

## Calidad y competitividad

Desde el punto de vista de los clientes, las empresas y/u organizaciones existen para proveer un producto material o inmaterial, un bien o un servicio, ya que ellos necesitan productos con características que satisfagan sus necesidades y expectativas. Estos productos son resultado de un *proceso* (véase figura 1.1), el cual es un conjunto de actividades entrelazadas o interrelacionadas que reciben determinados insumos (entradas) que son transformados en un resultado (salidas) o en un *producto*. Un proceso está conformado por varias etapas o subprocesos, mientras que los insumos incluyen sustancias, materiales, productos o equipos. Los resultados pueden ser un producto en sí o alguna modificación de los insumos, que a su vez será un insumo para otro proceso.

### Variables de entrada del proceso

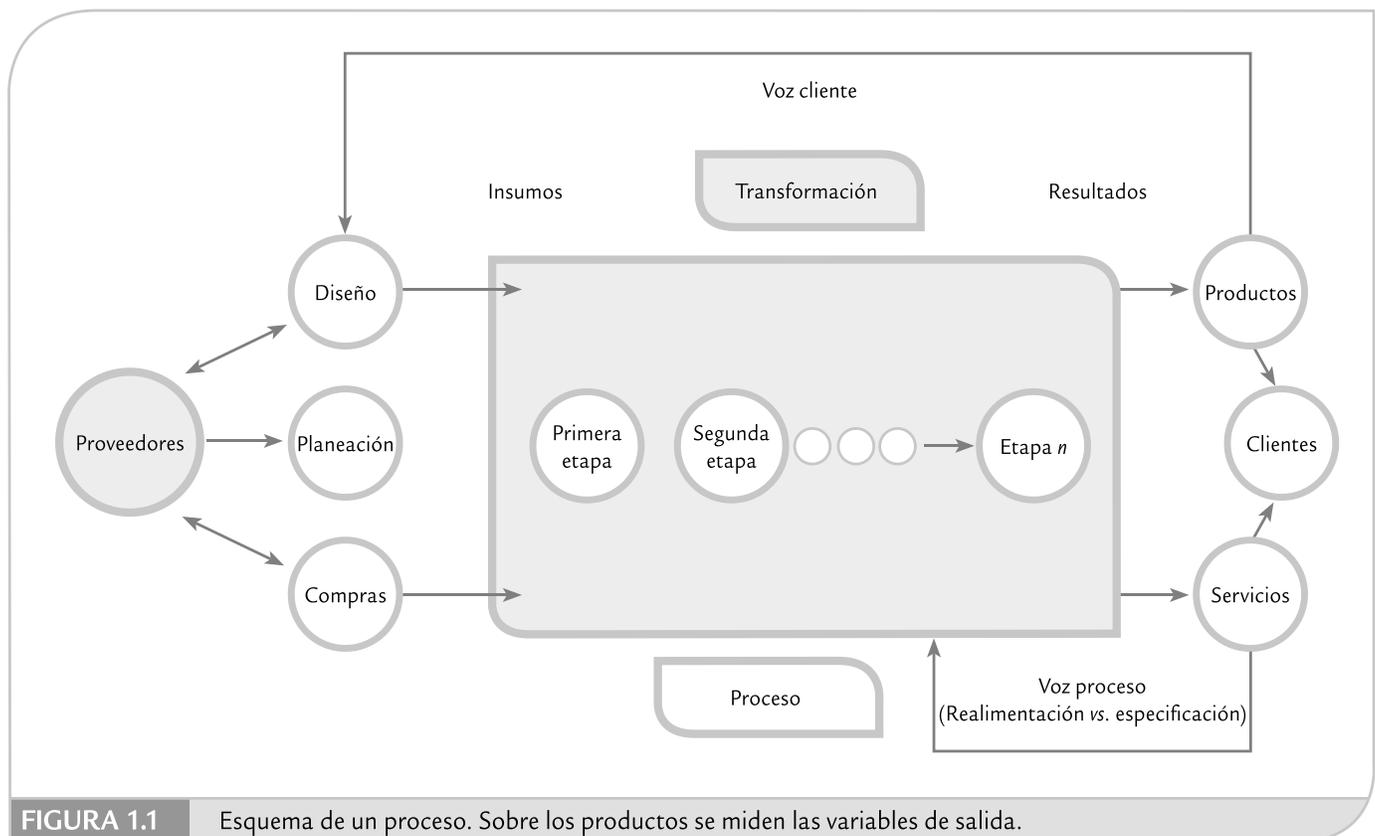
Son las que definen las condiciones de operación del proceso e incluyen las variables de control y las que aunque no son controladas, influyen en el desempeño del mismo.

### Variables de salida

Son las características de calidad en las que se reflejan los resultados obtenidos en un proceso.

Las *variables de salida*, es decir, las características de calidad o variables de respuesta, las Y, son las variables en las que se reflejan los resultados obtenidos en el proceso. A través de los valores que toman estas variables se evalúa la eficacia del proceso; por ello, al analizarlas se estará escuchando la “voz” de éste (figura 1.1). Algunos ejemplos de estas variables que son específicas para cada tipo de producto y proceso son: dimensiones (longitud, espesor, peso, volumen); propiedades físicas, químicas o biológicas; características superficiales, propiedades eléctricas, sabor, olor, color, textura, resistencia, durabilidad, etcétera.

Una exigencia fundamental de los clientes es que los productos sean de calidad. Con respecto a esta característica existen varias definiciones; por ejemplo, Juran sostiene que: “Calidad es que un producto sea adecuado para su uso. Así, la calidad consiste en la ausencia de deficiencias en aquellas características que satisfacen al cliente” (Juran, 1990); mientras que de acuerdo con la definición de la *American Society for Quality* (ASQ), “calidad es



**FIGURA 1.1** Esquema de un proceso. Sobre los productos se miden las variables de salida.

la totalidad de detalles y características de un producto o servicio que influye en su capacidad para satisfacer necesidades dadas”; en las Normas ISO-9000:2000 se define calidad como “el grado en el que un conjunto de características inherentes cumplen con los requisitos”, entendiéndose por requisito una necesidad o expectativa por lo general implícita u obligatoria. En términos menos formales, la *calidad*, definida por el cliente, es el juicio que éste tiene acerca de un producto o servicio. Un cliente queda satisfecho cuando se le ofrece todo lo que él esperaba encontrar y más. Por lo tanto, calidad es ante todo la *satisfacción del cliente*, que está ligada a las expectativas que éste tiene con respecto al producto o servicio. Las expectativas son generadas de acuerdo con las necesidades, los antecedentes, el precio del producto, la publicidad, la tecnología, la imagen de la empresa, etc. Se dice que hay satisfacción cuando el cliente percibe del producto o servicio al menos lo que esperaba.

De aquí se deriva que tanto la competitividad de una empresa como la *satisfacción del cliente* están determinadas principalmente por tres factores: la calidad del producto, el precio y la calidad del servicio. Se es más competitivo cuando se ofrece mejor calidad a bajo precio y mediante un buen servicio. En la figura 1.2 se muestran los componentes de estos tres factores de la competitividad. Como se aprecia, en la columna de calidad se incluye la tecnología del producto, que implica la necesidad de innovar para ser competitivo, ya que un producto puede estar libre de defectos; no obstante, el cliente está esperando que además tenga nuevos y mejores atributos. También se aprecia que uno de los componentes de la calidad en el servicio es tener menores tiempos de la entrega porque en la actualidad se requiere que el producto esté justo cuando se le necesita (justo a tiempo).

El *tiempo de entrega* está relacionado con el *tiempo de ciclo*, que corresponde al tiempo que transcurre desde que el cliente inicia un pedido, el cual se transforma en requerimientos de materiales, órdenes de producción y de otras tareas, hasta que todo esto se convierte en un producto en las manos del cliente. De esta forma el tiempo de ciclo refleja en buena medida qué tan buena es la logística en la empresa (flujos de mercancías e información) y el tiempo que tardan las diferentes etapas del proceso.

Se pensaba que calidad, precio y tiempo de entrega eran objetivos antagónicos, en el sentido de que se podía mejorar cualquiera de los tres sólo en detrimento de los otros dos. De hecho, en algunas organizaciones se sigue creyendo que mejorar la calidad implica necesariamente un precio más alto y mayor tiempo de elabora-

### Calidad

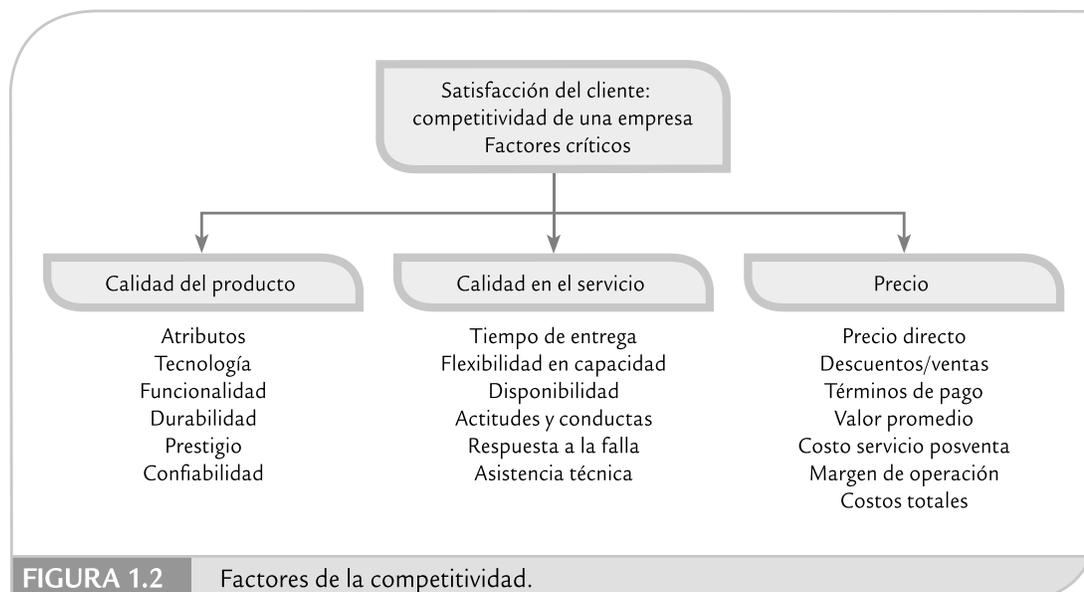
Es el juicio que el cliente tiene sobre un producto o servicio, resultado del grado con el cual un conjunto de características inherentes al producto cumple con sus requerimientos.

### Satisfacción del cliente

Es la percepción de éste acerca del grado con el cual sus necesidades o expectativas han sido cumplidas.

### Tiempo de ciclo

Es el tiempo que transcurre desde que el cliente inicia un pedido que se transforma en requerimientos de materiales, órdenes de producción y de otras tareas, hasta que todo se convierte en un producto en las manos de éste.



ción. Sin embargo, cada día hay más organizaciones en las que se sabe que la calidad en todas las áreas y actividades influye de manera positiva en los tres factores. Cuando se tiene mala calidad en las diferentes actividades hay equivocaciones y fallas de todo tipo, por ejemplo:

- Reprocesos, desperdicios y retrasos en la producción.
- Pagar por elaborar productos malos.
- Paros y fallas en el proceso.
- Una inspección excesiva para tratar que los productos de mala calidad no salgan al mercado.
- Reinspección y eliminación de rechazo.
- Más capacitación, instrucciones y presión a los trabajadores.
- Gastos por fallas en el desempeño del producto y por devoluciones.
- Problemas con proveedores.
- Más servicios de garantía.
- Clientes insatisfechos y pérdidas de ventas.
- Problemas, diferencias y conflictos humanos en el interior de la empresa.

La característica común de cada uno de los aspectos anteriores es que implican más gastos, así como menos producción y ventas. Es necesario cubrir los pagos de la gente que hace la inspección, los reprocesos, de quienes atienden los retrasos y de los que se encargan de los servicios de garantía; además, usan máquinas, espacios, energía eléctrica y requieren mandos que los coordinen. En este sentido, la mala calidad no sólo trae como consecuencia clientes insatisfechos sino también mayores costos; por lo tanto, no es posible competir en calidad ni en precio, menos en tiempos de entrega. Un proceso de mala calidad es errático, costoso, inestable y no se puede predecir. La figura 1.3 sintetiza la relación entre mala calidad y competitividad.

Cabe señalar que los costos de la mala calidad pueden ser muy altos dependiendo del desempeño de la empresa, e incluso llegan a representar entre 25 y 40% de las ventas de la empresa (ver capítulo 15).

Por otra parte, al mejorar la forma en que se realizan todas las actividades se logra una reacción que genera importantes beneficios; por ejemplo, se reducen reprocesos, errores, retrasos, desperdicios y artículos defectuosos; asimismo, disminuye la devolución de productos, las visitas a causa de la garantía y las quejas de los clientes. Al disminuir las deficiencias se reducen los costos y se liberan recursos materiales y humanos que se pueden destinar a elaborar más productos, resolver otros problemas de calidad, reducir los tiempos de entrega o proporcionar



**FIGURA 1.3**

Con fallas y deficiencias no es posible competir en calidad ni en precio, menos en tiempos de entrega.

un mejor servicio al cliente, lo cual incrementa la productividad y que la gente esté más contenta con su trabajo. Lo anterior se sintetiza en la figura 1.4, cuyo concepto fue presentado por primera vez en 1950 por Edwards Deming a un grupo de industriales japoneses.

De acuerdo con lo anterior se ve la importancia del *control de calidad*, que es el conjunto de actividades planeadas para que los requisitos de la calidad del producto se cumplan. Además, es necesario implementar estrategias de mejora, como Seis Sigma, que al reducir los costos de no calidad e incrementar la productividad, se vuelven atractivas desde el punto de vista económico.

Así, a manera de resumen, la *competitividad* se define como la capacidad de una empresa para generar valor para el cliente y sus proveedores de mejor manera que sus competidores. Esta capacidad se manifiesta por medio de niveles adecuados para los diferentes componentes de los factores de la competitividad (véase figura 1.2).

### Competitividad

Es la capacidad de una empresa para generar valor para el cliente y sus proveedores de mejor manera que sus competidores.

## Productividad

En general, la *productividad* se entiende como la relación entre lo producido y los medios empleados; por lo tanto, se mide mediante el cociente: resultados logrados entre recursos empleados. Los *resultados logrados* pueden medirse en unidades producidas, piezas vendidas, clientes atendidos o en utilidades. Mientras que los *recursos empleados* se cuantifican por medio del número de trabajadores, tiempo total empleado, horas-máquina, etc. De manera que mejorar la productividad es optimizar el uso de los recursos y maximizar los resultados. De aquí que la productividad suela dividirse en dos componentes: *eficiencia* y *eficacia*. La primera es la relación entre los resultados logrados y los recursos empleados, se mejora principalmente optimizando el uso de los recursos, lo cual implica reducir tiempos desperdiciados, paros de equipo, falta de material, retrasos, etc. Mientras que la eficacia es el grado con el cual las actividades previstas son realizadas y los resultados planeados son logrados. Por lo tanto, ser eficaz es cumplir con objetivos y se atiende mejorando los resultados de equipos, materiales y en general del proceso.

Por ejemplo, si la productividad se mide a través de las unidades producidas entre el tiempo total empleado (figura 1.5), entonces la eficiencia será la relación

### Productividad

Es la capacidad de generar resultados utilizando ciertos recursos. Se incrementa maximizando resultados y/u optimizando recursos.

### Eficiencia

Relación entre los resultados logrados y los recursos empleados. Se mejora optimizando recursos y reduciendo tiempos desperdiciados por paros de equipo, falta de material, retrasos, etcétera.

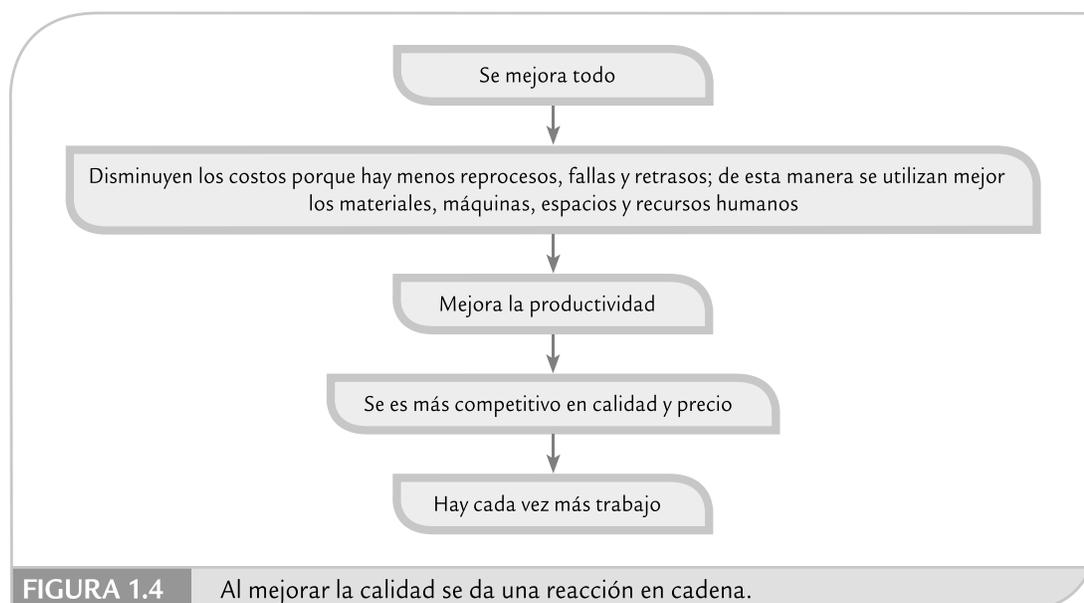
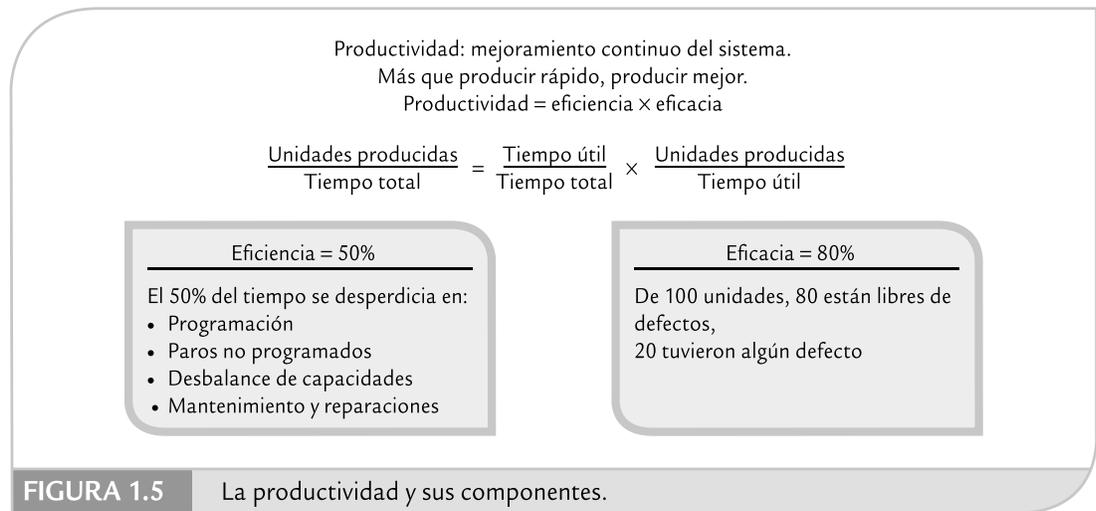


FIGURA 1.4 Al mejorar la calidad se da una reacción en cadena.



### Eficacia

Grado con el cual las actividades planeadas son realizadas y los resultados previstos son logrados. Se atiende maximizando resultados.

entre tiempo útil y tiempo total; mientras que la eficacia será el cociente entre las unidades producidas y el tiempo útil. De esta manera, la figura 1.5 sugiere dos programas para incrementar la productividad: *mejorar eficiencia*, en la que se busque reducir los tiempos desperdiciados por paros de equipos, carencia de materiales, falta de balance en las capacidades, retrasos en los suministros y en las órdenes de compra, así como por mantenimiento y reparaciones no programadas. Según una encuesta aplicada en los sectores metalmecánico, de muebles, calzado, textil y de la confección en México (Eroles, *et al.*, 1998), la eficiencia promedio detectada fue de 50%, es decir, que en estos sectores se desperdicia la mitad del tiempo en promedio por aspectos de logística y organización principalmente. Por ello, tiene sentido la afirmación de la figura 1.5, cuando se dice que más que producir rápido es preferible hacerlo mejor, incrementando el flujo del trabajo y reduciendo los tiempos desperdiciados a lo largo de los procesos.

Por otro lado está la *mejora de la eficacia*, en la cual se busca la disminución de los productos con defectos, las fallas en arranques y en la operación de procesos. Es decir, se busca disminuir las deficiencias en materiales, diseños y equipos; además de incrementar y mejorar las habilidades del personal y generar programas que le ayuden a la gente a realizar mejor su trabajo. Según la encuesta antes referida, la eficacia promedio detectada fue de 80%, lo cual significa que si se planean materiales y actividades para producir 100 unidades, al final sólo 80 en promedio están libres de defectos y las otras 20 se quedaron a lo largo del proceso por algún tipo de defecto. De estas 20 algunas podrán reprocesarse y otras se convertirán en desperdicio.

De esta manera, al multiplicar eficiencia por eficacia se tiene una productividad promedio de 40% en las ramas industriales referidas, lo cual indica el potencial y el área de oportunidad que existe en mejorar el actual sistema de trabajo y de organización mediante programas de mejora continua.

Así, el reto es buscar la *mejora continua*, ya sea mediante *acciones preventivas* o *correctivas*. Las primeras sirven para eliminar la causa de una inconformidad potencial u otra situación indeseable, o sea que se enfoca a prevenir la ocurrencia. Las segundas acciones son para eliminar la causa de la inconformidad detectada y se emplean para prevenir la recurrencia.

### Acciones preventivas

Son aquellas que se implementan para eliminar la causa de una inconformidad u otra situación potencial indeseable.

### Acciones correctivas

Se emplean para eliminar la causa de una no conformidad detectada. Es decir, están orientadas a prevenir recurrencias.

Un concepto relacionado con los anteriores es la *efectividad*, que se refiere a que los objetivos planteados sean trascendentes y se alcancen. Esto es importante porque una empresa puede plantearse una serie de objetivos y ser eficaz en su cumplimiento, pero quizá no reflejen de manera clara el desempeño de los procesos de la empresa.

## Medición del desempeño de una empresa

Un aspecto fundamental en una organización es decidir qué y cómo se va a medir su salud y desempeño, ya que la elección de lo que un negocio o un área mide y analiza comunica valor, encauza el pensamiento de los empleados y fija las prioridades. Las medidas son un medio sistemático para convertir las ideas en acción. Por lo tanto, la medición constituye uno de los aspectos esenciales en el control estadístico y en la estrategia de mejora Seis Sigma.

Es necesario medir lo que es importante y clave en los procesos, así como los resultados que se quieren mejorar. La siguiente frase sintetiza esta idea: “dime qué mides y cómo lo analizas y te diré qué es importante para tu área y para tu empresa”. O en palabras de H. J. Harrington: “...la peculiaridad que distingue a los seres humanos de los otros seres vivos es su capacidad de observar, medir, analizar y utilizar la información para generar cambios” (Harrington, 1998).

Una tarea esencial del líder y de su equipo es establecer el *sistema de medición del desempeño* de la organización, de modo que se tenga claro cuáles son los signos vitales de salud de la organización y los procesos. De esta manera será posible encauzar el pensamiento y la acción (mejora) a lo largo del ciclo de negocio en los diferentes procesos. En este sentido, hoy se sabe que los reportes de los resultados financieros no son suficientes para medir la salud actual y futura de la organización.

En la figura 1.6 se muestra un esquema de cómo ha evolucionado lo que se mide y cómo se administra una organización. Se aprecia cómo se parte desde el reporte financiero, pasando por medir la calidad y la no calidad en la empresa, hasta utilizar la calidad como un factor clave en la administración del valor para el cliente.

La última etapa que refleja la figura 1.6 consiste en enfocar la empresa al mercado. Para ello, además de basarse en el reporte financiero y los criterios de *conformancia* de las diferentes operaciones, es necesario tomar en cuenta la evaluación a los propios clientes, los clientes de los competidores y, en general, se requiere preguntar al mercado cómo percibe a la empresa.

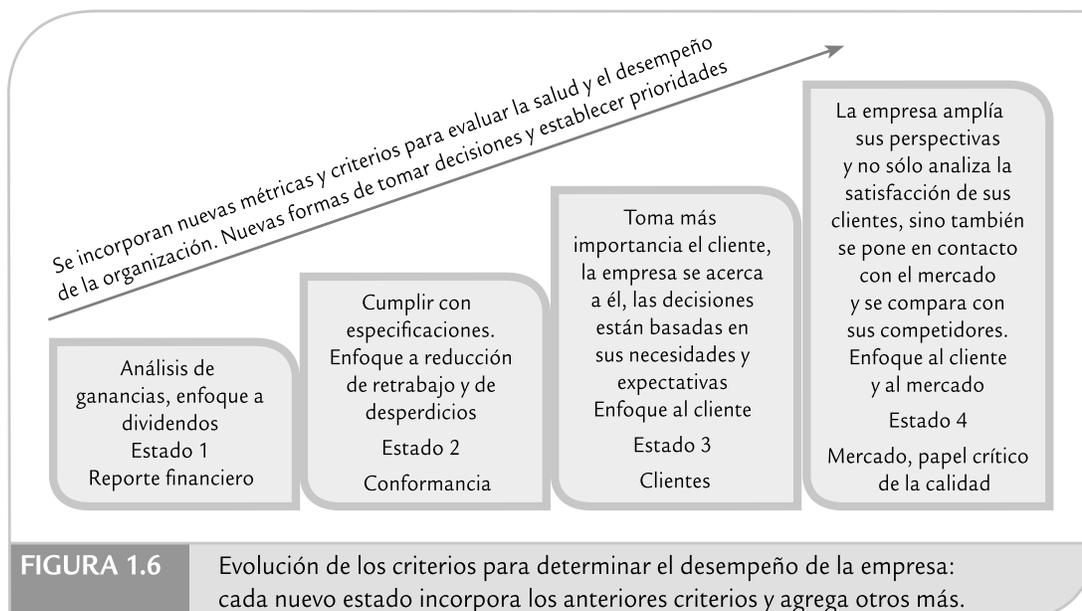
En la figura 1.7 vemos que además del reporte financiero para los accionistas, la satisfacción del cliente y el desempeño de las operaciones, es necesario incorporar dos guías claves más: satisfacción y desarrollo de los empleados, y asociación con proveedores. Así, el éxito de una organización se debe procurar desde la selección de proveedores y el seguimiento de lo que sucede en el proceso de éstos (que es la primera parte del proceso de la empresa), para

### Sistema de medición del desempeño

Se refiere a cuantificar los signos vitales de la organización y con base en ellos encauzar el pensamiento de los empleados y fijar prioridades.

### Conformancia

Consiste en cumplir con las especificaciones de calidad y enfocarse a reducir el retrabajo y los desperdicios.





continuar con lo que pasa con los empleados de la empresa (ningún éxito duradero se puede fincar en estos tiempos en empleados insatisfechos, atemorizados y que no estén desarrollándose como personas y como empleados). La siguiente guía es proporcionada por la calidad de los resultados operacionales (evaluaciones de calidad, productividad, etc.). Estas tres guías se reflejan y retroalimentan con la cuarta guía: la satisfacción del cliente. Por último, la quinta guía son los resultados para el accionista, que es en gran parte la consecuencia del resto de las guías.

A partir de la figura 1.7 se observa que el reporte financiero llega demasiado tarde como para fundamentar la dirección de una organización sólo con esta guía. Es necesario ir hacia atrás y obtener indicadores que reflejen en forma más preventiva la salud de la empresa.

En la figura 1.8 se muestran algunos de los indicadores específicos que conforman cada una de las guías clave del negocio. Es importante que los datos de cualquier indicador clave sean realistas, mensurables, procesables, fiables, de rápida actualización y de fácil acceso a quienes lo requieren. El sistema de medición del desempeño debe proporcionar una orientación clara para las diferentes áreas y para los individuos en todos los niveles, de manera que sepan si su desempeño es satisfactorio y qué aspectos es necesario mejorar. El sistema de medición con los indicadores que se muestran en la figura 1.8 es balanceado y refleja en bue-



na medida los diferentes intereses en la empresa (gerencia, empleados, accionistas, clientes externos, proveedores).

## Variabilidad y pensamiento estadístico

La *estadística* está formada por un conjunto de técnicas y conceptos orientados a la recolección y análisis de datos tomando en cuenta la variación en los mismos. Por su parte, el *control estadístico de la calidad* es la aplicación de técnicas estadísticas al *control de calidad*. Ahora veamos con detalle el significado e importancia de la variabilidad.

### Variabilidad

La *variabilidad* es parte de nuestra vida diaria; por ejemplo, el tiempo que tardamos en trasladarnos de nuestra casa al trabajo o escuela es diferente de una día a otro; la temperatura del ambiente es distinta de una hora a otra; lo dulce de una bebida que es preparada en casa es diferente de un día a otro aunque aparentemente se preparó igual, etc. Esta variación que ocurre en nuestra vida también se lleva a cabo en los procesos de las empresas. Por ejemplo, en un banco se lleva un registro de los minutos que los clientes esperan para ser atendido; al azar se eligen 40 de estos tiempos de espera y se obtiene lo siguiente:

18.1 7.9 14.6 13.6 14.2 13.0 11.0 7.4 8.7 11.3 13.4 7.0 5.4 9.2 8.0 4.8 14.2 13.5 13.9 11.8  
11.3 12.9 15.7 13.3 6.7 0.7 13.1 9.6 6.8 9.1 9.3 9.3 9.0 14.2 12.2 12.5 11.4 7.7 6.9 11.4

En el caso de esta muestra el tiempo promedio de espera fue de 11.1. Pero existe variación, ya que un cliente esperó menos de un minuto (0.7) y otro fue atendido después de 18.1 minutos de espera. De aquí que una de las tareas clave del control estadístico de un proceso será no sólo conocer su tendencia central (media), sino también su variabilidad.

Un ejemplo rápido que ilustra la importancia de que los procesos tengan poca variación se ilustra mediante el siguiente caso. Existen dos empresas que proveen el mismo producto. La empresa *A* tarda entre 10 y 22 días en surtir los pedidos; mientras que la empresa *B* requiere entre 13 y 19 días. Las dos empresas tardan en promedio lo mismo (16 días), pero si se es cliente de la empresa *B* se tendrá menos incertidumbre (menos variabilidad) acerca de cuándo van a surtir su pedido.

Reducir la variación de los procesos es un objetivo clave del control estadístico y de Seis Sigma. Por lo tanto, es necesario entender los motivos de la variación, y para ello se parte de que en un proceso (industrial o administrativo) interactúan materiales, máquinas, mano de obra (gente), mediciones, medio ambiente y métodos. Estos seis elementos (las 6 M) determinan de manera global todo proceso y cada uno aporta algo de la variabilidad y de la calidad de la salida del proceso, como se esquematiza en la figura 1.9. El resultado de todo proceso se debe a la acción conjunta de las 6 M, por lo que si hay un cambio significativo en el desempeño del proceso, sea accidental u ocasionado, su razón se encuentra en una o más de las 6 M.

En un proceso, cada una de las 6 M tiene y aporta su propia variación; por ejemplo, los materiales no son idénticos, ni toda la gente tiene las mismas habilidades y entrenamiento. Por ello, será necesario conocer la variación de cada una de las 6 M y buscar reducirla. Pero además es necesario monitorear de manera constante los procesos, ya que a través del tiempo ocurren cambios en las 6 M, como la llegada de un lote de material no adecuado o con características especiales, descuidos u olvidos de la gente, desajustes y desgaste de máquinas y herramientas, etc.<sup>1</sup> Debido a la posibilidad permanente de que ocurran estos cambios y desajustes, es necesario monitorear de manera constante y adecuada diferentes variables, que pueden ir desde carac-

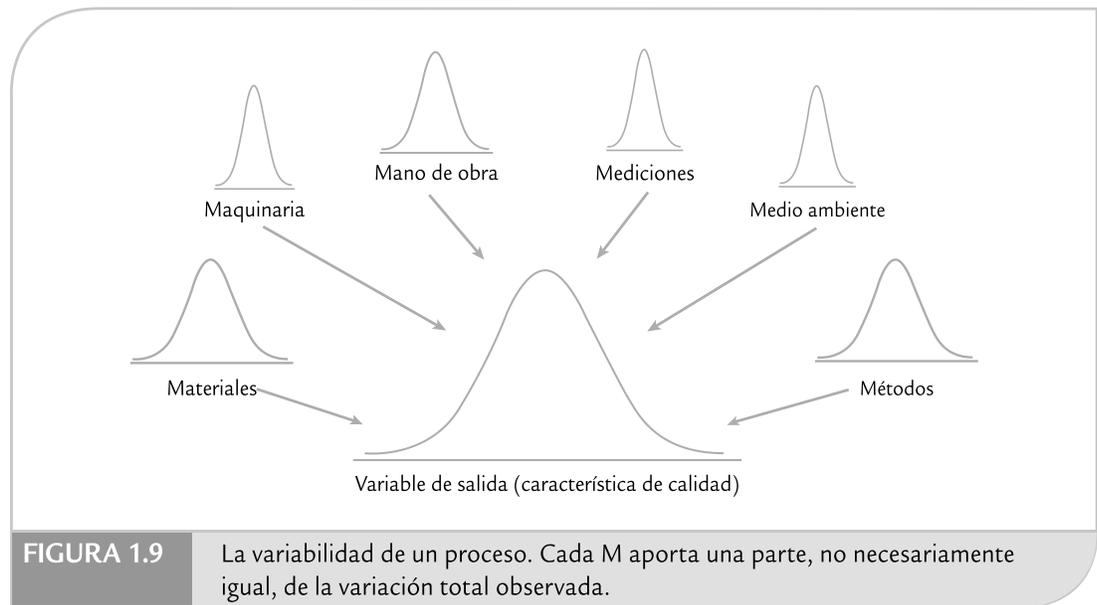
#### Variabilidad

Se refiere a la diversidad de resultados de una variable o de un proceso.

#### 6 M

Son los materiales, mano de obra, mediciones, medio ambiente, máquinas y métodos que conforman un proceso.

<sup>1</sup> La segunda ley de la termodinámica dice que cualquier sistema tiende a aumentar su entropía, es decir, un proceso que se deja libre, sin intervenirlo, ajustarlo o mejorarlo, tiende a aumentar su desorden.



terísticas claves de los insumos, las condiciones de operación de los equipos, hasta las variables de salida de los diferentes procesos. Como lo veremos después, para monitorear procesos y detectar posibles cambios, las herramientas más adecuadas son las *cartas de control*.

Además, en los esfuerzos permanentes que es necesario realizar para mejorar la calidad y la productividad de un *proceso*, como lo contempla la estrategia Seis Sigma, resulta indispensable apoyarse en las técnicas y el pensamiento estadístico, ya que proporcionan metodologías que facilitan la planeación, el análisis y la toma de decisiones a través de:

- Identificar dónde, cómo, cuándo y con qué frecuencia se presentan los problemas (regularidad estadística).
- Analizar los datos procedentes de las guías clave del negocio, a fin de identificar las fuentes de variabilidad, analizar su estabilidad y pronosticar su desempeño.
- Detectar con rapidez, oportunidad y a bajo costo anomalías en los procesos y sistemas de medición (monitoreo eficaz).
- Ser objetivos en la planeación y toma de decisiones, y evitar frases como “yo siento”, “yo creo”, “mi experiencia” y el abuso de poder en la toma de decisiones.
- Expresar los hechos en forma de datos y evaluar de manera objetiva el impacto de acciones de mejora.
- Enfocarse a los hechos vitales; es decir, a los problemas y causas realmente importantes.
- Analizar de manera lógica, sistemática y ordenada la búsqueda de mejoras.

## Pensamiento estadístico

### Pensamiento estadístico

Filosofía de aprendizaje y acción que establece la necesidad de un análisis adecuado de los datos de un proceso, como una acción indispensable para mejorar su calidad (reducir su variabilidad).

Hasta el momento se han explicado los aspectos fundamentales del *pensamiento estadístico*, que es una filosofía de aprendizaje y acción basada en tres principios: todo el trabajo ocurre en un sistema de procesos interconectados; la variación existe en todos los procesos, y entender y reducir la variación son claves para el éxito. Pensar en forma estadística implica tomar información del proceso para conocerlo (aprendizaje), y también es actuar de acuerdo con ese aprendizaje (acción).

En el primer principio del pensamiento estadístico se habla de procesos interconectados para enfatizar que los procesos no operan de manera aislada, más bien, interactúan con el resto del sistema. Por lo tanto, si no se toma en cuenta la manera en que se relaciona un proceso con el resto del sistema, la optimización de una de las partes puede tener un efecto desastroso para el resto del sistema.



El segundo principio reconoce que los resultados de todos los procesos son variables, y esto ya lo hemos justificado antes y quedará en evidencia a lo largo del libro. El tercer principio es una de las razones y objetivos principales de esta obra: reducir la variabilidad hasta lograr el nivel de calidad Seis Sigma (véase capítulo 15). El gran reto es que una empresa logre profundizar en la filosofía del pensamiento estadístico, ya que eso le ayudará a conocer la realidad (con variación), pero también le permitirá dirigir más adecuadamente sus esfuerzos de mejora. En la figura 1.10 se muestra la forma en que el pensamiento estadístico contribuye en los diferentes niveles de una organización.

## Ciclo de la calidad (ocho pasos en la solución de un problema)

Para mejorar la calidad y, en general para resolver problemas recurrentes y crónicos, es imprescindible seguir una metodología bien estructurada, para así llegar a las causas de fondo de los problemas realmente importantes, y no quedarse en atacar efectos y síntomas. En este sentido la mayoría de metodologías de solución de problemas están inspiradas en el ciclo de la calidad o *ciclo PHVA* (planear, hacer, verificar y actuar), en el que se desarrolla de manera objetiva y profunda un plan (planificar); éste se prueba en pequeña escala o sobre una base de ensayo tal como ha sido planeado (hacer); se analiza si se obtuvieron los efectos esperados y la magnitud de los mismos (verificar), y de acuerdo con lo anterior se actúa en consecuencia (actuar), ya sea con la generalización del plan si dio resultado, con medidas preventivas para que la mejora no sea reversible, o bien, se reestructura el plan si los resultados no fueron satisfactorios, con lo que se vuelve a iniciar el ciclo.

Una forma de llevar a la práctica el ciclo PHVA, es dividir a éste en ocho pasos o actividades para su solución, como se muestra en la tabla 1.1, que se describen a continuación.

**1. Seleccionar y caracterizar el problema.** En este primer paso se selecciona un problema importante, se delimita y se define en términos de su magnitud e importancia. Para establecer la magnitud es necesario recurrir a datos estadísticos para que sea clara la frecuencia en la que ocurre el problema. Además, es necesario conocer cómo afecta al cliente (interno o externo)

### Ciclo de la calidad (ciclo PHVA)

Proceso de cuatro etapas para desarrollar proyectos de mejora; consiste en planear, hacer, verificar y actuar (PHVA).

TABLA 1.1 Ocho pasos en la solución de un problema.

ETAPA	PASO	NOMBRE Y BREVE DESCRIPCIÓN DEL PASO
Planear	1	<b>Seleccionar y caracterizar un problema:</b> elegir un problema realmente importante, delimitarlo y describirlo, estudiar antecedente e importancia, y cuantificar su magnitud actual.
	2	<b>Buscar todas las posibles causas:</b> Lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa. Participan los involucrados.
	3	<b>Investigar cuáles de las causas son más importantes:</b> recurrir a datos, análisis y conocimiento del problema.
	4	<b>Elaborar un plan de medidas enfocado a remediar las causas más importantes:</b> para cada acción, detallar en qué consiste, su objetivo y cómo implementarla; responsables, fechas y costos.
Hacer	5	<b>Ejecutar las medidas remedio:</b> seguir el plan y empezar a pequeña escala.
Verificar	6	<b>Revisar los resultados obtenidos:</b> comparar el problema antes y después.
Actuar	7	<b>Prevenir la recurrencia:</b> si las acciones dieron resultado, éstas deben generalizarse y estandarizar su aplicación. Establecer medidas para evitar recurrencia.
	8	<b>Conclusión y evaluación de lo hecho:</b> evaluar todo lo hecho anteriormente y documentarlo.

y el costo anual estimado de dicho problema. Con base en lo anterior se establece el objetivo del proyecto de mejora y se forma el equipo de personas que abordará dicho problema.

2. **Buscar todas las posibles causas.** En esta etapa se trata de buscar todas las posibles causas del problema, sin discutirlos. Para ello se recomienda aplicar una sesión de “lluvia de ideas” (ver capítulo 6), con especial atención en los hechos generales y no en los particulares (por ejemplo, si el problema es lotes rechazados por mala calidad, no preguntar por qué se rechazó un lote en particular; mejor preguntar por qué se rechazan los lotes).
3. **Investigar las causas más importantes.** El objetivo de este tercer paso es elegir de la lista de posibles causas detectadas en el punto anterior, las más importantes. Siempre que sea posible, para esta elección se debe recurrir a análisis estadísticos (análisis de Pareto, estratificación, etc.). De lo contrario la elección de las causas más importantes se puede hacer por consenso o por votación (ver Lluvia de ideas en el capítulo 6). Al final de esta actividad se deberán tener las causas sobre las que se actuará para resolver el problema.
4. **Considerar las medidas remedio.** En este paso se deciden las medidas remedio para cada una de las causas sobre las que se ha decidido actuar. Se recomienda buscar que estas medidas lleguen al fondo de la causa, que modifiquen la estructura de la problemática; es decir, no adoptar medidas superficiales que dejen intactas las causas. Para acordar las soluciones para cada causa, se parte de los análisis hechos en el paso previo y/o de una sesión de lluvia de ideas (capítulo 6). Para cada causa se debe completar la siguiente información sobre las soluciones: objetivo, dónde se aplicará, quién, cómo (plan detallado), cuánto costará, cuándo se implantará, cómo se va a verificar si fue efectiva y efectos secundarios esperados.
5. **Implementar las medidas remedio.** En este paso se deben ejecutar las medidas remedio, acordadas antes, iniciando a pequeña escala sobre una base de ensayo. Además, se recomienda seguir al pie de la letra el plan elaborado en el paso anterior e involucrar a los afectados, explicándoles los objetivos que se persiguen. Si hay necesidad de hacer algún cambio al plan previsto, esto debe ser acordado por el equipo responsable del proyecto.
6. **Revisar los resultados obtenidos.** Aquí, es necesario verificar con datos estadísticos si las medidas remedio dieron resultado. Una forma práctica es comparar estadísticamente la magnitud del problema antes con su magnitud después de las medidas. En caso de encontrar resultados positivos, éstos deben cuantificarse en términos monetarios (si esto es posible).
7. **Prevenir recurrencia del mismo problema.** Si las soluciones no dieron resultado se debe repasar todo lo hecho, aprender de ello, reflexionar, obtener conclusiones y con base en esto empezar de nuevo. En cambio, si las soluciones dieron resultado, entonces se debe generalizar y estandarizar la aplicación de las medidas remedio; y acordar acciones para prevenir la recurrencia del problema. Por ejemplo, estandarizar la nueva forma de operar el proceso, documentar el procedimiento y establecer el sistema de control o monitoreo del proceso.



## Medidas de tendencia central

Con las mediciones de una característica de calidad como las del ejemplo 2.1, el primer aspecto a investigar consiste en conocer la *tendencia central* de los datos, es decir, identificar un valor en torno al cual los datos tienden a aglomerarse o concentrarse. Esto permitirá saber si el proceso está centrado; es decir, si la tendencia central de la variable de salida es igual o está muy próxima a un valor nominal deseado (en el ejemplo el valor nominal es 1.20). A continuación veremos tres medidas de la tendencia central: la media, la mediana y la moda.

### Tendencia central

Valor en torno al cual los datos o mediciones de una variable tienden a aglomerarse o concentrarse.

### Media muestral

Supongamos que  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  son las observaciones numéricas de una muestra; entonces, la medida más usual de su tendencia central es proporcionada por la *media* (o promedio) muestral, que es igual a la media aritmética de todos los datos:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

### Media

Medida de tendencia central que es igual al promedio aritmético de un conjunto de datos, que se obtiene al sumarlos y el resultado se divide entre el número de datos.

es decir, la media muestral se obtiene sumando todos los datos y el resultado de la suma se divide entre el número de datos ( $n$ ).

En el ejemplo 2.1, la media de los datos de la tabla 2.1 es  $\bar{X} = 1.179$  mm, con lo cual, el grosor promedio de los discos de la muestra es de 1.179 mm. Esto no significa que todos o la mayoría de los discos tengan un grosor de 1.179 mm, es más, en el ejemplo, ningún disco tiene tal grosor. En este caso, dado que la media muestral procede de una muestra significativamente grande que abarca el periodo de una semana, entonces hay evidencia de que el proceso está descentrado de forma moderada a la izquierda o hacia un valor inferior, ya que el valor objetivo para el grosor es de 1.20 mm.

### Media poblacional o del proceso, $\mu$

Si para calcular la media se utilizan todos los elementos de la población (todos los posibles individuos, especímenes, objetos o medidas de interés sobre los que se hace un estudio), por ejemplo, el grosor de todos los discos producidos en la última semana o mes, entonces el promedio calculado es la media del proceso (o media poblacional) y se denota con la letra griega  $\mu$  (mu).

Es importante destacar que la *media del proceso*  $\mu$  es igual a cierto valor, aunque no siempre se conoce; mientras que el valor de  $\bar{X}$  se obtiene para cada muestra y es diferente (variable) de una muestra a otra, ya que su valor depende de las piezas que se seleccionan ( $\bar{X}$  es una variable aleatoria). Por lo anterior, el valor que se observa de la media muestral,  $\bar{X}$ , por lo general es diferente a la media del proceso,  $\mu$ . Luego, es preciso tener cuidado con las afirmaciones basadas en  $\bar{X}$  sobre la media del proceso o población.

En general, lo que se observa en los estadísticos muestrales acerca del comportamiento de los datos es válido para la muestra, y en la medida que ésta sea representativa y grande también tendrá cierto grado de aproximación para todo el proceso; sin embargo, es necesario utilizar técnicas estadísticas para evaluar lo que significan en todo el proceso (ver capítulo 4).

### Mediana o percentil 50

Otra medida de tendencia central de un conjunto de datos es la *mediana*  $\tilde{X}$ , que es igual al valor que divide a la mitad a los datos cuando son ordenados de menor a

### Mediana

Medida de tendencia central que es igual al valor que divide a la mitad a los datos cuando son ordenados de menor a mayor.

mayor. Así, para calcular la mediana cuando el número de datos es impar, éstos se ordenan de manera creciente y el que quede en medio de dicho ordenamiento será la mediana. Pero si el número de datos es par, entonces la mediana se calcula dividiendo entre dos la suma de los números que están en el centro del ordenamiento.

En el ejemplo 2.1, la mediana es 1.18 mm, lo cual significa que 50% de los grosores de los discos de la muestra son menores o iguales a 1.18, y que el otro 50% son mayores o iguales a 1.18.

## Moda

Otra forma de medir la tendencia central de un conjunto de datos es mediante la *moda*, que es igual al dato que se repite más veces. Si varios datos tienen la frecuencia más grande, entonces cada uno de ellos es una moda, y se dice que el conjunto de datos es *multimodal*.

En el ejemplo de los discos hay una sola moda y es 1.17. Esta medición fue la más frecuente, se repitió 23 veces. De esta forma, en el ejemplo tenemos que la media es 1.179, la mediana 1.18 y la moda 1.17. Debido a que la media es la medida de tendencia central más usual, en ocasiones se comete el error de creer que ésta divide los datos a la mitad o que es el dato más frecuente, es decir, se confunde el concepto de media con el de mediana y moda, respectivamente.

Un aspecto relevante a tomar en cuenta cuando se utiliza la media, es que ésta resulta afectada por datos extremos o atípicos. Por ejemplo, la media y la mediana para los siguientes datos:

1 100, 1 300, 1 000, 1 500, 800, 1 600, 1 100

son  $\bar{X} = 1\ 200$  y  $\tilde{X} = 1\ 100$ . Pero si a la lista anterior agregamos un dato atípico (el 7 600), entonces:  $\bar{X} = 2\ 000$  y  $\tilde{X} = 1\ 200$  son muy diferentes entre sí, debido a que 7 600 ha jalado a la media, y ahora ya no es una buena medida de tendencia central porque sólo un dato está por arriba de la media. En este tipo de casos, la mediana no es afectada por el dato atípico, lo cual tampoco ocurre cuando la distribución de los datos es sesgada. Por lo tanto, bajo estas condiciones, la *mediana es mejor medida de tendencia central*.

De lo anterior se deriva que, para describir la tendencia central de los datos, es imprescindible apoyarse tanto en la media como en la mediana y la moda. Cuando la media es muy diferente a la mediana es señal de que existen datos atípicos o existe un sesgo importante, por lo que será mejor reportar como medida de tendencia central a la mediana e investigar a qué se deben los datos atípicos, ya que en ocasiones reflejan un aspecto importante del proceso.

## Las medidas de tendencia central son insuficientes como criterio de calidad

Suponga que la longitud de una pieza debe estar entre  $800 \pm 5$ . Para ver si se cumple con las especificaciones se toma una muestra aleatoria grande y se obtiene que:

$$\bar{X} = 801, \tilde{X} = 801 \text{ y moda} = 800$$

Debido a que estos estadísticos están dentro de las especificaciones, se podría creer que el proceso cumple con éstas. Sin embargo, esto no necesariamente es cierto, ya que en la muestra podría haber datos desde 750 hasta 850 y la media de todos ellos ser 801. Pero también podría ocurrir que el rango de variación de los datos vaya de 797 a 803, con lo que sí se cumpliría con las especificaciones. En otras palabras, las medidas de tendencia central son insuficientes como criterio de calidad, ya que no toman en cuenta qué tan dispersos están los datos, un hecho vital para la calidad.

### Moda

Medida de tendencia central de un conjunto de datos que es igual al dato que se repite más veces.

## Medidas de dispersión o variabilidad

Además de conocer la tendencia central de un conjunto de datos es necesario saber qué tan diferentes son entre sí, es decir, es preciso determinar su variabilidad o dispersión. Esto es un elemento vital en el estudio de capacidad de un proceso. En seguida veremos cuatro formas de medir la variabilidad.

La *desviación estándar muestral* es la medida más usual de variabilidad e indica qué tan esparcidos están los datos con respecto a la media; se denota con la letra  $S$  y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

donde  $x_1, x_2, \dots, x_n$  son las observaciones numéricas de la muestra,  $n$  su tamaño y  $\bar{x}$  es la media muestral. Como se puede apreciar,  $S$  mide la distancia que en “promedio” hay entre los datos y la media; por ello, entre más grande sea el valor de  $S$  habrá mayor variabilidad en los datos. La desviación estándar es expresada en las mismas unidades de medición (gramos, milímetros, etc.) que los datos. Además,  $S$  no muestra la magnitud de los datos, sólo refleja lo retirado que están los datos de la media y, al igual que ésta, es afectada por datos atípicos.

### Desviación estándar poblacional o del proceso, $\sigma$

Si para calcular la desviación estándar se emplean todos los elementos de la población o proceso, entonces se obtiene la desviación estándar poblacional y se denota con la letra griega sigma ( $\sigma$ ). Como se comentó antes, es posible considerar a la población como las mediciones de toda la producción de las últimas semanas, o si las mediciones se toman por muestras, entonces una buena idea es obtener los parámetros poblacionales ( $\mu$  y  $\sigma$ ) con todas las mediciones realizadas en las últimas semanas, siempre y cuando éstas no sean pocas; de 120 a 150 mediciones en adelante es una buena cantidad.

Por otra parte, el cuadrado de la desviación estándar,  $S^2$ , conocido como *varianza muestral*, es muy importante para propósitos de inferencia estadística. Y en forma equivalente  $\sigma^2$  es la varianza (o variancia) poblacional.

Otra medida de dispersión es el *rango* o *recorrido*,  $R$ , que es igual a la diferencia entre el dato mayor y el dato menor de un conjunto de datos. El rango mide la amplitud de la variación de un grupo de datos, y también es independiente de la magnitud de los datos; por ejemplo, sean los dos conjuntos de datos:

$$A = \{10, 12, 14\} \text{ y } B = \{159, 161, 163\}$$

entonces se observa que la magnitud de los datos es diferente, y eso es reflejado por la media, que es de 12 y 161, respectivamente. Pero en cuanto a la variabilidad, los datos de ambos conjuntos están dispersos de la misma manera, como lo indica la desviación estándar que es igual a 2 en ambos casos, y el rango que es de 4 para los dos conjuntos.

El *coeficiente de variación*,  $CV$ , es una medida de variación que es relativa a la magnitud de los datos, ya que es igual a la magnitud relativa de la desviación estándar en comparación con la media de los datos, es decir:

$$CV = \frac{S}{\bar{x}}(100)$$

El  $CV$  es útil para comparar la variación de dos o más variables que están medidas en diferentes escalas o unidades de medición (por ejemplo, metro frente a

#### Desviación estándar muestral

Medida de la variabilidad que indica qué tan esparcidos están los datos con respecto a la media.

#### Desviación estándar del proceso

Refleja la variabilidad de un proceso. Para su cálculo se debe utilizar un número grande de datos que hayan sido obtenidos en el transcurso de un lapso de tiempo amplio. Se denota con la letra griega sigma  $\sigma$ .

#### Rango

Medición de la variabilidad de un conjunto de datos que es resultado de la diferencia entre el dato mayor y el dato menor de la muestra.

#### Coefficiente de variación

Medida de variabilidad que indica la magnitud relativa de la desviación estándar en comparación con la media. Es útil para contrastar la variación de dos o más variables que están medidas en diversas escalas.

centímetro o metro frente a kilogramo). Este coeficiente suele interpretarse como una medición en términos porcentuales de la variación de una variable. Por ejemplo, en el caso de los conjuntos de datos  $A$  y  $B$  que se acaban de presentar en la definición de rango, se tiene que sus correspondientes  $CV$  son:

$$CV_A = \frac{2}{12} \times 100 = 16.66 \quad \text{y} \quad CV_B = \frac{2}{161} \times 100 = 1.242$$

respectivamente, por lo que la variabilidad en los términos relativos del  $CV$  para el conjunto  $A$  es de 16.66%, mientras que para el conjunto  $B$  es sólo de 1.242%.

En el caso del grosor de los discos, tenemos que  $S = 0.027$ ,  $S^2 = 0.0007$ ,  $R = 1.25 - 1.11 = 0.14$ , y  $CV = 2.29\%$ . La interpretación del rango es muy directa, ya que indica la amplitud máxima de la dispersión; así, 0.14 mm es la discrepancia máxima que existió entre los grosores de los discos en la muestra. Por lo general, la interpretación de la desviación estándar se hace en combinación con la media, como lo veremos en seguida, y su interpretación en forma individual se realiza en forma comparativa con respecto a la desviación estándar de otras líneas de producción o lotes. Es necesario tomar en cuenta, en caso de hacer estas comparaciones, que lo que se observa en una muestra es variable, y por lo general pequeñas diferencias muestrales no implican diferencias entre procesos o lotes.

Por último,  $CV = 2.29\%$  indica que la variación del grosor es de 2.29%, lo cual se puede considerar relativamente bajo.

## Relación entre $\bar{X}$ y $S$ (interpretación de la desviación estándar)

### Desigualdad de Chebyshev

Resultado teórico que relaciona  $\bar{X}$  y  $S$ , y establece el porcentaje mínimo de datos que caen en el intervalo  $(\bar{X} - kS, \bar{X} + kS)$ , con  $k > 1$ .

Una forma de apreciar claramente el significado de la desviación estándar como medida de dispersión en torno a la media, es a través de la relación entre la media y la desviación estándar, la cual está dada por la *desigualdad de Chebyshev* y la *regla empírica*. Dos hechos particulares que afirma la desigualdad de Chebyshev,<sup>1</sup> es que entre  $\bar{X} - 2S$  y  $\bar{X} + 2S$  están por lo menos 75% de los datos de la muestra, y que entre  $\bar{X} \pm 3S$  están por lo menos 89% de éstos.

En cuanto a la regla empírica se afirma que en muchos de los datos que surgen en la práctica se ha observado por la experiencia que:

- Entre  $\bar{X} - S$  y  $\bar{X} + S$  está 68% de los datos de la muestra.
- Entre  $\bar{X} - 2S$  y  $\bar{X} + 2S$  está 95%.
- Entre  $\bar{X} - 3S$  y  $\bar{X} + 3S$  está 99.7%.

Todos los intervalos anteriores son válidos sólo para los datos muestrales y no necesariamente para toda la población o proceso. Sin embargo, si los intervalos se calculan con la media y la desviación estándar del proceso o población, entonces serán válidos para toda la población. Por lo tanto, en la medida que se tengan muestras aleatorias grandes y representativas, los intervalos anteriores podrán dar una idea aproximada de lo que pasa en el proceso.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> En general la desigualdad de Chebyshev afirma que al menos  $(1 - 1/k^2) \times 100$  de los datos están entre  $\bar{X} - kS$  y  $\bar{X} + kS$ ; es decir, ese porcentaje de datos estará dentro de  $k$  desviaciones estándar a partir de la media, donde  $k$  es cualquier número más grande que 1.

<sup>2</sup> En el capítulo 5, en la sección "Diseño de tolerancias", se verá la forma de calcular intervalos con la media y la desviación estándar muestrales que cubran la variación de toda la población.

Lo que afirma el teorema de Chebyshev se aplica para cualquier tipo de datos, independientemente de su comportamiento o distribución.<sup>3</sup> Mientras que la *regla empírica*, como su nombre lo dice, se obtuvo por medio de la observación empírica, y es válida para muchos de los casos que se dan en la práctica, sobre todo si los datos tienen un comportamiento con cierto grado de similitud a una campana o a la distribución normal (véase capítulo 3). De cualquier manera, ambos casos ilustran muy bien cómo la desviación estándar mide la variabilidad en torno a la media.

Al aplicar la regla empírica a los datos del grosor de los discos, se tiene que un alto porcentaje (cercano a 99%) de las mediciones del grosor del disco varía entre 1.098 y 1.260 mm, como se deriva del siguiente cálculo:

$$1.179 - 3(0.027) = 1.098; \quad 1.179 + 3(0.027) = 1.260$$

Al comparar estos límites de variación con las especificaciones ( $EI = 1.10$  y  $ES = 1.30$ ), se aprecia que 1.098 está por abajo de la especificación inferior, lo cual refleja la baja capacidad del proceso de inyección para cumplir con especificaciones.

## Límites reales o naturales

Los *límites reales* o *naturales* de un proceso indican los puntos entre los cuales varía la salida de un proceso y, por lo general, se obtienen de la siguiente manera:

$$\text{Límite real inferior (LRI)} = \mu - 3\sigma \quad \text{y} \quad \text{Límite real superior (LRS)} = \mu + 3\sigma$$

El cálculo de estos límites está inspirado en la regla empírica, que a su vez coincide con la propiedad de la distribución normal (véase capítulo 3). En un estudio de capacidad, estos límites reales se comparan con las especificaciones para la característica de calidad. Por ejemplo, si las especificaciones para una característica de calidad son que ésta debe tener dimensiones de  $800 \pm 5$ ; luego, la especificación inferior es  $EI = 795$ , y la superior es  $ES = 805$ . Si además se sabe que la media y la desviación estándar de tal característica de calidad son  $\mu = 800.6$  y  $\sigma = 1.2$ , respectivamente, entonces los límites reales son:

$$LRI = 800.6 - 3(1.2) = 797.0 \quad \text{y} \quad LRS = 800.6 + 3(1.2) = 804.2$$

Por lo tanto, se espera que esta característica de calidad varíe de 797.0 a 804.2, con una media de 800.6. Al comparar esto con las especificaciones se aprecia que los límites reales caen dentro de las mismas, entonces se concluye que el proceso es capaz de cumplir con tales especificaciones.

## Histograma y tabla de frecuencias

En las secciones anteriores se explicó que para el análisis de un conjunto de datos la clave es conocer su tendencia central y su dispersión. Ahora veremos que el *histograma* y la *tabla de frecuencias* permiten visualizar estos dos aspectos de un conjunto de datos, y además muestran la forma en que los datos se distribuyen dentro de su rango de variación. De manera específica, el *histograma* es una

### Regla empírica

Resultado práctico que relaciona a  $\bar{X}$  y  $S$ , y establece el porcentaje de datos de la muestra que caen dentro del intervalo  $(\bar{X} - kS, \bar{X} + kS)$  con  $k = 1, 2, 3$ .

### Límites reales

Se obtienen con  $\mu - 3\sigma$  y  $\mu + 3\sigma$ , e indican de dónde a dónde varía la salida de un proceso.

### Histograma

Representación gráfica de la distribución de un conjunto de datos o de una variable, donde los datos se clasifican por su magnitud en cierto número de clases. Permite visualizar la tendencia central, la dispersión y la forma de la distribución.

<sup>3</sup> Apoyando la regla empírica existe una extensión a la desigualdad de Chebyshev, realizada por Camp y Meidel (véase Duncan, 1989), que aumenta el porcentaje que cubren los intervalos. En concreto, esta extensión afirma que si la distribución de  $X$  es unimodal, la probabilidad de que  $X$  se desvíe de su media en más de  $k$  veces su desviación estándar, es igual o menor que  $1/2.25k^2$ . Con ello, bajo estas circunstancias entre  $\bar{X} \pm 2S$  se encontraría al menos 89% de los datos muestrales y entre  $\bar{X} \pm 3S$  estaría al menos 95%.

representación gráfica, en forma de barras, de la distribución de un conjunto de datos o una variable, donde los datos se clasifican por su magnitud en cierto número de grupos o clases, y cada clase es representada por una barra, cuya longitud es proporcional a la frecuencia de los valores representados. Por lo general, el eje horizontal está formado por una escala numérica para mostrar la magnitud de los datos; mientras que en el eje vertical se representan las frecuencias.

Comúnmente el histograma se obtiene a partir de la *tabla de frecuencias*. Para obtener ésta, primero se divide el rango de variación de los datos en cierta cantidad de intervalos que cubren todo el rango, y después se determina cuántos datos caen en cada intervalo. Se recomienda que el número de intervalos o clases sea de 5 a 15. Para decidir un valor entre este rango existen varios criterios; por ejemplo, uno de ellos dice que el número de clases debe ser aproximadamente igual a la raíz cuadrada del número de datos. Otro criterio, conocido como la regla de *Sturges*, señala que el número de clases es igual a  $1 + 3.3 \cdot \log_{10}(\text{número de datos})$ .

### Tabla de frecuencias

Representación en forma de tabla de la distribución de unos datos, a los que se clasifica por su magnitud en cierto número de clases.

En la tabla 2.2 se aprecia la tabla de frecuencias para los datos del grosor de los discos del ejemplo 2.1. Ahí vemos que al aplicar la regla de Sturges ( $1 + 3.3 \cdot \log_{10}(125) = 7.9$ ), se decidió formar ocho clases; la primera clase representa a los datos con magnitud entre 1.10 y 1.12, y la última clase es para los datos entre 1.24 y 1.26. En el intervalo de la primera clase hay tres datos que corresponden a 2.4% del total; la clase 5 es la de mayor frecuencia e indica que entre 1.18 y 1.20 hay 39 datos (31.2%). Por otro lado, en la figura 2.1 se muestra el histograma correspondiente, en el cual se toma como eje vertical a la frecuencia, aunque también podría haberse usado una frecuencia relativa o porcentual. En el histograma se aprecia que la tendencia central de los datos se ubica alrededor de 1.18, no se observan datos raros o atípicos y la distribución de los datos tiene una forma similar a una campana.

Si en el histograma de la figura 2.1 se insertan las especificaciones (1.10 y 1.30) para el grosor del disco, se observa que la variación de los datos (amplitud del histograma) es un poco menor que las especificaciones. Pero, con respecto a 1.20, que es el grosor óptimo, el proceso está moderadamente descentrado a la izquierda, como ya se había visto cuando se calculó la media. Además, el grosor de los discos no es satisfactorio, ya que la orilla izquierda del histograma debería estar alejada de la especificación inferior ( $EI = 1.10$ ), lo cual no ocurre. Cabe comentar que aunque no hay ningún dato por debajo de la  $EI$ , no se debe perder de vista que el estudio se hace a partir de una muestra, por lo tanto, si se continúa tomando datos es casi seguro que se encontrarán mediciones fuera, como lo sugiere la prolongación de la cola izquierda de

**TABLA 2.2** Tabla de frecuencia para el grosor de los discos.

CLASE	GROSOR DE DISCOS, X	MARCAS PARA CONTEO	FRECUENCIA	FRECUENCIA PORCENTUAL
1	$1.10 < x \leq 1.12$	///	3	2.4
2	$1.12 < x \leq 1.14$	////// ///	8	6.4
3	$1.14 < x \leq 1.16$	////// // //// // //// // //// //	26	20.8
4	$1.16 < x \leq 1.18$	////// // //// // //// // //// // //// // ////	34	27.2
5	$1.18 < x \leq 1.20$	////// // //// // //// // //// // //// // //// // ////	39	31.2
6	$1.20 < x \leq 1.22$	////// ////	9	7.2
7	$1.22 < x \leq 1.24$	//////	5	4.0
8	$1.24 < x \leq 1.26$	/	1	0.8

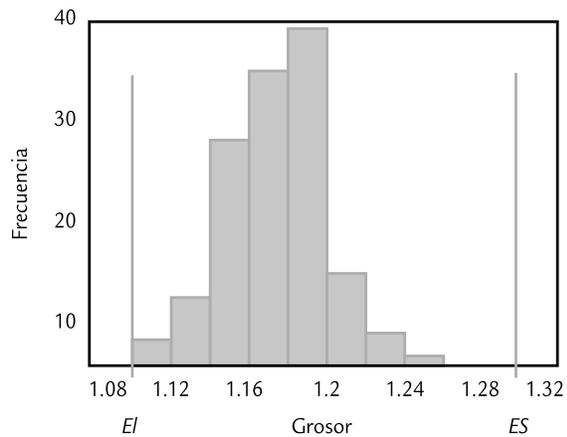


FIGURA 2.1 Histograma para grosor de discos.

la curva imaginaria que suaviza al histograma. Con base en lo anterior, la primera acción que se habría de ejecutar para mejorar la capacidad del proceso de inyección de discos es mejorar su centrado.

A través del ejemplo anterior queda claro que el histograma ayuda a ver la tendencia central de los datos, facilita el entendimiento de la variabilidad y favorece el pensamiento estadístico, ya que de un solo vistazo se logra tener una idea acerca de la capacidad de un proceso, se evitan tomar decisiones sólo apoyándose en la media y se detectan datos raros y formas especiales de la distribución de los datos. Estos detalles de la interpretación del histograma los veremos con mayor profundidad a continuación.

## Interpretación del histograma

Cuando un histograma se construye de manera correcta, es resultado de un número suficiente de datos (de preferencia más de 100), y éstos son representativos del estado del proceso durante el periodo de interés; entonces, se recomienda considerar los siguientes puntos en la interpretación del histograma.

- 1. Observar la tendencia central de los datos.** Localizar en el eje horizontal o escala de medición las barras con mayores frecuencias. En el histograma de la figura 2.1, una parte sustancial de las mediciones se localiza entre 1.14 y 1.20 mm.
- 2. Estudiar el centrado del proceso.** Para ello, es necesario apoyarse en el punto anterior y observar la posición central del cuerpo del histograma con respecto a la calidad óptima y a las especificaciones. Por ejemplo, en la figura 2.2 incisos *a)* y *c)* se muestran procesos centrados, el primero presenta poca variabilidad, pero en el segundo ocurre lo contrario. Mientras que en los incisos *b)* y *d)* se observan procesos descentrados, el primero con poca variabilidad y el segundo con mucha. Aun cuando se cumplan las especificaciones, si el proceso no está centrado, la calidad que se produce no es adecuada, ya que entre más se aleje del óptimo más mala calidad se tendrá. Por ello, en caso de tener un proceso descentrado se procede a realizar los ajustes o cambios necesarios para centrar el proceso.
- 3. Examinar la variabilidad del proceso.** Consiste en comparar la amplitud de las especificaciones con el ancho del histograma. Para considerar que la dispersión no es demasiada, el ancho del histograma debe caer de forma holgada en las especificaciones. En la figura 2.2 incisos *a)* y *b)* hay poca variación, mientras que en los incisos *c)* y *d)* ocurre lo contrario.

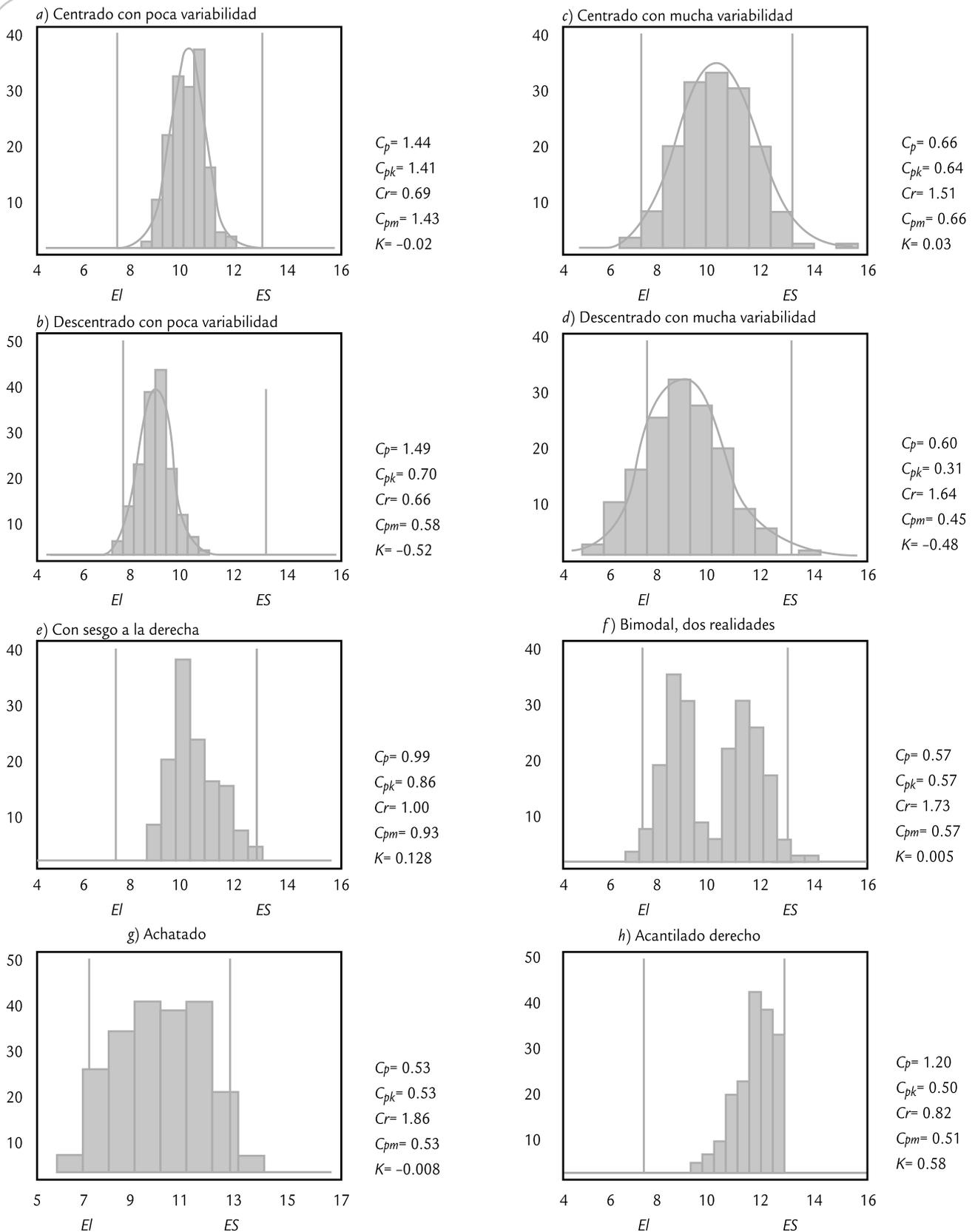


FIGURA 2.2 Interpretación de histogramas.

**4. Analizar la forma del histograma.** Al observar un histograma considerar que la forma de distribución de campana es la que más se da en salidas de proceso y tiene características similares a la distribución normal (véase capítulo 3 y figura 2.2 *a*), *b*), *c*) y *d*). Es frecuente que cuando la distribución no es de este tipo sea la señal de un hecho importante que está ocurriendo en el proceso y que tiene un efecto negativo en la calidad. Por ello, es necesario revisar si la forma del histograma es muy diferente a la de campana. Algunas de las formas típicas que no coinciden con una distribución de campana, son las siguientes:

- *Distribución sesgada.* En la figura 2.2e) se aprecia un histograma con una distribución sesgada a la derecha, ya que la cola derecha es más grande que la izquierda. En términos generales, un sesgo en una variable de salida refleja el desplazamiento paulatino de un proceso debido a desgastes o desajustes; asimismo, puede indicar procedimientos viciados en la forma de obtener las mediciones o un desempeño especial del proceso, en el sentido que aparecen algunos valores inusualmente altos de un solo lado de la distribución (izquierdo o derecho). Cabe aclarar que existen características de calidad que, por su naturaleza, tienen sesgo, como son tiempos de vida y resistencias a la fatiga. Una forma de decidir si una distribución sesgada indica una situación especial a corregir, consiste en comparar ésta con la distribución de la misma característica o de variables similares para datos obtenidos en otro periodo de tiempo. La recomendación general es que ante la sospecha de que hay algo especial atrás de una distribución con sesgo se debe investigar si efectivamente es así.
- *Distribución multimodal.* En la figura 2.2f) se aprecia un histograma en el que claramente se notan dos modas o picos que muestran dos tendencias centrales diferentes. Este tipo de distribuciones con dos o más modas reflejan la presencia de dos o más realidades o condiciones diferentes. Algunas situaciones que originan una distribución multimodal son:
  - a) Diferencias importantes de lote a lote en la materia prima que utiliza el proceso, debido a que proceden de diferentes proveedores o al exceso de variación de un mismo proveedor.
  - b) Cuando en el proceso intervienen varios operadores, con criterios o métodos de trabajo diferentes.
  - c) Las mediciones de la variable de salida que están representadas en el histograma fueron realizadas por personas o instrumentos diferentes; por lo tanto, se utilizaron distintos criterios o instrumentos mal calibrados (véase capítulo 11).
  - d) El proceso, cuando generó los resultados de la distribución multimodal, fue operando en condiciones diferentes (una condición para cada moda).
  - e) En general, una distribución multimodal se debe a la presencia de fuentes de variación bien definidas que deben ser identificadas y corregidas, a fin de mejorar la capacidad del proceso correspondiente. Una forma de identificarlas es analizar por separado los datos en función de diferentes lotes de materia prima, operadores, instrumentos de medición, turnos o días de producción, etc., para así comparar los resultados y ver si hay diferencias significativas.
- *Distribución muy plana.* En la figura 2.2g) se aprecia un histograma que muestra una distribución muy chata o plana y que está lejos de tener forma de campana. Las situaciones que pueden causar esto son las mismas que las de la distribución multimodal, pero con la particularidad de que las diferencias son menos fuertes; sin embargo, afectan de manera seria la capacidad de un proceso. Por lo tanto, también deben ser identificadas y corregidas mediante la estrategia recomendada antes.

#### **Distribución sesgada**

Forma asimétrica de la distribución de unos datos o una variable, donde la cola de un lado de la distribución es más larga que la del otro lado.

#### **Distribución multimodal**

Forma de la distribución de unos datos en la que sea aprecian claramente dos o más modas (picos). Por lo general, cada moda refleja una condición o realidad diferente.

- *Distribución con acantilados.* En el histograma de la figura 2.2h) se observa un acantilado derecho, que es una suspensión o corte muy brusco en la caída de la distribución. Algunas de las posibles causas que motivan la presencia de un acantilado son: un lote de artículos previamente inspeccionados al 100% donde se excluyó a los artículos que no cumplen con alguna medida mínima o que exceden una medida máxima (como en la figura), problemas con el equipo de medición, errores en la medición o inspección (cuando el inspector está predispuesto a no rechazar un artículo y observa que éste casi cumplía con los requisitos, registra la medida mínima aceptable). En general, un acantilado es anormal y, por lo tanto, se debe buscar la causa del mismo.

**5. Datos raros o atípicos.** Una pequeña cantidad de mediciones muy extremas o atípicas son identificadas con facilidad mediante un histograma, debido a que aparecen una o más barras pequeñas bastante separadas o aisladas del resto. Un dato raro refleja una situación especial que se debe investigar, y entre las posibles causas están las siguientes:

- El dato es incorrecto, ya sea por error de medición, de registro o de “dedo” cuando fue introducido a la computadora.
- La medición fue realizada sobre un artículo o individuo que no forma parte del proceso o población a la que pertenece el resto.
- Si han sido descartadas las dos situaciones anteriores, entonces la medición se debe a un evento raro o especial. Es decir, cuando se hizo la medición, en el proceso estaba ocurriendo una situación especial o fuera de lo común (en el capítulo 7 se tratan con mayor detalle las situaciones especiales).

**6. Estratificar.** En ocasiones, en el histograma no se observa ninguna forma particular pero existe mucha variación y, en consecuencia, la capacidad del proceso es baja. Cuando los datos proceden de distintas máquinas, proveedores, lotes, turnos u operadores, puede encontrarse información valiosa si se hace un histograma por cada fuente (estratificar), con lo que se podrá determinar cuál es la máquina o el proveedor más problemático.

De acuerdo con los puntos anteriores, es recomendable que siempre que se realice un estudio de la salida de un proceso se utilice el histograma y éste se interprete a detalle. De esa manera será posible detectar situaciones problemáticas y posibles soluciones para las mismas. Además, será una forma concreta de que los datos y mediciones sobre los procesos, que en ocasiones abundan, se conviertan en información útil para la toma de decisiones y acciones. Será necesario tener la precaución de que el histograma se haya obtenido de manera correcta, sobre todo en lo referente al número de clases y a la cantidad de datos.

### Dato raro o atípico

Medición cuya magnitud es muy diferente a la generalidad de las mediciones del conjunto de datos correspondiente.

### Estratificación

Consiste en clasificar y analizar datos de acuerdo con las distintas fuentes de donde proceden, como, por ejemplo por máquinas, lotes, proveedores, turnos, etcétera.

## Limitaciones del histograma

Aunque el histograma es una herramienta fundamental para analizar el desempeño de un proceso, tiene algunas limitaciones:

1. No considera el tiempo en el que se obtuvieron los datos; por lo tanto, con el histograma es difícil detectar tendencias que ocurren a través del tiempo. Por tal razón, no ayuda a estudiar la estabilidad del proceso en el tiempo, lo cual se analiza por medio de cartas de control (ver capítulo 7).
2. No es la técnica más apropiada para comparar de manera práctica varios procesos o grupos de datos; en esos casos, el diagrama de caja o la gráfica de medias son más apropiados.
3. La cantidad de clases o barras influye en la forma del histograma, por lo que una buena práctica es que a partir de la cantidad de clases que de manera inicial sugiere un software, se analice el histograma con un número de clases ligeramente menor y un poco más de clases, a fin de verificar si se observa algo diferente.

## Medidas de forma

Como ya se dijo en la sección anterior, un aspecto relevante en el análisis de un conjunto de datos o una variable es estudiar la forma de su distribución. Por ello, en esta sección se complementa la información de la sección anterior y se presentan las mediciones del sesgo y la curtosis. Éstas parten del hecho de que el tipo de distribución que se da con mayor frecuencia es la forma de campana, con características similares a la distribución normal (véase capítulo 3 y figura 2.2a), b), c), d). Es frecuente que cuando la distribución no es de este tipo, sea la señal de un hecho importante que está ocurriendo en el proceso y que tiene un efecto negativo en la calidad.

Una medida numérica del *sesgo* o *asimetría en la distribución* de un conjunto de datos se obtiene a través del sesgo y del sesgo estandarizado (*skewness*), los cuales están dados por:

$$\text{Sesgo} = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

$$\text{Sesgo estandarizado} = \frac{\text{Sesgo}}{\sqrt{\frac{6}{n}}}$$

donde  $n$  es el tamaño de la muestra,  $S$  la desviación estándar y  $\bar{X}$  la media muestral.

El signo del sesgo indica el lado para el que la cola de la distribución es más larga, ya sea hacia la izquierda (signo  $-$ ) o hacia la derecha (signo  $+$ ). Para los datos que siguen una distribución normal, el valor del sesgo estandarizado debe caer dentro de  $(-2, +2)$ , por lo que si  $n$  es grande ( $n > 100$ ) y el sesgo estandarizado está fuera de tal intervalo, será una evidencia de que la distribución de los datos tiene un sesgo significativamente diferente al de la distribución normal o, en otras palabras, que la distribución de los datos no es normal.

En los datos del ejemplo 2.1 del grosor del disco, el sesgo =  $-0.0114$  y el sesgo estandarizado =  $-0.0520$ , indican una distribución bastante simétrica (como se apreció en el histograma de la figura 2.1). Además, dado el tamaño de la muestra y como el sesgo estandarizado está dentro del intervalo  $[-2, +2]$ , entonces es una evidencia a favor de que los datos provienen de una distribución normal.

Una medida para determinar qué tan elevada o plana (achatada o picuda) es la distribución de ciertos datos, tomando como referencia la distribución normal, se obtiene a través del estadístico llamado *curtosis* y del *coeficiente de curtosis estandarizado*, que están dados por:

$$\text{Curtosis} = \frac{n(n+1) \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} - \frac{3(n-1)}{(n-2)(n-3)}$$

$$\text{Curtosis estandarizado} = \frac{\text{curtosis}}{\sqrt{\frac{24}{n}}}$$

### Sesgo

Es una medida numérica de la asimetría en la distribución de un conjunto de datos.

### Curtosis

Estadístico que mide qué tan elevada o plana es la curva de la distribución de unos datos respecto a la distribución normal.

donde  $n$  es el tamaño de la muestra,  $S$  la desviación estándar y  $\bar{X}$  la media muestral. Si el signo de la curtosis es positivo, indica que la curva de la distribución de los datos es más empinada o alta (picuda) en el centro y con colas relativamente largas; ambos aspectos se refieren a la distribución normal. Pero si el signo es negativo, se tendrá una curva más aplanada y con colas más cortas con respecto a normalidad. Para los datos que siguen una distribución normal el valor de la curtosis estandarizada debe estar dentro de  $(-2, +2)$ , por lo que si  $n$  es grande ( $n > 100$ ) y el estadístico cae fuera de este intervalo, será una evidencia de que la distribución de los datos no es normal.

En los datos del ejemplo 2.1 del grosor del disco, curtosis = 0.173188 y curtosis estandarizado = 0.395245, lo cual indica una distribución muy similar a la distribución normal (como se apreció en el histograma de la figura 2.1). Así, tanto para la curtosis como para el sesgo, hay evidencia a favor de que los datos provienen de una distribución normal.

## Cuantiles (percentiles)

Los *cuantiles* son medidas de localización que dividen un conjunto de datos ordenados en cierto número de grupos o partes que contienen la misma cantidad de datos. Por ejemplo, si los datos ordenados se dividen en tres partes, entonces a los correspondientes cuantiles se les conoce como terciles; pero si se divide en cuatro grupos tendremos los cuartiles; en cinco serán los quintiles; si la división es en 10 partes tendremos los deciles y, por último, si la división se hace en 100 grupos se tendrán los percentiles. De esta manera, los cuantiles de una distribución o de un conjunto de datos son medidas de localización relativa, que ayudan a complementar la descripción de la distribución de una característica de calidad. De manera más formal, sea  $x_1, x_2, \dots, x_n$  un conjunto de  $n$  mediciones ordenadas en forma creciente, se define su *percentil  $p$*  como el valor  $x$  tal que el  $p\%$  de las mediciones es menor o igual a  $x$ , y el  $(100 - p)\%$  mayor o igual.

A manera de ejemplo, a continuación se muestran varios percentiles para los datos del grosor de los discos:

1.0%	= 1.11
5.0%	= 1.125
10.0%	= 1.135
25.0%	= 1.17
50.0%	= 1.19
75.0%	= 1.21
90.0%	= 1.23
95.0%	= 1.23
99.0%	= 1.25

Se ve que el primer decil o percentil 10 es igual a 1.135, eso quiere decir que 10% de las mediciones de la tabla 2.1 son menores o iguales que 1.135. El decil cinco o percentil 50 que corresponde a la mediana es igual a 1.19. Mientras que el percentil 95 es igual a 1.23, lo cual indica que 95% de las mediciones son menores o iguales que 1.23.

## Cuartiles

Como vimos antes, al percentil 25 también se le conoce como *primer cuartil* o *cuartil inferior*,  $C_i$ ; mientras que la mediana que es el percentil 50 corresponde al *cuartil medio*  $C_m$ ; y el percentil 75 es el *cuartil superior*,  $C_s$  o *tercer cuartil*. El cálculo de estos estadísticos se realiza mediante cualquier software moderno de estadística

### Cuantiles

Medidas de localización que separan por magnitud un conjunto de datos en cierto número de grupos o partes que contienen la misma cantidad de datos. Por ejemplo, los deciles dividen los datos en 10 grupos.

### Percentil $p$

En ciertos datos es igual a un valor  $x$  tal que el  $p\%$  de las mediciones es menor o igual a  $x$ .

### Cuartiles

Son iguales a los percentiles 25, 50 y 75, y sirven para separar por magnitud la distribución de unos datos en cuatro grupos, donde cada uno contiene 25% de los datos.

o incluso con hojas de cálculo. En el caso de los datos del grosor de los discos  $C_i = 1.17$ ,  $C_m = 1.19$  y  $C_s = 1.21$ . De aquí que 25% de los datos sea menor o igual que 1.17.

## Diagrama de caja

El *diagrama de caja* es otra herramienta para describir el comportamiento de los datos y es de suma utilidad para comparar procesos, tratamientos y, en general, para hacer análisis por estratos (lotes, proveedores, turnos, etc.). El diagrama de caja se basa en los cuartiles y divide los datos ordenados en cuatro grupos, que contienen, cada uno, 25% de las mediciones. De esta forma es posible visualizar dónde termina de acumularse 25% de los datos menores, y a partir de dónde se localiza 25% de los datos mayores. Entre estos dos cuartiles se ubica 50% de los datos que están al centro. Pero además de los cuartiles están involucrados los siguientes conceptos:

Rango intercuartílico,  $R_c = C_s - C_i$

Barrera interior izquierda,  $C_i - 1.5R_c$  e interior derecha  $C_s + 1.5R_c$

Barrera exterior izquierda,  $C_i - 3R_c$ , y exterior derecha  $C_s + 3R_c$

En la figura 2.3 se muestra el diagrama de caja para los datos de grosor de los discos, y como se aprecia, se dibuja arriba de la escala de medición de los datos. A esta forma se le llama *horizontal*, ya que también es posible poner en forma vertical la escala y desplegar el diagrama en esa misma orientación. En seguida se dan las indicaciones de cómo obtener el diagrama de caja en forma horizontal:

1. Haga una escala numérica que abarque toda la variación de los datos. Arriba de esta escala trace una caja o rectángulo cuyo largo vaya desde el cuartil inferior  $C_i$  hasta el cuartil superior  $C_s$ . Así, el largo del rectángulo es igual al *rango intercuartílico*,  $R_c = C_s - C_i$ .
2. Del lado izquierdo del rectángulo se traza un bigote, brazo o línea paralela a la escala que va de  $C_i$  hasta el dato más pequeño que aún está por dentro de la barrera interior izquierda. Si hay datos por debajo de la barrera, se representarán por medio de puntos aislados que se ubicarán de acuerdo con la magnitud del dato correspondiente.

### Diagrama de caja

Representación gráfica de la distribución de un conjunto de datos que se basa en los cuartiles. Es de gran utilidad para hacer análisis comparativos.

### Rango intercuartílico

Es igual a la distancia entre el cuartil inferior y el superior, y determina el rango en el que se ubican 50% de los datos que están en el centro de la distribución.

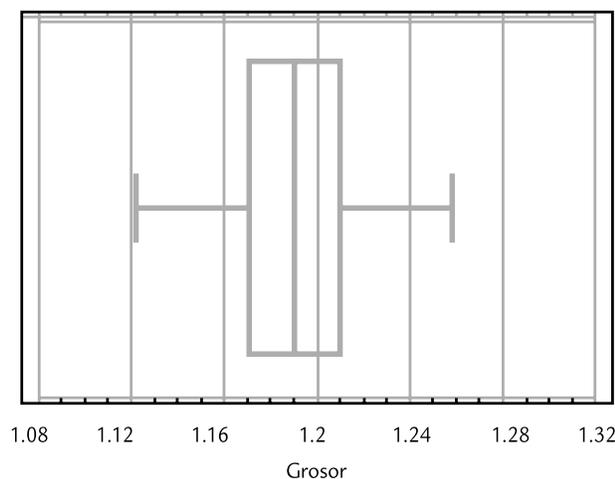


FIGURA 2.3 Diagrama de caja para grosor de discos.

3. En forma similar se traza el brazo o bigote derecho: que va desde  $C_s$  hasta el dato más grande que aún está dentro de la barrera interior derecha. Si hay datos por arriba de la barrera, se representarán por medio de un punto que se ubicará de acuerdo con la magnitud del dato correspondiente. Los datos que superan las barreras interiores pueden ser considerados como datos alejados con cierta sospecha de ser atípicos.
4. Si aún hay datos por fuera de las barreras exteriores, se representarán con un asterisco. Los datos que queden fuera de estas barreras exteriores, de manera definitiva pueden considerarse datos muy alejados, raros o aberrantes.

En los datos del grosor de los discos la caja va de  $C_i = 1.17$  a  $C_s = 1.21$ ; por lo tanto, el largo de la caja es de  $R_c = 1.21 - 1.17 = 0.04$ . La caja es dividida por la mediana = 1.19. Las barreras interiores izquierda y derecha son  $1.17 - 1.5(0.04) = 1.11$  y  $1.21 + 1.5(0.04) = 1.27$ . El dato más pequeño pero que aún está dentro de 1.11, es el mínimo (1.11), por lo tanto, el brazo izquierdo llegará hasta 1.11. El dato más grande que aún está por debajo de 1.27 es el máximo (1.25), por lo que el brazo derecho llegará hasta 1.25. En otras palabras, no hay datos que estén más allá de las barreras interiores, es decir, no hay datos alejados ni raros. Las barreras exteriores, que en este caso ya no tienen ninguna utilidad, están dadas por:  $1.17 - 3(0.04) = 1.05$  y  $1.21 + 3(0.04) = 1.33$ . Por lo tanto, si se hubieran tenido datos más pequeños que 1.05 o más grandes que 1.33, éstos se habrían considerado como atípicos o aberrantes (*outliers*).

## Interpretación del diagrama de caja

De acuerdo con la manera en que se construyó este diagrama, en su interpretación se debe hacer énfasis en:

1. El largo del diagrama (que incluye el rectángulo más ambos brazos o bigotes), ya que esto indica una medida de la variación de los datos y resulta de gran utilidad sobre todo para comparar la variación entre procesos, tratamientos, lotes o turnos de trabajo o producción. En general, entre más largo sea un diagrama indicará una mayor variación de los datos correspondientes.
2. La parte central del diagrama indica la tendencia central de los datos, por lo que también ayudará a comparar dos o más procesos, máquinas, lotes o turnos en cuanto a su tendencia central.
3. Comparar de manera visual la longitud de ambos brazos. Si uno es notoriamente más largo que el otro, entonces la distribución de los datos quizás está sesgada en la dirección del brazo más largo. También es preciso observar la ubicación de la línea mediana que parte la caja, ya que si está más cerca de uno de los extremos, será señal de un probable sesgo en los datos.
4. En caso de que el diagrama esté basado en una cantidad suficiente de datos (por ejemplo 10 como mínimo), es necesario ver si hay datos fuera de las barreras interiores, marcados con un punto, ya que entre más alejado esté un dato del final del brazo, será señal de que probablemente sea un dato atípico. Si los datos caen más allá de las barreras exteriores, prácticamente es un hecho que tales datos son atípicos o aberrantes.

## Estudio real (integral) de capacidad

En las secciones anteriores se explicaron varias técnicas descriptivas para estudiar la variación y capacidad de un proceso. En esta sección, a manera de resumen, aplicaremos en forma conjunta varias de estas técnicas sin detenernos en volverlas a explicar, para así tener información más completa acerca de los diferentes aspectos de un estudio de la capacidad de un proceso.