tiendas minoristas y los servicios de reparaciones.

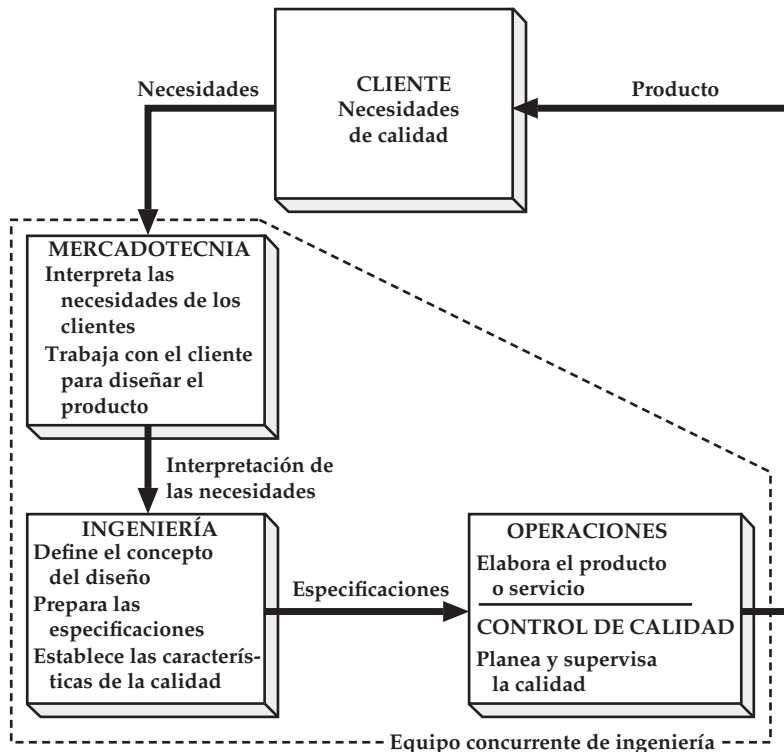
8.3 PLANEACIÓN, CONTROL Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD



En esta sección, explicaremos la manera en la que las dimensiones de la calidad de la manufactura o del servicio pueden ser parte de un proceso para la administración de la calidad. El proceso para la planeación, control y mejoramiento de la calidad implica una interacción continua entre el cliente, las operaciones y otras partes de la organización. La figura 8.2 ilustra cómo ocurren tales interacciones por medio de un *ciclo de calidad*. A menudo, las necesidades del cliente se determinan a través de la función de mercadotecnia. Estas necesidades son directamente expresadas por el consumidor o se descubren mediante un proceso de investigación de mercado. Ingeniería, en conjunción con otros departamentos, diseña un producto para satisfacer esas necesidades o trabaja con el cliente para diseñar especificaciones que se ajusten dentro de las capacidades actuales o futuras de producción. La implantación de la función de la calidad, la cual se cubrió en el capítulo 3, es una técnica de gran utilidad para alinear la voz de los clientes (las necesidades de los clientes) con las especificaciones de ingeniería.

Una vez que se han completado el concepto del diseño y las especificaciones, se ha establecido la calidad del diseño. Las operaciones, como parte del equipo de calidad, elaboran, entonces, el producto como se haya especificado. Las operaciones aseguran en forma continua que el producto se elabore como se especificó, insistiendo en la calidad de la conformidad. Por lo regular, ello se hace por medio de una capacitación adecuada, de

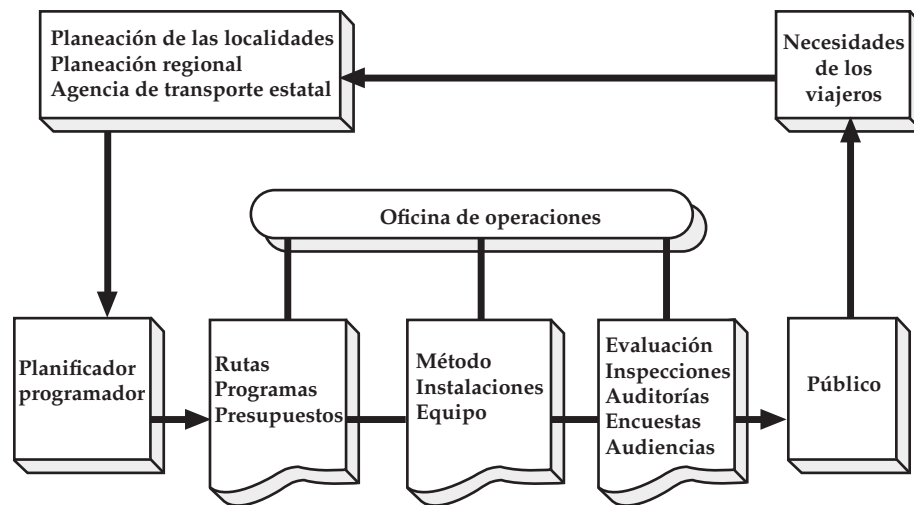
FIGURA 8.2
El ciclo de la calidad.



³ L. J. Morrison Coulthard (2004).

FIGURA 8.3

El ciclo de calidad en un sistema de tránsito en masa.



la supervisión, el mantenimiento de máquinas e inspecciones del operador. Además de satisfacer las especificaciones, el área de operaciones debe esforzarse por reducir la variación de sus procesos y productos a lo largo del tiempo; de esta manera ocurre un mejoramiento continuo.

La figura 8.3 es una descripción del ciclo de calidad para un sistema de tránsito en masa; en este caso, una agencia de planeación, en lugar de mercadotecnia, interpreta las necesidades de los clientes. Otro planificador, trabajando con mayor detalle, determina, entonces, el concepto del diseño y las especificaciones para el servicio. La función de operaciones proporciona el servicio y el público vuelve a expresar sus necesidades o confirma que el servicio actual es satisfactorio. El ciclo de calidad debe existir en toda organización para garantizar que todos los aspectos de la calidad sean planificados, controlados y continuamente mejorados. La realimentación proveniente del consumidor es esencial para elaborar productos y servicios de calidad.

La implantación de la planeación, el control y el mejoramiento de la calidad en el ciclo de calidad demanda la siguiente secuencia de pasos:

1. Definir los atributos de la calidad con base en las necesidades del cliente.
2. Decidir cómo se medirá cada atributo.
3. Fijar los estándares de calidad.
4. Establecer las pruebas apropiadas para cada estándar.
5. Encontrar y corregir las causas de una calidad deficiente.
6. Continuar haciendo mejoramientos.

El cuadro de Liderazgo operativo describe la forma en la que este enfoque de seis pasos se lleva a cabo en la práctica dentro de la empresa Motorola, ganadora del reconocimiento Baldrige.

La planeación de la calidad siempre debe empezar con los atributos del producto. El planificador de la calidad determina qué atributos son importantes para la satisfacción del cliente y cuáles no lo son; por ejemplo, el productor de las pantimedias L'eggs estableció tres principales atributos de calidad para su producto: 1) un ajuste cómodo, 2) una apariencia atractiva y 3) una vida de uso que el consumidor considere razonable. Asimismo, decidió que la cantidad correcta de material en varias partes de la pantimedia brindará un ajuste cómodo, que deberá emplearse una tela que sea teñida con colores de moda y que se halle libre de defectos para aportar una apariencia atractiva, y que ciertos estambres selectos y formaciones de costuras darán lugar a una vida de uso aceptable.

Por tanto, debe diseñarse un método para probar y medir la calidad de cada uno de los atributos del producto; por ejemplo: el productor de L'eggs ha desarrollado un estirador transversal especial que puede probar la fuerza de su producto y se utiliza en un cierto

Liderazgo operativo Proceso de mejoramiento de la calidad de Motorola

Motorola es un líder global de las comunicaciones que fabrica productos que incluyen sistemas de localización, teléfonos celulares y radios de comunicación bidireccional. Dispone de más de 60 000 empleados en todo el mundo, los cuales están comprometidos con un mejoramiento continuo de la calidad.



Motorola fue el primer ganador del Reconocimiento Nacional de Calidad Malcolm Baldrige y ha sido nombrado por Business Roundtable como el mejor practicante de administración de la calidad de Estados Unidos.

El objetivo fundamental de Motorola es la satisfacción total del cliente y para alcanzarlo ha desarrollado cinco iniciativas:

- Elaborar productos y servicios con base en un estándar Seis Sigmas (no más de 3.4 defectos por cada millón de acciones).
- Reducir el tiempo total del ciclo de todas las actividades.
- Ser líder en el área de productos, manufactura y ambiente.
- Mejorar la rentabilidad.
- Ofrecer un lugar de trabajo creativo y cooperativo en el cual se dote de autoridad a los trabajadores.

Tales iniciativas para la satisfacción del consumidor son conducidas por todos los niveles de la administración, desde los más bajos hasta los más altos.

Motorola cree con gran firmeza en el valor de la educación para todos los empleados; para dotarlos de autoridad,

ellos han descubierto que existe la necesidad de una educación continua. Los trabajadores renuevan continuamente sus habilidades y sus conocimientos acerca de la calidad, el diseño, la manufactura y sus propias especializaciones.

Motorola considera que ha sido muy exitosa debido a su proceso administrativo; en términos sencillos, el proceso consiste en: 1) tener parámetros establecidos, 2) determinar los resultados, 3) elegir un problema, 4) tratar el problema, 5) analizar la solución y 6) seguir adelante. Este proceso está muy lejos de causar conmoción; sólo es una aplicación de un mejoramiento continuo y de la planeación de la calidad y del ciclo de control.

Las metas optimizadas de Motorola estriban en lograr un mejoramiento de 10 veces en dos años en cualquier cosa que se esté evaluando. Si el tiempo del ciclo de una actividad fuera de 100 días, se reduciría a 10 días. Si los defectos fueran de 100 partes por millón (ppm), se reducirían a 10 ppm.

En Motorola, todos los empleados se responsabilizan de la calidad; ésta no es una tarea asignable. Debe enraizarse e institucionalizarse en todo proceso. La empresa considera que mejorar el sistema en pro de una satisfacción total del cliente es responsabilidad de todos.

Fuente: Adaptado de Karen Bemowski, "Motorola's Fountain of Youth", *Quality progress*, octubre de 1995, pp. 29-31; Stephen George y Arnold Weimerskirch, *Total Quality Management* (Nueva York: Wiley, 1998); y sitio web de Motorola: www.Motorola.com (2009). MOTOROLA y el logo estilizado M se han registrado en la Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos. © Motorola Inc. 2001. El logo de Motorola se usó con el permiso de Motorola, Inc.

porcentaje de todas sus pantimedias. Los productos de L'eggs también son visualmente inspeccionados en busca de defectos en el material o en la costura y de variaciones en las sombras.

Después de decidir sobre las técnicas de medición que se buscarán, el planificador de la calidad debe fijar **estándares** que describan la cantidad de calidad que se requerirá en cada atributo; por lo común, dichos estándares se expresan como tolerancias (cantidades \pm) o límites mínimos y máximos aceptables. También, los estándares pueden plantearse como objetivos deseados; un estándar de las pantimedias de L'eggs es la cantidad de presión que la prenda debe resistir en el estirador transversal.

Luego que se han precisado los estándares, debe establecerse un programa de prueba. En el caso de L'eggs, este programa se basa en procedimientos de muestreo puesto que sería demasiado costoso probar e inspeccionar cada uno de los millones de pares de pantimedias producidas cada año. La forma en la que se ponen en práctica tales planes de pruebas y de inspección se explicará en el siguiente capítulo.

No basta simplemente con inspeccionar los productos en cuanto a sus defectos; como lo dice el dicho: *No puede inspeccionarse la calidad de un producto, debe incorporársele*. Al descubrir los defectos, el personal y los trabajadores de calidad deben encontrar las causas fundamentales y corregirlas. Las causas de una calidad deficiente pueden incluir materias primas inadecuadas, falta de capacitación, procedimientos confusos, una máquina defectuosa y así sucesivamente. Si las causas de una calidad deficiente se descubren y se

FIGURA 8.4

Ejemplos de situaciones a prueba de errores (Poka-yoke).



Las tomas médicas de gas se diseñan de tal modo que sólo puedan insertarse las válvulas adecuadas en únicamente una toma de salida.



Los protectores de quemaduras cierran el flujo del agua si la temperatura de la misma llega a ser demasiado alta.



La nueva generación de cajeros automáticos ejecuta transacciones sin que la tarjeta abandone la mano del usuario.



Estos camiones escolares tienen un anillo de cable en el parachoques el cual se extiende hacia fuera para asegurar que no haya niños ocultos bajo el cofre.

corrigen con regularidad, el sistema de producción estará bajo un control constante y serán posibles los mejoramientos.

Incluso, un mejor planteamiento consiste, en primer lugar, en prevenir la ocurrencia de errores. Ello requiere diseñar productos y procedimientos internos a prueba de errores, trabajar con proveedores para prevenir errores, capacitar empleados antes de que ocurran los problemas y ejecutar un mantenimiento preventivo de las máquinas; sin embargo, cuando los errores realmente ocurren, deben corregirse rápidamente y el sistema mismo necesita cambiarse para prevenir que errores del mismo tipo se repitan.

El concepto de **situaciones a prueba de errores** fue desarrollado en la década de 1960 por Shigeo Shingo, quien trabajó para Toyota Motors en Japón. Se le denominó *Poka-yoke*, que es un término japonés que significa a prueba de errores. La idea del Poka-yoke es diseñar el producto y el proceso de modo que sea imposible cometer errores o que los errores se detecten con facilidad cuando ocurran; por ejemplo, un horno de microondas no arranca si la puerta está abierta y las puertas de un automóvil no se cierran cuando la llave está en el arrancador. Deben diseñarse partes que no puedan permitir retrasos u omisiones que conduzcan a errores. El servicio debe formularse de modo que el cliente obtenga exactamente lo que ordenó; si no puede prevenirse que ocurra el error, debe ser fácil de detectar. Éste es el enfoque a prueba de errores. Para más ejemplos acerca de las situaciones a prueba de errores, consulte la figura 8.4.

8.4 PIONEROS DE LA CALIDAD

Una vez definida la calidad y la teoría general de la planeación, el control y el mejoramiento aplicados a la calidad, nos dirigimos a diversos enfoques para la administración de la calidad. Esta exposición inicia con una breve revisión histórica de los enfoques defendidos por los pioneros de la calidad: Deming y Juran. Después, describimos el ISO 9000 y el enfoque Baldrige para la calidad, los cuales tienen actualmente un amplio uso en la industria.

Existen muchos pioneros de la calidad, incluyendo a Deming, Juran, Crosby, Feigenbaum, Shewhart e Ishikawa, para nombrar sólo algunos de ellos.⁴ En esta sección, nos concentramos en Deming y Juran, quienes han destacado sobre todo por sus enseñanzas de calidad a los japoneses y por la restauración de la atención a la calidad por parte de compañías estadounidenses y europeas.

W. Edwards Deming

W. Edwards Deming resaltó el papel que debe tomar la administración en el mejoramiento de la calidad. Deming definió a esta última como un mejoramiento continuo de un sistema estable. Tal definición pone de relieve dos cosas: primero, todos los sistemas (administrativos, diseño, producción y ventas) deben estar estables en un sentido estadístico, lo que implica que se tomen mediciones de los atributos de calidad a través de toda la compañía y que se supervisen a lo largo del tiempo; si estas mediciones tienen una variación constante alrededor de un promedio fijo, el sistema es estable. El segundo aspecto de la definición de Deming es el mejoramiento continuo de los diferentes sistemas para reducir la variación y para cubrir mejor las necesidades de los clientes.

Deming expresó su filosofía de la calidad en sus famosos *14 puntos*, los cuales se presentan en la tabla 8.1. Él hizo énfasis en que los altos ejecutivos deben administrar sus empresas con miras al largo plazo y no sacrificar la calidad por las utilidades a corto plazo. Deming argumentó que una atención excesiva a los reportes trimestrales de utilidades y a los objetivos a corto plazo distrae a la alta administración de su concentración en el servicio a los clientes y en el mejoramiento de la calidad a largo plazo. Asimismo, argumentó, como lo hacen otros, que la administración debe terminar su dependencia a las inspecciones en masa para conseguir la calidad y debe ponderar, más bien, la prevención de defectos. Deming indicó que eso debe lograrse al capacitar a todos los empleados, con una buena supervisión y con el uso de procedimientos estadísticos.

TABLA 8.1
14 principios de administración de Deming

Fuente: Adaptado de W. Edwards Deming, *Out of the Crisis* (Cambridge, MA: MIT Center for Advanced Engineering Study, 1986).

Requisitos para un negocio cuya administración planea ser competitiva en el suministro de bienes y servicios que tengan un mercado.

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Crear una constancia de propósito hacia el mejoramiento de productos y servicios con la meta de ser competitivo y permanecer en el negocio a largo plazo en lugar de buscar las utilidades a corto plazo. 2. Adoptar la nueva filosofía rehusándose a permitir los niveles de errores, defectos y retrasos comúnmente aceptados. Asumir la necesidad del cambio. 3. Abandonar la dependencia sobre las inspecciones en masa. En lugar de ello, basarse en la incorporación de la calidad en el producto en primer lugar y en medios estadísticos para el control y el mejoramiento de la calidad. 4. Terminar con la práctica de conceder operaciones de negocios únicamente con base en la etiqueta de precio. En vez de ello, minimizar el costo total. Reducir el número de proveedores eliminando aquellos que no puedan proporcionar una evidencia de control estadístico de los procesos. 5. Mejorar constantemente, y para siempre, los sistemas de producción con el fin de optimizar la calidad y la productividad y para reducir, de esta manera, constantemente los costos. 6. Instituir la capacitación y la recapacitación de todos los empleados. | <ol style="list-style-type: none"> 7. Hacer que la administración y los supervisores se concentren en el liderazgo de sus trabajadores para ayudarlos a realizar un mejor trabajo. 8. Expulsar el temor. No culpe a los empleados por <i>problemas de sistema</i>. Motivar comunicaciones eficaces bidireccionales. Eliminar la administración por control. 9. Abolir las barreras entre los departamentos. Fomentar un equipo de trabajo entre áreas diferentes como investigación, diseño, manufactura y ventas. 10. Eliminar programas, exhortaciones y eslóganes que requieran nuevos niveles de productividad sin aportar mejores métodos. 11. Quitar las cuotas arbitrarias, los estándares de trabajo y los objetivos que interfieran con la calidad. En lugar de ello, sustituir el liderazgo y el mejoramiento continuo de los procesos de trabajo. 12. Apartar las barreras (sistemas deficientes y administración deficiente) que privan a la gente de un orgullo en su trabajo. 13. Fomentar una educación y un automejoramiento de por vida en todos los empleados. 14. Hacer que todo mundo trabaje en la implantación de estos 14 puntos. |
|---|--|

⁴ Consulte el libro de Schultz (1994) donde se presenta una revisión completa de los pioneros de la calidad.



Deming procedió a exhortar a la administración para que derribara las barreras entre los departamentos y para que motivara a las personas a trabajar en conjunto para elaborar productos y servicios de calidad. Él consideraba que muchos de los estándares de trabajo, de los sistemas individuales de remuneración del desempeño y cuotas que emplean las empresas obstruyen el camino hacia la cooperación entre individuos y departamentos y, por lo tanto, impiden el mejoramiento de la calidad.

Deming era un gran defensor de las ideas acerca del control estadístico de los procesos, lo cual se explica en el siguiente capítulo. La calidad no puede mejorarse haciendo un esfuerzo más intenso; los trabajadores y los administradores deben tener las herramientas necesarias para identificar las causas de variación, para controlarla y para reducirla en el producto.

Deming y los demás pioneros de la calidad son partidarios de la idea de que la mayoría de los problemas de calidad se originan por sistemas deficientes y no por los empleados; ellos argumentan que no debe culparse a los trabajadores por los problemas de calidad. En lugar de ello, la administración debe modificar el sistema para mejorar la calidad. Todos los niveles de la administración deben aceptar la responsabilidad de la calidad.

Deming transmitió exitosamente sus ideas a los japoneses y ha recibido reconocimientos, junto con Juran, por ayudar a mejorar la calidad en la industria japonesa. Los japoneses atribuyen gran parte de su éxito a ideas estadounidenses, las cuales han sido totalmente implantadas. A últimas fechas, la industria estadounidense ha estado redescubriendo muchas de dichas propuestas básicas y, una vez más, está implantando conceptos de calidad como una clave para la supervivencia y el éxito.

Joseph Juran

El autor del texto Schroeder (izquierda) aprende de Joseph Juran durante una conferencia.



Juran propuso la idea de la **trilogía de la calidad**: planeación, control y mejoramiento de la calidad. En el área de planeación, indicó que las compañías deben identificar las

principales metas del negocio, los clientes y los productos requeridos. Deben introducirse nuevos productos sólo después de que hayan sido cuidadosamente probados y cuando satisfagan una necesidad de un cliente previamente verificada; asimismo, advirtió que gran parte del mejoramiento de la calidad involucra una cuidadosa planeación para asegurarse de que los problemas primordiales de calidad sean atacados primero: *pocos, pero vitales*.

Juran subrayó el control de la calidad a través del uso de los métodos estadísticos que se exponen en el capítulo siguiente. Argumentó que la administración debe instituir los procedimientos y los métodos necesarios para asegurar la calidad y, entonces, trabajar para mantener al sistema continuamente bajo control. Al igual que Deming, creía firmemente en el enfoque estadístico para la calidad como una forma de conseguir el control del proceso.

La tercera rama de la trilogía de la calidad es el mejoramiento. Juran sugería tanto un mejoramiento radical como uno continuo de los procesos. Proponía que esto podría hacerse una vez que el sistema estuviera bajo control estadístico; además, consideraba que la capacitación y la participación de todos los empleados eran indispensables para garantizar un mejoramiento continuo de la calidad.

Aun cuando los detalles específicos del mejoramiento de la calidad pueden variar entre Deming y Juran, tienen mucho en común. Algunas de sus ideas frecuentes y las de otros pioneros de la calidad se muestran en la tabla 8.2; como puede observarse, existe un hilo conductor que corre a través de la filosofía de la calidad.

TABLA 8.2
Supuestos cambiantes de la calidad

De	A
Reactivo	Proactivo
Inspección	Prevención
Cumplimiento de las especificaciones	Mejoramiento continuo
Orientado hacia el producto	Orientado hacia el proceso
Definición de culpas	Solución de problemas
Calidad vs. programa	Calidad y programa
Costo o calidad	Costo y calidad
Únicamente operaciones	Mercadotecnia, ingeniería y operaciones
Causado predominantemente por obreros	Causado predominantemente por equipo gerencial
Los defectos deben ocultarse	Los defectos deben destacarse
El departamento de calidad tiene problemas de calidad	Compras, investigación y desarrollo, mercadotecnia y operaciones tienen problemas de calidad
Subordinado al equipo administrativo	Parte del equipo administrativo
Administradores generales no evaluados sobre la calidad	El desempeño de la calidad es parte de la revisión del administrador general
La calidad cuesta más	La calidad cuesta menos
La calidad es técnica	La calidad es gerencial
Primero el programa	La calidad primero

8.5 ESTÁNDARES ISO 9000

ISO 9000 es una de las principales propuestas que las compañías emplean para asegurar la calidad en la actualidad. Cuando se estableció en 1987, el ISO 9000 estaba orientado hacia el cumplimiento o lo que hemos denominado como calidad de conformidad. Las necesidades de los clientes no se incluyeron en el estándar original ISO 9000: podía fabricarse cualquier producto que se deseara, incluso si no se vendía, en tanto la compañía tuviera un sistema de calidad para asegurar que podía hacer aquello con lo que se había comprometido. En 2000, el estándar del ISO 9000 se revisó para incluir los deseos del cliente, el mejoramiento continuo y el liderazgo administrativo con la intención de garantizar que la calidad pudiera satisfacer los requerimientos del consumidor y no simplemente la conformidad con las especificaciones. Otra actualización ocurrió en 2008 y ésta sirvió para aclarar el lenguaje de los estándares, pero no se hicieron modificaciones mayores en los principios o en las prácticas.

El ISO (International Organization for Standardization) es un cuerpo internacional integrado por miembros provenientes de 155 países. Los estándares del ISO 9000 tienen como finalidad describir cómo debería proceder una compañía para asegurar la calidad sin importar su tamaño o si el producto fabricado es complejo o sencillo. Asimismo, los estándares ISO 9000 se aplican a los servicios y al desarrollo de programas de cómputo.

Los estándares de ISO 9000 especifican que una organización debe tener un sistema de calidad instalado, incluyendo procedimientos, políticas y capacitación, a efecto de ofrecer una calidad que satisfaga en forma consistente las peticiones de los clientes. Como parte de esta documentación, de ordinario, se requiere un manual de calidad y un cuidadoso mantenimiento de registros. El ISO 9000 exige que la empresa cuente con diagramas de flujo del proceso, instrucciones para operadores, métodos de inspección y de prueba, descripciones de puestos, organigramas, medidas de la satisfacción de los clientes y procesos continuos de mejoramiento. También, se espera que los empleados capacitados en los procedimientos realmente los apliquen. Para asegurar el cumplimiento, los funcionarios certificados de ISO 9000 auditan la organización y determinan si la compañía tiene un sistema de calidad bien documentado, si la capacitación se ha completado y si el sistema en uso se ajusta a la descripción formal del sistema. Si no se encuentran discrepancias, el certificador, que es externo a la corporación, certificará la planta o las instalaciones examinadas. El producto no se certifica en sí mismo como un producto de alta calidad, sólo lo hacen los procesos para la elaboración del producto. La certificación ISO 9000 debe ser renovada en forma periódica a través de nuevas auditorías ejecutadas por un certificador.

ISO 9000 ha tenido un enorme impacto sobre las prácticas de calidad en todo el mundo. Muchas compañías están requiriendo la certificación del ISO 9000 como una condición

para efectuar operaciones de negocios. La Comunidad Europea ha adoptado el ISO 9000 como un estándar para la realización de ventas en sus mercados y algunos clientes europeos solicitan el cumplimiento con el ISO 9000. La certificación del ISO 9000 está ganando popularidad no sólo en Europa; empresas de muchos otros países, incluyendo Estados Unidos, también están requiriendo la certificación del ISO 9000 de sus proveedores.

El ISO 9000 no proporciona un sistema completo de calidad porque no trata con la estrategia competitiva, los sistemas de información y los resultados de los negocios. Una corporación puede estar elaborando un producto que satisfaga a clientes de un mercado cada vez más reducido y destinado a salir de los negocios y todavía puede tener la certificación del ISO 9000; sin embargo, éste es un buen primer paso que aborda los procesos fundamentales necesarios para asegurar un producto de calidad y altos niveles de satisfacción del cliente. El sistema Baldrige posee requisitos similares a los del ISO 9000, aunque también involucra estrategia, sistemas de información y resultados de negocios.

8.6 RECONOCIMIENTO MALCOLM BALDRIGE

El Congreso de Estados Unidos estableció el Reconocimiento Nacional de Calidad Malcolm Baldrige en 1987 para promover el desarrollo de mejores prácticas de administración de la calidad y un mejoramiento en los resultados de calidad de la industria estadounidense. Los criterios para este reconocimiento han tenido una amplia aceptación y se han convertido en un estándar de facto para las *prácticas de la mejor calidad* en Estados Unidos. Resumiremos los criterios Baldrige como un marco conceptual para evaluar e implantar los principios y los conceptos de la calidad. Los criterios Baldrige no sólo se aplican a las buenas prácticas de la calidad, sino a la excelencia en el desempeño, ampliamente definida.

Cada año, el **reconocimiento Baldrige** se otorga a un máximo de tres organizaciones en cada una de seis categorías: manufactura, servicios, negocios pequeños, cuidados de la salud, educación y sector no lucrativo. Algunos de los últimos ganadores son Motorola, Milliken & Co., Federal Express, Sunny Fresh Foods, Ritz-Carlton, 3M, IBM, University of Wisconsin en Stout y Pearl River School District. Para obtener este reconocimiento, tales organizaciones o las subsidiarias que ganaron el reconocimiento mostraron altos niveles de prácticas de administración de la calidad y excelencia en el desempeño, como lo indican los criterios Baldrige.

Los criterios Baldrige reconocen los esfuerzos de la calidad que han logrado un liderazgo administrativo de la alta gerencia, resultados de negocios, participación de los empleados, control de los procesos internos, una alta satisfacción del cliente y así sucesivamente. Las categorías específicas de calidad evaluadas por los examinadores Baldrige se presentan en la tabla 8.3. Estas siete categorías se juzgan a partir de un reporte de autoevaluación preparado por cada solicitante del reconocimiento y una visita al sitio por parte de los examinadores Baldrige para aquellos solicitantes que aprueben una revisión inicial del reporte de autoevaluación.

Los criterios Baldrige tienen 1 000 puntos en total, los cuales se distribuyen entre las siete categorías que se muestran en la tabla 8.3. La primera, liderazgo (120 puntos), se evalúa con base en el compromiso de la alta gerencia, la visión, la participación activa por parte de todos los administradores del proceso y la medida en la que los valores de calidad hayan permeado a toda la organización; además, incluye las responsabilidades sociales, el comportamiento ético y la participación de la comunidad, lo cual asegura una *compañía de calidad*.

La segunda categoría, la planeación estratégica (85 puntos), es el adhesivo que mantiene unido el esfuerzo de la calidad. Los solicitantes exitosos han establecido metas y planes de alto nivel para la calidad que son específicos y que han sido implantados. Con frecuencia, los planes estratégicos para la administración de la calidad son indistinguibles del plan estratégico de la compañía siempre y cuando se halle un componente del plan alusivo a la calidad.

La categoría tres se refiere a la concentración en el cliente (85 puntos). Las empresas ganadoras recopilan datos objetivos a partir de una variedad de fuentes, incluyendo gru-

TABLA 8.3

Reconocimiento Nacional de Calidad Malcolm Baldrige: criterios para un desempeño de excelencia, 2009-2010

Fuente: U.S. Department of Commerce, 2009.

Categorías y conceptos 2009-2010		Valores en puntos
1	Liderazgo	120
	1.1 Liderazgo de la alta gerencia	70
	1.2 Gobierno interno y responsabilidades sociales	50
2	Planeación estratégica	85
	2.1 Desarrollo de la estrategia	40
	2.2 Implantación de la estrategia	45
3	Concentración en el cliente	85
	3.1 Participación del cliente	40
	3.2 Voz del cliente	45
4	Medición, análisis y administración de conocimientos	90
	4.1 Medición, análisis y mejoramiento del desempeño organizacional	45
	4.2 Administración de la información, conocimiento y tecnología de la información	45
5	Concentración de la fuerza de trabajo	85
	5.1 involucramiento de la fuerza de trabajo	45
	5.2 Ambiente de la fuerza de trabajo	40
6	Administración del proceso	85
	6.1 Sistemas de trabajo	35
	6.2 Procesos de trabajo	50
7	Resultados	450
	7.1 Resultados del producto	100
	7.2 Resultados enfocados hacia el cliente	70
	7.3 Resultados financieros y de mercado	70
	7.4 Resultados enfocados en la fuerza de trabajo	70
	7.5 Resultados de efectividad del proceso	70
	7.6 Resultados de liderazgo	70
	PUNTOS TOTALES	1 000

pos de enfoque, encuestas de investigación de mercado y contactos de uno a uno. Debe actuarse de acuerdo con la información y debe utilizarse para encaminar a la organización hacia las necesidades de los clientes y hacia los clientes satisfechos. Los ganadores Baldrige se esfuerzan por deleitar a sus clientes y no por satisfacerlos a un nivel mínimo. Por lo regular, superan las expectativas de los consumidores y anticipan sus necesidades.

La categoría cuatro alude a la medición, análisis y a la administración del conocimiento (90 puntos). Esa categoría incluye la toma de decisiones con base en datos duros, algunas veces denominados *administración por hechos*. La base de datos de la corporación debe ser accesible a los empleados y debe contener información vasta acerca de los proveedores, los procesos internos y los clientes. El sistema de información debe estar integrado y emplearse para la toma de decisiones en la compañía.

La quinta categoría es la concentración de la fuerza de trabajo (85 puntos), un área muy amplia y muy extensa que incluye el involucramiento de los empleados, la educación continua y la capacitación, el trabajo en equipo y la toma de decisiones por parte de los trabajadores. Asimismo, existe una evaluación de la motivación, los estímulos, el reconocimiento y el desarrollo del liderazgo. Los ganadores anteriores del reconocimiento Baldrige han sido fuertes defensores de la concentración en la fuerza de trabajo como la base de todos los esfuerzos para el mejoramiento de la calidad.

La administración del proceso (85 puntos), la sexta categoría, abarca la definición del proceso, la documentación, el control estadístico del proceso y las herramientas para el mejoramiento de la calidad. Las empresas con un desempeño muy deficiente tienen poco entendimiento de sus procesos, no los han integrado ni definido y no los han controlado.

La séptima y última categoría Baldrige remite a los resultados, y da cuenta de 450 puntos. Esa categoría incluye los resultados del producto, los de la concentración en el cliente, los financieros y de mercado, los de la concentración en la fuerza de trabajo, los de la

efectividad del proceso, y los del liderazgo. Se considera un número de medidas estándar de calidad como el porcentaje de productos defectuosos, las devoluciones de los clientes y las entregas puntuales, junto con la rentabilidad, el rendimiento sobre la inversión y la participación de mercado. Las compañías exitosas pueden demostrar tendencias de mejoramiento a través del tiempo y no resultados estelares de sólo un año.

Estas siete categorías constituyen un amplio marco conceptual para la administración de la calidad y para el mejoramiento del desempeño en general. No se requiere de algún enfoque estándar para obtener el reconocimiento Baldrige; cada organización es libre de elegir sus propias técnicas y enfoques específicos dentro de las metas y criterios generales que se describieron anteriormente y existe una enorme variedad entre los que han sido ganadores. Ésta es una fortaleza del reconocimiento Baldrige: no requiere de un dogma en particular, sino que permite la flexibilidad en la definición de una *buena administración de la calidad* por parte de compañías individuales.

Las corporaciones están aplicando ahora los criterios Baldrige como un vehículo para la evaluación interna de sus sistemas de mejoramiento de la calidad y del desempeño; capacitan a sus propios administradores para que hagan las evaluaciones Baldrige de otras divisiones. El objetivo no es ganar un reconocimiento, sino diagnosticar las fortalezas y las debilidades de su sistema administrativo en las diversas divisiones de la compañía.

Como lo ha indicado la amplitud de estos criterios, el reconocimiento Baldrige representa algo más que el mero aseguramiento de la calidad y equivale a un sistema amplio para la administración de la empresa y la excelencia en el desempeño. En realidad, la calidad no puede aislarse de la administración y se necesita una administración progresiva para entregar consistentemente un producto o servicio que satisfaga las verdaderas necesidades del cliente ahora y en el futuro.

8.7 CALIDAD DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Ya hemos expuesto la trascendencia de la interacción con el cliente al definir y al administrar la calidad. En el capítulo 3, introdujimos la implantación de la función de la calidad como un método para conectar la voz del cliente con las especificaciones del diseño de ingeniería. Anteriormente, en este capítulo, hicimos notar que la calidad debe definirse por el cliente y que el ciclo de la planeación, el control y el mejoramiento de la calidad es impulsado por sus necesidades; por lo tanto, el consumidor es una parte importante de la cadena de suministro para el impulso del desempeño de la calidad en una empresa. Más adelante, nos concentraremos en el papel del proveedor en la calidad de la cadena de suministro.

En el caso de muchos productos y servicios, más de 50% del producto es adquirido a partir de proveedores. En efecto, bajo una subcontratación, 100% del producto puede ser abastecido a partir de los proveedores; por ejemplo: el iPod y el iPhone son completamente subcontratados por Apple, Inc., excepto el diseño, el cual se hace internamente.

Al trabajar con proveedores, existen varios principios que deben seguirse. Primero, el proveedor debe participar en el diseño del producto para maximizar la prevención de defectos del diseño desde el principio (a prueba de errores). Con frecuencia, los proveedores pueden recomendar materiales o servicios que pueden mejorar la calidad o prevenir defectos en los procesos de los proveedores.

Cuando un producto es complejo, es esencial que los proveedores mantengan niveles muy altos de calidad para garantizar que el producto final tenga la calidad requerida. Un concepto denominado *rendimiento rotativo* da cuenta de la tasa acumulativa de defectos observada por el cliente final; por ejemplo, suponga que un

Reconocimiento Nacional de Calidad Malcolm Baldrige.



producto o servicio posee 100 componentes o partes y que cada una tiene un rendimiento de 99% (1% defectuoso). De este modo, el rendimiento general del producto final se obtiene multiplicando los rendimientos de todos los productores individuales. Ya que existen 100 productores con el mismo rendimiento (.99), en este caso el rendimiento rotativo es de $99 \times .99 \times .99 \dots \times .99$ (100 veces):

$$\text{Rendimiento rotativo} = (.99)^{100} = .366$$

Como puede observarse, el rendimiento rotativo es sólo de 36.6% para el producto final; por lo tanto, la calidad proporcionada por los proveedores debe ser mucho más alta para asegurar un rendimiento rotativo de, digamos, 99% en el producto o servicio final. Para un rendimiento rotativo de 99%, la calidad del proveedor debe ser de 99.99% para cada uno de los 100 proveedores.

La administración de los proveedores involucra más que sólo seleccionarlos y medir el cumplimiento de la calidad. Las operaciones también deben administrar el riesgo y garantizar un control continuo del proceso por parte de los proveedores. La U.S. Consumer Product Safety Commission lanzó 473 retiros de productos sobre 110 millones de unidades producidas en 2007. Tales retiros de productos incluyeron juguetes peligrosos, productos del hogar y artículos recreativos. Los juguetes llamaron la mayor parte de la atención con advertencias acerca de los peligros de la pintura con plomo, así como peligros de ahogamiento, de ingestión del producto, cortadas y estrangulación. Se concedió mucha atención a los juguetes defectuosos y a otros productos subcontratados en China. En 2007, asimismo, hubo 400 retiros de drogas, alimentos y alimentos para mascotas ejecutados por la Food and Drug Administration y 600 retiros de vehículos motorizados por razones de seguridad. En muchos casos, éstos obedecieron a fallas en la calidad por parte de los proveedores del producto y no por parte de la empresa vendedora; sin embargo, la empresa vendedora fue legalmente responsable por el retiro.

De este modo, la administración de la calidad de los proveedores requiere un sistema no sólo para seleccionar a los proveedores, sino para administrarlos sobre una base continua. La administración de los proveedores va más allá de asegurar el cumplimiento con los estándares a través de una inspección de los productos entrantes; se requiere un control sobre los procesos subcontratados. La **certificación del proveedor** puede lograr esto, pues implica que dicho proveedor tiene control sobre sus procesos y puede aprobar una auditoría del tipo ISO 9000, por lo menos. La auditoría testifica que existe un sistema de calidad instalado, incluyendo procedimientos documentados, capacitación y un control estadístico continuo del proceso para prevenir la ocurrencia de defectos. La auditoría de certificación la hace el cliente mismo o un auditor de ISO 9000 y también puede obtenerse para el proceso de diseño de un nuevo producto.

Algunos proveedores todavía no comprenden la necesidad de que un sistema planee, controle y mejore la calidad. En Estados Unidos, a menudo, se hace énfasis en el precio y los proveedores pueden tener sistemas de calidad deficientes. Lo que se requiere es una selección de proveedores que avale que se tenga instalado un sistema adecuado de calidad a través de la certificación del proveedor.

Al seleccionar un proveedor, el precio y las muestras del producto pueden verse bien, pero ¿eso es suficiente? Un artículo común abastecido a partir de un proveedor remoto encontró los siguientes problemas:

- Las muestras entregadas al comprador eran *joyería*; es decir, eran artículos cuidadosamente seleccionados que no eran producidos por un proceso de producción confiable. En realidad, las muestras habían sido cuidadosamente hechas a mano e inspeccionadas para asegurar su calidad.
- En el proceso de producción, la calidad era realmente inspeccionada dentro del producto con sólo 60% de rendimiento en la inspección final. Ello significa que el proceso no era capaz de generar una calidad consistentemente buena.
- Los lotes pequeños no eran factibles, ya que el equipo de producción había sido preparado para corridas largas y, posteriormente, se descubría una calidad cuestionable, después de la producción.

- El tiempo del ciclo de producción era largo y variable, dando como resultado grandes inventarios.

Este ejemplo resalta la razón por la cual se necesitan proveedores certificados para ratificar que sus productos son respaldados por un buen sistema de calidad y que no estén meramente aportando buenas muestras a un precio bajo, sólo para producir con baja calidad posteriormente.

8.8 CALIDAD Y DESEMPEÑO FINANCIERO

La calidad y el desempeño financiero están íntimamente relacionados. Primero, consideremos la relación entre la calidad y el costo. Una propuesta muy eficaz en el área de la calidad es calcular el **costo de la calidad**, el cual incluye las categorías de prevención, evaluación, fallas internas y fallas externas; todas éstas, excepto la prevención, son los costos que resultan de no hacer bien las cosas desde la primera vez. Cuando se asigna un costo a una calidad deficiente, puede ser administrado y controlado como cualquier otro. Ya que los gerentes hablan el lenguaje del dinero, expresar la calidad en términos de costos constituye un poderoso medio de comunicación y de control.

La mayoría de las empresas no tienen idea de cuánto gastan para administrar la calidad; aquellos que la han medido descubren que el costo de la calidad es de, aproximadamente, 30% de las ventas, con ámbitos de variación de entre 20 y 40%. Puesto que estas cifras son dos o tres veces más grandes que los márgenes de utilidad de muchas corporaciones, una reducción en el costo de la calidad puede conducir a un mejoramiento significativo en las utilidades. Las organizaciones mejor administradas han sido capaces de reducir sus costos de calidad desde 30% de las ventas hasta una cantidad tan pequeña como 3% a lo largo de un periodo de varios años; ello se ha hecho a la vez que se mejora la calidad de los productos. En la mayoría de las compañías, la capacidad para conseguir lo anterior no ha sido explotada.

El costo de la calidad puede dividirse en dos componentes: **costos del control** y **costos de fallas**. Los costos del control se relacionan con las actividades que eliminan defectos de la corriente de producción, lo que puede hacerse de dos maneras: por prevención y por evaluación. Los costos de prevención incluyen actividades como la planeación de la calidad, las revisiones de nuevos productos, la capacitación y el análisis de ingeniería, las cuales ocurren antes de la producción y tienen como finalidad prevenir defectos antes de que se manifiesten. La otra categoría de costos de control abarca una evaluación o inspección encaminada a la eliminación de los defectos después de que sucedan, pero antes de que lleguen al cliente.

Los costos de las fallas se incurren ya sea durante el proceso de producción (interno) o después de que se embarca el producto (externo). Los costos de las fallas internas incluyen aspectos como los desperdicios, los reprocesamientos, los productos que se tienen que liquidar, y los tiempos inactivos de las máquinas. Los costos de las fallas externas incluyen a los cargos por garantías, a los bienes devueltos y a las rebajas y bonificaciones. En la tabla 8.4 se presenta una lista más amplia de todos estos costos.

El costo de la calidad puede ser un término confuso. Tres de los cuatro costos que se muestran en la tabla 8.4, pueden denominarse como costos de la falta de conformidad o costos de una calidad deficiente (evaluación, fallas internas o fallas externas). Los tres costos de una calidad deficiente pueden reducirse si se aumenta el cuarto costo: la prevención. Muchas compañías han encontrado que al invertir en actividades de prevención como la capacitación, la planeación de procesos y la revisión de nuevos productos, pueden evitar costos que ocurren más tarde en la producción (evaluación, fallas internas) o luego de la producción (fallas externas). La prevención es un factor de potenciación de gran importancia. Suponga, por ejemplo, que una empresa está gastando 2% de sus ventas en prevención y 18% en el costo de una calidad deficiente (evaluación, fallas internas y fallas externas). Estime, además, que si la organización duplica la cantidad gastada en prevención (a 4%), el

TABLA 8.4
Costos de la calidad

Fuente: Adaptado de J. M. Juran y A. B. Godfrey (eds.), *Juran's Quality Handbook*, 5a. ed. (Nueva York: McGraw-Hill, 1999).

Costos de prevención
Planeación de la calidad: costos de la preparación de un plan general, numerosos planes especializados, manuales de calidad, procedimientos.
Revisión de un nuevo producto: revisión o preparación de especificaciones de calidad para los nuevos productos, evaluación de los nuevos diseños, preparación de pruebas y programas experimentales, evaluación de los proveedores, estudios de mercadotecnia para determinar los requisitos de calidad de los clientes.
Capacitación: desarrollo y conducción de programas de capacitación.
Planeación del proceso: diseño y desarrollo de mecanismos para el control de los procesos.
Datos acerca de la calidad: recopilación de datos, análisis de datos y preparación de reportes.
Proyectos de mejoramiento: investigaciones planeadas de las fallas encaminadas a la detección de problemas frecuentes de calidad.
Costos de evaluación
Inspección de materiales entrantes: el costo de determinar la calidad de las materias primas entrantes.
Inspección del proceso: todas las pruebas, procedimientos de muestreo e inspecciones efectuadas mientras se está elaborando el producto.
Inspección final de bienes: todas las inspecciones o pruebas realizadas sobre el producto terminado en la planta o en el mercado.
Laboratorios de calidad: el costo de operar laboratorios para la inspección de materiales en todas las etapas de producción.
Costos de fallas internas
Desperdicio: el costo de la mano de obra y de los materiales del producto que no puedan usarse o venderse.
Reprocesamiento: el costo de volver a elaborar el producto para que se ajuste a la conformidad.
Liquidación: un producto que debe venderse a una cantidad inferior al valor total debido a problemas de calidad.
Realización de pruebas nuevas: el costo de la inspección y de las pruebas después del reprocesamiento.
Tiempo inactivo: instalaciones y personas inactivas debido a fallas en la calidad.
Costos de fallas externas
Garantía: el costo de los reembolsos, de las reparaciones o el reemplazo de productos por garantía.
Mercancía devuelta: mercancía que se devuelve al vendedor.
Quejas: el costo de liquidación de las quejas de los clientes debido a una calidad deficiente.
Bonificaciones: el costo de las concesiones hechas a los clientes debido a una calidad inferior al estándar.

costo de la calidad deficiente puede reducirse a la mitad, a 9% y que una serie de inversiones adicionales en prevención hasta un total de 6% pueden reducir aún más el costo de una calidad deficiente a una cantidad tan pequeña como de 2%. En este punto, el costo total de la calidad es sólo de 8% de las ventas en lugar de 20%. Debe hacerse notar que la totalidad de 12% de las ventas, que se ahorra, fluiría hasta el renglón de la utilidad neta, lo cual, en muchas corporaciones, daría como resultado más del doble de utilidades.

Una compañía constructora investigó el costo de las deficiencias de su calidad y halló un total de 72 casos de falta de conformidad en un proyecto para la construcción de una carretera.⁵ Esos casos se pudieron clasificar en los siguientes tipos de errores prevenibles.

- Problemas de diseño que ocasionaron el reprocesamiento de una porción de la carretera varias veces.
- Falta de conformidad por parte de un contratista de cemento, lo que implicó la reparación del concreto puesto.
- Problemas de un subcontratista que dieron como resultado una falla en la entrega por parte de algunos otros subcontratistas.

La empresa encontró que podía ahorrar costos considerables de los proyectos futuros al tratar de prevenir dichos errores antes de que se manifestaran.

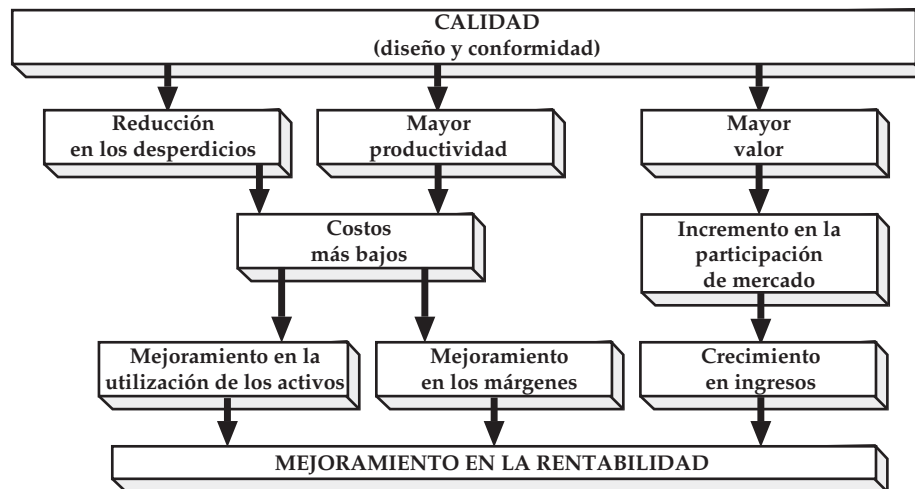
Un estudio de investigación de los cuidados de la salud estimó que una combinación de ineficiencias administrativas y un uso excesivo de servicios médicos así como su mal uso

⁵ H. Abdul-Rahman (1995).

FIGURA 8.5

Manera en la que la calidad contribuye a la rentabilidad.

Fuente: Adaptado de Stephen George y Arnold Weimerskirch, *Total Quality Management* (Nueva York: Wiley, 1998).



desperdicia 30 centavos de cada dólar gastado en cuidados de la salud.⁶ Todos estos costos pueden considerarse como el resultado de una calidad deficiente y son prevenibles. La aplicación de los principios de la administración y el control de la calidad pueden reducirlos.

El costo de la calidad puede ser una poderosa herramienta para el mejoramiento de la calidad cuando se usa de manera adecuada. Concentra la atención de la administración en el desperdicio debido a un exceso de fallas o altos costos de control. También aporta una base cuantitativa para supervisar el progreso en la reducción de los costos de calidad. El costo de la calidad puede entenderse fácilmente y ubica la calidad fuera de un área de *bondad* subjetiva que no puede medirse y la coloca en una base de dólares y centavos.

Asimismo, los programas para el mejoramiento de la calidad pueden aumentar espectacularmente los ingresos ya sea a través de un producto más consistente o de nuevos productos o servicios que puedan satisfacer mejor las necesidades de los clientes. El mejoramiento de la satisfacción del cliente puede ser un poderoso mecanismo de impulso de los ingresos y de la participación de mercado cuando los consumidores reciben un producto o servicio que realmente les gusta.

El efecto de la reducción de costos y del mejoramiento de los ingresos se ilustra en la figura 8.5, la cual indica la forma en la que la calidad afecta los resultados financieros. Tanto la calidad de la conformidad como la calidad del diseño afectan la reducción en los desperdicios, una mayor productividad y un mayor valor. Ello crea un efecto en cadena sobre la reducción de costos y una participación de mercado creciente, lo que, finalmente, da como resultado un mejoramiento en la calidad. Tanto la calidad de la conformidad como la del diseño poseen un efecto significativo sobre las utilidades.

8.9 RAZÓN POR LA CUAL FRACASAN ALGUNOS ESFUERZOS HACIA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD

El mejoramiento de la calidad es una estrategia probada que ha producido beneficios financieros significativos para muchas compañías; sin embargo, los esfuerzos de la calidad también han fracasado o producido resultados marginales en otras. Algunos estudios indican que sólo la tercera parte de las empresas obtuvieron resultados considerables a partir de sus programas de mejoramiento de la calidad, una tercera parte logró resultados moderados y la otra tercera parte quedó insatisfecha con los resultados. ¿Por qué ha sucedido esto, y qué es lo que separa a los ganadores de los perdedores?

⁶C. Gunsaulley (2002).

No es el enfoque que usa una organización para mejorar la calidad lo que hace la diferencia, es el proceso de implantación. Para mejorar la calidad, una corporación debe cambiar valores y su filosofía administrativa, lo cual no es sencillo. Brown, Hitchcock y Willard (1994) describen algunas de las razones por las cuales ha fallado la implantación de la siguiente manera.

Los administradores pueden continuar concentrándose en los resultados financieros a corto plazo con la exclusión del mejoramiento del sistema. Una concentración excesiva sobre los resultados financieros tiende a destruir el sistema de calidad fundamental a medida que ocurran despidos o se reduzca la capacitación para mejorar las cifras financieras a corto plazo. El mejoramiento de la calidad entraña un cambio de pensamiento para administrar el sistema fundamental y no el resultado financiero inmediato.

Algunos administradores culpan por instinto a los empleados cuando hay fallas en la calidad; no se les ocurre mirarse en el espejo. Sólo los administradores pueden modificar el sistema fundamental que ocasiona el problema de calidad y no los empleados. Es más fácil que los administradores culpen a alguien más en lugar de culparse a sí mismos o al sistema que controlan.

Hay administradores que creen en las intercompensaciones entre ventajas y desventajas; para ellos, no puede conseguirse una calidad consistente sin sacrificar el programa o el costo. Cuando deben decidir si embarcar el producto o resolver un problema de calidad, estos administradores embarcan el producto y arreglan el problema después. Además, consideran que es demasiado costoso tener una alta calidad, no se dan cuenta de que pueden tener todo esto si usan una calidad consistente y la prevención como un mecanismo de motivación hacia mejores resultados en la programación, la flexibilidad y el costo.

Algunas veces los administradores interfieren con un verdadero trabajo en equipo, o bien, no delegan en realidad la toma de decisiones al equipo y continúan recompensando el desempeño individual sobre el desempeño en equipo. En realidad, deberían recompensar a los equipos por lo que los equipos hacen y a los individuos por lo que los individuos hacen. El sistema de retribución está incrustado en la organización y es una de las cosas más difíciles de transformar.

Como se resaltó antes, muchos esfuerzos de calidad fracasan porque los proveedores no están certificados para un sistema de calidad funcional. Los proveedores tratan de inspeccionar la calidad en el producto en lugar de desarrollar un enfoque preventivo para el diseño del sistema de calidad. Como consecuencia, el cliente no puede confiar en una calidad consistente por parte del proveedor.

Así, el logro de la calidad requiere de un enfoque de sistemas para la administración que debe promoverse por las necesidades del cliente. Este enfoque está en conflicto con las filosofías y los valores de algunas compañías; por lo tanto, el mejoramiento de la calidad implica un profundo cambio cultural. Los administradores tienen que poner el ejemplo para hacer la transformación. Un programa de mejoramiento de la calidad introducido como el *sabor del mes* o un programa de moda ciertamente fracasará.

La única forma de instaurar un verdadero mejoramiento de la calidad es a través de una amplia educación de todos los empleados y de un liderazgo constante en todos los niveles de la administración. Con este enfoque, puede introducirse un sistema de calidad en cualquier organización de servicios o de manufactura junto con su cadena de suministro, y los resultados financieros, humanos y comerciales serán impresionantes.



8.10 ASPECTOS Y TÉRMINOS CLAVE

Los principales aspectos de este capítulo incluyen lo siguiente:

- La calidad puede definirse como aquello que debe satisfacer o superar las exigencias del cliente ahora y en el futuro. Las cuatro dimensiones de la calidad de un producto son la calidad del diseño, la calidad de la conformidad, las *capacidades* y el servicio de campo.

- Existen cinco dimensiones que definen la calidad del servicio: los aspectos tangibles, la confiabilidad, la receptividad, el aseguramiento y la empatía. Estas medidas pueden obtenerse a través de encuestas sobre los clientes.
- Hay un ciclo de la calidad del producto: desde las necesidades del consumidor hasta la calidad del diseño, la producción y el uso por parte del cliente. Tal ciclo se controla por la especificación de los atributos de la calidad, la determinación de cómo medir cada atributo, el establecimiento de estándares de calidad, el establecimiento de programas de prueba y el descubrimiento y la corrección de las causas de una calidad deficiente. El mejoramiento continuo del sistema por medio de la prevención de defectos es el enfoque preferido.
- Dos pioneros de la calidad, Deming y Juran, han adoptado algunos enfoques un tanto distintos para la calidad, pero, también, tienen mucho en común. Deming ha argumentado que la administración debe cambiar para que la calidad mejore y ha defendido el uso de las técnicas estadísticas para el control de la calidad. Juran ha defendido la trilogía de la calidad: planeación, control y mejoramiento.
- La certificación del proceso ISO 9000 es un enfoque de calidad que se basa en la satisfacción de las exigencias del cliente y en el mejoramiento continuo; requiere de procedimientos bien definidos y documentados junto con operadores capacitados que los implementan para asegurar el proceso de calidad, un producto de calidad consistente y un mejoramiento.
- El reconocimiento Baldrige premia a las compañías que logran un sistema total de calidad como lo definen y lo miden los criterios Baldrige. Los criterios especificados para el reconocimiento se han convertido en la definición de facto para la excelencia en la administración de la calidad y del desempeño.
- La certificación de los proveedores es una buena forma de garantizar que éstos tengan un sistema de calidad instalado para prevenir la ocurrencia de defectos.
- La calidad puede mejorar los ingresos y reducir los costos. El costo de la calidad mide la falta de conformidad con las exigencias de los clientes. Los costos de la calidad pueden dividirse en costos de control y en costos de fallas. Los de control se deben a la prevención o evaluación. Los de fallas pueden deberse a fallas internas o externas.
- Los esfuerzos en el mejoramiento de la calidad fracasan cuando la administración no pone el ejemplo y no asume un enfoque de sistemas motivado por las necesidades de los consumidores.

Términos clave

Aptitud de uso	SERVQUAL	Juran
Satisfacción del cliente	Aspectos tangibles	Trilogía de la calidad
Calidad del diseño	Confiabilidad	ISO 9000
Calidad de la conformidad	Receptividad	Reconocimiento Baldrige
Disponibilidad	Aseguramiento	Certificación del proveedor
Confiabilidad	Empatía	Costo de la calidad
Condición de mantenimiento	Estándares	Costos del control
Servicio de campo	A prueba de errores	Costos de fallas
Calidad del servicio	Deming	

Usted decida

1. ¿Cómo fue que los japoneses pudieron superar a Estados Unidos en lo referente a productos de calidad?
2. ¿Cuesta más o menos la adopción de una calidad más alta?

**EJERCICIOS
POR
INTERNET**



1. The Ritz-Carlton Hotels
<http://corporate.ritzcarlton.com/en/about/goldstandards.htm>

Visite el sitio web de Ritz-Carlton y encuentre la información acerca del *Estándar de Oro*. Asista a clase preparado para discutir el Estándar de Oro y su relación con la calidad.

2. Malcolm Baldrige National Quality Award
<http://www.quality.nist.gov>

Encuentre a los últimos ganadores de este reconocimiento en este sitio y redacte un nuevo reporte sobre el enfoque usado por uno de los ganadores recientes.

3. American Society for Quality (ASQ)
<http://www.asq.org>

Haga clic en *Learn About Quality* y encuentre materiales de su interés acerca de la administración de la calidad. Algunos temas sugeridos podrían ser las secciones Basic Concepts y Using Data. Escriba un breve reporte acerca de sus descubrimientos con ayuda de los resúmenes y los artículos proporcionados por la búsqueda.

Preguntas de análisis

1. ¿Cómo puede medirse la calidad en los siguientes productos?
 - a) Servicio telefónico.
 - b) Reparaciones de automóviles.
 - c) Manufactura de bolígrafos.
 2. Escriba las diferencias entre la calidad del diseño y la calidad de la conformidad.
 3. El producto A tiene un tiempo medio entre fallas de 30 horas y un tiempo medio para la reparación de cinco horas. El producto B tiene un tiempo medio entre fallas de 40 horas y un tiempo medio para la reparación de dos horas.
 - a) ¿Qué producto posee la confiabilidad más alta?
 - b) ¿Qué producto cuenta con las mejores condiciones de mantenimiento?
 - c) ¿Qué producto tiene mayor disponibilidad?
 4. Consulte en internet o en su biblioteca artículos sobre SERVQUAL. Resuma uno de los aspectos que haya encontrado en un párrafo o dos.
 5. Describa los problemas de servicios que usted haya detectado en una experiencia reciente de servicio. Posteriormente, clasifique las fallas del servicio que ocurrieron como aspectos tangibles, confiabilidad, receptividad, aseguramiento o empatía.
 6. Suponga que usted manufactura 10 000 lápices de madera por día. Describa un sistema de planeación y control de la calidad para este producto, incluyendo los posibles atributos, medidas de calidad, pruebas, etcétera.
 7. Enumere algunos productos o servicios que, en su opinión, tengan una calidad relativamente deficiente.
 8. Nombre algunos productos que tengan un alto grado de calidad. ¿Se asocian, por lo general, con compañías exitosas?
 9. Se han registrado los siguientes costos:

Inspección de materiales entrantes	\$20 000
------------------------------------	----------
 - Capacitación del personal
 - Garantías
 - Planeación del proceso
 - Desperdicios
 - Laboratorio de calidad
 - Reprocesamientos
 - Bonificaciones
 - Quejas
- | |
|--------|
| 40 000 |
| 45 000 |
| 15 000 |
| 13 000 |
| 30 000 |
| 25 000 |
| 10 000 |
| 14 000 |
10. ¿Cuáles son los costos de la prevención, de la evaluación, de las fallas externas y de las fallas internas?
 10. ¿Con cuáles de los 14 aspectos de Deming está usted de acuerdo y con cuáles no?
 11. Contraste y compare los enfoques de Deming y Juran para el mejoramiento de la calidad.
 12. Critique las siete categorías utilizadas por el reconocimiento Baldrige. ¿Existen algunos aspectos que usted considere que faltan? ¿Reciben algunas categorías demasiada ponderación?
 13. ¿Cómo podría emplear una compañía las categorías del reconocimiento Baldrige para mejorar la calidad y la excelencia en el desempeño? Explique su respuesta.
 14. Compare el enfoque basado en Baldrige con el uso del ISO 9000.
 15. ¿Por qué se considera el ISO 9000 un primer paso o un enfoque básico para la calidad?
 16. Use la internet para encontrar ejemplos de proveedores o compañías certificadas que requieran que los proveedores también estén certificados.
 17. ¿Por qué debería buscar una compañía la certificación de los proveedores?
 18. ¿Cuál de las cuatro dimensiones de la calidad de la manufactura tiene más probabilidades de mejorar los ingresos? ¿Cuáles de ellas están más relacionadas con la reducción de los costos o cuáles están asociadas tanto con los ingresos como con los costos?

19. Mencione un ejemplo de una falla en la calidad y determine las razones para la misma. Utilice la bibliografía que se presenta al final de este capítulo o algunos artículos recientes de periódicos o revistas para encontrar un ejemplo.
20. Defina lo que se quiere decir con un esfuerzo exitoso de implantación del mejoramiento de la calidad. ¿Cómo ha definido usted el éxito?

Bibliografía

- Abdul-Rahman, H., "The Cost of Non-conformance during a Highway Project: A Case Study". *Construction Management and Economics* 13 (1995), pp. 23-32.
- Adrian, Nicole, "Quality Tools, Teamwork Lead to Boeing System Redesign". *Quality Progress*, noviembre de 2007, pp. 43-48.
- Bemowski, Karen. "Motorola's Fountain of Youth". *Quality Progress*, octubre de 1995, pp. 29-31.
- Brown, Mark. *Baldrige Award Winning Quality, 16 Edition: How to Interpret the Baldrige Criteria for Performance*. 16 ed., Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, 2007.
- Brown, Mark G., Darcy E. Hitchcock y Marsha L. Willard. *Why TQM Fails and What to Do about It*. Burr Ridge, IL: Irwin, 1994.
- Crosby, Philip B. *Quality Is Free*. Nueva York: McGraw-Hill, 1979.
- Deming, W. Edwards. *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: MIT Press, 1986.
- Evans, James R. y William M. Lindsay. *Managing for Quality and Performance Excellence*. 7a. ed. Mason, OH: Thomson South-Western Publishing, 2007.
- Feigenbaum, A. V. *Total Quality Control*. 4a. ed., Nueva York: McGraw-Hill Professional Publishing, 2004.
- Flynn, Barbara B., Roger G. Schroeder y Sadao Sakakibara. "The Impact of Quality Management Practices on Performance and Competitive Advantage". *Decision Sciences*, septiembre-octubre de 1995, pp. 659-691.
- Funk, Valerie. "Employee and Patient Focus Earns the Baldrige". *Quality Progress* 39, núm. 8 (2006), pp. 33-40.
- Garvin, David A. "Competing on the Eight Dimensions of Quality". *Harvard Business Review*, noviembre-diciembre de 1987, pp. 101-109.
- George, Stephen y Arnold Weimerskirch. *Total Quality Management: Strategies and Techniques Proven at Today's Most Successful Companies (Portable MBA Series)*. 2a. ed., Nueva York: John Wiley and Sons, 1998.
- Goodden, Randall L., "Better Safe Than Sorry". *Quality Progress*, mayo de 2008, pp. 28-30.
- Gunsaulley, C. "Estimate: 30% of Health Spending Is Wasted". *Employee Benefit News* 16, núm. 10 (agosto de 2002), pp. 1-4.
- Hendricks, K. B. y V. R. Singhal. "Firm Characteristics, Total Quality Management and Financial Performance". *Journal of Operations Management* 19, núm. 3 (mayo de 2001), pp. 269-285.
- Juran, J. M. *Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Services*. Ed. rev., Nueva York: Free Press, 1992.
- Juran, J. M. y A. B. Godfrey (eds.). *Juran's Quality Handbook*. 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 2000.
- Linderman, K., R. G. Schroeder, S. Zaheer, C. Liedtke y A. S. Choo. "Integrating Quality Management Practices with Knowledge Creation Processes". *Journal of Operations Management* 22, núm. 6 (diciembre de 2004), pp. 589-607.
- Morrison Coulthard, L. J., "Measuring Service Quality: A Review and Critique of Research Using SERVQUAL". *International Journal of Market Research* 46, núm. 4, 2004, pp. 479-497.
- Naveh, Eitan y Alfred Marcus. "Achieving Competitive Advantage through Implementing a Replicable Management Standard: Installing and Using ISO 9000". *Journal of Operations Management* 24, núm. 1 (diciembre de 2005), pp. 1-26.
- Parasuraman A, L. Berry y V. Zeithmal. "Refinement and Reassessment of the SERVQUAL Scale". *Journal of Retailing* 67, núm. 4, 1991, pp. 420-450.
- Parasuraman, A., V. Zeithmal y L. Berry. "SERVQUAL: A Multiple Item Scale for Measuring Consumer Perceptions of Service Quality". *Journal of Retailing* 64, núm. 1, 1988, pp. 14-40.
- Salegna, Gary y Farzaneh Fazel. "Obstacles to Implementing Quality". *Quality Progress* 33, núm. 7 (julio de 2000), pp. 53-57.
- Sechnoll, Les, "Ensuring Supplier Quality", *Quality Progress*, agosto de 2008, pp. 64-66.
- Schroeder, Roger G., Kevin Linderman y Dongli Zhang. "Evolution of Quality: First Fifty Issues of Production and Operations Management". *Production and Operations Management* 14, núm. 4 (invierno de 2005), pp. 468-481.
- Schulz, Louis E. *Profiles in Quality: Learning from the Masters*. White Plains, NY: Quality Resources, 1994.
- Scott, John. "ISO 9000 in Service: The Good, the Bad, and the Ugly". *Quality Progress* 38, núm. 9 (septiembre de 2005), pp. 42-48.
- Shingo, Shigeo. *Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*, trans. A. P. Dillon. Portland, OR: Productivity Press, 1986.
- United States Department of Commerce. 2009-2010 *Criteria for Performance Excellence: Malcolm Baldrige National Quality Award*. Washington, DC: National Institute of Standards and Technology, 2009.
- Wilson, Darryl y David A. Collier. "An Empirical Investigation of the Malcolm Baldrige National Quality Award Causal Model". *Decision Sciences* 31, núm. 2 (primavera de 2000), pp. 361-391.
- Zeithmal, V. A., A. Parasuraman y L. Berry. *Delivering Quality Service*. Nueva York: Free Press, 1990.



Control y mejoramiento de la calidad

Presentación del capítulo

- 9.1 Diseño de los sistemas de control de la calidad
- 9.2 Control de la calidad del proceso
- 9.3 Control de atributos
- 9.4 Control de variables
- 9.5 Uso de gráficas de control
- 9.6 Capacidad del proceso
- 9.7 Mejoramiento continuo
- 9.8 Seis Sigma
- 9.9 La manufactura esbelta y los Seis Sigma
- 9.10 Control y mejoramiento de la calidad en la industria
- 9.11 Aspectos y términos clave
 - Usted decida
 - Ejercicios por internet
 - Problemas resueltos
 - Preguntas de análisis
 - Problemas
 - Bibliografía

En el último capítulo, revisamos la larga historia de la administración de la calidad. A principios del siglo xx, la inspección pasó de los trabajadores a un departamento formal de control de la calidad. Ello generó tensión entre los empleados y los inspectores, lo cual es aún evidente en algunas compañías de la actualidad, pero aquellos que usan las ideas modernas del control de la calidad pueden evitar tales tensiones y crear un ambiente positivo para el mejoramiento de la calidad.

En 1924, **Walter A. Shewhart**, de Bell Telephone Labs, diseñó una gráfica estadística del control de la calidad. Otras dos personas de Bell Labs, H. F. Dodge y H. G. Romig, desarrollaron aún más la teoría del control estadístico de la calidad en la década de 1930; no obstante, se hizo poco en la industria hasta la Segunda Guerra Mundial, a principios de la década de 1940. La guerra generó la demanda de enormes cantidades de bienes militares provenientes de la industria. El ejército de Estados Unidos requirió que ésta adoptara los nuevos métodos del control estadístico de la calidad para ayudar a garantizar que los bienes que ordenaran satisficieran los estándares del gobierno estadounidense. En consecuencia, durante los primeros años de la década de 1940, la industria adoptó ampliamente

los métodos estadísticos para el control de la calidad; sin embargo, en años posteriores, dichos métodos se abandonaron sólo para ser redescubiertos en la década de 1980 como una forma válida de asegurar productos y servicios de calidad.

Las industrias de servicios han sido muy renuentes a la adopción de los métodos de control estadístico de la calidad; aunque algunas empresas de servicios han efectuado avances impresionantes en el uso de tales métodos, muchas otras se han quedado atrás. Como resultado, en las compañías de servicios existe una gran oportunidad de emplear los métodos del control estadístico de la calidad y de conseguir progresos.

Tras la Segunda Guerra Mundial, en 1946, se formó la American Society for Quality (ASQ).¹ Si bien el énfasis inicial era en los métodos de control estadístico de la calidad, el foco de atención se ha ampliado para incluir las necesidades de los clientes, la administración total de la calidad y el mejoramiento continuo. Asimismo, la ASQ se concentró en extender las ideas de la administración de la calidad a las industrias de servicios.

En este capítulo, se subrayará la **definición del proceso**, el **control estadístico de la calidad** y el **mejoramiento continuo**. Anticipamos la noción de que el control de la calidad es la estabilización y el mantenimiento de un proceso para elaborar un producto consistente, lo que implica que el proceso no varía de modo significativo en las características relevantes de la calidad que se controlan. El mejoramiento continuo sólo puede ocurrir después de que el proceso está bajo control y estabilizado.

También, adelantamos la idea de que la organización se integra por muchos procesos interrelacionados que deben estar controlados para producir productos y servicios de calidad. De ello se desprende que el control de la calidad y el mejoramiento continuo son de carácter altamente interfuncional y requieren la participación y el apoyo de toda la compañía. El cuadro de Liderazgo operativo acerca de la implantación del **control estadístico de procesos** (SPC, *statistical process control*) en Milliken & Co. explica cómo se están aplicando estos conceptos en la industria.



9.1 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE LA CALIDAD

Todo control de calidad debe empezar con el proceso mismo; en realidad, un proceso de producción consta de muchos subprocesos y cada uno tiene su propio producto o servicio intermedio. Un proceso puede ser una máquina individual, un grupo de máquinas o cualquiera de los muchos procesos de oficina y administrativos que existen en la organización. Cada uno de ellos posee sus propios **clientes internos** y sus productos o servicios. El cliente es el siguiente proceso (o procesos) que recibe el resultado final del trabajo; por ejemplo: el cliente del departamento de diseño es el taller de maquinados, donde se harán las partes que se diseñaron y el cliente del taller de maquinados es el departamento de ensamblado, el cual usará las partes que se fabriquen en el taller. Cuando un sistema de producción de gran tamaño se divide en muchos sistemas o procesos más pequeños, la calidad puede definirse y controlarse en cada punto a lo largo de toda la secuencia.

Luego de identificar cada uno de los procesos que deben controlarse, pueden elegirse **puntos críticos de control** donde debe ocurrir la inspección o la medición. Deben determinarse los tipos de medición o de pruebas y la cantidad de inspección en cada uno de esos puntos. Por último, la administración debe decidir quién hará la inspección: la fuerza de trabajo misma o un número de inspectores externos. De ordinario, se prefiere la **inspección de un operador** porque establece la responsabilidad sobre aquellos que elaboran el producto o el servicio. Una vez que se han tomado tales decisiones, es posible diseñar un sistema completo de control de calidad que permita un mejoramiento continuo de un sistema estable.

¹ Esta sociedad se llamó American Society for Quality Control (ASQC) hasta 1997, cuando su nombre cambió para reflejar su alcance y su misión de una manera más exacta, más allá del mero control de la calidad.

Liderazgo operativo Implantación del control estadístico de procesos en Milliken & Co.

Milliken & Company es una de las compañías privadas de productos textiles y químicos más grandes del mundo, con oficinas centrales en Spartanburg, Carolina del Sur. Los más de 9 000 miembros de la empresa trabajan en más de 45 instalaciones de manufactura de todo el mundo para producir telas de alta calidad y productos químicos especializados. La corporación ha ganado el Reconocimiento Nacional de Calidad Malcolm Baldrige en Estados Unidos y el European Quality Award en Europa.



La implantación del control estadístico de procesos en Milliken & Co. no se trató como un programa de consultoría interna o como un edicto de la alta administración; cualquiera de ambos es una buena forma de aniquilar el control estadístico de procesos antes de que inicie. Además, la capacitación de los trabajadores en el control estadístico de procesos antes de que tengan la necesidad de usarlo puede producir resultados deficientes. La mejor manera de implantar el control estadístico de procesos es comenzar con un problema real relacionado con el control de un proceso importante. Con este enfoque, los empleados responsables del proceso verán no sólo la necesidad del control estadístico de procesos, sino los resultados provenientes del mejoramiento del proceso; es mejor empezar con el problema en lugar de con la solución.

Christopher Wozniak, un especialista en el mejoramiento del proceso en Milliken & Company, escribió lo siguiente: *Cuando estuve trabajando en mi primer programa de*

control estadístico de procesos, un superintendente de una planta me dijo: "No se emocione mucho con estas cosas del control estadístico de procesos. Tengo ya quince años de experiencias, y le doy un año al control estadístico de procesos antes de que el siguiente programa salga bien." Él tenía toda la razón. El programa comenzó a hacer agua por todas partes; sin embargo, poco tiempo después, se hizo un compromiso extensivo a toda la organización con el control estadístico de procesos y se desarrolló el sistema adecuado. Desde entonces, el programa del control estadístico de procesos ha prosperado.

En un ejemplo de Milliken, se usó el control estadístico de procesos luego de que se detectó un proceso fuera de control. Para resolver el problema, varias personas de diferentes departamentos se unieron de modo espontáneo. El líder informal del equipo congregó a todo mundo alrededor del proceso fuera de control explicándoles la importancia del proceso, mostrándoles ejemplos de defectos y definiendo cómo podrían ayudar los miembros del equipo. A medida que procedía el mejoramiento, todo mundo recibía retroalimentación en relación con la manera en la que el proceso estaba mejorando. Como resultado, en un período de seis meses, la capacidad del proceso mejoró de un C_{pk} de 0.15 a un C_{pk} de 0.95.*

*El C_{pk} se explica posteriormente en este capítulo.

Fuente: Christopher Wozniak, "Proactive vs. Reactive SPC", *Quality Progress*, febrero de 1994 y el sitio web de la compañía en 2009: www.milliken.com.

1. El primer paso en el diseño de un sistema de control de calidad radica en identificar los puntos vitales de cada uno de los procesos que necesitan inspección y pruebas. Los lineamientos para la realización de dicha tarea son los siguientes:
 - Asegurarse de que las materias primas entrantes o los servicios adquiridos satisfagan las especificaciones. Idealmente, la inspección de entrada puede eliminarse mediante la **certificación del proveedor**. Por lo común, se concede una certificación a aquellos proveedores que han demostrado que aplican el control del proceso estadístico y otros métodos para conseguir un desempeño consistente en calidad; en este caso, el cliente puede emplear directamente los productos o servicios del proveedor sin una inspección de entrada.
 - Probar la producción en proceso o el servicio mientras se está entregando. Como regla general, el producto o servicio debe inspeccionarse por los operadores antes de que puedan ocurrir operaciones irreversibles o antes de que se añada una gran cantidad de valor al producto; en esos casos, el costo de la inspección es inferior al de añadir más valor al producto. A partir del diagrama de flujo del proceso, debe hacerse una determinación precisa de los puntos en los que el producto debe inspeccionarse.
 - El tercer aspecto vital de inspección es el producto o servicio terminado. Con frecuencia, en la manufactura, los productos finales se inspeccionan o se prueban antes de embarcarse o de que el producto se incluya en el inventario; por ejemplo: en una planta de ensamblado de automóviles, se toma una muestra de automóviles

directamente de la línea de ensamble y se inspecciona totalmente en cuanto a su apariencia y sus funciones. Se toma nota de los defectos y se da retroalimentación al personal de la línea de ensamble de modo que puedan corregir las causas raíz. Asimismo, los defectos se usan para calcular un puntaje de calidad con propósitos de comparación entre plantas de ensamble.

Por lo general, es preferible *prevenir la ocurrencia* de los defectos que inspeccionarlos y corregirlos después de la producción; sin embargo, se necesita alguna medición a través de una inspección de muestreo para mantener los procesos en un estado continuo de control y para facilitar el mejoramiento; por lo tanto, la inspección (o medición) no puede eliminarse, pero puede reducirse por medio de un vigoroso proceso de prevención.

2. El segundo paso en el diseño de un sistema de control de calidad es decidir el tipo de medición que deberá utilizarse en cada punto de inspección. A menudo, hay dos opciones: la medición basada en variables y la basada en atributos. La **medición de variables** recurre a una escala continua para factores como la longitud, la altura y el peso. Los ejemplos de una medición de variables son las dimensiones de las partes, la viscosidad de los líquidos y el tiempo que debe esperarse en las mesas de un restaurante.

La **medición de atributos** usa una escala discreta mediante el conteo del número de artículos defectuosos o el número de defectos por unidad. Cuando las especificaciones de la calidad son complejas, de ordinario debe aplicarse una medición de atributos. En este caso, puede emplearse un complicado conjunto de criterios para definir una unidad defectuosa o un defecto; por ejemplo, un aparato de televisión puede clasificarse como defectuoso si cualquiera de un cierto número de pruebas funcionales falla o si la apariencia del gabinete no es satisfactoria. En la inspección de ropa, un defecto puede definirse como una alteración en el material y, durante la inspección, puede contarse el número de defectos por cada 100 metros. La determinación del tipo de medición que deberá usarse involucra la especificación del equipo de medición. Se dispone de una amplia variedad de mecanismos para la misma; no obstante, la selección de estos dispositivos va más allá del alcance de este texto.

3. El tercer paso al definir el sistema de control de calidad consiste en decidir acerca de la cantidad de inspección que deberá aplicarse. Por lo regular, se prefiere el control del proceso estadístico para minimizar la cantidad de inspección necesaria; las excepciones a ello podrían ser cuando las variables del proceso son difíciles de definir o cuando las consecuencias de una falla son muy altas; por ejemplo: cuando hay vidas humanas que corren peligro, puede recurrirse tanto al control del proceso como a pruebas de producción al ciento por ciento.
4. El paso final del diseño de un sistema de control de calidad consiste en decidir quién debería hacer la inspección. En general, es mejor que los trabajadores inspeccionen su propia producción y sean responsables de la calidad de su trabajo (algunas veces denominada calidad desde el origen). Hay una gran cantidad de evidencias para sugerir que un programa de prevención, junto con la responsabilidad del trabajador por la calidad, será menos costoso que un extenso programa de inspección externa. En los servicios de alto contacto, no hay más alternativa que tener la calidad desde el origen, pues el cliente percibe de inmediato los defectos.

En algunos casos, el cliente está involucrado en la inspección del producto. Los clientes de servicios siempre asumen este papel a medida que reciben el servicio; algunos de ellos destinan inspectores a las plantas de los proveedores para que examinen y acepten o rechacen los embarques antes de que se les envíen. El gobierno de Estados Unidos tiene inspectores en una variedad de industrias para certificar la calidad en el interés de la salud pública y la seguridad. De este modo, en el proceso de inspección, pueden involucrarse muchas personas.

Un sistema de control de calidad bien diseñado requiere de una serie de juicios administrativos y de la participación de todas las funciones. En sí mismos, los principios de control son elementales, demandan estándares de desempeño, de mediciones y de retroalimentación de los resultados para corregir el proceso. La aplicación de estos



principios en cualquier situación específica es compleja; el principio orientador es controlar primero el sistema y, a continuación, fijar como meta un mejoramiento continuo del sistema estable resultante.

9.2 CONTROL DE LA CALIDAD DEL PROCESO

El **control estadístico del proceso** utiliza la inspección (o pruebas) del producto o servicio mientras se produce; se toman muestras periódicas del resultado final de un proceso de producción. Cuando, después de la inspección de la muestra, existe una razón para pensar que las características de la calidad del proceso han cambiado, éste se detiene y se efectúa la búsqueda de una **causa asignable**, la cual podría ser un cambio en el operador, en la máquina o en el material. Cuando la causa se encuentra y se corrige, el proceso comienza de nuevo.

El control del proceso se basa en dos supuestos básicos, uno de ellos es que la variabilidad aleatoria es inherente a cualquier proceso de producción. Aun si el diseño del proceso llegó al nivel de la perfección, habrá algo de variabilidad aleatoria, también denominada causas comunes, en las características de calidad entre una unidad y la siguiente; por ejemplo, una máquina cuya función sea llenar cajas de cereal no depositará exactamente el mismo peso en cada caja ya que la cantidad a llenar variará en torno de alguna cifra promedio. La meta de control del proceso es encontrar el ámbito de la variación natural aleatoria del proceso y asegurar que la producción permanezca en él.

El segundo principio del control del proceso afirma que, por lo regular, los procesos de producción no se hallan en un estado de control. Debido a la existencia de procedimientos descuidados, a operadores no capacitados y a un mantenimiento inadecuado de las máquinas, entre otros aspectos, la variación que se produce es, de ordinario, mucho más grande de lo necesario. La primera función de los administradores del control del proceso es determinar esas fuentes de variación innecesaria, también conocidas como causas especiales, y poner el proceso bajo control estadístico, de modo que la variación restante se deba a causas aleatorias.

Los procedimientos administrativos de contabilidad, recursos humanos, ventas, mercadotecnia y finanzas, en la mayoría de las organizaciones, tampoco están, a menudo, bajo un control estadístico; sin embargo, dichos procedimientos pueden controlarse. Los mismos principios que se aplican al control de la producción también se usan para controlar los procedimientos administrativos.

Un proceso puede llevarse a un **estado de control** y mantenerse en él con el uso de gráficas de control de calidad (también llamadas gráficas de procesos o gráficas de control). En la gráfica de control que se ilustra en la figura 9.1, el eje y representa la característica de calidad que se controla y el de x , el tiempo o una muestra particular tomada del proceso. La **línea central** de la gráfica es la característica promedio de calidad que se mide. El **límite superior del control** constituye la variación aleatoria máxima aceptable y, el **límite inferior del control**, la variación aleatoria mínima aceptable cuando existe un estado de control. Por lo común, tanto el límite superior como el inferior de control se establecen a \pm tres desviaciones estándar de la media. Si se supone una distribución normal de probabilidad, estos límites de control incluirán 99.74% de las variaciones aleatorias observadas.

Al lado derecho de la figura 9.1, se presenta una distribución normal de probabilidad; indica que la media (promedio) de la distribución se localiza en la línea del centro de la gráfica de control y que las colas de la distribución se ubican fuera de los límites de control sólo en una pequeña cantidad; por lo tanto, 99.74% de las observaciones de la muestra que se toman y se representan en la gráfica de la figura 9.1 caerán dentro de los límites de control siempre y cuando el proceso todavía esté bajo control. Cuando la media del proceso cambia hacia arriba o hacia abajo, es más probable que los puntos muestrales caigan fuera de los límites de control y que, por lo tanto, indiquen una causa asignable que necesite una corrección.



FIGURA 9.1

Gráfica de control de calidad.

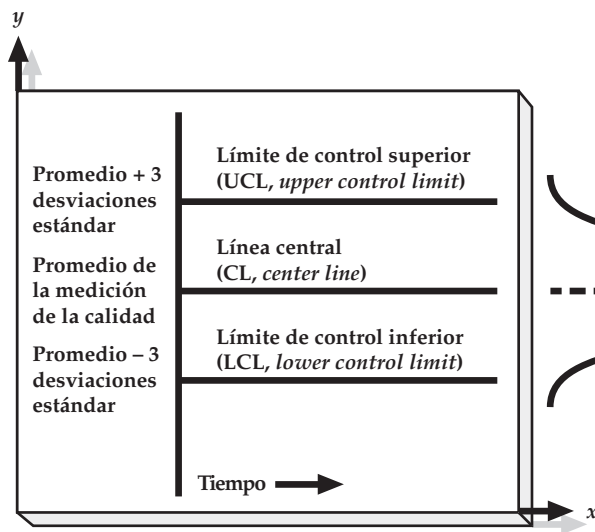
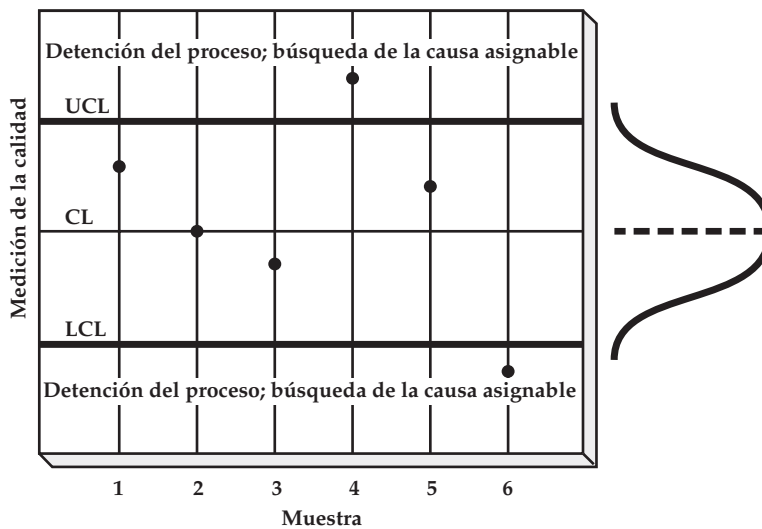


FIGURA 9.2

Ejemplo de una gráfica de control de la calidad.



Después de que un proceso ha sido llevado a una operación de estado estable, se toman muestras periódicas y se agregan en la gráfica de control (observe figura 9.2). Cuando la medición cae dentro de los límites de control, el proceso continúa; pero si cae fuera de éstos, el proceso se detiene y se hace una búsqueda de una causa asignable.² Las causas asignables también se conocen como **causas especiales**, aquellas que ocasionan que los puntos caigan fuera de los límites de control y que se pueden corregir para volver a llevar el proceso nuevamente a un estado de control. En contraste, las **causas comunes** de la variación son las que ocurren de manera aleatoria cuando el proceso está bajo control estadístico y no pueden modificarse a no ser que vuelva a diseñarse el proceso. A través del uso de gráficas de control, el proceso se mantiene en un estado constante de control estadístico y sólo existe una variación natural aleatoria (causas comunes) en el resultado final del proceso.

La calidad puede evaluarse en gráficas de control mediante atributos o variables. A continuación explicaremos cada uno de estos casos.

² Otra indicación de un cambio posible del proceso, pero fuera del alcance de esta discusión, es una tendencia en los puntos representados en la gráfica de control que revela un posible cambio descendente o ascendente en el promedio del proceso.

9.3 CONTROL DE ATRIBUTOS

El control de atributos ocurre cuando la característica de la calidad se mide en una escala discreta (por ejemplo: un artículo es bueno o defectuoso) en lugar de en una escala continua. En esta sección, consideramos el porcentaje de defectos que ocurren en una muestra como el atributo medido. Algunos ejemplos de medidas de atributos son el porcentaje de llamadas telefónicas no contestadas dentro de tres toques del teléfono, el porcentaje de clientes insatisfechos y los porcentajes de partes defectuosas de un proveedor. El porcentaje defectuoso se estima tomando una muestra de n unidades al azar de un proceso a intervalos especificados. Para cada muestra, se calcula el porcentaje defectuoso observado (p) en la muestra. Estos valores observados de p se alimentan en la gráfica de control de p , uno para cada muestra.

Para obtener la línea del centro y los límites de control de la gráfica de control de p , se toma un número amplio de muestras de n unidades cada una. Se calcula el valor de p para cada muestra y , posteriormente, se promedia sobre todas las muestras para producir un valor de \bar{p} ; éste se usará como la línea del centro, ya que representa la mejor estimación disponible del verdadero promedio porcentual defectuoso del proceso. Asimismo, se emplea el valor de \bar{p} para calcular los límites de control superiores e inferiores como sigue:

$$\begin{aligned} \text{UCL} &= \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \\ \text{LCL} &= \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \end{aligned}$$

En este caso, la desviación estándar del proceso es la cantidad bajo el signo de la raíz cuadrada. Estamos añadiendo y sustrayendo tres desviaciones estándar respecto de la media para obtener los límites de control. En la siguiente página, se proporciona un ejemplo de este cálculo para el control de las operaciones de ingreso de datos a una computadora.

Luego de que se construye la gráfica de control de p con su línea del centro y los límites de control superiores e inferiores, se toman y se presentan en la gráfica las muestras del proceso que se controlan. Si el porcentaje de la muestra cae dentro de los límites de control, no se toma ninguna acción; si el porcentaje de la muestra cae fuera de los límites de control, el proceso se detiene y se busca una causa asignable (material, operador o máquina). Una vez que se detecta y se corrige la causa asignable, o, en casos muy raros, si no se encuentra una causa asignable, el proceso se restaura a la condición operativa y se reanuda la producción o el servicio.

9.4 CONTROL DE VARIABLES

Las gráficas de control también se usan para las mediciones de variables. En este caso, se hace una medición de una variable continua cuando se inspecciona cada artículo. Como resultado de ello, se calculan dos valores a partir de la muestra: una medida de tendencia central (de ordinario un promedio) y una medida de la variabilidad (ya sea amplitud del rango o desviación estándar). Con estos valores, se desarrollan dos gráficas de control: una para la tendencia central y otra para la variabilidad del proceso. Cuando se halla que el proceso está fuera de control en cualquiera de tales gráficas, se detiene y se busca una causa asignable.

Cuando se utiliza la medición de una variable, se requieren dos gráficas de control porque se supone una distribución normal y tiene dos parámetros (media y varianza). Puede haber cambios tanto en la media de la distribución como en la varianza (o amplitud del rango). Como resultado de ello, debe supervisarse el promedio de un proceso y la amplitud de rango para propósitos de control.

Ejemplo de control por atributos

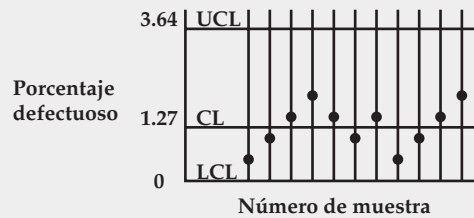
Ejemplo de gráfica de control de atributos

Suponga que se toman muestras de 200 registros de una operación de captura de datos a intervalos de dos horas para controlar el proceso de ingreso de datos. El porcentaje de registros equivocados en las 11 muestras anteriores resulta ser de .5, 1.0, 1.5, 2.0, 1.5, 1.0, 1.5, .5, 1.0, 1.5, y 2.0%. El promedio de estos 11 porcentajes muestrales es de $\bar{p} = 1.27$ que es la línea del centro de la gráfica de control. El límite superior y el límite inferior son de:

$$UCL = .0127 + 3\sqrt{\frac{.0127(.9873)}{200}} = .0364$$

$$LCL = .0127 - 3\sqrt{\frac{.0127(.9873)}{200}} = -.0110$$

Cuando el límite de control inferior es negativo, se redondea a 0 porque un porcentaje negativo es imposible; por lo tanto, se tiene la siguiente gráfica:



Ya que se ha descubierto que todos los puntos de la muestra están bajo control, pueden usarse estas 11 muestras para establecer la línea del centro y los límites de control.

Suponga que, cada vez que se toma una muestra, se calcula el promedio (\bar{x}) y la amplitud de rango (R). Posteriormente, se usa una gráfica de control para el promedio y otra para la amplitud de rango. Los límites de control de la gráfica del promedio se calculan del siguiente modo:

$$CL = \bar{\bar{x}}$$

$$UCL = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

$$LCL = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

donde $\bar{\bar{x}}$ es el gran promedio de varios promedios anteriores de \bar{x} y \bar{R} es el promedio de varios valores anteriores de R . Recuerde que la amplitud del rango (R) es, simplemente, el valor más grande menos el valor más pequeño de una muestra. En las fórmulas anteriores, A_2 es una constante que incluye tres desviaciones estándar en términos de la amplitud del

TABLA 9.1
Constantes de la gráfica de control

Fuente: Factores reproducidos a partir de 1950 *ASTM Manual on Quality Control of Materials* con permiso de la American Society for Testing and Materials, Filadelfia.

Tamaño de la muestra n	A_2	D_3	D_4
2	1.880		3.267
3	1.023	0	2.575
4	0.729	0	2.282
5	.577	0	2.115
6	.483	0	2.004
7	.419	.076	1.924
8	.373	.136	1.864
9	.337	.184	1.816
10	.308	.223	1.777
12	.266	.284	1.716
14	.235	.329	1.671
16	.212	.364	1.636
18	.194	.392	1.608
20	.180	.414	1.586
22	.167	.434	1.566
24	.157	.452	1.548

rango. La tabla 9.1 proporciona valores de A_2 para diversos tamaños muestrales de la distribución normal. Los límites de control de la gráfica de amplitud del rango se calculan así:

$$\begin{aligned} CL &= \bar{R} \\ UCL &= D_4 \bar{R} \\ LCL &= D_3 \bar{R} \end{aligned}$$

Las constantes D_3 y D_4 ofrecen tres desviaciones estándar para la amplitud del rango. Los valores de estas constantes también se señalan en el cuadro 9.1. El propósito de estas constantes es ayudar a calcular los límites de control superiores e inferiores como una función del tamaño de la muestra. En la tabla 9.1, puede usarse una muestra de un tamaño determinado para buscar los valores apropiados de A_2 , D_3 , y D_4 en términos de las gráficas de promedio y de amplitud de rango. El ejemplo de la gráfica de control de variables ilustra cómo calcular los límites de control y cómo establecer si una muestra está bajo control.

9.5 USO DE GRÁFICAS DE CONTROL

Existen múltiples aspectos de interés en el uso de las gráficas de control. Primero: debe enfrentarse el problema del tamaño de la muestra. Para una gráfica de control de atributos, las muestras deben ser lo bastante grandes, con frecuencia dentro del ámbito de 50 a 300 observaciones. Como regla general, la muestra debe ser por lo menos lo suficientemente grande como para permitir la detección de una unidad defectuosa; por ejemplo: si el proceso que se está controlando produce 1% de unidades defectuosas, debe emplearse un tamaño de muestra de por lo menos 100 para detectar una unidad defectuosa en promedio. Las gráficas de control para variables requieren de tamaños de muestras mucho más pequeños, casi siempre dentro del ámbito de tres a diez elementos, ya que la medición de cada variable aporta mucho más información.



El segundo aspecto alude a la frecuencia con la que debe tomarse la muestra. A menudo, esta decisión se toma con base en la tasa de producción y en el costo de producción de los defectos en relación con el costo de inspección. Un proceso de producción de alto volumen debería sujetarse a muestras frecuentes, ya que podría producirse un gran número de unidades defectuosas entre ellas. Cuando el costo de producción de unidades defectuosas es alto relacionadas al costo de la inspección, el proceso también debe sujetarse a muestras

Ejemplo de gráficas de control de variables

Ejemplo de control por variables

A la empresa Midwest Bolt le gustaría controlar la calidad de los pernos producidos por sus tornos de roscas automáticos. Cada máquina genera 100 pernos por hora y es controlada por una gráfica de control separada. Cada hora, se selecciona una muestra aleatoria de seis pernos a partir de la producción de la máquina y se mide el diámetro de cada muestra. De cada seis diámetros, se calcula un promedio y una amplitud del rango; por ejemplo: una muestra produjo las seis siguientes mediciones: .536, .507, .530, .525, .530 y .520. El promedio de éstas es $\bar{x} = .525$, y la amplitud del rango es $\bar{R} = .029$. También, se sabe que el promedio total de todas las muestras anteriores ha sido de $\bar{\bar{x}} = .513$ y que el rango del promedio total es de $\bar{R} = .020$. De estos grandes promedios, se calculan los parámetros de la gráfica de control de la siguiente manera (consulte la tabla 9.1 donde se presentan las constantes de la gráfica de control con $n = 6$).

Gráfica \bar{X}	Gráfica R
CL = .513	CL = .020
UCL = .513 + .483(.020) = .523	UCL = 2.004(.020) = .040
LCL = .513 - .483(.020) = .503	LCL = 0(.020) = 0

Con base en estos límites de control, se halla que la muestra de seis pernos está fuera de control en las mediciones promedio y que está bajo control en cuanto a la amplitud del rango. (Nota: $\bar{x} = .525$ está fuera del límite de control superior sobre la gráfica de las \bar{x}); por lo tanto, deberíamos detener el proceso y buscar una causa asignable que tendería a fabricar pernos que poseen un diámetro demasiado grande.

frecuentes. Un ejemplo de una situación costosa es aquella en la cual la totalidad de la producción final debe verificarse cuando se detecta que el proceso está fuera de control. En estos casos, deben tomarse muestras en forma frecuente, siempre y cuando el costo del muestreo no sea demasiado alto. ¿Cuál es el costo del muestreo aplicable a procesos contables, registros de personal o procesos que reciben órdenes de ventas? Estos costos pueden ser más bien altos y pueden justificar un control estadístico a través de un muestreo poco frecuente.

Otro aspecto de importancia en el uso de gráficas de control es la relación de las especificaciones del producto con los límites de control. Si el proceso está bajo control, pero hay demasiadas unidades fuera de las especificaciones, de acuerdo con los criterios de la administración, entonces el proceso no es capaz de satisfacer las especificaciones del producto; en ese caso, las especificaciones deben moderarse, debe usarse un mejor proceso o debe instituirse temporalmente una inspección al 100% para descartar los artículos defectuosos hasta que pueda modificarse el proceso o las especificaciones. Las gráficas de control ilustran con toda claridad la necesidad de acoplar las especificaciones del producto con las características del proceso. En la práctica, un producto puede estar sujeto a un exceso de especificaciones y, entonces, aparentemente, tendrá una calidad de conformidad deficiente cuando el proceso, en sí mismo, es inadecuado.

Las gráficas de control se emplean ampliamente en la industria tanto para manufactura como para servicios. En el caso de compañías manufactureras, por lo común, se localizan en cada máquina para controlar la producción de calidad de esa máquina. Las mediciones de calidad se toman en forma periódica y se presentan en la gráfica para asegurar que la máquina todavía esté produciendo en sus tolerancias requeridas y que el promedio y la amplitud del rango no hayan cambiado.

En las industrias de servicios, las gráficas de control se utilizan para controlar el tiempo o el porcentaje de defectos resultantes de distintos procesos; por ejemplo: el tiempo que se necesita para contestar un teléfono, el que se requiere para atender a un cliente o el que se demanda para hacer efectiva una cuenta por cobrar. Asimismo, las industrias de servicios usan gráficas de control para supervisar y controlar el porcentaje de clientes insatisfechos o el de pagos extemporáneos, por ejemplo.

9.6 CAPACIDAD DEL PROCESO

Una vez que un proceso se ha puesto bajo control estadístico, puede evaluarse su **capacidad** la cual es, simplemente, su habilidad para satisfacer o superar las especificaciones técnicas de un proceso. Es importante conocer la capacidad del proceso, pues no es prudente emplear uno que inherentemente no sea capaz de satisfacer las especificaciones que se hayan definido ya que se provocarán demasiados defectos.

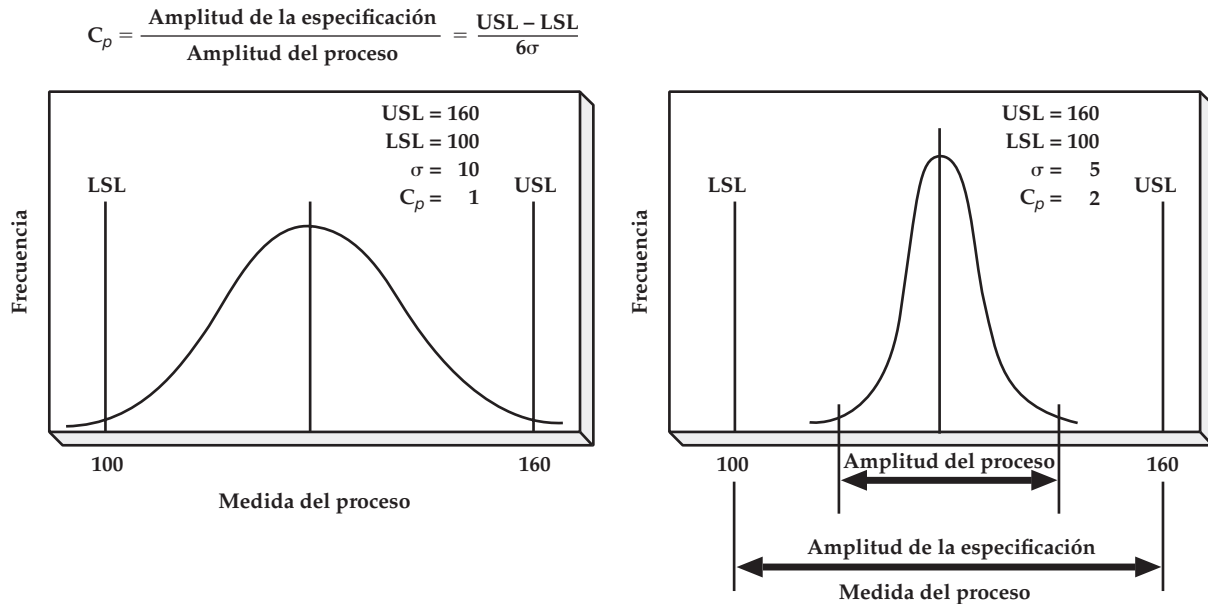
La capacidad de un proceso puede determinarse a través del *índice de capacidad del proceso* C_p , la razón de la amplitud de la especificación (spec) a la del proceso:

$$C_p = \frac{\text{Amplitud de la especificación}}{\text{Amplitud del proceso}}$$

Si el proceso se centra dentro de la amplitud de rango de la especificación, como se ilustra en la figura 9.3, $C_p \geq 1$, será un buen indicador de la habilidad del proceso para satisfacer sus especificaciones, puesto que la amplitud del proceso estará dentro de la de la especificación.

En la práctica, la amplitud de la especificación se calcula como la diferencia entre el límite superior de la especificación (USL, *upper specification limit*) y el límite inferior de la especificación (LSL, *lower specification limit*). La amplitud del proceso se calcula utilizando seis desviaciones estándar de la medición del proceso que se supervisa (6σ). La desviación estándar (σ) se refiere a los artículos individuales que se están produciendo y no a la desviación estándar de las muestras que se tomaron de la gráfica de control. La lógica para 6σ es que la mayor parte de la variación de la medición de un proceso se incluye dentro

FIGURA 9.3 Ejemplos del índice de capacidad del proceso.



de ± 3 desviaciones estándar de la media o un total de seis desviaciones estándar; por lo tanto, se tiene:

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Si el proceso se centra dentro de la amplitud de rango de la especificación y $C_p = 1$, se considera que tiene una mínima capacidad para satisfacer las especificaciones. Un proceso con $C_p < 1$ debe mejorarse mediante la reducción de la desviación estándar o incrementando la amplitud de la especificación, en caso de ser posible, para que se convierta en un proceso adecuado.

Para la distribución normal, si $C_p = 1$ y el proceso se centra dentro de las especificaciones y está bajo control estadístico, 99.74% del producto elaborado estará dentro de las especificaciones, correspondiendo a 2 600 partes defectuosas por millón (ppm, *parts per million*).³ La cifra de 99.74% puede obtenerse con el uso de las tablas de la distribución normal de probabilidad del apéndice A. Si $C_p = 1.33$, entonces 99.994% del producto se encontrará dentro de las especificaciones, lo que corresponderá a 60 partes por millón defectuosas. Así, un ligero incremento en el C_p ocasiona un descenso espectacular en las tasas de defectos del proceso. Con frecuencia, los clientes especifican valores de C_p desde 1 hasta 1.5 o incluso tan altos como 2.0, dependiendo de sus requisitos particulares de calidad. La tabla 9.2 muestra la razón por la cual, en algunos casos, pueden requerirse procesos con capacidad muy alta y tasas de defectos extremadamente bajas.

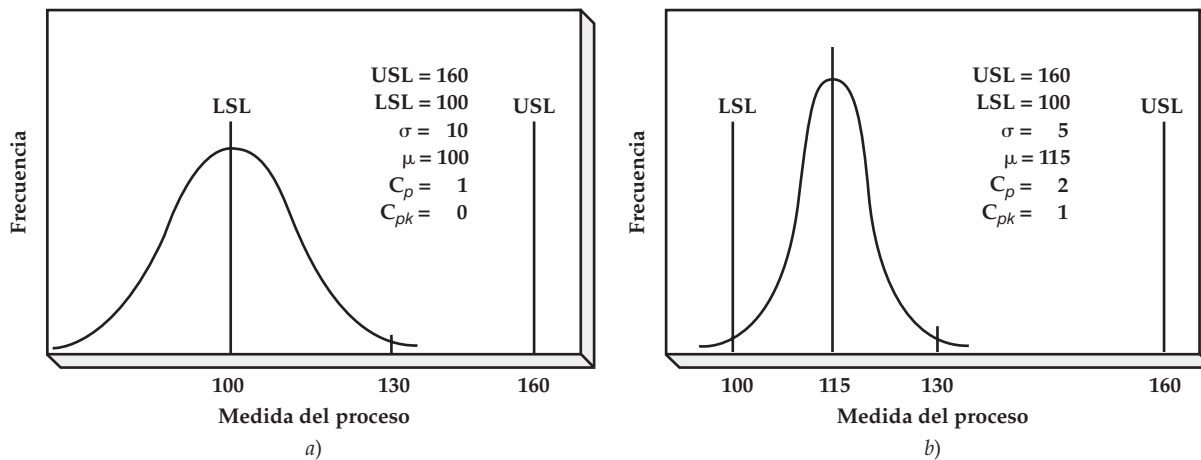
TABLA 9.2
Cuando 99.9% de calidad no es suficiente

Fuente: Natalie Cabel, "Is 99.9% Good Enough?" *Training Magazine*, marzo de 1991, pp. 40-41.

Si un estándar de calidad del 99.9% estuviera en vigor, lo siguiente podría suceder:

- Cada año se perderían 2 millones de documentos en el fisco estadounidense.
- Todos los días se deducirían 22 000 cheques de una cuenta bancaria equivocada.
- Todos los días se encauzarían incorrectamente 1 314 llamadas telefónicas.
- Cada día se entregarían 12 bebés a padres equivocados.
- Diariamente dos aterrizajes de aviones en el aeropuerto O'Hare serían inseguros.

³ Observe que 99.74% de productos buenos corresponde a $(100 - 99.74) = .26\%$ de productos malos. El .26% puede convertirse a 2 600 partes por millón multiplicando .0026 por 1 000 000.

FIGURA 9.4 Cálculo de C_{pk} .

Un problema con la medida del C_p es que requiere que el proceso se centre dentro del ámbito de la especificación de una medida exacta de la capacidad del proceso. Debido a este problema, se ha diseñado otra medida (C_{pk}) que se aplica más ampliamente:

$$C_{pk} = \text{Mín} \left(\frac{USL - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LSL}{3\sigma} \right)$$

donde μ = el valor medio del proceso y σ = la desviación estándar del proceso.

Esta medida más complicada de la capacidad del proceso supera el problema de la medida de tendencia central calculando la capacidad del proceso para cada mitad de la distribución normal y tomando, después, el mínimo de los dos cálculos. El resultado se presenta en la figura 9.4a), donde el valor de $C_{pk} = 0$, mientras que $C_p = 1$. Esta figura ilustra que el uso del índice C_p cuando el proceso no está centrado proporciona una respuesta incorrecta, porque el proceso no es totalmente capaz de satisfacer las especificaciones, mientras que C_{pk} brinda la respuesta correcta con $C_{pk} = 0$. En la figura 9.4b) se da un ejemplo adicional, donde $C_{pk} = 1$, aun cuando la distribución no está centrada. En este caso, el proceso es capaz de satisfacer las especificaciones, pero podría mejorarse modificando la media a un punto más cercano al centro de la amplitud de rango de la especificación. Ya que C_{pk} representa de una manera más exacta la capacidad real del proceso, es la medida que se emplea más a menudo en la industria.

9.7 MEJORAMIENTO CONTINUO

Si la capacidad del proceso no es adecuada para satisfacer las necesidades actuales o futuras, puede emprenderse un mejoramiento continuo. No todos los procesos deben mejorarse. Aquellos que tienen una importancia estratégica y una capacidad baja de proceso deben ser los que se seleccionen primero para propósitos de mejoramiento.

Las **siete herramientas de control de la calidad** se muestran en la figura 9.5.⁴ Éstas, que fueron descritas por primera vez por los japoneses, las utilizan pequeños equipos de trabajadores junto con administradores e ingenieros para controlar y mejorar los procesos. La tabla 9.3 resume el propósito de cada una de ellas en la identificación y en la solución de los problemas asociados con el mejoramiento del proceso.

⁴ También, existen siete nuevas herramientas acerca de la calidad las cuales se describen en Mizuno (1988). Estas siete herramientas adicionales son más convenientes para la identificación de un problema que para la solución del mismo.

FIGURA 9.5

Las siete herramientas de control de calidad.

Fuente: Gitlow et al., *Tools and Methods for Quality Improvement*, 2a. ed. (Burr Ridge, IL: Irwin, 1994).

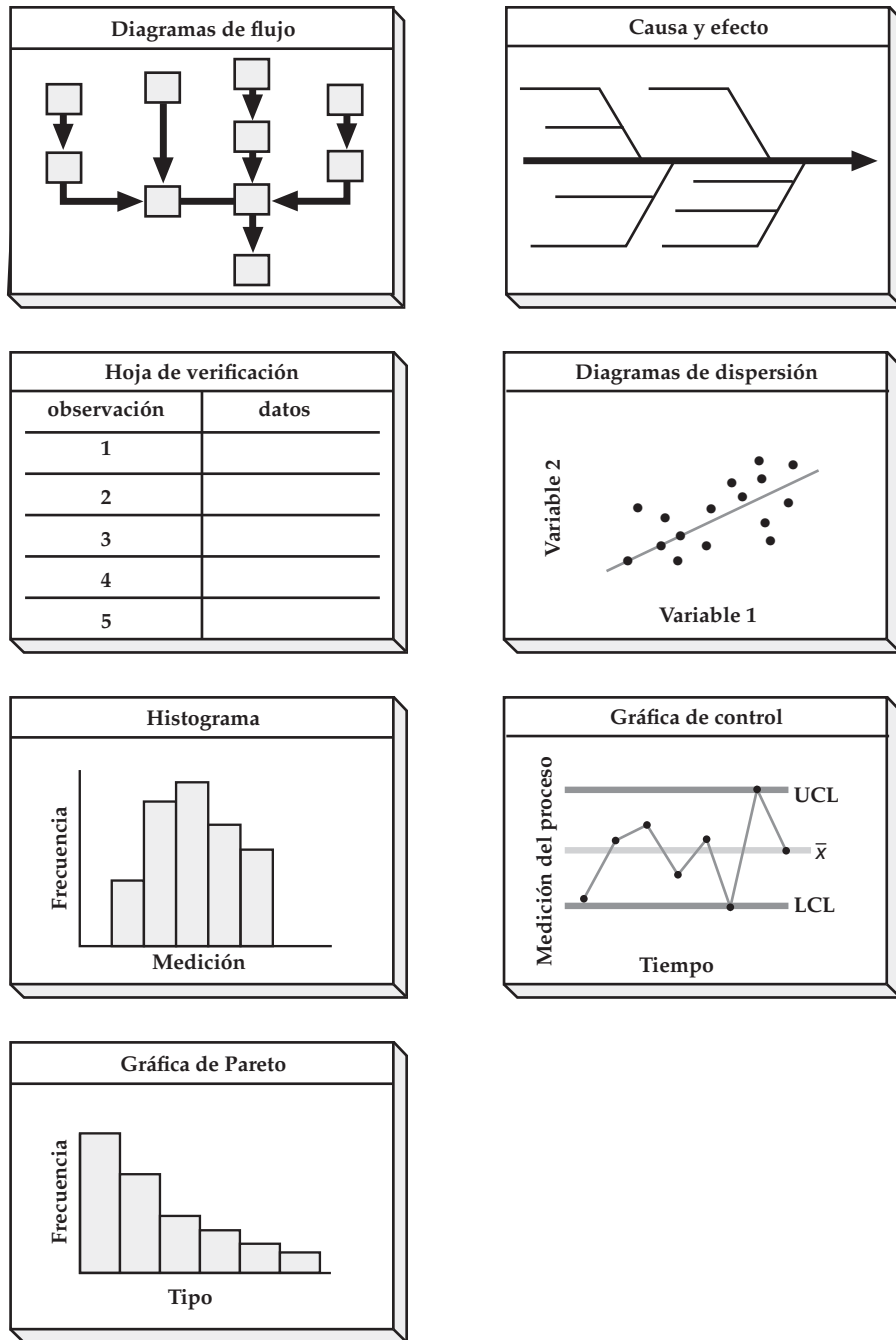


TABLA 9.3
Propósito de las siete herramientas de control de la calidad

Herramienta	Propósito
Diagramas de flujo	Entender el proceso e identificar las posibles áreas problemáticas
Hojas de verificación	Tabular datos sobre un área problemática
Histogramas	Ilustrar la frecuencia de ocurrencia de las medidas
Diagramas de Pareto	Identificar los problemas más importantes
Diagramas de causa y efecto	Mostrar las posibles causas del problema
Diagramas de dispersión	Investigar las causas y los efectos
Gráficas de control	Mantener las ganancias provenientes del mejoramiento del proceso

El proceso de mejoramiento empieza con el diagrama de flujo, que se expuso en el capítulo 6. Los **diagramas de flujo** describen las relaciones del proceso y revelan cualesquiera desperdicios y pasos innecesarios que puedan eliminarse. Un diagrama de flujo también identifica los posibles problemas que deban investigarse a través de recopilaciones y análisis de datos adicionales.

La recopilación de los datos del proceso se hace por medio de un formato tabular conocido como hojas de verificación; por ejemplo: una **hoja de verificación** podría contener mediciones vitales de un proceso tomadas a intervalos periódicos durante el día y tabuladas por el momento en el que se tomaron.

El siguiente paso en el mejoramiento del proceso y en la solución de problemas reside en mostrar los datos en términos de histogramas. Un **histograma** es un conteo de frecuencia que utiliza datos provenientes de la hoja de verificación para mostrar el perfil y darle forma a la distribución de los datos; puede indicar que algunos puntos de datos son valores atípicos o puede haber formas extrañas para la distribución que señalen un sesgo o posiblemente más de un modo o pico en la distribución.

Puede construirse un **diagrama de Pareto** para mostrar los problemas más importantes. En 1906, Vilfredo Pareto observó que, en cualquier población, unos cuantos elementos constituyen un porcentaje significativo de la totalidad del grupo —pocos elementos, pero esenciales—. Los datos deben tabularse para identificar los modos de fallas que ocurren con mayor frecuencia; como resultado, pueden atacarse primero los problemas más relevantes.

La tabla 9.4 provee un conteo de las posibles razones para las fugas hidráulicas que se han detectado al ensamblar cargadores frontales de tractores en una fábrica; como se observa, la razón más común de una fuga (defecto) es una conexión floja, seguida por conectores rotos y así sucesivamente. Dichos datos se transfieren al diagrama de Pareto que se ilustra en la figura 9.6. Debido a que grafica las razones de las fugas en orden de ocurrencia decreciente, el diagrama de Pareto revela con claridad la trascendencia de los diversos tipos de defectos que se han encontrado. De acuerdo con la ley de Pareto, un número reducido de los modos de fallas dan cuenta de la mayoría de los defectos.

El diagrama de Pareto registra qué defectos deberíamos tratar de eliminar primero. Con base en la figura 9.6, observamos que primero deberíamos investigar las conexiones flojas porque ocurren con mayor frecuencia; desde luego, los conectores rotos son una segunda situación cercana y también deberían investigarse, en especial si esos conectores rotos son más fáciles o menos costosos de corregir que las conexiones flojas. El análisis de Pareto es muy útil cuando se estudia por primera vez un problema de calidad porque ayuda a dividir el problema en piezas más pequeñas. Se ha definido que las fugas hidráulicas principalmente se deben a conectores flojos o a conectores rotos (78.6% de las fallas en forma combinada).

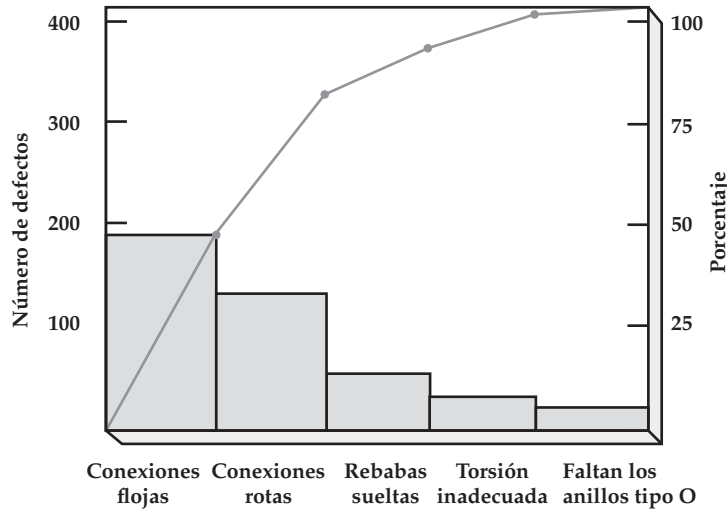
El siguiente paso del análisis es tomar uno de estos modos de fallas, por ejemplo, las conexiones flojas, y generar ideas para las causas de la falla. Ello se hace usando el diagrama de causa y efecto, también conocido como diagrama Ishikawa, en honor al doctor Kaoru Ishikawa (1986), quien empleó estos diagramas en Japón por primera vez.

En la figura 9.7 se presenta un **diagrama de causa y efecto** para las conexiones flojas. El problema, en sí mismo, o el efecto, se muestra del lado derecho del diagrama. Las diversas

TABLA 9.4
Defectos hidráulicos
de los cargadores
frontales

Número inspeccionado (N) = 2 347		
Aspectos defectuosos	Número de defectos	Porcentaje defectuoso
Faltan los anillos tipo O	16	3.9%
Torsión inadecuada	25	6.1
Conexiones flojas	193	46.8
Rebabas sueltas	47	11.4
Conexiones rotas	131	31.8
Total	412	100.0%

FIGURA 9.6
Diagrama de Pareto.

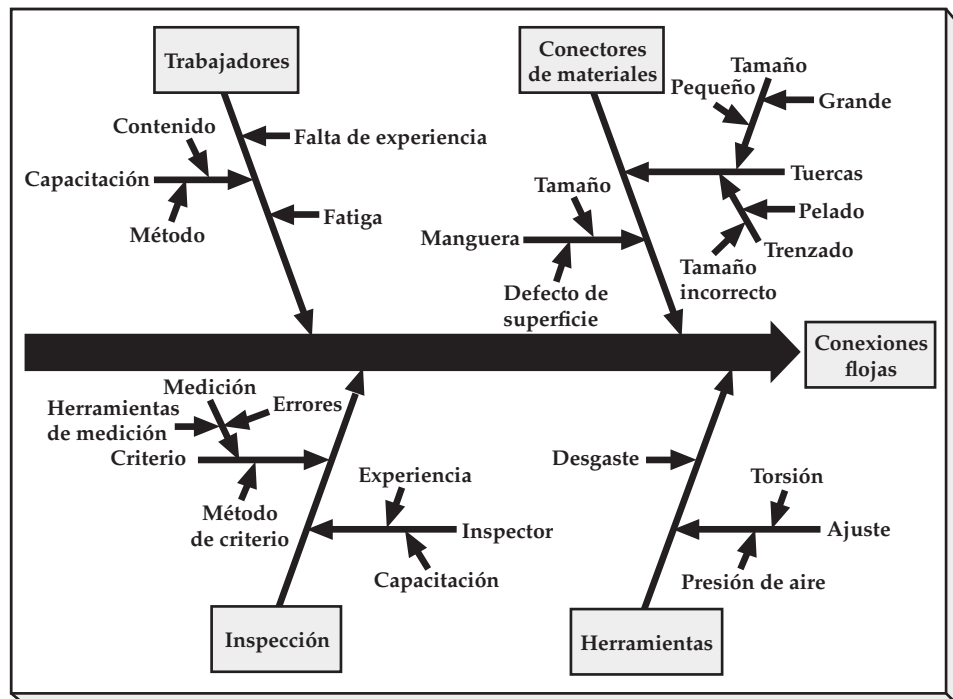


causas probables de este problema se representan junto con la espina del diagrama como materiales, trabajadores, inspección y herramientas. La apariencia del diagrama indica una analogía con una espina de pescado: los huesos son las causas probables de los problemas de calidad, pero puede incluirse cualquier causa. Cada una de las causas principales se divide, entonces, en causas más detalladas, dando lugar a más huesos del pescado; la causa del trabajador se divide en tres posibilidades, por ejemplo: falta de experiencia, fatiga y capacitación; a la vez, ésta se divide en contenido y método.

Cuando se construye un diagrama de causa y efecto, las causas potenciales de un problema se vuelven evidentes. Todas estas causas pueden ser evaluadas una por una para encontrar las verdaderas causas.

A menudo, los diagramas de causa y efecto se elaboran mediante el uso de equipos para el mejoramiento de la calidad o equipos para la resolución de problemas. Con el empleo de la tormenta de ideas, el equipo podrá identificar una amplia gama de causas posi-

FIGURA 9.7
Diagrama de causa y efecto para las conexiones flojas.



bles de un problema; así, el equipo o un individuo podrán recolectar datos para reducir las causas potenciales antes de tomar una acción correctiva.

Asimismo, pueden analizarse datos adicionales por medio de un **diagrama de dispersión** el cual muestra la relación entre dos variables. Si se sospecha una causa y un efecto en particular, la relación aparecerá en el diagrama de dispersión como una línea recta o como una curva. Aunque la estadística no puede probar una causa y un efecto, expone una relación probable que puede corregirse y, posteriormente, estudiarse en términos de resultados.

El uso de las siete herramientas del control de calidad hace posible reducir los defectos y, por lo tanto, mejorar la calidad; por ejemplo: en el caso de las fugas hidráulicas, podría hallarse que las conexiones flojas son provocadas por el ajuste de torsión de las herramientas y una capacitación inadecuada de los operadores. Luego de que se corrigen tales causas, el número de defectos se reduce; por lo tanto, es posible dirigirse al segundo problema referente a los conectores rotos. De esta manera, se logra un mejoramiento continuo.

Una vez que se han hecho las mejoras, el nuevo proceso debe estabilizarse para mantener los avances mediante el uso de una nueva gráfica de control. Los límites de la **gráfica de control** original antes del mejoramiento del proceso quedarán estrechados por los mejoramientos logrados y la capacidad del proceso se incrementará. De esta forma, aquellas que eran las causas comunes en la gráfica de control original han sido detectadas y removidas del proceso.

9.8 SEIS SIGMA

Las empresas deben aplicar las herramientas para el control y el mejoramiento de la calidad de un modo organizado ya que, por sí mismas, estas últimas no conducirán a un mejoramiento; deben incorporarse dentro de un enfoque de mejoramientos como **Seis Sigma**. Observe el cuadro de Liderazgo operativo denominado *Calidad de Seis Sigma* en donde se presenta información acerca de los antecedentes de este enfoque.

Seis Sigma es un método sistemático para procesar mejoramientos que, por lo regular, utilizan los cinco pasos definidos en el acrónimo **DMAIC**:

1. **Definir (*define*):** el proceso se selecciona con fines de mejoramiento y se especifican los estatutos del proyecto.
2. **Medir (*measure*):** las variables de calidad valoradas por el cliente se miden, y se fijan las metas del mejoramiento.
3. **Analizar (*analyze*):** se identifican las causas raíz de los niveles actuales de defectos y se consideran opciones para cambios en los procesos.
4. **Mejorar (*improve*):** se cambia el proceso y se verifica con propósitos de mejoramiento.
5. **Control (*control*):** este paso garantiza que el mejoramiento del proceso no se pierda con el paso del tiempo.

El enfoque de Seis Sigma puede aplicarse a los procesos de manufactura, de servicios o de áreas administrativas.

Sin embargo, antes de mejorar un proceso específico, la administración debe realizar una elección estratégica del proceso. La alta gerencia debe elegir aquellos procesos fundamentales que sean necesarios para implantar la estrategia de la empresa; por ejemplo: la alta administración puede determinar que los procesos de ventas, de contratación de nuevos empleados o un proceso particular de manufactura deberían seleccionarse con propósitos de mejoramiento.

Una vez que se selecciona un proceso para optimizarlo, se forma un equipo interfuncional, puesto que la mayoría de los procesos atraviesan líneas funcionales. Así, se elige un especialista altamente capacitado en el mejoramiento de procesos y se contrata tiempo completo para dirigir al equipo de mejoramiento; por lo común, a este especialista se le llama *cinturón negro*. A continuación, el equipo se dedica a implementar mejoras mediante el uso del enfoque DMAIC.



Liderazgo operativo Calidad de Seis Sigma

Motorola inventó el término *calidad de Seis Sigma* a mediados de la década de 1980 para reflejar un deseo por niveles muy altos de una calidad consistente en todos sus



procesos. Un nivel de Seis Sigma equivale a un nivel de defectos de 3.4 partes por millón, lo cual es mucho mejor que lo que pueden lograr las compañías en la mayoría de los procesos.

La calidad de Seis Sigma se relaciona con la distribución normal de probabilidad, donde Sigma (σ) denota la desviación estándar del proceso. Motorola supuso que la media del proceso experimentaría un cambio de 1.5σ antes de un cambio de $\pm 6\sigma$; por lo tanto, Seis Sigma corresponde a una desviación de 4.5σ de un lado de la media y a una desviación de 7.5σ del otro lado de la media, dando como resultado 3.4 partes por millón defectuosos. Ello puede verificarse por referencia a las colas de las tablas de la distribución normal a $+4.5$ y -7.5 desviaciones estándar.

El criterio de Seis Sigma es equivalente a una capacidad de proceso de $C_{pk} = 1.5$, lo que puede verse por referencia a la fórmula para C_{pk} con $USL - \mu = 4.5\sigma$. Como resultado, el criterio de Seis Sigma asegurará procesos que no sean

escasamente capaces de producir las especificaciones, pero que ofrezcan una capacidad de proceso algo mejor.

La calidad Seis Sigma puede aplicarse no sólo a los procesos de manufactura, sino también a los administrativos y de servicios; por ejemplo: Motorola ha aplicado Seis Sigma en el departamento de finanzas: mide el tiempo del ciclo para el cierre de los libros al final del mes. Se solían requerir dos semanas para cerrar los libros; hoy en día se cierran en cerca de tres días. Asimismo, el departamento mide cuántos errores se cometieron en el cierre y le da un seguimiento al nivel de Sigma cada mes.

En otra aplicación, Texas Instruments utiliza el criterio de Seis Sigma para mejorar los niveles de satisfacción del cliente. Un defecto se define como un nivel de servicio al cliente evaluado por éste como menos que satisfactorio. El porcentaje de defectos proveniente de una muestra grande de clientes se iguala, entonces, con el nivel correspondiente de Sigma y se le da seguimiento sobre una base periódica con propósitos de mejoramiento.

Fuente: Adaptado de Pandu R. Tadikamalla, "The Confusion over Six-Sigma Quality", *Quality Progress*, noviembre de 1994, pp. 83-85; y Karen Bemowski, "Motorola's Fountain of Youth", *Quality Progress*, octubre de 1995, pp. 29-31.

Motorola desarrolló originalmente la metodología Seis Sigma.



Entonces, el equipo inicia sus actividades de mejoramiento haciendo diagramas de flujo del proceso y definiendo los defectos de los procesos, utilizando medidas que son de gran importancia para el cliente. Se recopilan datos sobre estas medidas para establecer una línea de base del proyecto actual y las metas del mejoramiento; por ejemplo: si el proceso está produciendo en este momento un defecto en 100 oportunidades (1% de defectos), una meta podría ser mejorarlo a razón de un defecto en 1 000 oportunidades, un factor de mejoramiento de diez veces (10x). Los equipos de Seis Sigma siguen este tipo de enfoque agresivo para el mejoramiento para garantizar que se logre un cambio significativo. Desde luego, la meta del mejoramiento no debe implantarse de manera arbitraria; en lugar de ello, se fija con base en el beneficio económico del mejoramiento y el tiempo disponible para que el equipo consiga su meta, siendo de seis meses la duración característica del proyecto.

Una vez que la meta se ha establecido, el equipo busca las *causas raíz* de los niveles actuales de defectos. El equipo debe ser cuidadoso de ir más allá de los síntomas y encontrar las causas reales; casi siempre, ello se hace a través de tormenta de ideas para la búsqueda de soluciones en grupo y de una cuidadosa recolección de datos para analizar la situación. En esta etapa, se recurre a una variedad de herramientas como los diagramas de causa y efecto, los diagramas de dispersión y los de Pareto.

Después de que se han detectado las causas raíz, se consideran algunas opciones para mejoramientos y, luego, se hacen dichos mejoramientos. Posteriormente, se recopila in-

formación adicional para asegurarse de que haya ocurrido el mejoramiento, que se hayan generado ahorros y que se ponga en práctica un plan de control para garantizar que los cambios sean permanentes. En este punto, pueden usarse gráficas de control de calidad para mantener el nuevo proceso en un estado de control estadístico.

Aun cuando el uso de Seis Sigma está bien establecido en la manufactura, un ejemplo de mejoramientos en un proceso de transacciones podría ser informativo. El departamento legal de TRW mejoró sus procesos para la renovación de su marca comercial en todo el mundo y ahorró 1.8 millones de dólares.⁵ Antes del mejoramiento con Seis Sigma, el departamento legal y las unidades de negocios asociadas revisaban 2 500 registros de marcas comerciales cada año a un costo de 1 200 dólares por registro. Se pensaba que muchos de esos registros podrían ya no ser necesarios o que no eran de importancia para el negocio; pero, ¿cómo podría determinarse esto?

El proceso de Seis Sigma comenzó definiendo un defecto ya sea como un registro innecesario que era renovado o como un registro necesario que no era renovado porque no se recibía una respuesta del negocio para la verificación antes de la expiración de la cobertura. La tasa básica de defectos era de 25%, es decir, uno de cuatro registros era defectuoso.

El primer paso del análisis era trazar un diagrama de flujo de todos los pasos que se requerían para una renovación de una marca comercial; ello daba como resultado 41 pasos de los cuales sólo 11 añadían valor. Como producto de este análisis, el proceso de renovación se simplificó notablemente.

El siguiente paso fue determinar las causas de los defectos. Se había propuesto la hipótesis de que las causas potenciales demandaban mucho tiempo de espera para la aprobación de la unidad del negocio, mucho tiempo de espera para la evidencia de uso o una renovación de otro país. Se recopilaron datos para probar la relación de estas causas potenciales para el número de defectos. Se utilizó un análisis estadístico por regresión para realizar un análisis de los datos encaminado a hallar las causas raíz. Como consecuencia de ello, el número de renovaciones que necesitaban de un procesamiento se redujo en forma muy importante.

Una vez que se diseñó un nuevo proceso para reducir los defectos y para acortar el tiempo de revisión, los empleados se capacitaron y se implantó un plan de control para prevenir que los defectos volvieran a aparecer. La tasa resultante de defectos del proceso revisado fue de un defecto en 300 renovaciones o .33 por ciento.

Este ejemplo ilustra el modo en el que los métodos de Seis Sigma pueden aplicarse a todos los procesos, incluso a los de un departamento legal. La aplicación puede ser diferente para cada tipo de proceso; sin embargo, los pasos a seguir (DMAIC) y los principios fundamentales son los mismos.

Seis Sigma ha dado resultados espectaculares en compañías como Motorola, General Electric, Citigroup, American Express y Honeywell. Tales resultados son posibles sólo a través de un agresivo liderazgo administrativo al más alto nivel, de una amplia capacitación en Seis Sigma, del empleo de tiempo completo de especialistas en mejoramiento y de un cuidadoso seguimiento de los resultados financieros.⁶ Seis Sigma no es meramente un enfoque para el mejoramiento de la calidad, sino una forma de mejorar la utilidad neta de la organización; por ejemplo: GE reportó la adición de más de 2 mil millones de dólares a la utilidad neta como resultado de la adopción de Seis Sigma.⁷

9.9 LA MANUFACTURA ESBELTA Y LOS SEIS SIGMA

Las compañías están empezando a combinar los programas de manufactura esbelta y de Seis Sigma. A pesar de que dichos programas son de carácter complementario, también

⁵ R. Das, S. Colello y H. Davidson (2004).

⁶ En un número reducido de casos, las compañías recurren a especialistas en mejoramiento de tiempo parcial en lugar de a empleados de tiempo completo.

⁷ Reporte Anual de GE (1999).

tienen varias diferencias de importancia en cuanto a objetivos, organización, métodos y tipo de proyectos. La tabla 9.5 compara las diferencias entre ambos tipos de programas, los cuales se basan en implantaciones características de la manufactura esbelta y de Seis Sigma, aunque las definiciones y el uso fluctúan ampliamente en la práctica.

Los sistemas de manufactura esbelta, los cuales se describieron en el capítulo 7, poseen el objetivo de eliminar el desperdicio definido como actividades que no añaden valor; en contraste, los esfuerzos de Seis Sigma tienen como finalidad reducir los defectos como los ve el cliente. Por lo tanto, los objetivos de tales esfuerzos son diferentes, pero, al mismo tiempo, pueden concatenarse; por ejemplo: la producción, o manufactura, esbelta puede atacar los defectos como uno de los siete desperdicios. Seis Sigma puede atacar el desperdicio cuando está causando un defecto ante los ojos del cliente, pero, por lo común, no atacaría el desperdicio interno como un inventario excesivo, movimientos de desperdicio o movimientos de materiales innecesarios. Mientras que Seis Sigma tiende a reducir la variación en los procesos, la manufactura esbelta mejora el flujo del proceso.

Otra diferencia estriba en la forma en la que se organizan dichos proyectos. De ordinario, Seis Sigma se basa en cinturones negros contratados por tiempo completo como líderes de proyectos y en vicepresidentes de apoyo (o defensores), quienes supervisan los proyectos. En contraste, la manufactura esbelta se basa en líderes de proyectos contratados por tiempo parcial y en una jerarquía más informal. Con frecuencia, los mejoramientos de la manufactura esbelta involucran a toda la fuerza de trabajo, mientras que los proyectos de Seis Sigma son más selectivos en cuanto a la participación de la misma. En Seis Sigma, la capacitación de los cinturones negros es muy extensa y, por lo general, requiere cuatro semanas de capacitación más la terminación exitosa de uno o más proyectos. La capacitación en manufactura esbelta también aquí es más informal y, casi siempre, dura sólo una semana; por lo tanto, los programas de Seis Sigma son distintos en su estructura organizacional.

Una tercera diferencia radica en los métodos que se emplean. Como se describió en el capítulo 7, la manufactura esbelta se basa en un proceso de cinco pasos que inicia con la necesidad del cliente. Aunque Seis Sigma también empieza igual, la secuencia de pasos

TABLA 9.5
Comparación de la
manufactura esbelta
y Seis Sigma

Diferencias	Manufactura esbelta	Seis Sigma
Objetivos	Reducción del desperdicio (actividades que no añaden valor); el desperdicio puede incluir, en parte, los defectos	Reducir los defectos. Los defectos pueden incluir, en parte, algunas actividades que no agregan valor
Organización:		
Liderazgo de equipo	Líderes de tiempo parcial (generalmente)	Líderes de tiempo completo (generalmente)
Uso de defensores	No se usan defensores	Vicepresidente como defensor
Participación de la fuerza de trabajo	Todos participan	Empleados seleccionados para cada proyecto
Capacitación	Una semana de capacitación	Cuatro semanas para un cinturón negro
Método usado:		
Pasos seguidos	Filosofía de la manufactura esbelta de cinco pasos	Pasos DMAIC o DFSS
Énfasis en los datos	Menos basada en los datos	Énfasis estadístico
Diagrama de flujo	Representación gráfica de la corriente de valor	Cualquier método de diagrama de flujo
Uso de sistemas de información	Sí, impulsado por el cliente	No es parte de Seis Sigma
Seguimiento del impacto financiero	Comúnmente no se hace	A través de una organización financiera
Tipo de proyectos:		
Complejidad del proyecto	Proyectos simples	Proyectos complejos
Tiempo para la terminación	Una semana o menos	Comúnmente seis meses
Número de proyectos	Muchos proyectos pequeños	Un menor número de proyectos grandes
Selección del proyecto	No necesariamente estratégico	Selección estratégica de proyectos

DMAIC difiere de la que se usa en la manufactura esbelta; además, los sistemas con manufactura esbelta no hacen énfasis en la utilización de datos o en análisis estadísticos en la misma medida en que Seis Sigma. Como se explicó en la tabla 9.5, en la manufactura esbelta se usa la representación gráfica de la corriente de valor en tanto que, en Seis Sigma, no se emplea un tipo específico de diagrama de flujo. Otra diferencia de importancia es que sólo la manufactura esbelta utiliza el concepto de una demanda impulsada o requerida por el cliente para ocasionar un flujo en el producto o servicio. Por último, la manufactura esbelta no le da un seguimiento formal a los ahorros en costos del proyecto o a los mejoramientos en ingresos, mientras que Seis Sigma insiste en un seguimiento cuidadoso por parte del área financiera de la organización.

La última área de diferencia es el tipo de proyectos emprendidos. Los proyectos de manufactura esbelta son, por lo general, sencillos; pero se usa Seis Sigma para proyectos complejos y difíciles encaminados a un mejoramiento del proceso. Un proyecto común Seis Sigma implica seis meses y está encaminado al logro de un impacto cuantioso, cerca de 200 000 dólares en ahorros o más. Los proyectos de manufactura esbelta pueden durar tan poco tiempo como una semana usando eventos Kaizen y, con frecuencia, poseen un impacto mucho menor proveniente de cada proyecto. Los programas de manufactura esbelta atacarán a un número mucho mayor de pequeños proyectos encaminados al mejoramiento que Seis Sigma y pueden no seleccionar proyectos por su relevancia estratégica.

Tanto Seis Sigma como la manufactura esbelta están encaminados al mejoramiento, pero de una manera distinta en las aplicaciones típicas; por lo tanto, una organización que ya esté usando la manufactura esbelta puede beneficiarse con Seis Sigma atacando proyectos complejos más grandes con un enfoque más formal impulsado por los datos y empleando líderes de proyectos de tiempo completo para reducir los defectos y las variaciones. Por otra parte, una organización que aplique Seis Sigma puede beneficiarse de la rapidez del enfoque de la manufactura esbelta vía Kaizen a escala pequeña la cual utiliza una parte considerable de la organización con la finalidad de eliminar el desperdicio y mejorar el flujo del proceso. Las similitudes son que ambos enfoques comienzan con la identificación de una verdadera necesidad del cliente que no se está satisfaciendo y que ambos se concentran en el mejoramiento del proceso.

Algunas compañías están desarrollando un enfoque integrado tanto de la manufactura esbelta como de Seis Sigma; por ejemplo: podrían aplicar la metodología DMAIC y líderes de proyectos de tiempo completo provenientes de Seis Sigma, incorporando, entonces, la representación gráfica de la corriente de valor, los sistemas impulsados por el cliente y el enfoque de reducción de los desperdicios de la manufactura esbelta como parte de los pasos de DMAIC. Tal planteamiento atacaría el desperdicio, mejoraría el flujo y reduciría los defectos (variación). Podría atacar proyectos simples o complejos para el mejoramiento del proceso con aplicaciones variantes de los métodos para adaptarse a un proyecto en particular.

9.10 CONTROL Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD EN LA INDUSTRIA

La industria ha hecho un extenso uso de los métodos de control de calidad y del mejoramiento que se describieron en este capítulo, como lo han indicado diversas encuestas de la práctica de la industria las cuales señalan que aproximadamente las tres cuartas partes de todas las empresas utilizan gráficas de control del proceso. Existe un mayor uso de las gráficas de \bar{x} y las gráficas de R que de las gráficas p debido a las pequeñas muestras que son posibles con control de variables; otras gráficas, más sofisticadas, no son tan ampliamente empleadas como las gráficas mencionadas.

Seis Sigma está ganando rápidamente aceptación en las industrias de manufactura y de servicios como un enfoque probado para el uso de las siete herramientas del control de la calidad; aunque no existe una encuesta confiable acerca de la adopción de Seis Sigma, la lista de organizaciones que han reportado la implantación de Seis Sigma continúa en aumento.



A pesar de que el empleo de los métodos de calidad se ha extendido más allá de las operaciones, existe mucho más campo para una utilización adicional en las funciones administrativas y de oficinas de las empresas de manufactura y de servicios. La educación del control de la calidad debe concentrarse en todas las funciones de la compañía y también en sus proveedores. Algunas empresas aún no han asimilado el concepto de la administración total de la calidad; en consecuencia, los esfuerzos del control de la calidad se centran principalmente en las operaciones de producción.

En las industrias de servicios, el control de la calidad se ha rezagado en comparación de las industrias de manufactura por múltiples razones. Primero: los servicios son más difíciles de medir porque son intangibles, mientras que las características de un producto manufacturado pueden medirse y especificarse; por ejemplo: el acero puede medirse por su fuerza, su dureza, su ductilidad y otras propiedades. La calidad de un servicio se relaciona con aspectos intangibles como el ambiente de un restaurante, la sonrisa del mesero y el sentido de bienestar del cliente. Sin embargo, la calidad no puede controlarse a menos que se mida; por lo tanto, es imperativo que las industrias de servicios evalúen lo que puedan medir y desarrollen técnicas nuevas e innovadoras de medición para aquello que ahora se considera como intangible.

Una forma de medir un servicio sería cuantificar las transacciones que ocurren. Las transacciones podrían incluir al número de mesas atendidas en un restaurante por empleado, el porcentaje de clientes que están satisfechos o muy satisfechos con el servicio y el número de cortes de energía en una compañía proveedora de electricidad. Una vez que se han determinado las dimensiones importantes de la entrega de un servicio, puede encontrarse una manera de medirlas ya sea con datos objetivos o perceptuales.

Otra forma de medir un servicio consiste en usar las dimensiones de SERVQUAL, las cuales se describieron en el pasado capítulo. Estas medidas perceptuales pueden ayudar a la administración a entender y a mejorar la calidad de los servicios ofrecidos.

Una característica de la administración de la calidad de los servicios es la condición precedera del producto, la cual requiere que se controle la calidad mientras se está brindando el servicio. En consecuencia, se impone a la fuerza de trabajo un gran esfuerzo encaminado a la calidad del servicio; cuando se da mala calidad, el cliente está inmediatamente consciente de ello; por lo tanto, las organizaciones de servicios deben resaltar la selección de los empleados adecuados, la capacitación de la fuerza de trabajo y el control del proceso. Desde luego, éstas también son buenas prácticas para las empresas de manufactura que buscan prevenir la ocurrencia de errores.



¿Por qué el personal de contabilidad, de recursos humanos, de mercadotecnia y de finanzas debería interesarse en las ideas expresadas en este capítulo? Primero, contabilidad está interesada en costos exactos y en información financiera. Cuando todos los procesos de producción están bajo control estadístico, las causas especiales de las variaciones en los procesos y, por lo tanto, en los costos han sido eliminadas. Contabilidad también puede beneficiarse directamente al aplicar estas ideas al control de la calidad en las transacciones de insumos recibidas por el sistema contable y en los productos contables finales elaborados. En otras palabras, pueden poner al sistema contable de la compañía bajo control estadístico. Los auditores pueden determinar si los procesos que producen las transacciones contables están bajo control, en lugar de sólo auditar las transacciones.

Desde la perspectiva de recursos humanos, las ideas de este capítulo ofrecen muchas posibilidades. La implantación del control estadístico de la calidad y el mejoramiento requieren de una capacitación a fondo de la fuerza de trabajo. Ya no se culpa a los trabajadores por los errores que, de hecho, se deben al sistema fundamental. Los empleados se sienten más orgullosos de su trabajo cuando son responsables de inspeccionar su propia producción y de controlar sus propios procesos. Se presenta un mayor sentido de satisfacción y de productividad si las personas contribuyen a reducir errores y a satisfacer a sus clientes (el siguiente proceso).



Como es evidente, a mercadotecnia no le gusta ver clientes insatisfechos por un producto defectuoso. La implantación de las ideas del control estadístico de la calidad reduce el número de defectos producidos en un ciclo de mejoramiento que no termina nunca. En

consecuencia, hay un menor número de quejas de clientes y los ingresos pueden aumentar al comercializar una calidad consistente de la compañía. La mercadotecnia y las ventas son facilitadas a través de la implantación decidida de las ideas de este capítulo.

Finalmente, el área de finanzas puede apreciar los resultados de un control progresivo de la calidad y de un enfoque de mejoramiento en la línea de la utilidad neta de la corporación. Los procesos financieros también pueden controlarse y una compañía que implante estas ideas ahorrará dinero y mejorará sus resultados financieros.

9.11 ASPECTOS Y TÉRMINOS CLAVE

Los aspectos más importantes de este capítulo son los siguientes:

- El control de la calidad se define como la estabilización y el mantenimiento de un proceso para elaborar una producción consistente. El mejoramiento continuo puede ocurrir una vez que se logre un proceso estable.
- Las operaciones consisten en una secuencia de procesos interconectados, y cada uno de ellos tiene sus propios clientes internos. Deben definirse los aspectos vitales para la inspección y la medición a efecto de controlar y mejorar dichos procesos.
- Las gráficas del control del proceso deben considerarse para los insumos, desde el punto de vista de los proveedores, como parte del proceso y para los productos. Los puntos fundamentales del control pueden describirse mejor a través de un diagrama de flujo del proceso.
- Utilizando el control de la calidad del proceso, se toman muestras periódicas de un proceso continuo de producción o de servicios. En tanto como las mediciones de la muestra caigan dentro de los límites del control, la producción continúa. Cuando las mediciones de la muestra caen fuera de los límites del control, el proceso se detiene y se hace una búsqueda de una causa asignable —operador, máquina o materiales—. Con este procedimiento, se mantiene un proceso de producción o de servicios en un estado continuo de control estadístico.
- Es preferible usar el control estadístico del proceso en lugar de la inspección siempre que ello sea posible, ya que el primero está orientado a la prevención. El control estadístico del proceso puede emplearse como una base para el control interno de la calidad y para conseguir el estatus de proveedor certificado, lo cual requiere de un proceso de producción estable.
- Seis Sigma es un enfoque organizado y sistemático para el mejoramiento de los procesos. Con frecuencia, utiliza los cinco pasos DMAIC: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Se necesita un cuidadoso análisis acompañado de herramientas estadísticas para identificar las causas raíz de los defectos percibidos por los clientes, para analizar los cambios y para controlar el proceso mejorado.
- Las compañías están combinando ahora los enfoques de manufactura esbelta y de Seis Sigma para el mejoramiento de los procesos. Aunque estos dos enfoques parten de las necesidades actuales del cliente, difieren de sus objetivos, en su organización, en sus métodos y en los tipos de proyectos; sin embargo, son complementarios en la búsqueda del mejoramiento de los procesos y pueden aplicarse de una manera integrada.
- Existen siete herramientas para el control y el mejoramiento de la calidad. Estos métodos pueden utilizarse para poner a un proceso bajo control o para mejorarlo.
- Un alto porcentaje de compañías de manufactura recurren a las siete herramientas del control de la calidad; sin embargo, el uso de tales métodos tiene menos aceptación en las industrias de servicios y en las funciones administrativas.
- Todas las funciones de la compañía pueden beneficiarse de la aplicación de las ideas de este capítulo. Todas las funciones deben poner los procedimientos administrativos que manejan bajo un control estadístico de la calidad y deben buscar el mejoramiento. Otras funciones, además de las operaciones y la compañía, también se benefician directamente al aplicar el control de la calidad y los principios del mejoramiento.



Términos clave

Walter A. Shewhart	Medición de atributos	Siete herramientas del control de calidad
Definición del proceso	Control estadístico del proceso	Diagrama de flujo
Control estadístico de la calidad	Causa asignable	Hoja de verificación
Mejoramiento continuo	Estado de control	Histograma
Clientes internos	Línea central	Diagrama de Pareto
Puntos fundamentales del control	Límite superior de control	Diagrama de causa y efecto
Inspección de operador	Límite inferior de control	Diagrama de dispersión
Certificación de proveedores	Causa especial	Gráfica de control
Medición de variables	Causa común	Seis Sigma
	Capacidad del proceso	DMAIC

Usted decida

1. ¿Cómo es que Seis Sigma y la manufactura esbelta son métodos de mejoramiento compatibles a pesar de que son tan distintos?
2. ¿Por qué no puede mejorarse un proceso hasta que sea puesto bajo control estadístico?

EJERCICIOS POR INTERNET



1. Milliken & Company
<http://www.milliken.com>
Encuentre qué reconocimientos de calidad ha obtenido Milliken & Company. ¿Por que se considera Milliken una compañía líder en Estados Unidos?
2. Statistical Quality Software (SAS)
<http://www.sas.com>
Efectúe una búsqueda interna del sitio SAS para encontrar información acerca de programas de cómputo para el control estadístico de los procesos. Escriba un breve reporte acerca de sus hallazgos.
3. iSixSigma
<http://www.isixsigma.com>
Después de encontrar la página inicial, haga clic en *New to Six Sigma?* y lea más acerca de la historia de Seis Sigma, DMAIC, la certificación y otros aspectos similares.
4. Air Academy Associates
<http://www.airacad.com/LeanSixSigmaApproach.aspx>
Con base en esta página web, determine la manera en la que Seis Sigma y la manufactura esbelta son diferentes, pero pueden integrarse entre sí.

PROBLEMAS RESUELTOS

Problema

1. **Gráfica de control del proceso** Una compañía que elabora palos de golf controla su proceso de producción tomando periódicamente una muestra de 100 palos de la línea de producción. Cada uno de ellos se inspecciona en busca de características defectuosas. Se desarrollan límites de control utilizando tres desviaciones estándar respecto a la media como límite. Durante las 16 últimas muestras tomadas, la proporción de artículos defectuosos por muestra se registró así:

.01	.02	.01	.03	.02	.01	.00	.02
.00	.01	.03	.02	.03	.02	.01	.00

- Determine la proporción media defectuosa, el límite superior de control, y el límite inferior de control.
- Dibuje una gráfica de control y grafique en ella cada una de las mediciones.
- ¿Podría decirse que el proceso de fabricación está bajo control?

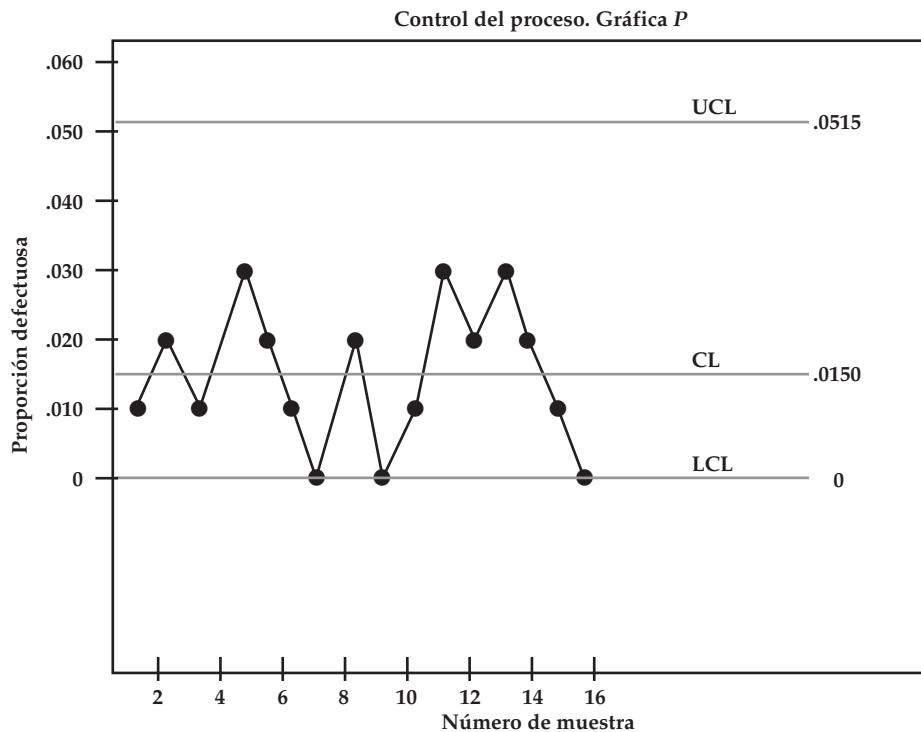
Solución

- La proporción media defectuosa (línea del centro) es

$$\begin{aligned}
 CL &= \frac{(.01 + .02 + .01 + .03 + .02 + .01 + .00 + .02 + .00 + .01 + .03 + .02 + .03 + .02 + .01 + .00)}{16} \\
 &= .015 \\
 UCL &= .015 + 3\sqrt{\frac{.015(.985)}{100}} \\
 &= .015 + .0365 \\
 &= .0515 \\
 LCL &= .015 - 3\sqrt{\frac{.015(.985)}{100}} \\
 &= .015 - .0365 \\
 &= -.0215, \text{ que es negativo.}
 \end{aligned}$$

Por lo tanto, el límite inferior de control = 0

-



- Todos los puntos están dentro de los límites de control. Podemos concluir que el proceso está bajo control.

Problema

2. **Gráficas de control de \bar{x} y de R** Una compañía de manufactura de cereales llena cajas de cereales con un peso promedio de 20 onzas y tiene una amplitud de rango promedio de dos onzas cuando el proceso de llenado está bajo control. Se emplea una muestra con un tamaño de 10 cajas al hacer un muestreo del proceso.
- a) ¿Cuáles son la línea media, el límite superior de control y el límite inferior de control para las gráficas de \bar{x} y las gráficas de R ?
- b) Se acaba de tomar una muestra con las 10 siguientes mediciones: 20, 21, 19, 18, 19, 21, 22, 20, 20, 19. ¿El proceso está bajo control?

Solución

a)	Gráfica \bar{x}	Gráfica R
	CL = 20	CL = 2
	UCL = 20 + .308(2)	UCL = 1.777(2)
	= 20.616	= 3.554
	LCL = 20 - .308(2)	LCL = 0.223(2)
	= 19.384	= 0.446

Nota: Se usa la tabla 9.1 para obtener las constantes de la gráfica de control.

- b) A las gráficas de control de proceso se les debe revisar la media y la amplitud de rango. La media de la muestra es de $199/10 = 19.9$ y la amplitud del rango es de $22 - 18 = 4$. Esta última se encuentra fuera de control sobre el límite superior de control, pero la media aún está bajo control. Deberá pararse el proceso y buscar una causa asignable.

Problema

3. **Capacidad del proceso (C_p y C_{pk})** El administrador de operaciones de un departamento de procesamiento de quejas de una compañía de seguros desea determinar la capacidad de procesamiento de quejas del departamento. De ordinario, el manejo de las quejas requiere de un mínimo de cuatro días. La empresa tiene el compromiso de manejar todas las quejas en diez días. En promedio, las quejas se procesan en ocho y el procesamiento posee una desviación estándar de un día.
- a) Calcule C_p y C_{pk} para el departamento de procesamiento de quejas. Con base en estos cálculos, ¿debería el departamento de quejas mejorar su proceso?
- b) Usando los mismos datos, vuelva a calcular $C_{pk'}$ pero use un tiempo promedio de procesamiento de quejas de siete días en lugar de ocho.
- c) Con los datos originales, vuelva a calcular $C_{pk'}$ pero emplee una desviación estándar de $2/3$ de día. ¿Qué cambio produjo el mejoramiento más importante: el de la media del inciso b) o el cambio en la desviación estándar? ¿Puede explicar los resultados?

Solución

a)

$$C_p = \frac{10 - 4}{6(1)} = 1.000$$

$$C_{pk} = \text{Mín} \left\{ \frac{10 - 8}{3(1)}, \frac{8 - 4}{3(1)} \right\}$$

$$= \text{Mín} \{0.667, 1.333\} = 0.667$$

El cálculo de C_p parece indicar que el proceso es capaz de funcionar dentro de las especificaciones; sin embargo, ya que C_{pk} es inferior a 1.0, el proceso necesita un mejoramiento si se ha de volver incluso mínimamente capaz de satisfacer las especificaciones de servicios del cliente.

- b) Si para el procesamiento de las quejas se utiliza un tiempo promedio reducido de siete días por queja,

$$C_{pk} = \text{Mín} \left\{ \frac{10 - 7}{3(1)}, \frac{7 - 4}{3(1)} \right\}$$

$$= \text{Mín} \{1.0, 1.0\} = 1.0$$

- c) Si para el procesamiento de las quejas se usa un tiempo promedio reducido de .667 de un día por queja,

$$C_{pk} = \text{Mín} \left\{ \frac{10 - 8}{3(.667)}, \frac{8 - 4}{3(.667)} \right\}$$

$$= \text{Mín} \{1.0, 2.0\} = 1.0$$

Cualquiera de estos cambios daría como resultado que el proceso fuera capaz de satisfacer las especificaciones. Ya que el tiempo promedio de procesamiento no se centró dentro de los límites de las especificaciones, cambiar el tiempo medio de procesamiento hacia el centro de los límites de las especificaciones tiene exactamente el mismo efecto que disminuir la variación en el tiempo de procesamiento de las quejas. Idealmente, el administrador debe esforzarse por una reducción tanto en la media como en la variación del tiempo de procesamiento de las quejas para mejorar la capacidad del proceso.

Preguntas de análisis

1. ¿Por qué se volvieron populares las ideas del control estadístico de la calidad en la década de 1940?
2. Suponga que usted elabora calculadoras electrónicas que contienen un circuito que se compra a un proveedor local. ¿Cómo decidiría la cantidad de inspección que debería realizar sobre los circuitos que recibiera?
3. Para las siguientes situaciones, comente si lo más apropiado sería una inspección por variables o una inspección por atributos:
 - a) El llenado de contenedores de alimentos empacados al peso correcto.
 - b) La inspección de defectos en telas que se venden por metros.
 - c) La inspección de aparatos en busca de imperfecciones en la superficie.
 - d) La determinación del contenido de azúcar de barras de caramelos.
4. Se mencionó que a los trabajadores debería dárseles mayor control sobre la inspección de su propio trabajo. Comente los pros y los contras de la propuesta.
5. ¿Por qué la mayoría de los procesos no están bajo control estadístico cuando se muestrean por primera vez para propósitos de gráficas de control?
6. Se ha sugerido que se tome una muestra de seis elementos cuatro veces al día para controlar un proceso en particular. ¿Cómo procedería usted para evaluar tal sugerencia?
7. Defina el propósito del mejoramiento continuo de la calidad.
8. ¿Cómo puede aplicarse un diagrama de Pareto para mejorar la calidad?
9. ¿Qué técnica sería de utilidad para cada una de las siguientes situaciones?
 - a) Para asignar una jerarquía de importancia a las causas de un problema de calidad.
 - b) Para analizar las diversas razones por las que pudo fallar un producto.
 - c) Para encontrar una causa asignable.
 - d) Para determinar si un proceso está bajo control en cuanto a la amplitud de rango.
 - e) Para reducir la variabilidad de las fallas detectadas en el mercado bajo un uso real del producto.
 - f) Para lograr la variación más pequeña posible en el tiempo de espera en las mesas de un restaurante.
10. Se recurre a un diagrama de causa y efecto para identificar las posibles causas de los defectos. Dibuje un diagrama de causa y efecto para las siguientes situaciones:
 - a) Su automóvil no arranca en la mañana.
 - b) Usted recibe una baja calificación en un examen.
 - c) Un estudiante no se gradúa de la universidad.
11. Se ha dicho que Seis Sigma es una métrica, un proceso para el mejoramiento y una filosofía para administrar un negocio. Explique estas distintas perspectivas.
12. Use los pasos del DMAIC para describir y para mejorar el proceso de ordenamiento de un libro a un proveedor de internet. Desde la perspectiva de la compañía, ¿qué se haría en cada uno de los pasos?
13. ¿Cuáles son los pros y los contras de utilizar el enfoque de Seis Sigma?
14. ¿Cómo pueden el enfoque de la manufactura esbelta y de Seis Sigma trabajar en forma conjunta al hacer mejoramientos a un proceso?
15. Si una organización no estuviera empleando ni la manufactura esbelta ni Seis Sigma, ¿cómo decidiría usted qué enfoque usar primero?

Problemas

1. Golden Gopher Airline emite miles de boletos de avión cada día. En algunos casos, el boleto se deteriora por

varias razones y es descartado por el agente de la aerolínea antes de que se emita el pase de abordaje para

el cliente. Con la finalidad de controlar el proceso para la emisión de boletos, la aerolínea ha tomado muestras del proceso durante 100 días y ha determinado que la proporción media de pases defectuosos es de .006 (6 de cada 1000 pases se deterioran y se descartan). En el futuro, la aerolínea planea tomar una muestra de 500 pases que se emitan cada día y calcular la proporción de pases deteriorados en esa muestra para propósitos de gráficas de control.

- a) ¿Cuál es el tamaño de la muestra (n) para este problema? ¿Es de 100, 500 o 1000? Explique el significado de los 100 días que se emplearon para determinar la proporción media defectuosa.
 - b) Calcule la línea media, el límite superior de control y el inferior de control utilizando tres desviaciones estándar para propósitos de control.
2. Hemos tomado 12 muestras de 400 cartas, cada una proveniente de un grupo de mecanógrafos y hemos encontrado las siguientes proporciones de cartas defectuosas: .01, .02, .02, .00, .01, .03, .02, .01, .00, .04, .03 y .02. Se considera que una carta es defectuosa cuando se detecta uno o más errores.
- a) Calcule los límites de control para una gráfica de control p .
 - b) Se acaba de tomar una muestra de 400 cartas y se halló que seis estaban defectuosas. ¿Estará el proceso todavía bajo control?



3. Cada día se hace un conteo de 500 registros de control del inventario en busca de errores.

Estos conteos se han realizado a lo largo de un periodo de 20 días y han dado como resultado la siguiente proporción de registros con errores en cada día:

.0025 .0075 .0050 .0150 .0125 .0100 .0050 .0025 .0175 .0200
.0150 .0050 .0150 .0125 .0075 .0150 .0250 .0125 .0075 .0100

- a) Calcule la línea del centro, el límite superior de control y el límite inferior de control para una gráfica de control de p .
 - b) Grafique los 20 puntos en la gráfica y determine cuáles están bajo control.
 - c) ¿Es el proceso lo suficientemente estable como para empezar a usar estos datos con propósitos de control de calidad?
4. Un cierto proceso para la elaboración de circuitos electrónicos ha logrado niveles de rendimiento muy altos. Actualmente se produce un promedio de sólo ocho partes defectuosas por millón.
- a) ¿Cuál es el límite de control superior e inferior para una muestra con un tamaño de 100?
 - b) Vuelva a calcular los límites de control superior e inferior para una muestra con un tamaño de 10 000.
 - c) ¿Cuál de estos dos tamaños de muestra recomendaría usted? Explique su respuesta.
5. Ciertos artefactos se elaboran en una operación de dos turnos. La administración se está preguntando si existe alguna diferencia en la proporción de los defectos producidos por estos dos turnos. Sospecha que el segundo

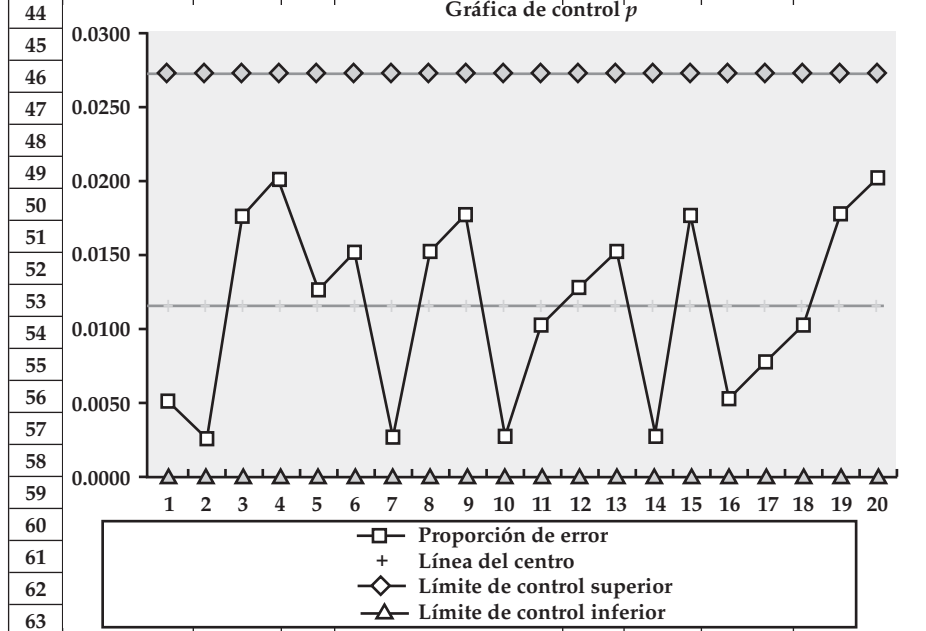
tiene una tasa de defectos más alta, ya que la fuerza de trabajo no está altamente capacitada y puede haber una falta de supervisión.

- a) ¿Cómo usaría la gráfica de control de p para establecer si existe alguna diferencia entre los dos turnos? Explique su respuesta.
 - b) En el primer turno, se han empleado muestras con tamaño de 200 y $\bar{p} = .06$. Calcule la línea del centro, el límite de control superior y el límite de control inferior para el primer turno.
 - c) En el segundo turno, se han tomado seis muestras con tamaño de 200 y con la siguiente proporción de unidades defectuosas: .04, .06, .10, .02, .05 y .03. Usando las muestras del segundo turno, ¿habrá cambiado la media del proceso hacia arriba o hacia abajo? Explique su respuesta.
6. En una aplicación de gráficas de control, hemos encontrado que el gran promedio sobre todas las muestras históricas de tamaño de 6 es de $\bar{\bar{x}} = 30$ y $\bar{R} = 5$.
- a) Establezca gráficas de control de \bar{x} y R para esta aplicación.
 - b) Se toman las siguientes medidas: 38, 35, 27, 30, 33 y 32. ¿Estará el proceso todavía bajo control?
7. El productor de circuitos electrónicos del problema 4 ha reconsiderado el método de control de calidad y ha decidido utilizar un control del proceso por variables en lugar de atributos. Para el control de las variables, el voltaje de un circuito se medirá usando una muestra de sólo cinco circuitos. El promedio histórico del voltaje para las muestras de tamaño 5 ha sido de 3.4 voltios y la amplitud del rango ha sido de 1.3 voltios.
- a) ¿Cuál es el límite de control superior y el inferior para las gráficas de control resultantes (promedio y amplitud del rango)?
 - b) Se toman cinco muestras de voltaje con los siguientes resultados:
- | Muestra | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|
| \bar{x} | 3.6 | 3.3 | 2.6 | 3.9 | 3.4 |
| R | 2.0 | 2.6 | 0.7 | 2.1 | 2.3 |
- ¿Qué acción debería tomarse, si es que existe alguna?
- c) Discuta los pros y los contras de emplear esta gráfica de control de variables comparados contra la gráfica de control que se describió en el problema 4. ¿Cuál de ellas preferiría usted?
8. Una operación de maquinado requiere tolerancias estrechas sobre una cierta parte para motores de automóvil. La especificación actual para esta medida es de $3.0 \text{ cm} \pm .001$. El procedimiento de control de calidad consiste en tomar una muestra con tamaño de 4 y medir cada una de las partes. Con base en muestras históricas de tamaño de 4, $\bar{\bar{x}} = 3.0$ y $\bar{R} = .0020$.
- a) Construya una gráfica de promedio y de amplitud de rango para esta parte.
 - b) Con base en los siguientes datos, ¿estará el proceso bajo control?

Sugerencias para resolver las hojas de cálculo de Excel

En el sitio web del estudiante para la asistencia en la resolución de los problemas 3 y 11 de este capítulo se proporcionan dos hojas de Excel. La hoja electrónica para el problema 3, cuyos datos son diferentes a los datos del problema 3, se muestra abajo. Los insumos para esta hoja electrónica son la proporción de defectos provenientes de 20 muestras de 400 elementos cada una. Los productos finales son la línea del centro y el límite de control superior y el inferior para una gráfica de control de atributos. Los datos de la muestra se ilustran en la gráfica de control de p que se presenta más abajo, la cual indica que todos los puntos de la muestra están bajo control.

	B	C	D	E	F	G	H	I
23								
24	NOMBRE:	Hoja electrónica para el capítulo 9, problema 3						
25	SECCIÓN:	*****						
26								
27	Ingrese el tamaño de la muestra para cada muestra				400			
28	Ingrese el número de muestras tomadas				20			
29								
30	Ingrese la proporción de registros con defectos en							
31	cada día en las celdas B33 a B42 y C33 hasta C42.							
32								
33	0.0050	0.0100		Línea del centro		P	0.0114	
34	0.0025	0.0125		Límite de control superior		UCL	0.0273	
35	0.0175	0.0150		Límite de control inferior		LCL	0.0000	
36	0.0200	0.0025						
37	0.0125	0.0175						
38	0.0150	0.0050						
39	0.0025	0.0075		PARA VER LAS OTRAS ÁREAS DE ESTA HOJA DE				
40	0.0150	0.0100		TRABAJO, OPRIMA LAS TECLAS "PÁGINA ABAJO"				
41	0.0175	0.0175		Y "PÁGINA ARRIBA" O USE LA BARRA VERTICAL				
42	0.0025	0.0200		DE DESPLAZAMIENTO.				
43								



Muestra	1	2	3	4	5
\bar{x}	3.0005	2.9904	3.0010	3.0015	3.0008
R	0.0024	0.0031	0.0010	0.0040	0.0010

c) ¿Estará el proceso operando fuera de sus especificaciones?

9. The Robin Hood Bank ha observado recientemente una aparente disminución en los depósitos a la vista diarios. A lo largo del año pasado, el saldo promedio de los depósitos a la vista estuvo operando a nivel de 109 millones de dólares con una amplitud de rango promedio de 15 millones de dólares. Los depósitos a la vista de los seis últimos días habían sido de 110, 102, 96, 87, 115 y 106.

a) ¿Cuál es la línea del centro, el límite de control superior y el límite de control inferior para las gráficas de \bar{x} y de R con base en un tamaño muestral de 6?

b) Calcule un promedio y una amplitud de rango para los seis últimos días. ¿Indican las cifras para los seis últimos días un cambio en el promedio o en la amplitud de rango aplicable al año pasado?

10. Una tienda de abarrotes compra pescado fresco todos los días a su proveedor. Ha ordenado 100 kilos de pescado cada día, pero el peso que en realidad se recibe varía día con día dentro de una amplitud de rango promedio de 6 kilos. A lo largo de los cinco últimos días recibió las siguientes cantidades de pescado: 106, 94, 102, 100 y 97 libras.

a) Usando esta muestra de cinco días, ¿estará el proceso de proveedor de pescado bajo control tanto en promedio como en amplitud de rango ?

b) ¿Cómo podría el proveedor controlar de una manera más cuidadosa el proceso para proporcionar casi 100 kilos de pescado cada día?

Excel 11. A medida que se llenan las cajas del cereal en una fábrica, una báscula automática pesa su contenido. El valor fijado como meta consiste en poner 10 onzas del cereal en cada caja. Con propósitos de control de calidad, se han pesado 20 muestras de tres cajas cada una. El peso del contenido de cada caja se muestra más en la tabla de la columna siguiente.

a) Calcule la línea del centro y los límites de control para las gráficas de \bar{x} y R a partir de estos datos.

b) Grafique cada una de las 20 muestras en las gráficas de control de \bar{x} y R y determine qué muestras están fuera de control.

c) ¿Considera usted que el proceso es lo suficientemente estable para empezar a aplicar estos datos como una base para el cálculo de $\bar{\bar{x}}$ y \bar{R} y para comenzar a tomar muestras periódicas de 3 con propósitos de control de calidad?

Observación			
Muestra	1	2	3
1	10.01	9.90	10.03
2	9.87	10.20	10.15
3	10.08	9.89	9.76
4	10.17	10.01	9.83
5	10.21	10.13	10.04
6	10.16	10.02	9.85
7	10.14	9.89	9.80
8	9.86	9.91	9.99
9	10.18	10.04	9.96
10	9.91	9.87	10.06
11	10.08	10.14	10.03
12	9.71	9.87	9.92
13	10.14	10.06	9.84
14	10.16	10.17	10.19
15	10.13	9.94	9.92
16	10.16	9.81	9.87
17	10.20	10.10	10.03
18	9.87	9.93	10.06
19	9.84	9.91	9.99
20	10.06	10.19	10.01

12. Cierta proceso tiene una especificación de límite superior de 220 y una especificación de límite inferior de 160. La desviación estándar del proceso es de 6 y la media es de 170.

a) Calcule el C_p y el C_{pk} para este proceso.

b) ¿Qué podría hacerse para mejorar la capacidad del proceso C_{pk} a 1.0?

13. Un cierto proceso está bajo control estadístico y tiene un valor medio de $\mu = 130$ y una desviación estándar de $\sigma = 8$. Las especificaciones para este proceso son límite de control superior = 150, límite de control inferior = 100.

a) Calcule los valores de C_p y C_{pk} .

b) ¿Cuál de estos índices es una mejor medida de la capacidad del proceso? ¿Por qué?

c) Suponiendo una distribución normal, ¿qué porcentaje del producto puede esperarse que caiga fuera de las especificaciones?

14. Un cliente ha especificado que requiere una capacidad del proceso de $C_p = 1.5$ para un cierto producto. Suponga que $USL = 1100$, $LSL = 700$ y que el proceso está centrado dentro de la amplitud de rango específico.

a) ¿Qué desviación estándar debería tener el proceso?

b) ¿Cuál es el valor medio del proceso?

c) ¿Qué puede hacer la compañía si no es capaz de satisfacer estos requisitos?

Bibliografía

Arthur, Jay. *Lean Six Sigma Demystified*. Nueva York: McGraw-Hill Professional Publishing, 2006.

Belair, Georgette y John Oneill. *Implementing Design for Six Sigma: A Leader's Guide: Getting the Most from Your Pro-*

duct Development Process. Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, 2006.

Bernowski, Karen. "Motorola's Fountain of Youth". *Quality Progress*, octubre de 1995, pp. 29-31.

- Besterfield, Dale H. *Quality Control*. 8a. ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2008.
- Crossley, Mark L. *The Desk Reference of Statistical Quality Methods*. 2a. ed., Milwaukee, WI: ASQ Quality Press, 2007.
- Das, R, S. Colello y H. Davidson. "Six Sigma in Corporate Law". *Six Sigma Forum* 4, núm. 1 (noviembre de 2004), pp. 30-36.
- Eckes, George. *The Six Sigma Revolution: How General Electric and Others Turned Process into Profits*. Somerset, NJ: John Wiley, 2000.
- Evans, James R y William M. Lindsay. *The Management and Control of Quality*. 7a. CD-ROM ed. Cincinnati: South-Western Publishing, 2007.
- Hahn, Gerald J., N. Doganaksoy y R. Horel. "The Evolution of Six Sigma". *Quality Engineering* 2, núm. 3 (2000), pp. 317-326.
- Harry, Mikel y Richard Schroeder. *Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*. Westminster, MD: Doubleday, 2006.
- Hayler, Rowland y Michael Nichols. *Six Sigma for Financial Services: How Leading Companies Are Driving Results Using Lean, Six Sigma and Process Management*. Nueva York: McGraw-Hill Professional Publishing, 2006.
- Ishikawa, Kaoru. *Guide to Quality Control*. 2a. ed. Tokyo: Asian Productivity Organization, 1986.
- Juran, J. M. *Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Service*. Ed. rev., Nueva York: Free Press, 1992.
- Juran, J. M. y A. B. Godfrey (eds.). *Juran's Quality Handbook*. 5a. ed., Nueva York: McGraw-Hill, 1999.
- Linderman, K., R. C. Schroeder, A. Choo y S. Zaheer, "Six Sigma: A Goal Theoretic Perspective". *Journal of Operations Management* 21, núm. 2 (marzo de 2003), pp. 193-203.
- Meadows, Becki y Forest W. Breyfogle III. "Frontiers of Quality: Bottom-Line Success with Six Sigma". *Quality Progress* 34, núm. 5 (mayo de 2001), pp. 101-104.
- Mizuno, S. (ed.). *Management for Quality Improvement: The 7 New Tools*. Cambridge, MA: Productivity Press, 1988.
- Montgomery, D. *Introduction to Statistical Quality Control*. 6a. ed., Nueva York: John Wiley & Son, 2008.
- Pande, Peter S. *The Six Sigma Leader*. Nueva York: McGraw-Hill Professional Publishing, 2006.
- Pande, Peter S., Robert P. Neuman y Roland R. Cavanagh. *The Six Sigma Way: How GE, Motorola and Other Top Companies Are Honing Their Performance*. Nueva York: McGraw-Hill, 2000.
- Riebling, N. B., S. Condon y D. Gopen. "Toward Error Free Lab Work" *Six Sigma Forum* 4, núm. 1 (noviembre de 2004), pp. 23-29.
- Schroeder, R. G., K. Linderman, C. Liedtke y A. Choo, "Six Sigma: Definitions and Underlying Theory". *Journal of Operations Management*, 26, núm. 4 (julio de 2008), pp. 536-554.
- Shewart, W. A. *Economic Control of Quality of Manufactures Product*. Nueva York: Van Nostrand, 1931. Reeditado por ASQ Quality Press, Milwaukee, WI, 1980.
- Tadikamalla, Pandu. "The Confusion over Six Sigma Quality". *Quality Progress* 27, núm. 1 (noviembre de 1994), pp. 83-85.
- Taghizadegan, Salman. *Essentials of Lean Six Sigma*. San Diego, CA: Elsevier Science & Technology Books, 2006.
- Webb, Michael. *Sales and Marketing the Six Sigma Way*. Nueva York: Simon & Schuster, 2006.
- Wozniak, Christopher. "Proactive vs. Reactive SPC". *Quality Progress* 27, núm. 2 (febrero de 1994), pp. 49-50.