

Diseño del sistema de control de calidad

En otras épocas, cuando se mencionaba la expresión *control de calidad* a un directivo, un obrero o un estudiante de técnicas de dirección probablemente se evocaban con ello conceptos estadísticos tales como gráficos p, gráficos R, curvas CO, y errores Tipo I y Tipo II. Actualmente, como consecuencia del considerable auge experimentado en el uso de computadoras —especialmente a tiempo compartido a distancia—, los principales inconvenientes derivados del tiempo y el coste para estos cálculos estadísticos pueden ser obviados en gran número de casos. Así, por ejemplo, resulta posible solicitar un plan de muestreo con unos parámetros dados e inmediatamente un programa de entre los varios disponibles nos proporcionará todo un sistema completo de inspección.

Relevada de la pesada carga que supone el cálculo manual, la función del control de calidad puede en la actualidad —consumiendo el mismo tiempo e igual cantidad de dinero— dedicar mayor esfuerzo a algunos de los aspectos básicos que concurren en la dirección de ella. ¿Qué se entiende por *calidad* y cuáles son los *niveles* que de un modo conjunto deben establecerse tanto por el productor como por el consumidor? ¿Cuáles son los factores que *determinan* un sistema operacional de control de calidad? ¿Cuáles son los *elementos* de tal sistema y cómo se estructura y se lleva a la práctica para conseguir un control *efectivo* en el ámbito de una organización dada? Aparte de tales factores, quienes dedican su tiempo a dicha labor se hallan actualmente en condiciones de prestar una mayor atención a funciones conexas tales como a la facilidad o el mantenimiento del producto terminado, actividades éstas de extrema importancia dado que la prueba final y definitiva de cualquier sistema de control de calidad reside en los resultados que se consiguen en la utilización del producto y en la satisfacción que experimenta el cliente, y no en cambio, en las pruebas desarrolladas ya sea durante o inmediatamente después de la fase de fabricación. Con excesiva frecuencia, el fabricante da por terminada su asociación con su producto en el momento en que tiene lugar la entrega al cliente. Ello constituye un grave error pues casi

todo el mundo ha sufrido la exasperante experiencia de tratar de arreglar un juguete o un electrodoméstico cualquiera que se estropea muy a menudo y que no puede repararse si no es procediendo a desmontarlo por completo. Debemos señalar que estos problemas se dan no sólo en juguetes o en electrodomésticos sino también en productos de dimensión tan considerable y precio tan elevado como un apartamento o sistemas de defensa contra proyectiles teledirigidos.

Este capítulo ofrece una idea general de las decisiones y responsabilidades que con respecto a la calidad existen en el seno de una empresa, estableciendo una relación entre determinados costes y la calidad, y a tal fin se incluyen normas y directrices que pueden ser útiles en el desarrollo de cualquier sistema idóneo de control. Asimismo, dado que una comprensión básica de los conceptos estadísticos todavía resulta esencial en el ámbito del control de calidad, se examinan algunos de los puntos más importantes. Finalmente se añade una lista de programas de ordenador que ilustran las diversas clases de análisis estadísticos disponibles.

DEFINICION DE CALIDAD

Resulta necesario subrayar que cuando se hace referencia a un producto o a un servicio, la palabra *calidad* significa cosas diferentes para personas distintas. Esta disparidad, sin embargo, no plantea ningún problema importante en tanto quienes se valen del término entiendan perfectamente su uso. Tres formas muy útiles de clasificar la calidad de un producto son por tipo, por su aptitud para el uso y por la estabilidad en sus características.

Tipo: Para la mayoría de personas, la calidad implica atributos tales como suavidad al tacto y pureza en el color, la textura, el sabor y el olor; ajuste correcto y reducido número de defectos; confianza y amplio margen de posibilidades en la utilización, etc. En este sentido puede decirse que la calidad de un Rolls Royce es más elevada que la de un Citroën 2 CV. El tipo clasifica, pues, las características en grupos, los cuales cabe identificar mediante cifras, letras u otro sistema cualquiera.

La parte confusa, no obstante, consiste en que no siempre existen normas universales al respecto y que el método empleado es posible que haya sido desarrollado por alguien que no es el usuario final, ya sea el fabricante, el mayorista, el detallista o una asociación. Como consecuencia de ello puede parecer, en un instante dado, que el tipo A significa que el producto implicado es de categoría máxima, hasta que se tiene conocimiento de que existen otros clasificados como AA, AAA y quizá también AAAA. En los licores, por ejemplo, uno quizá se dé por satisfecho adquiriendo un «3 estrellas» pero esto sólo hasta que descubre un «5 estrellas» o se entera de que la calidad máxima (con distribución limitada) corresponde al «7 estrellas».

Aptitud para el uso: Este concepto de calidad se refiere a la medida en que un producto complace a su usuario, cuya satisfacción generalmente depende de tres factores: el tipo en sí, la estabilidad de la calidad dentro del mismo y, para un objeto mecánico, la fiabilidad y la facilidad de mantenimiento. Para adoptar una decisión respecto al último factor ha de tenerse en cuenta que el producto debe funcionar durante un espacio de tiempo dado ajustándose a unas condiciones previamente establecidas, aparte el hecho de que deba ser posible hallar un servicio de reparaciones y existencias de piezas de recambio (a menos, por supuesto, que no se espere que el producto deba ser objeto de reparaciones, como ocurre con determinados artículos tales como encendedores no rellenables o aparatos de radio muy baratos).

Estabilidad en las características: Con carácter constante se diseñan productos y se estructuran servicios, y el resultado viene representado por una serie de especificaciones a las que debe ajustarse cada componente de aquéllos. El grado con que el producto terminado responde a tales especificaciones se conoce como «calidad de concordancia» y será objeto de un estudio más detallado más adelante pero de momento diremos que lo que con frecuencia resulta más importante para el cliente es la uniformidad con que las unidades sucesivas responden o se ajustan a determinadas normas clave.

Consideremos, a guisa de ejemplo, dos concesionarios de automóviles, uno de los cuales presta generalmente un servicio de alta calidad pero ocasionalmente comete una equivocación y otro que de una manera continuada ofrece una labor mediocre. Al cliente puede importarle poco el nivel de calidad o el nivel de concordancia de cualquiera de los dos pues la decisión a que debe hacer frente es la de escoger entre la probabilidad de recibir un servicio excelente contra la de que sea deficiente por parte de un concesionario y la probabilidad elevada de que la labor sea de categoría media por parte del otro.

Consideremos también, con idéntico fin, los apuros de un estudiante que trata de determinar cuál es el temario exacto cubierto por un curso universitario dado. ¿Debe acudir al programa general donde se describe el curso con la esperanza de que la «calidad de concordancia» sea elevada, es decir que dicho curso se ajusta realmente a lo que la descripción señala? ¿Debe tratar de saber si existe alguna nueva descripción posterior? ¿O debe acudir a otras fuentes para averiguar si el curso ha sido impartido de igual manera a través del tiempo, independientemente de la descripción señalada? En muchos casos, la uniformidad puede ser más importante que la calidad de concordancia. Resulta obvio que la situación ideal es aquella en la que el curso se enseña de modo uniforme y ajustándose a una descripción precisa o bien, considerada la cuestión desde un ángulo diferente, aquella en que la descripción responde exactamente al programa que se enseña.

IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES RESPECTO A LA CALIDAD

La calidad es de importancia fundamental desde un punto de vista de marketing dado que, de modo directo, afecta a las posibilidades de venta del producto. Sin embargo, para conseguir un beneficio, el coste que deriva de la consecución de diversos niveles de calidad debe guardar una relación realista con el precio de venta del producto en cada uno de dichos niveles. Resulta lógico que si dicho precio es más elevado, la calidad sea también mejor a efectos competitivos. No obstante, la forma más común de competencia quizá sea la basada en la calidad cuando ésta se refiere a características tales como color, estilo, composición física y ligeras variantes funcionales, extremos todos ellos incluidos dentro del mismo tipo de producto general. Ahora bien, si tenemos en cuenta que estas diferencias ejercen una atracción distinta sobre los consumidores, se comprende perfectamente el que las firmas se esfuercen en conseguir detalles y aspectos que distingan a su producto del ofrecido por los competidores y ello con la esperanza de atraer a los clientes. Buen ejemplo de competencia en la calidad lo tenemos en los diferentes modelos de automóviles dentro de un mismo nivel de precio así como en los electrodomésticos y en las ofertas que se hacen para conseguir determinados contratos gubernamentales. Destaquemos también que la decisión final, en la mayoría de casos, tiene carácter subjetivo pues cuando los precios se presentan substancialmente iguales, es la atracción ejercida por las características de calidad la que cobra una importancia máxima.

Combinando el precio y la calidad, destacan cuatro puntos que vienen a subrayar la importancia de la calidad:

1. Mayor calidad puede permitir precios más elevados;
2. Mayor calidad puede dar lugar a un mercado más amplio;
3. Mayor calidad puede incrementar las ventas en comparación con las de la competencia debido a la mayor fiabilidad o a la duración más prolongada;
4. Distintas características de calidad pueden ejercer una atracción mayor sobre unos consumidores dados.

VALOR DE LA CALIDAD

La viabilidad de una empresa cuyo objetivo es conseguir beneficios depende, en gran medida, del éxito de sus investigaciones de mercados que tratan de describir de forma adecuada las necesidades del cliente. Este debe ser analizado no sólo en términos del producto que necesita sino también en función de la escala de precios que deberá satisfacer respecto a diversos niveles de calidad. La figura 5.1 ilustra la relación que existe entre el coste de un producto y su valor en el mercado.

Considerada la cuestión desde un punto de vista teórico cabría

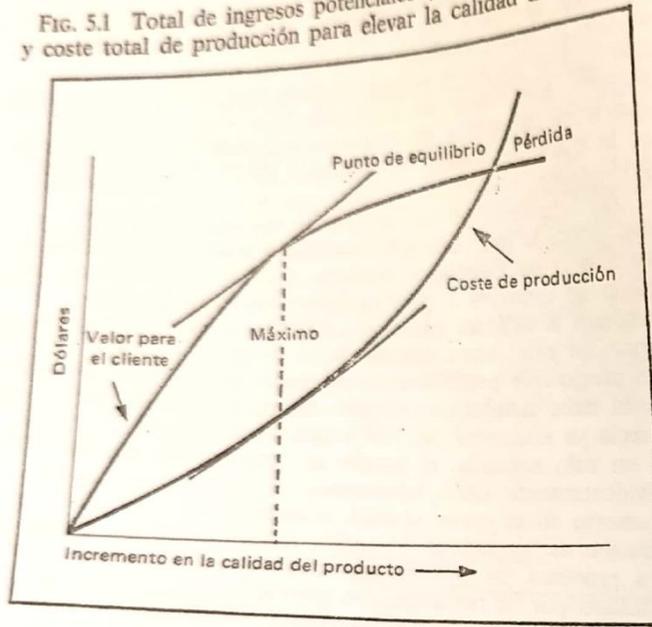
decir que a medida que la calidad de un producto aumenta, el coste de fabricación se incrementa de modo paralelo. En la práctica, sin embargo, el ritmo con que dicho incremento tiene lugar es superior al que le correspondería sobre una base lineal, de lo que se infiere que cuanto mejor es la calidad, más elevado es el coste de conseguir elevarla. Ello, como es lógico, se debe al coste cada vez mayor que tienen los elementos de producción, la superior especialización exigida en la mano de obra y la necesidad de un tiempo de fabricación más prolongado.

Por ejemplo, si un cliente se muestra satisfecho con un reloj que marca la hora con una desviación máxima diaria de cinco minutos en más o en menos, es evidente que le cabrá encontrar una amplia gama de modelos a precios inferiores a 1.000 pesetas. Si el criterio respecto a calidad superior se define como exactitud en marcar la hora, un reloj cuya desviación no supere un minuto por día tendrá un precio que posiblemente rebasará las 5.000 pesetas, y si esta exactitud debe mantenerse dentro de un margen de pocos segundos, el precio ya alcanzará las 10.000 pesetas o más y si el margen se reduce a un solo segundo, el precio se remontará a más de 70.000 pesetas. Evidentemente cada incremento en la exactitud exigida supone un aumento en el coste, el cual, algunas veces, tiene su origen en la utilización de materiales de mejor calidad y en una mayor precisión en los procesos de fabricación, mientras que en otras ocasiones viene causado por la necesidad de valerse de una técnica diferente, lo cual para los relojes supone introducir modificaciones que van desde la cuerda, los engranajes, el diapason y el transistor hasta las piezas de carácter fijo.

En la figura 5.1 también aparece la buena disposición del comprador a pagar un precio más elevado a cambio de un producto de calidad superior. Sin embargo, éste es el argumento negativo que impide al fabricante alcanzar la máxima calidad posible ya que dicha relación sugiere que la afirmación tan frecuentemente oída de que es conveniente producir la mejor calidad posible, es generalmente falsa dado que el proceder de este modo elevaría el coste de fabricación encima del incremento en los ingresos. Un aspecto adicional que refleja en la curva de valor es la medida en que un cliente se muestra dispuesto a pagar a cambio de un aumento de calidad pero con no olvidar que, en muchos casos, se declara satisfecho con un dado y cualquier incremento en el mismo no presenta atracción para él.

Un ejemplo de tal circunstancia puede ser un salpicadero de barnizado a mano para la mayoría de quienes adquieren el más barato de Chevrolet (un salpicadero así incluso puede tener un efecto negativo sobre los propietarios de una flota de autos como consecuencia de los cuidados adicionales que supone) o una persona que desea un corte de pelo corriente (para la cual no tiene ningún valor adicional el que dicho corte sea a navaja o que men las puntas). En ambos casos, el problema real consiste

Fig. 5.1 Total de ingresos potenciales (valor para el cliente) y coste total de producción para elevar la calidad del producto



parar la disposición del cliente a pagar el incremento en el coste a cambio de una mejor calidad. A efectos de adopción de decisiones la norma tradicional de análisis marginal es: «La diferencia máxima entre el coste que supone aumentar la calidad y el valor que ello encierra para el cliente surge en el punto en que la inclinación de ambas curvas es igual.»

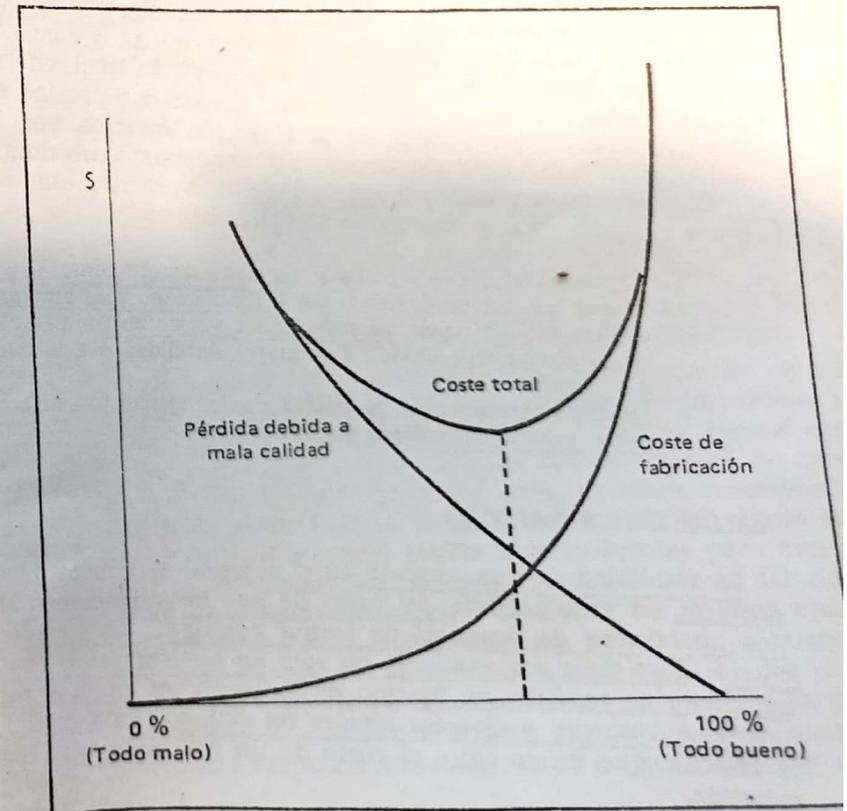
CALIDAD DE CONCORDANCIA

Tal como hemos dicho anteriormente, el output de la etapa de diseño viene constituido por una serie de especificaciones para cada uno de los componentes del producto. Dichas especificaciones generalmente incluyen medidas específicas y, también, un margen de tolerancia aceptable. Así, tenemos que el diámetro de un eje de acero puede establecerse como debiendo ser igual a 1,000 pulgadas $\pm 0,005$. Para fabricar este eje debe adoptarse la decisión de hasta qué grado el proceso de mecanización debe ajustarse a tales especificaciones, es decir, cuál ha de ser la calidad de concordancia. Si se elige un proceso de mecanización muy caro quizá se consiga fabricar todos los ejes con una tolerancia igual a $\pm 0,003$. De este modo, el nivel de concordancia sería muy elevado evidentemente pero también de calidad superior a la proyectada en un principio.

El volumen de material defectuoso puede asimismo ser más reducido pero a cambio de un mayor coste como consecuencia de un proceso de fabricación más caro. En cambio, si la producción tiene lugar en un sentido opuesto, es decir con una tolerancia muy por encima de la señalada de $\pm 0,005$, resulta evidente que el coste será menor pero el del material defectuoso, aparte las reclamaciones que formularán los clientes, se incrementará. La figura 5.2 muestra una relación entre el coste del proceso y el que deriva del hecho de no ajustarse el producto a las especificaciones establecidas en el nivel de concordancia, del cual se dice que es óptimo cuando se consigue que el coste total se sitúe en su cifra mínima.

La calidad de concordancia influye considerablemente sobre el montaje del producto. Así, si todas las piezas de un tipo dado responden a las especificaciones, quien las utiliza puede tomar cualquiera al azar mientras que si son deficientes y presentan diferencias que las sitúan

Fig. 5.2 Grado de conformación a las especificaciones establecidas para el producto



fuera de la tolerancia establecida se impone un «ajuste», lo cual implica un acoplamiento adecuado entre ellas. Por ejemplo, si se utilizan ejes dados, quien han de llevar a cabo esta labor deberá buscar otros manguitos bien, aun cuando este sistema se utiliza con frecuencia para viceversa. Ahora un momento futuro se ve en la necesidad de substituir un eje. Por otra parte, una concordancia muy exacta, aun cuando quizá contribuya a lo que a la fabricación respecta.

AMPLITUD DE LA RESPONSABILIDAD EN CUANTO A LA CALIDAD EN EL SENO DE LA EMPRESA

Como hemos tenido ocasión de ver en el capítulo 3, la calidad de un producto o servicio viene determinada en la etapa de diseño y de fabricación. Subrayemos que en este punto, las especificaciones de calidad ya que, si la firma se halla debidamente organizada, dicha correspondiente. De hecho y como se sugiere en la figura 5.3, el control de calidad domina de un modo omnipresente toda la organización. Obsérvese asimismo que, a nivel superior, las decisiones concernientes a la calidad se refieren a los objetivos de la empresa a largo plazo, a su capacidad técnica y a la introducción de nuevas gamas de productos, decisiones todas ellas extremadamente importantes por cuanto van a servir de guía respecto a la orientación que adoptará la empresa.

A nivel operacional, las decisiones con relación a la calidad se refieren al diseño, a la selección de procesos, a la consecución de materias primas, a la inspección y al control del proceso de fabricación. Este es, a todos los efectos y como resulta fácil comprender, sector de importancia primaria para el jefe de fabricación. Finalmente, después de que el producto se halla en manos del cliente, las consideraciones sobre la calidad adoptan la forma de asegurar un nivel adecuado en las exigencias de mantenimiento, garantía y las necesidades de introducir modificaciones, haciéndose lo necesario para que, remontándose a través del diseño o del proceso de fabricación, se cuente con la debida seguridad o garantía de que se van a introducir los ajustes convenientes para fabricar un producto que responda a la intención inicial que presidió su creación.

Considerada la cuestión desde otro ángulo diremos que los inputs de calidad en el sistema de fabricación pueden identificarse siguiendo el flujo desde el momento en que se concibió la idea hasta llegar al análisis de la experiencia conseguida por el cliente en la utilización del

Fig. 5.3 Factores de calidad para toda la estructura de la empresa

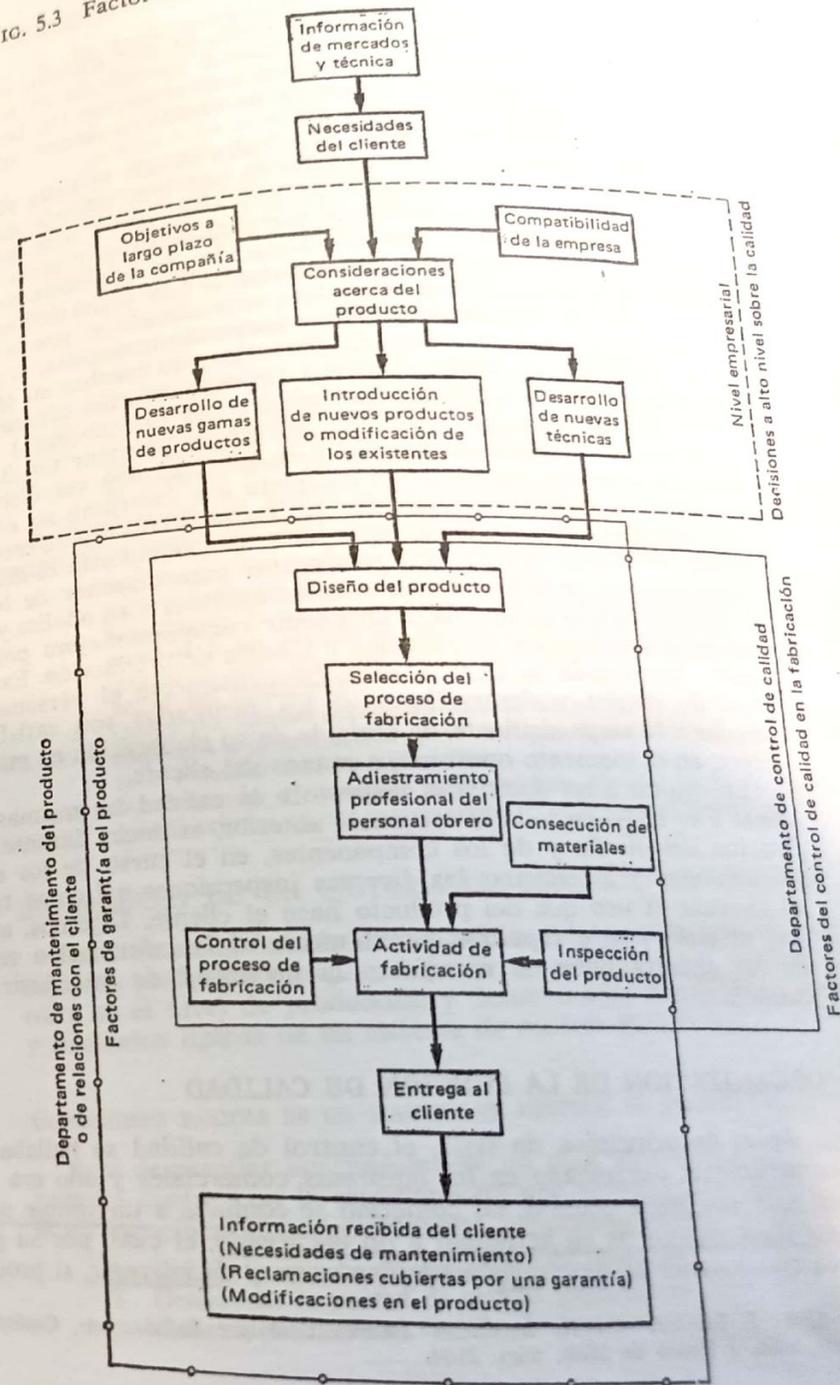
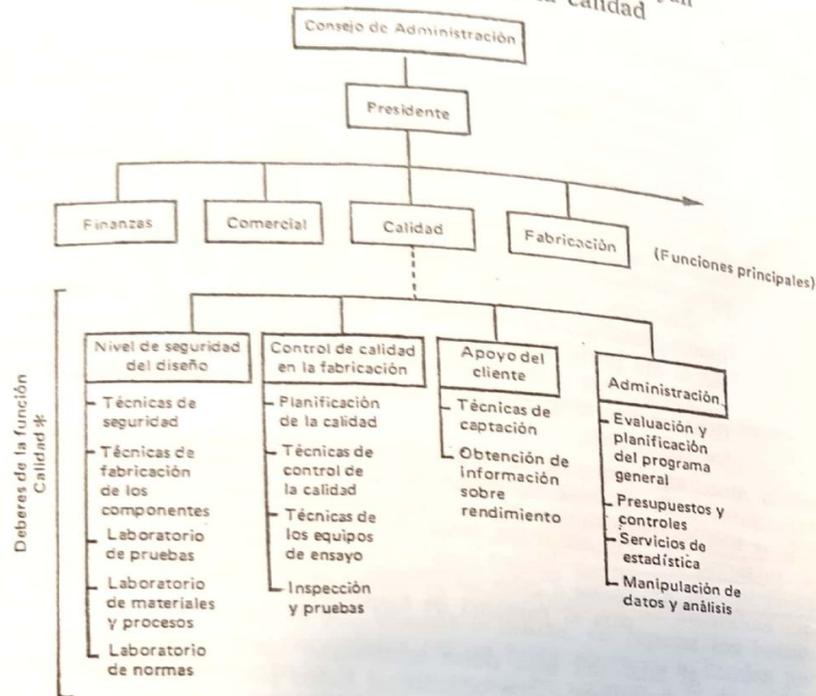


Fig. 5.5 Estructuras organizativas que subrayan la responsabilidad respecto a la calidad



* Tomado de J. M. Juran y Frank M. Gryna, Jr., «Quality Planning and Analysis» (New York, McGraw-Hill Book Company, 1970), pág. 96.

COSTE GLOBAL DE LA CALIDAD

A lo largo del ciclo de vida de un producto, los costes derivados de las consideraciones de calidad aumentan sin cesar. Los iniciales, por ejemplo, son consecuencia de la consecución de ideas, el desarrollo de estudios sobre posibilidades de materialización y el llevar a cabo el diseño de prototipos. Más adelante, durante la fase de fabricación, se deben a reajustes introducidos para que el producto responda a las especificaciones finales. Todos estos costes han sido tabulados por Juran de acuerdo con los 11 grupos siguientes:

1. De investigación de mercados para determinar cuáles son las necesidades de los usuarios respecto a la calidad así como la reacción de los mismos en presencia de calidades nuevas.
2. De investigación y desarrollo para la creación de conceptos relativos al producto y demostrar su viabilidad técnica.

3. De diseño encaminados a convertir los conceptos relativos al producto en especificaciones e información adecuadas que permitan la fabricación, comercialización y mantenimiento de aquél.
4. De planificación de la fabricación requeridos para disponer, en el momento oportuno, de los procesos y las máquinas adecuados para ajustarse a las especificaciones de calidad establecidas.
5. De mantener, dentro de los límites de precisión requeridos, todas las máquinas y procesos.
6. De dotar del personal necesario y mantener en funcionamiento idóneo los controles de proceso utilizados.
7. De comercialización de los aspectos de calidad del producto, es decir, folletos destinados a la promoción, demostraciones, preparación para la utilización apropiada, etc.
8. De «evaluación», es decir, de inspección, calibrado, experimentación y otros sistemas de medición del producto, aparte el coste de determinar la conformidad.
9. De las medidas encaminadas a evitar cualquier defecto.
10. Las pérdidas derivadas de «defectos» en la calidad.
11. La labor de mantener todo el personal (incluidos quienes ocupan cargos superiores) informado acerca del grado de perfección con que se llevan a cabo las funciones de calidad.

Después de que ha tenido lugar la entrega del producto al cliente, surgen otros costes adicionales referidos a la calidad y que se deben a:

1. Substitución del producto debido a una avería importante.
2. Gastos derivados de un fallo reparable.
3. Substitución de un producto ya entregado pero defectuoso que no se ajustaba a las normas de calidad prescritas (el cual quizá pasó la inspección final efectuada por lotes o bien como consecuencia de un «error del operario»).
4. Quejas formuladas durante el periodo de garantía, cuando el producto respondía a lo establecido, pero el cliente lo utilizó de forma incorrecta o entendió mal su aplicación.
5. No responder el producto a lo previsto, lo cual se ha traducido en modificaciones en su configuración o en las especificaciones.

* DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

Hasta ahora la función de calidad ha sido tratada, en este capítulo, bajo una perspectiva amplia. A partir de este punto, el análisis se centrará en el nivel de producción y determinadas condiciones, objetivos y elementos típicos de un sistema de control de calidad.

CONDICIONES BÁSICAS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

Para desarrollar adecuadamente un plan de control de calidad que permita contar con la seguridad de que el producto final se ajustará a las especificaciones previamente establecidas, resulta necesario:

1. Definir lo que ha de ser objeto de medición.
2. Determinar la unidad de medida (centímetros, kilos, etc.) y el procedimiento mediante el cual ha de conseguirse.

3. Establecer el nivel deseado.
4. Llevar a cabo la medición y compararla con el referido nivel.
5. Aceptar o rechazar la partida, o adoptar medidas para modificar el proceso.

Como cabe comprender, llevar a la práctica lo indicado no siempre resulta tarea fácil ya que, en primer lugar, no es obvio en todo momento lo que ha de medirse. Si se trata de una serie dada de especificaciones, la labor puede ser simplemente la de estipular que un eje de acero ha de calibrarse con un micrómetro. Supongamos, sin embargo, que lo que ha de determinarse es la calidad del servicio prestado (por ejemplo, el que reciben los pacientes en un centro sanitario). ¿Qué es lo que ha de medirse en un caso así? ¿El número de quejas formuladas por los pacientes? ¿El número de veces que un paciente ingresa de nuevo para ser tratado de la misma enfermedad? ¿El número de operaciones llevadas a cabo con éxito (si cabe definir las)? ¿El tiempo que el personal del centro sanitario dedica a los pacientes? Resulta evidente que cabe emplear un número casi ilimitado de factores.

En segundo lugar, ¿cuál es la medida que procede tomar y cómo? Para el eje de acero, la medida viene en milímetros y a tal fin debe emplearse un micrómetro. Por lo que al centro sanitario respecta, el elegir el elemento apropiado para la cuantificación cabe que sea conceptualmente mucho más difícil y la medición real puede tener lugar sobre la base de un análisis de los diversos registros o quizás de las respuestas dadas por los pacientes a unos cuestionarios adecuados.

En tercer lugar, para llevar a cabo una evaluación, debe existir un nivel preestablecido para medir la calidad. En el caso del eje de acero puede ser $0,5000 \pm 0,0050$ pulgadas. Tratándose del centro sanitario, este nivel quizás es posible establecerlo en horas de cuidados médicos prestados a los pacientes, número de éstos por habitación o posiblemente alguna relación porcentual basada en los cuestionarios cumplimentados por los clientes.

Si las tres primeras condiciones se han cumplido adecuadamente, las señaladas con los números 4 y 5 resultan posibles. En esto estriba precisamente la medición real, es decir, en la comparación, la aceptación, el rechazo o la modificación del proceso. Respecto a esta última diremos que para los ejes de acero, cuyo diámetro es excesivo, puede consistir en un simple reajuste de la herramienta de corte. Ahora bien, ¿cómo es posible corregir una desviación en la calidad del servicio prestado a un paciente en un centro sanitario? Si la medida para ello se basase en las quejas formuladas por los clientes, se precisa tener en cuenta que las mismas pueden reconocer como origen múltiples hechos y circunstancias, desde una alimentación o un alojamiento deficientes a una atención médica más bien escasa. Además, cabe que no exista una relación causal entre las quejas de los pacientes y la calidad del servicio prestado por el centro sanitario pues una persona puede estar demasiado enferma para quejarse y otra quizá sólo permanezca durante una noche para someterse a unos análisis y no tiene motivo real para formular una reclamación. Resulta evidente, pues, que las actividades

dedicadas a la prestación de servicios constituyen un enorme desafío para llevar a cabo de forma eficiente un control de calidad.

OBJETIVOS DE UN SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

Cualquier sistema, si de veras ha de tener algún valor, ha de contar con unos objetivos dados. En el caso del control de calidad, los objetivos pueden estar orientados típicamente hacia propósitos tales como reducir el nivel de desperdicios, situar a un mínimo el número de devoluciones de los clientes, mantener el grado deseado de concordancia con el diseño del producto, incrementar el nivel promedio de calidad en los productos fabricados, disminuir la cantidad de materias primas defectuosas procedentes de los proveedores, etcétera.

Conviene tener presente que los objetivos son planes y que una buena planificación se lleva a cabo sobre una base de tiempo con puestas al día periódicas. El control de calidad generalmente establece, para conseguir sus fines, unos objetivos específicos. Por ejemplo refiriéndonos a una empresa determinada y para el año próximo, cabría incluir los siguientes:

1. Situar el porcentaje de reclamaciones de los clientes a un 3 por ciento.
2. Reducir el número de devoluciones de los clientes a un 2 por ciento.
3. Establecer el nivel de reproceso en un máximo del 5 por ciento.
4. Disminuir los costes de control de calidad y de inspección por unidad en un 10 por ciento durante el próximo año.
5. Llevar a cabo un programa mensual de adiestramiento y puesta al día para el personal de inspección.

Al final del año debe analizarse seriamente el éxito o el fracaso en materializar estos objetivos. Estos pueden por otra parte ampliarse o someterse a revisión para el ejercicio siguiente.

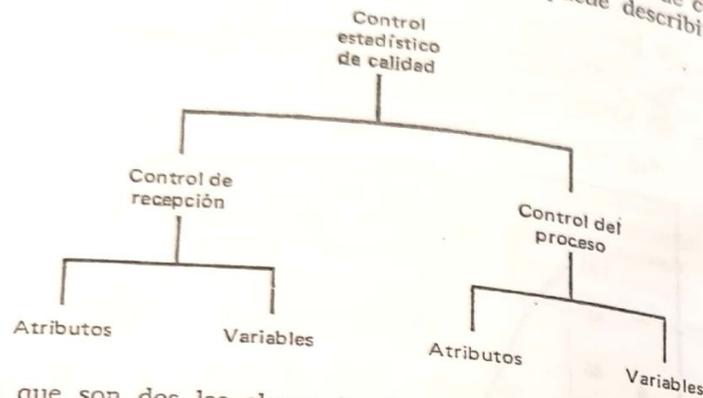
ASPECTOS ESTADÍSTICOS DEL CONTROL DE CALIDAD

El esquema siguiente muestra la aplicación del control estadístico de calidad. Las dos áreas más amplias corresponden al control de recepción y al control en curso de fabricación o de proceso.

El control de recepción se refiere a la admisión o al rechazo de *productos que ya existen en la realidad*, en cuyo caso cabe utilizar planes idóneos que permitan estimar debidamente la calidad del «lote» mediante la medición o ensayo de una muestra tomada del mismo.

El control en curso de fabricación o control de proceso busca establecer unas normas que permitan determinar cuándo conviene introducir reajustes *durante el proceso de fabricación*, para lo cual se establece un margen cuya base se encuentra en la variación de probabilidades y que, como es natural, si la producción se sitúa más allá dicho margen durante un espacio de tiempo prolongado, da lugar a que se emprenda una investigación inmediata para determinar cuál es

causa. Digamos, finalmente, que el instrumento primario en el control en curso de fabricación se halla constituido por los gráficos de control. La diferenciación entre atributos y variables puede describirse di-



ciendo que son dos las clases de observación, perfectamente claras, que resultan posibles: así, un producto o servicio cabe reconocerlo como *bueno o malo* o bien evaluarlo para determinar *en qué medida difiere de las demás unidades o de las especificaciones previstas*. La primera clase se conoce generalmente como *muestreo por atributos* y ejemplo de ella lo tenemos en la comprobación de bombillas eléctricas para determinar si son buenas o malas; en reparar los botones de una camisa en una lavandería (si no falta ninguno, la camisa pasa a la sección de planchado y si no es así se entrega a la de cosido); en hacer funcionar un magnetófono estéreo (si la frecuencia se mantiene dentro de un margen específico, el equipo es aprobado y si no es así se aparta para proceder a su reparación). La utilización de atributos en el control de recepción se basa, por lo común, en la *distribución binomial* (la cual explicaremos más adelante). En el control en curso de fabricación, por su parte, los atributos de un producto o servicio se utilizan para determinar una proporción que, a su vez, cabe emplear para trazar un gráfico de control.

El segundo tipo, utilizado para medir el grado de desviación de una observación, se denomina *muestreo por variables* o *control por medidas*. Así, en lugar de aceptar la camisa si todos los botones se hallan presentes o rechazarla si falta uno o más de ellos, el interés puede residir en conocer cuál es el número de botones que faltan. El ejemplo del magnetófono estéreo puede incluir el trazado de una curva de respuesta frecuencia-amplitud para determinar las características de rendimiento reales, en lugar de permitir una simple decisión de admisión o rechazo. Debemos subrayar que la medición real de la variable particular posee una utilidad considerable si es de interés el análisis y el control del proceso productivo, y añadamos también que el muestreo por variables se halla basado en la distribución normal.

MUESTREO POR ATRIBUTOS

Tal como se ha indicado anteriormente, el muestreo por atributos se basa en el hecho de que el producto es o no bueno. Cuando se plantea esta posibilidad de elección, los estadísticos con frecuencia estiman apropiada la *distribución binomial* para definir la probabilidad de que se produzca una u otra de las situaciones posibles. La función generadora para esta distribución es:

$$P(r) = \frac{n!}{r! (n-r)!} p^r (1-p)^{n-r}$$

donde p es la probabilidad de que la situación asociada con r se produzca en un momento dado y $(1-p)$ es la probabilidad de que no tenga lugar. $P(r)$, por tanto, es la probabilidad correspondiente a r situaciones (frecuentemente denominadas «éxitos») producidas en n intentos (2).

Como ejemplo supongamos que en una encuesta, o a través de conversaciones sostenidas con personas diversas, un entrevistador llega a la conclusión de que un 80 por ciento de los clientes que acuden a un restaurante dado se sienten satisfechos con la comida y el servicio mientras que ocurre todo lo contrario con el 20 por ciento restante. Si visita el restaurante —suponiendo que los gustos del entrevistador son similares a los de las personas encuestadas— la probabilidad de quedar complacido con su experimento es:

$$P(1) = \frac{1!}{1! (1-1)!} 0,80^1 (1-0,80)^{1-1}$$

= 80 por ciento (tal y como cabía esperar)

Si visita el restaurante cinco veces (o acude a él con un grupo de cinco personas), la probabilidad de que las cinco comidas resulten satisfactorias es:

$$P(5) = \frac{5!}{5! (5-5)!} (0,80)^5 (1-0,80)^{5-5}$$

$$= (0,80)^5$$

$$= 0,328$$

Se deduce, pues, que la probabilidad de que el éxito acompañe cinco comidas equivale a la probabilidad conjunta de cinco éxitos individuales. En cuanto a la probabilidad de que por lo menos cuatro comidas sean satisfactorias es igual a la probabilidad de exactamente cuatro más la probabilidad de exactamente cinco.

2. Murray R. Spiegel, «Theory and Problems of Statistics», (Nueva York: Scha Publishing Co. 1961), pág. 122.

CURVAS CARACTERÍSTICAS O DE EFICACIA DE UN PLAN DE MUESTREO

Una curva de este tipo pone de manifiesto hasta qué punto un plan de muestreo particular distingue entre lo bueno y lo malo. El método utilizado para desarrollar una curva de esta clase mantiene el número de intentos (n) y el de éxitos (r) constante y varía únicamente $P(r)$, lo cual contrasta con el método utilizado en el ejemplo anterior, en el que se computaba la probabilidad (P) de obtener varias comidas buenas en un restaurante (r) en un número específico de intentos (n).

TABLA 5.1 Probabilidad de aceptación de un lote con una dimensión de muestra $n = 50$ sin error o uno permisible a niveles diversos de exactitud de la población

Exactitud real de las anotaciones	Tamaño de la muestra n	Número correcto r	Número incorrecto $(n - r)$	$P(49)$	$P(50)$	Probabilidad de aceptación $P(49) + P(50)$
100%	50	49 o 50	0 o 1	0.000000	1.000000	1.000000
99	"	"	"	0.305559	0.605006	0.910565
98	"	"	"	0.371602	0.364170	0.735771
97	"	"	"	0.337214	0.218065	0.555280
96	"	"	"	0.270595	0.129886	0.400481
95	"	"	"	0.202487	0.076945	0.279432
94	"	"	"	0.144673	0.045331	0.190003
93	"	"	"	0.099938	0.026555	0.126493
92	"	"	"	0.067246	0.015466	0.082712
91	"	"	"	0.044283	0.008955	0.053238
90	"	"	"	0.028632	0.005154	0.033786
89	"	"	"	0.018217	0.002948	0.021165
88	"	"	"	0.011424	0.001675	0.013099
87	"	"	"	0.007069	0.000946	0.008015
86	"	"	"	0.004320	0.000531	0.004851

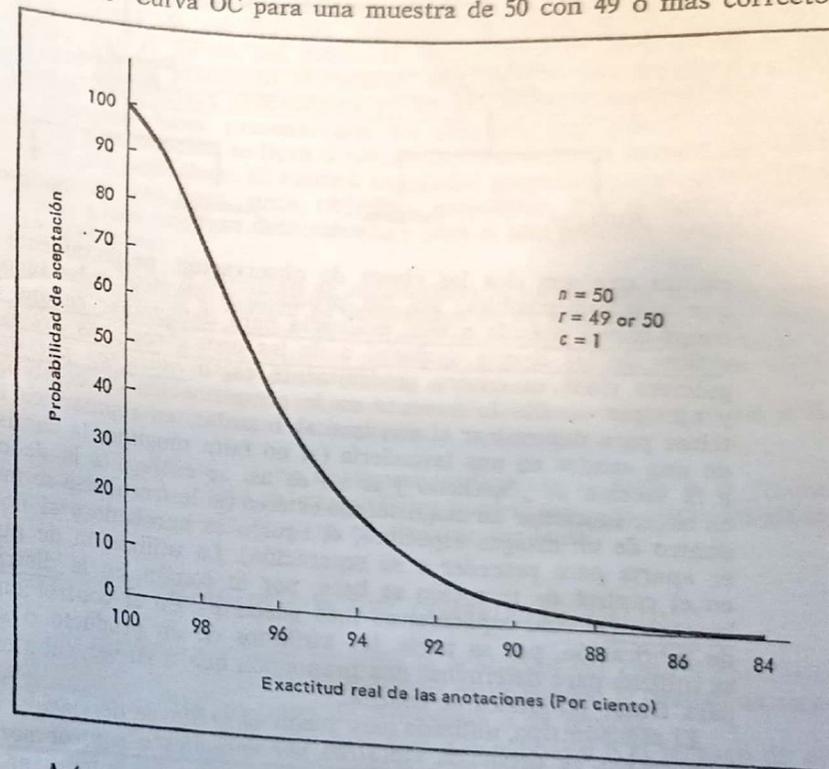
Para indicar la forma en que una curva de este tipo se construye, nos valdremos de un ejemplo en el que la curva que se va a trazar va a servir para determinar la exactitud de las anotaciones contables. Supóngase que inicialmente se decide examinar una muestra al azar de 50 anotaciones y declararse satisfecho si no hay más que un solo error (con lo que 49 ó 50 son correctas). Modificando la probabilidad de la exactitud real de las anotaciones objeto de muestreo, cabe derivar de ello la probabilidad de aceptar la muestra, circunstancia ésta que se indica en la tabla 5.1. Transponiendo después de modo adecuado la probabilidad de aceptación y la exactitud real de las anotaciones, se obtiene la curva que aparece en la figura 5.6 (3).

3. Por convención tácita, el nivel de aceptación en el muestreo encaminado a establecer el control de calidad se vale de un número c que se entiende como representativo de la cifra máxima de piezas defectuosas que se permiten en una muestra en lugar de apoyarse en una cifra mínima de piezas aceptables en la misma muestra. Así, en la tabla 5.1 y en la figura 5.6, el número de aceptación $c = 1$ implica que el lote cabe admitirlo si no se encuentra ningún error o uno como máximo, lo cual corresponde a un grado de corrección igual a 49 o 50.

Como cabe sospechar, cuanto mayor sea la muestra o menor el número de errores (o más reducido el número de aceptaciones), mejor será la capacidad de discriminación de la curva. (El dar forma a ésta es aspecto que se discute con mayor detalle en la sección que trata de la justificación del coste de inspección.)

Riesgo del productor y riesgo del consumidor: La curva característica cuenta con dos usos, los cuales dependen, por así decir, del lado del campo en que uno se halle.

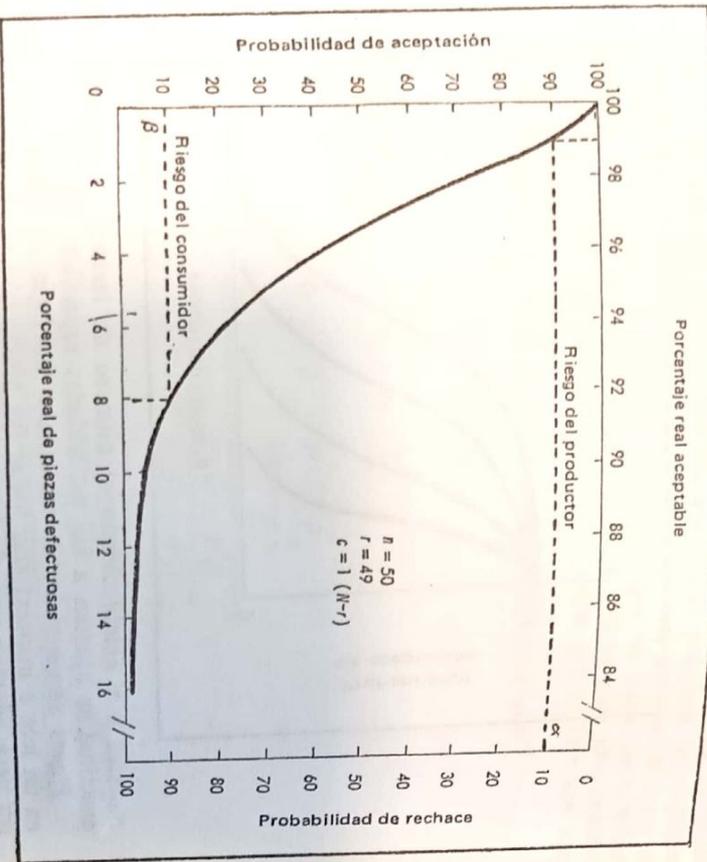
FIG. 5.6 Curva OC para una muestra de 50 con 49 ó más correctos



Así, un cliente que adquiere productos querría saber cuál es la probabilidad de aceptar otros que son de calidad inferior al nivel por él solicitado. Esta probabilidad se denomina *riesgo del consumidor* y el correspondiente porcentaje de riesgo deseado se conoce generalmente por β (se utilizan los mismos datos que aparecen en la tabla 5.1 para construir la figura 5.7). Por ejemplo, supongamos que el productor es una firma de expertos contables contratada para llevar a cabo las anotaciones por cuenta de un detallista, el cual en este caso es el consumidor. Si éste establece en un 6 por ciento el número de errores que

se halla dispuesto a admitir, la probabilidad de aceptar un porcentaje más elevado es igual a un 20 por ciento (véase figura 5.7). Si el riesgo lo sitúa en un 10 por ciento, el porcentaje de errores que se verá obligado a aceptar será igual a 8%. Es muy probable, sin embargo, que el consumidor se muestre disgustado con la capacidad del plan de muestreo de poner de manifiesto errores en sus anotaciones contables y acuda entonces a un plan con un n más elevado o bien se valga del mismo pero sin un margen de tolerancia para los errores (en lugar de 1 como ocurre en el plan que comentamos).

Fig. 5.7 Datos transpuestos de la Tabla 5.1 que indican la probabilidad de rechazar lotes defectuosos por el productor con $\alpha = 0,10$ y la probabilidad de aceptar lotes defectuosos por parte del cliente con $\beta = 0,10$



La misma clase de razonamiento resulta de aplicación al productor cuando procede a inspeccionar su propio producto. Así, cuando éste engloba un porcentaje específico de unidades buenas, necesita aceptar el trabajo como satisfactorio y enviarlo al consumidor, probabilidad ésta que se denomina *riesgo del productor* y el porcentaje de riesgo recibe el nombre de α . Utilizando el mismo ejemplo de la figura 5.7, el productor puede afirmar que si su producto alcanza una exactitud

del 99 por ciento, querría únicamente tener una probabilidad del 10 por ciento de que él pueda rechazar la labor efectuada como siendo de una calidad inferior a dicho porcentaje. Elegirá, a tal fin, un plan de muestreo que venga a establecer una relación entre el riesgo, la exactitud y el coste vinculado a la labor de llevar a cabo el referido plan.

Cuando de forma continuada se utiliza un mismo plan de muestreo, se puede calcular la calidad promedio del producto fabricado o del servicio prestado si se inspecciona de modo completo cualquier lote que no consiga superar la prueba. Añadamos, también, que dicha calidad promedio en su fase de salida generalmente resulta de aplicación al productor, por cuanto el consumidor puede limitarse a rechazar el lote y a devolverlo en lugar de emprender una inspección completa de todas las unidades en los lotes defectuosos.

Si al inspeccionar un lote, se eliminan los componentes defectuosos pero no se substituyen (con lo que el lote resulta disminuido), el nivel promedio de calidad es:

$$AOQ = \frac{P_a p (N-n)}{N - pn - p(1 - P_a)(N-n)}$$

donde P_a es la probabilidad de aceptación, p es la fracción defectuosa, N es el volumen del lote y n la dimensión de la muestra.

Si los componentes defectuosos son substituidos por otros en perfecto estado (con lo que el lote retorna a su dimensión original N), tendremos:

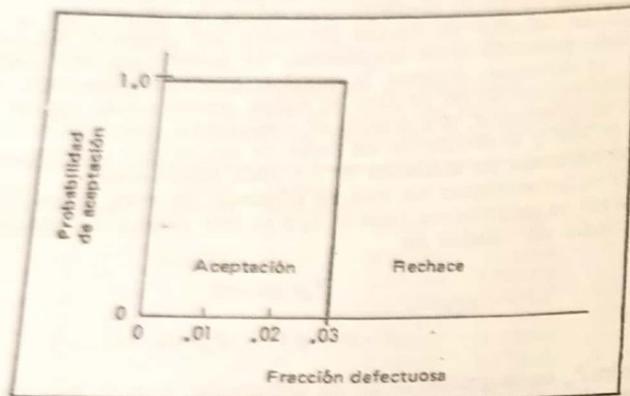
$$AOQ = \frac{P_a p (N-n)}{N}$$

Costes de inspección: La inspección total se justifica cuando el coste de la pérdida sufrida como consecuencia de no haber efectuado un control idóneo es superior al coste de aquella. Por ejemplo, supóngase que una pieza defectuosa se traduce en una pérdida de 10 dólares. Si el porcentaje promedio de piezas defectuosas en un lote es igual a 3, el coste esperado debido a tal circunstancia es igual a $0,03 \times 10$, o sea 0,30 cada una. Por lo tanto, si el coste de inspeccionar cada pieza es inferior a 0,30\$, la decisión económica aconsejable es la de llevar a cabo una verificación que cubra el 100 por ciento. Destaquemos, sin embargo, que no todas las piezas defectuosas serán eliminadas, pues los inspectores darán su aprobación a algunas que son deficientes y rechazarán en cambio otras que cabe considerar como buenas (4).

4. Algunas veces los inspectores son sometidos a prueba haciéndoles revisar lotes que cuentan con un número dado de piezas defectuosas. Otro método es el de valerse de un jefe de inspectores para que revise algunos lotes que ya han sido comprobados. Esta práctica permite una evaluación útil del grado de eficacia profesional de los inspectores.

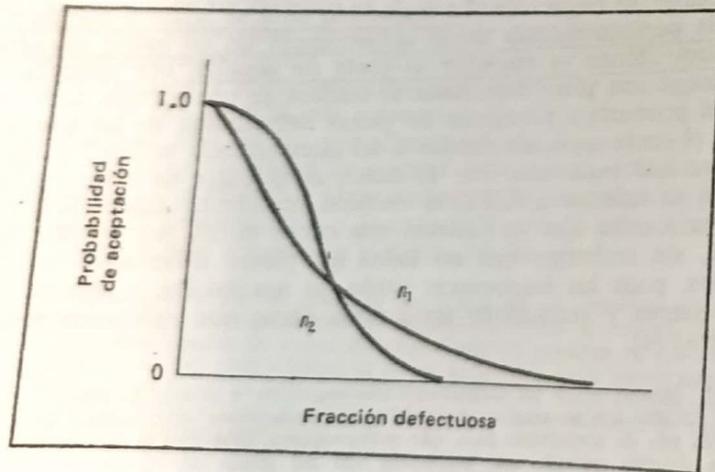
En teoría, lo que se pretende es una curva que distinga perfectamente entre lotes buenos y malos, según se define en la relación porcentual entre coste de inspección y coste de los defectos. En nuestro ejemplo, esto supondría un plan que aceptase lotes con resultados

FIG. 5.8 Plan ideal de muestreo discriminado



iguales a ≤ 3 por ciento y rechazase otros con > 3 por ciento, basándose en la relación porcentual entre 0,30\$ y 10\$. (Esto nos da la curva que aparece en la figura 5.8.) En la práctica, no obstante, un plan así sólo resulta posible con una inspección completa de todas las piezas

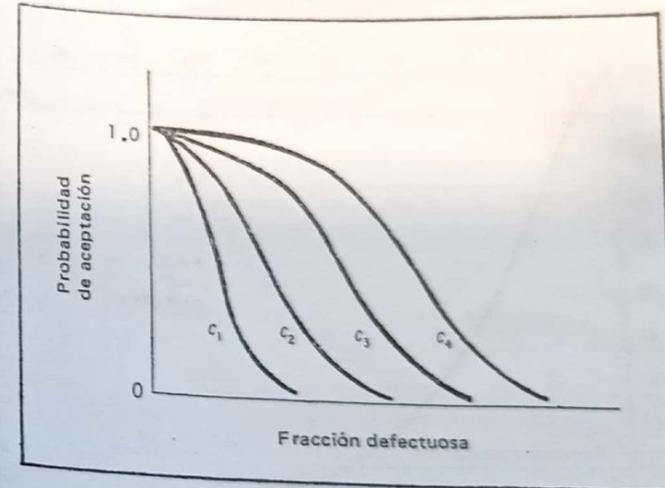
FIG. 5.9 Efecto de aumentar la dimensión de la muestra desde n_1 a n_2 con igual c



(y, por consiguiente, no es un plan de muestreo). Como alternativa, puede escogerse un plan que cuente con una curva que sea muy inclinada en la zona correspondiente a 0,03 y se obtenga introduciendo una variación en n y en c . Ahora bien, el incrementar el volumen de la muestra n traerá como consecuencia una mayor inclinación de la curva para cualquier c dado, como ocurre en la figura 5.9. En cambio, manteniendo n igual y disminuyendo c , la curva también acentúa su inclinación pero se mueve en puntos más próximos al origen, como ocurre en la figura 5.10.

Sea como fuere, al elegir cualquier plan de muestreo, el coste debe compararse con el valor de las pérdidas que se producirán si no se lleva a cabo muestreo alguno. Se procede, entonces, a computar o a elegir un plan partiendo de varios, escogiendo la dimensión de la

FIG. 5.10 Efecto de aumentar c desde c_1 a c_4 con la misma dimensión de muestra n



muestra n y estableciendo el número de rechaces c que con mayor exactitud se ajusten a las necesidades específicas (5).

Planes secuenciales de muestreo: En lugar de elegir una muestra en un lote e inspeccionar todas las piezas que componen dicha muestra para adoptar una decisión respecto a la aceptación o al rechazo, cabe utilizar una secuencia de muestras más reducidas, cuya ventaja consiste en que es menor el número de piezas a inspeccionar para conseguir el mismo grado de exactitud.

Estas series de muestras se conocen como *planes secuenciales de muestreo* y su límite es el que corresponde a aquel que inspecciona las

5. Véase, por ejemplo, H. F. Dodge y H. G. Romig, «Sampling Inspection Tables Single and Double Sampling» (2.ª ed. Nueva York: John Wiley & Sons, 1959).

piezas de una en una. En un plan de muestreo secuencial, los resultados tienen carácter acumulativo y la decisión que se adopta es: 1) rechazar el lote, 2) aceptar el lote, o 3) inspeccionar otra pieza.

Wald, que instituyó uno de los planes secuenciales más conocidos, estimó que el suyo podía reducir la dimensión promedio de la muestra en cerca de la mitad comparada con un plan de muestreo individual (6).

Su plan suponía una decisión cada vez que se inspeccionaba una pieza y requería tres factores a considerar, a saber: el riesgo del productor (α), el riesgo del consumidor (β) y una «relación percentual de probabilidad secuencial». Respecto a esta última diremos que constituye un método de llevar la cuenta y, asimismo, una probabilidad de conseguir un resultado de muestreo particular si el material es de igual calidad p'_2 comparado con la probabilidad de alcanzar un resultado igual si el material fuese de calidad p'_1 . En la práctica, no obstante, no es necesario computar esta relación percentual ya que en lugar de ello cabe valerse de un gráfico o estadillo que se haya desarrollado partiendo de unos límites de muestreo. Tras ello es sólo una cuestión de trasponer cada resultado de inspección hasta que el lote sea aceptado o rechazado.

Las líneas límite de un plan secuencial se definen por:

$$X_1 = sn + h_2$$

y

$$X_2 = sn - h_1$$

donde

$$h_1 = \frac{\log \frac{1 - \alpha}{\beta}}{\log \frac{p'_2 (1 - p'_1)}{p'_1 (1 - p'_2)}}$$

$$h_2 = \frac{\log \frac{1 - \beta}{\alpha}}{\log \frac{p'_2 (1 - p'_1)}{p'_1 (1 - p'_2)}}$$

$$s = \frac{\log \frac{1 - p'_1}{1 - p'_2}}{\log \frac{p'_2 (1 - p'_1)}{p'_1 (1 - p'_2)}}$$

6. A. Wald, «Sequential Analysis» (Nueva York: John Wiley & Sons, 1947).

Si bien, dado que se dispone de tablas no resulta necesario calcular los valores de h_1 , h_2 y s mediante las fórmulas (véase Apéndice A). El siguiente ejemplo ilustra el método para desarrollar un plan de muestreo secuencial.

Supóngase que el riesgo del productor α es igual a un 5 por ciento en el punto donde p'_1 es 0,01, es decir, que aquél necesita contar con una probabilidad del 95 por ciento de aceptar como bueno cualquier lote cuyos componentes sean defectuosos en un 1 por ciento o menos. Además, supóngase que β es igual a un 10 por ciento y p'_2 equivale a 0,06, es decir, que el consumidor aspira únicamente a una probabilidad del 10 por ciento de aceptar cualquier lote que sea defectuoso en un 6 por ciento o más.

Utilizando el apéndice de este capítulo, los valores apropiados pueden leerse en $p'_1 = 0,01$ y $p'_2 = 0,06$. Los valores correspondientes son $h_2 = 1,5678$, $h_1 = 1,2211$ y $s = 0,02811$.

Dado que el gráfico de control es lineal, trazarlo requiere la definición de dos puntos por cada línea, siendo uno de los convenientes aquel en que $n = 0$ en el eje vertical, es decir, donde no se ha efectuado muestreo alguno.

En $n = 0$,

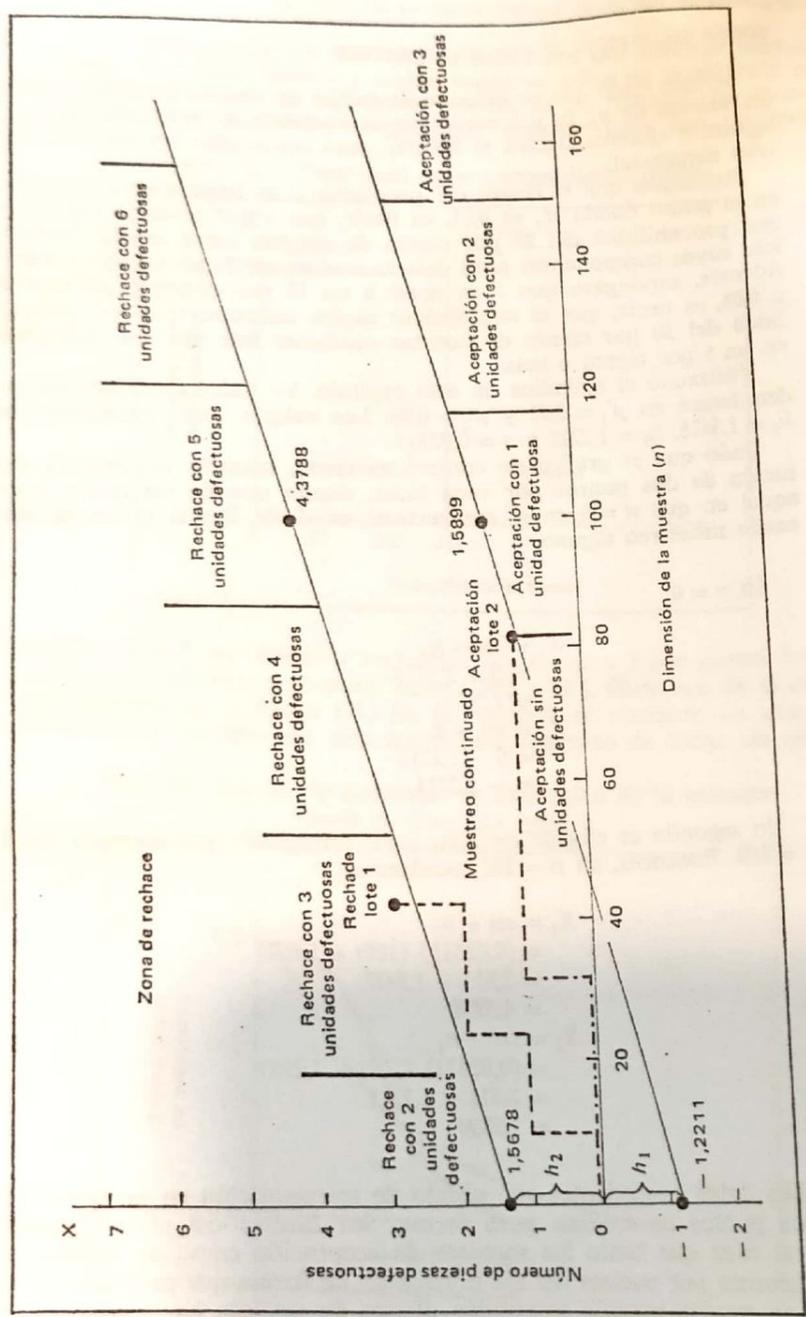
$$\begin{aligned} X_1 &= sn + h_2 \\ &= 0 + 1,5678 \\ &= 1,5678 \\ X_2 &= sn - h_1 \\ &= 0 - 1,2211 \\ &= -1,2211 \end{aligned}$$

Un segundo es elegido en otro lugar apropiado, por ejemplo donde $n = 100$. Entonces, en $n = 100$, tendremos:

$$\begin{aligned} X_1 &= sn + h_2 \\ &= (0,02811) (100) + 1,5678 \\ &= 2,811 + 1,5678 \\ &= 4,3788 \\ X_2 &= sn - h_1 \\ &= (0,02811) (100) - 1,2211 \\ &= 2,811 - 1,2211 \\ &= 1,5899 \end{aligned}$$

Los datos precedentes son objeto de transposición en la figura 5.11 y los puntos se enlazan para formar los límites del plan. Tenemos en tal caso que tanto los sectores de aceptación como de rechazo se encuentran por encima del eje horizontal, de forma que para este ejemplo no resulta posible aceptación alguna de un lote hasta que por lo menos 44 unidades hayan sido objeto de inspección.

FIG. 5.11 Plan de muestreo secuencial con $\alpha = 5$ por ciento en $p_1 = 0,01$ y $\beta = 10$ por ciento en $p_2 = 0,06$



DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

TABLA 5.2 Decisiones de aceptación o rechazo con relación a una gama de defectos y de números objeto de muestreo

Gama de n	Rechazar cuando el número de unidades defectuosas es:	Gama de n	Aceptar cuando el número de unidades defectuosas es:
2-15		0-43	No es posible una decisión. Proseguir el muestreo.
16-51	2	44-80	0
52-86	3	81-114	1
87-121	4	115-150	2
	5		

Señalemos que, si se prefiere, cabe desarrollar una tabla en la que figuren las decisiones en lugar de referirse al gráfico. La tabla 5.2 El ejemplo siguiente se apoya en la figura 5.11 y/o la tabla 5.2. Dos lotes, el 1 y el 2, se inspeccionan componente a componente, traduciéndose tal labor en el resultado siguiente (estos ejemplos aparecen transpuestos en la figura 5.11).

- Lote 1: Componentes 1-10 Correcto
 11 Defectuoso
 12-23 Correcto
 24 Defectuoso
 25-40 Correcto
 41 Defectuoso
 Medida a adoptar: Rechazar el lote 1
- Lote 2: Componentes 1-30 Correcto
 31 Defectuoso
 32-81 Correcto
 Medida a adoptar: Aceptar el lote 2

Gráficos de control por atributos (gráficos p): Tal como se ha señalado anteriormente, la distribución binomial no sólo resulta útil en el trazado de la curva OC para el número de unidades defectuosas sino que también cabe utilizarla para desarrollar un gráfico de control que sería de utilidad en aquellos casos en que la producción puede clasificarse simplemente como buena o mala. Sectores típicos de aplicación los tenemos en la determinación de la exactitud en la distribución interna del correo, el porcentaje y fuentes de error en la perforación de fichas, el número y aceptabilidad de equivocaciones en la facturación, y la cantidad esperada de errores tipográficos en un escrito mecanografiado o en la impresión de un periódico.

El procedimiento para desarrollar un gráfico de control puede describirse de la forma siguiente. Supóngase que se desea establecer algún sistema de control para las perforistas que se desea verificar el perforado, imagínese que se eligen al azar unas 200 fichas de cada caja y se anota el número de errores cometidos, con lo que, dividiendo el número de éstos por 200, es posible determinar la parte de errores en la muestra. Si no se dispone todavía de una medida respecto al rendimiento de las perforistas, cabe valerse de las muestras procedentes de todas ellas para desarrollar un gráfico de control y trazar, tras ello, la fracción correspondiente del gráfico para conseguir un indicio del nivel de calidad de cada perforista. Si inicialmente se han recogido 30 muestras, por ejemplo (como se indica en la tabla 5.3) puede utilizarse esta cifra como base para desarrollar el gráfico de control.

TABLA 5.3 Número de errores de perforación para muestras de tamaño n = 200

Número de la muestra	Número de errores	Fracción defectuosa (número de errores / 200)	Número de la muestra	Número de errores	Fracción defectuosa (número de errores / 200)
1	4	0.02	16	17	0.085
2	8	0.04	17	9	0.045
3	12	0.06	18	13	0.065
4	10	0.05	19	12	0.06
5	14	0.07	20	14	0.07
6	9	0.045	21	14	0.07
7	11	0.055	22	12	0.06
8	13	0.065	23	21	0.105
9	14	0.07	24	13	0.065
10	8	0.04	25	12	0.06
11	10	0.05	26	13	0.065
12	11	0.055	27	12	0.06
13	7	0.035	28	7	0.035
14	11	0.055	29	14	0.07
15	12	0.06	30	11	0.055

La fracción defectuosa media (\bar{p}), la desviación tipo (s_p) y los límites superior e inferior de control se calculan del modo siguiente:

$$\bar{p} = \frac{\text{Número total de defectos en todas las muestras}}{\text{Número de muestras} \times \text{Dimensión de la muestra}}$$

$$\bar{p} = \frac{348}{30 \times 200} = 0,058$$

$$s_p = \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$$

$$s_p = \sqrt{\frac{0,054636}{200}} = 0,0165$$

Los límites de confianza más corrientes son 99,0 y 99,7 por ciento, es decir, aquellos en los que la posibilidad de una repetición es igual a uno por 100 y tres por 1000 respectivamente. En una tabla de distribución normal de doble banda, 99 por ciento del área debajo de la curva queda incluido dentro del margen de desviaciones tipo más o menos 2,58, mientras que un 99,7 por ciento contiene las desviaciones tipo más o menos 3,00.

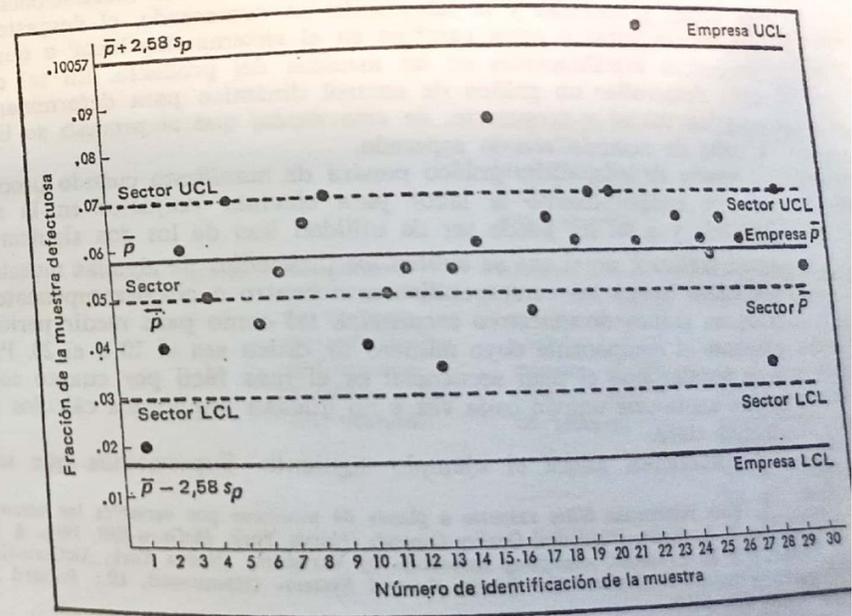
Para un grado de seguridad del 99 por ciento, los límites se sitúan en $\bar{p} \pm 2,58s_p$. Así,

$$UCL = \bar{p} + 2,58s_p = 0,10057$$

$$LCL = \bar{p} - 2,58s_p = 0,01543$$

Los límites de control y los resultados individuales de la muestra aparecen en la figura 5.12. El rendimiento de las perforistas puede observarse ahora a lo largo del tiempo e identificando el origen de la

FIG. 5.12 Gráfico de control para perforistas (dimensión de la muestra n = 200; propio \bar{p} de la firma, LCL y UCL transpuestos partiendo del rendimiento conocido del operador en el sector)



muestra; también cabe comparar el rendimiento de cada operadora individual con respecto al promedio correspondiente al grupo. Obsérvese, por ejemplo, que la muestra 23 se encuentra fuera de los límites de control, sugiriendo con ello la conveniencia de una investigación respecto a la causa.

Supóngase, con carácter de información adicional, que el promedio del sector para las perforistas clasificadas como «buenas» es de un 5 por ciento de errores ± 2 por ciento (con una exactitud del 99 por ciento). Estos límites cabe situarlos también en el gráfico para añadirle una medida adicional de control. (Los límites se fijan en añadirle una medida adicional de control. (Los límites se fijan en 3 y 7 por ciento.) Este gráfico de control, si se actualiza ocasionalmente para \bar{p} y s_p , proporcionará una medida constante de rendimiento y perfeccionamiento a través del tiempo.

MUESTREO POR VARIABLES

En esencia, el desarrollo de planes de muestreo por variables es paralelo al de muestreo por atributos. Ahora bien, aun cuando las derivaciones estadísticas resultan mucho más complicadas y se sitúan más allá del propósito de este capítulo (7), vale la pena citar un valioso tipo de gráfico de control que es mucho más apropiado a la medición por variables que por atributos. Añadamos que, conocido como *gráfico de control dinámico*, tales aplicaciones se orientan, generalmente, hacia la verificación de un proceso en marcha.

Es relativamente frecuente el que una vez las instalaciones ya se hallan preparadas y la fabricación ha comenzado, el desgaste de las herramientas u otros cambios en el sistema den lugar a que se produzcan modificaciones en las medidas del producto. En tal caso cabe desarrollar un gráfico de control dinámico para determinar la posición inicial y asegurarse, de este modo, que el proceso se lleva a cabo de acuerdo con lo esperado.

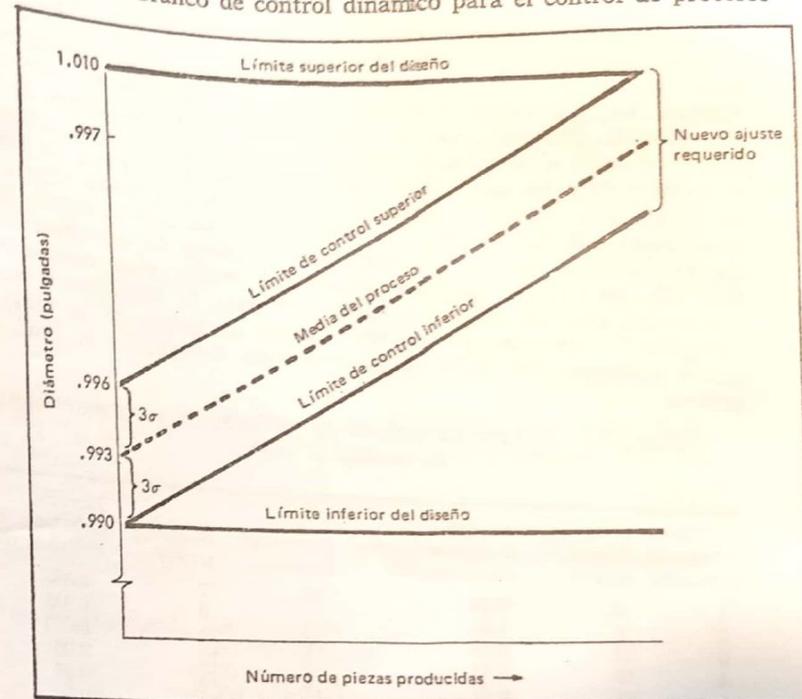
Aparte de ello, dicho gráfico pondrá de manifiesto cuándo procede detener temporalmente la labor para efectuar reajustes en la maquinaria y a tal fin puede ser de utilidad uno de los dos siguientes:

- un gráfico \bar{X} en el que se anoten los promedios de algunas muestras reducidas (quizá las correspondientes a cuatro o cinco componentes), o
- un gráfico de muestreo secuencial, tal como para medir periódicamente el componente cuyo número de orden sea el 10 o el 20. Procede señalar que el plan secuencial es el más fácil por cuanto solamente anota una unidad cada vez y no quedan implicados cálculos de ninguna clase.

Consideremos ahora el ejemplo siguiente. Supongamos que una

7. Unas referencias útiles respecto a planes de muestreo por variables los tenemos en Eugene L. Grant, «Statistical Quality Control» (Nueva York, McGraw-Hill, 1964), A. H. Bowker y H. P. Goode, «Sampling Inspection by Variables» (Nueva York, McGraw-Hill, 1952) y Robert B. Fetter, «The Quality Control System» (Homewood, Ill.: Richard D. Irwin, Inc. 1967).

FIG. 5.13 Gráfico de control dinámico para el control de procesos



pieza dada debe ajustarse a las especificaciones $1,000 \pm 0,010$ pulgadas y que la producción de la máquina a utilizar puede representarse mediante una distribución normal con $\sigma = 0,001$ pulgadas. Supóngase, además, que 3σ es lo que se establece como límite de control, es decir, que un 99,73 por ciento de las piezas producidas se ajustarán a las especificaciones establecidas. El problema, por tanto, consiste en desarrollar un gráfico de control para el muestreo secuencial unitario (las piezas son cada vez mayores a medida que avanza la fabricación).

El procedimiento es como sigue: Dado que el límite inferior permite un diámetro de 0,990 pulgadas ($1,000 - 0,010$), se añade simplemente 0,003 (3σ) a 0,990 para llegar al límite a que debe ajustarse la máquina inicial, o sea 0,993 pulgadas. Las piezas subsiguientes cabe esperar que queden comprendidas dentro de los límites, tal como se ilustra en la figura 5.13, pero si no es así, debe examinarse el equipo para detectar cualquier posible desgaste en los cojinetes u otras partes, extremo éste que depende de la forma en que sale la fabricación.

Los gráficos de control dinámico de esta clase encuentran su máxima utilización en los programas de fabricación dilatados que requieren un reajuste periódico de las herramientas.

FACTORES DEL CONTROL DE CALIDAD EN LAS INDUSTRIAS DE SERVICIOS

Conforme se ha señalado anteriormente, para desarrollar un programa de control de calidad deben establecerse de forma clara cinco puntos: 1) ¿Qué es lo que debe inspeccionarse? 2) ¿Dónde debe inspeccionarse? 3) ¿Cómo debe llevarse a cabo la inspección? 4) ¿Cuáles son las unidades de medida? 5) ¿Cuáles son los criterios a seguir para la aceptación o el rechazo?

Cuando un sector no ha sido sometido previamente a un control de calidad estadístico, los factores de coste resultan con frecuencia difíciles de calcular e inadecuados por lo que se refiere a su utilización como única base que venga a justificar el procedimiento de inspección. Una calidad deficiente puede ejercer una variedad tal de impactos sobre la organización que es útil, como paso inicial, redactar una lista de las consecuencias que puede tener tal circunstancia sobre diversas áreas o sectores operacionales. En la tabla correspondiente a un centro sanitario, por ejemplo, unas sábanas un tanto raídas puede ejercer, como máximo un impacto sobre la imagen del centro, lo cual, después de todo, encierra una importancia relativa. Sin embargo, tratándose del personal médico, la calidad deficiente puede traer como consecuencia el que fallezca algún paciente y se originen procesos judiciales, así como que se cause un daño irreparable a la fama que el centro tenga. En ambos casos, una tabla de este tipo, que indica de forma amplia las consecuencias que derivan de una falta de calidad, no sólo resulta útil para establecer una jerarquía prioritaria sino que además indica cuáles son los sectores que conviene atender primero cuando se tiene la intención de desarrollar un programa general de control de calidad.

ACTIVIDADES SANITARIAS

De hecho, pueden utilizarse casi todos los sistemas de control de calidad en las actividades de carácter sanitario, donde resulta frecuente oír comentarios tales como «los métodos científicos tradicionales no resultan de aplicación cuando se halla en juego una vida humana» o bien «no debe existir limitación en los costes tratándose de la existencia de una persona». No obstante, las afirmaciones de este tipo no tienen razón alguna de ser aun cuando, y ello es cierto, el hecho de que esta actividad se ocupe de la vida humana hace todavía más importante el que se utilicen las mejores técnicas disponibles para determinar y asegurar unos niveles de calidad aceptables. La tabla 5.4 incluye algunas características esenciales en un sistema de control de calidad para un centro sanitario.

TABLA 5.4 Algunas características esenciales de un sistema de control de calidad en un centro sanitario

Puntos de inspección	Ejemplos de lo que conviene considerar	Consecuencias de las desviaciones	Posible método de inspección
Pruebas de laboratorio.	Exactitud en la lectura.	Diagnóstico inexacto, posibilidad de graves consecuencias.	El técnico jefe del laboratorio hace un muestreo de las pruebas terminadas. Equipo automático ajustado para unas lecturas y ensayos razonables efectuados sobre muestras conocidas.
Farmacia.	Fechas de validez de los medicamentos; exactitud en las peticiones.	Desde poco importantes a fatales.	Nueva y completa comprobación. El farmacéutico atiende las recetas, verifica y envasa; formula preguntas al médico con relación a dosis importantes.
Administración.	Limpieza.	Las zonas faltas de limpieza incrementan la probabilidad de una infección.	El supervisor procede a comprobar comparando con las normas establecidas.
Salas de operaciones.	Condiciones asépticas, equipo correcto, procedimientos quirúrgicos, limpieza a fondo, vestido.	Procesos judiciales, tratamiento equivocado, posible fallecimiento o lesión, pérdida de imagen.	El ayudante técnico sanitario se asegura de que el paciente admitido es el que corresponde para la intervención quirúrgica programada; comprueba el gráfico y el procedimiento quirúrgico; procede a contar el instrumental y las compresas.

Puntos de inspección	Ejemplos de lo que conviene considerar	Consecuencias de las desviaciones	Posible método de inspección
Entradas.	Comprobación de la información respecto al paciente; formularios cumplimentados.	Generalmente inconvenientes leves o petición posterior de explicaciones.	Si son computarizadas, se verifican mediante técnicas tales como la que se vale del número de asegurado, edad de los niños en comparación con la edad y estado civil de los pacientes.
Facturación.	Indemnizaciones cubiertas por el seguro, facturación tardía, exactitud en los importes.	Dinero perdido o cobros retrasados.	Comparar la estancia del paciente con la fecha de facturación y la de alta en el seguro.
Servicio de enfermeras.	Gráficos al día, medicación en el momento oportuno, medicación correcta, lecturas de temperatura y del pulso en el instante adecuado, informes sobre curso de las enfermedades.	Incomodidad, recuperación diferida del paciente, degradación de la imagen del centro.	El supervisor comprueba la labor; los informes sobre incidencias son examinados diariamente.
Lavandería.	Limpieza, sustitución dentro de los plazos previstos.	Degrada la imagen del centro, posible contaminación.	El supervisor inspecciona la ropa de cama.
Servicio de comidas.	Calidad de alimentos precocinados, método de preparación, comidas a su debido tiempo y satisfactorias.	Satisfacción del paciente, mejora la imagen del centro.	El experto en dietética inspecciona todos los alimentos; los artículos congelados y envasados son objeto de muestreo a efectos de deter-

Puntos de inspección	Ejemplos de lo que conviene considerar	Consecuencias de las desviaciones	Posible método de inspección
Pacientes externos.	Instalaciones disponibles, nivel de utilización.	Exceso de visitas o infrautilización.	minar posibles limitaciones en las dietas y establecer la calidad; las quejas del cliente son estudiadas.
Suministros centrales.	Disponibilidades de ropas de cama, instrumental médico, jeringuillas de inyecciones, asepsia del material.	Retrasos, infecciones producidas por material sin esterilizar.	Quizás el departamento de emergencias puede proceder a un análisis.
Plantilla de personal médico.	Competencia, exactitud en los diagnósticos, cirugía y servicio aceptables.	Procesos judiciales, reclamaciones por negligencia, pérdida de imagen del centro, fallecimiento o lesión del paciente.	Adhesivo indicador de que se ha efectuado la esterilización. Indicador para determinar si los envases han sido abiertos o presentan algún derrame; fechado de envases.
			Observación adecuada por especialistas antes de que se conceda la asistencia del centro sanitario. Análisis de procedimientos revisados en todos los casos difíciles. Un comité analiza todos los gráficos correspondientes a informes patológicos.

Los bancos, en la actualidad, no utilizan de modo amplio el control estadístico de calidad y lo que hacen es, por regla general, el control con una norma o pauta previamente establecida diversos valores comparables o la composición de las cuentas, norma ésta que viene determinada por la ley o por una política adoptada por el establecimiento bancario. Aun cuando no es habitual el que se haga uso de planes de muestreo estadístico de carácter formal, sí es cierto que se lleva a cabo un muestreo periódico en las cuentas corrientes a la vista y en las de ahorro. Sin embargo, tratándose de una cartera de préstamos, su mayor cuantía, que acostumbra a ser los superiores a 1 o un 01 por ciento de la cifra total. Procede señalar que aun cuando los datos son objeto de control periódico por parte de un equipo interno de interventores, este control no tiene base estadística y algunas operaciones de liquidez, tales como las carteras de inversiones y los préstamos de liquidez, no se hallan bajo el control de las sucursales sino que es la oficina central la que refiere para sí la responsabilidad correspondiente a cada una para las operaciones que desarrolla, infiere, pues, que mantener los porcentajes correctos de desarrollo. Se función que compete a la oficina central, la cual distribuye periódicamente y a tal fin instrucciones generales entre las diversas sucursales, como por ejemplo «no se aceptan pagarés con vencimiento superior a 90 días», «no se conceden préstamos comerciales», o «los préstamos de mejora se concederán sólo sobre viviendas ocupadas por su propietario». La tabla 5.5 incluye algunos puntos característicos y esenciales de un sistema de control de calidad bancario.

COMPAÑÍAS DE SEGUROS

Una buena parte de las operaciones que lleva a cabo cualquier compañía de seguros pertenece al ámbito de la manipulación de anotaciones y de la contabilidad con lo que, con sus múltiples cuentas de carácter similar, resulta fácil aplicar un control de calidad estadístico. Con tal objeto cabe contemplar el uso de unos impresos normalizados y de esta forma los errores repetidos indicarán la probabilidad de que se haya utilizado una redacción impropia o algo impreciso.

En esta actividad, la facturación, los pagos de primas y las reclamaciones son fáciles de clasificar para determinar la debida exactitud, si bien el muestreo sistemático en lugar del que se hace al azar resulta más fácil de emplear. Por ejemplo, si el nivel de seguridad de un plan dado estipula que un 10 por ciento de las cuentas han de ser objeto de muestreo, cabe utilizar un «sistema» que inspeccione cada cuenta terminada en cero. Una vez más tenemos algunos de los rasgos esenciales de un sistema de control de calidad en la tabla 5.6.

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

221

Tabla 5.5 Algunas características esenciales de un sistema de control de calidad en una institución bancaria

Puntos de inspección	Ejemplos de lo que conviene considerar	Consecuencias de las desviaciones	Posible método de inspección
Porcentaje de préstamos.	Insuficiente o excesivo.	Pérdida de beneficio, fondos inadecuados.	Tabulación completa comparada con la norma.
Base de activo.	Reducido o elevado.	Invertida en valores de rendimiento bajo, utilización menos arrisgada de los fondos; un activo elevado permite un riesgo mayor.	Informes rutinarios.
Porcentaje de liquidez.	Porcentaje entre la corto plazo y el total.	Pérdida elevada de beneficio potencial; nivel bajo de capacidad para atender cobros elevados o conceder nuevos préstamos.	Tabulación comparada con la norma.
Cartera de préstamos.	Garantía colateral, nivel de riesgo, duración del plazo.	Posibles fallidos.	Revisiones internas, así como llevadas a cabo por la Reserva Federal y el Estado para determinados bancos.
Margen.	Reservas adecuadas.	Violación de las normas.	Observación rutinaria.
Cuentas de ahorro.	Exactitud.	No es grave para el banco pero da origen a clientes descontentos, pérdida de prestigio y de operaciones.	Muestreo de las cuentas.
Cuentas corrientes.	Exactitud, cuentas en descu-bierto.	Como el anterior, además de posibles pérdidas sobre descubiertos si los mismos se atienden.	Muestreo rutinario más cuentas inactivas.

Puntos de inspección	Ejemplos de lo que conviene considerar	Consecuencias de las desviaciones	Posible método de inspección
Ahorros respecto al total de depósitos.	Porcentaje.	Porcentajes elevados que se traducen en unos costes de intereses mayores.	Observación ocasional.
Operaciones de caja.	Faltas o sobran-tes de dinero, comportamiento ante el público.	Pérdida de prestigio.	Hojas de operaciones diarias, observación subjetiva general.

PROGRAMAS DE COMPUTADORA DE CONTROL DE CALIDAD

La aparición de las computadoras ha añadido una nueva dimensión al eliminar la mayoría de los aburridos cálculos que otrora eran necesarios para introducir y mantener un sistema de control de calidad.

Es muy amplia la variedad de programas de ordenador que se encuentra disponible, tanto en el tratamiento a tiempo real como en el uso a tiempo compartido vía terminal remota. De hecho, todos los fabricantes de computadoras y también muchas firmas de servicios disponen de programas que se encuentran a la disposición de los clientes. Los siguientes ejemplos constituyen una indicación de unos cuantos de los programas con que cuenta una de estas empresas (8).

Programa	Descripción
ML105 §	Determina el plan de muestreo para establecer combinaciones de AOQL, dimensiones del lote, etc., y al azar determina cuáles son las piezas que han de someterse a muestreo de acuerdo con Mil-Std-105D.
TABF1 § 414F1 §	Lleva a cabo análisis de las muestras con desviación tipo desconocida, método de desviación normal de acuerdo con Mil-Std-414.
HISTO §	Desarrolla estadísticas de muestreo y establece un histograma de escala variable.
MLBIN §	Evalúa los planes de muestreo múltiples en los que el usuario inspecciona un número dado de piezas tomadas de un lote importante y acepta, rechaza o efectúa un nuevo muestreo basándose en el número de piezas defectuosas halladas (distribución binomial).

8. TIME/WARE Corp. 688 Redwood City, Calif. 94063. Nuestro agradecimiento por habérsenos permitido reproducir partes diversas de su «Quality Control Package-User's Manual».

TABLA 5.6 Algunas características esenciales de un sistema de control de calidad en una compañía de seguros

Puntos de inspección	Ejemplos de lo que conviene considerar	Consecuencias de las desviaciones	Posible método de inspección
Departamento postal.	Envío correcto.	Pérdida de tiempo y/o del objeto.	Inspección y tabulación de errores.
Inscripción de las solicitudes de los asegurados.	Legibilidad, redacción correcta, datos lógicos.	Reinscripción cara. Pólizas extendidas a favor de personas sin derecho a ellas o sobre la base de primas equivocadas.	Examen por un supervisor; utilización de muestreos y de gráficos de control para detectar tendencias erróneas.
Facturación de primas vencidas.	Exactitud en el importe, seguridad de que el asegurado es realmente facturado.	Pérdida del cliente. Prescripción no intencionada de la póliza.	Muestreo efectuado por el supervisor.
Recepción de pagos de primas.	Cantidades ilógicas, códigos y datos impropios.	Pérdidas financieras, pólizas prescritas, pérdida de clientela.	Inspección efectuada por el supervisor.
Reclamaciones.	Número de póliza y validez del código. Exactitud en la reclamación.	Reclamaciones de los clientes, pérdida de imagen de la compañía, servicio deficiente, incremento de la correspondencia con el cliente, pérdida financiera para la compañía.	Muestreo al azar efectuado por el supervisor; inspección al 100 por cien en las reclamaciones importantes.
RANDM §	Elige al azar piezas para inspección con relación a un lote dado y a una dimensión de la muestra. Elimina cualquier prejuicio del inspector en la elección de cuáles son las piezas a verificar.		
OCBIN §	Traza la curva característica o la probabilidad de aceptación en función del número de piezas defectuosas (distribución binomial). El usuario proporciona la dimensión de la muestra y el número de piezas defectuosas requeridas para rechazar el lote.		

- PCHRT \$** Permite disponer de un gráfico de control sobre el portento de rechazos. El programa determina los límites de control superior e inferior y traza un gráfico de control para los datos facilitados.
- CONLM \$** Determina los límites de confianza y estadísticas de muestreo respecto a la media de un proceso.
- TOLLM \$** Calcula los límites de tolerancia natural respecto a un por ciento de confianza de que un 95 por ciento de las piezas son satisfactorias. Particularmente útil en el análisis del ritmo inicial de producción.
- MLREG \$** Supone una ayuda en la fijación de la relación entre un número dado de variables mediante las correspondientes curvas y un índice de determinación.
- TRIMY \$** Analiza los efectos de variar tres factores. Por ejemplo, ¿existe un efecto causado por el turno de trabajo, la cadena de fabricación y el tipo de producto sobre el nivel de rechazo? Proporciona un análisis de la tabla de varianzas.
- MTBFM \$** Evalúa un plan de ensayo real y múltiple cuando el usuario especifica la duración de dicho ensayo, así como la aceptación, el rechazo o el remuestro basándose en el número de fallos. El programa traza una curva característica basada en el tiempo promedio transcurrido entre cada dos fallos.
- TSBIN \$** Analiza los resultados de varias muestras para determinar diferencias importantes entre los niveles de rechazos; por ejemplo, si las muestras de un género recibido de dos vendedores contienen un número diferente de piezas rechazadas, ¿existe una diferencia entre ambos vendedores?

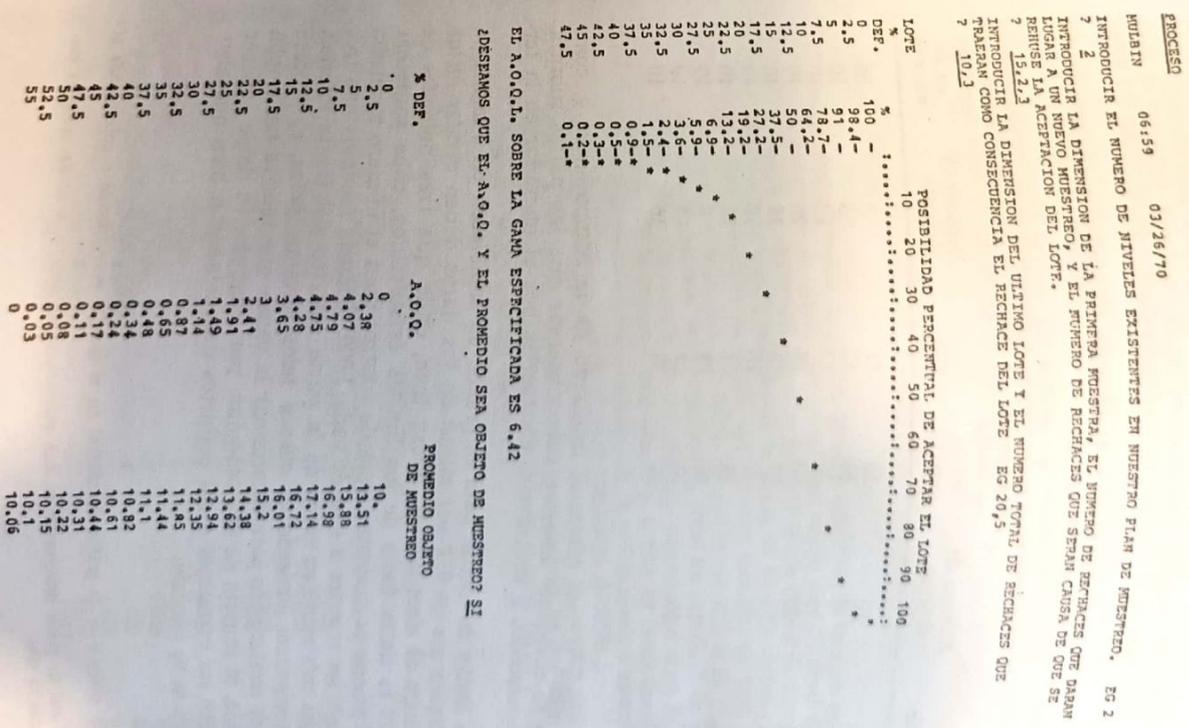
Para ilustrar la facilidad con que cabe utilizar estos programas se darán dos ejemplos, uno de ellos valiéndose de una curva característica y el segundo trazando un gráfico de control.

1. *El muestreo por atributos con un plan de muestreo doble.* Se acaba de recibir un envío y debe adoptarse una decisión con relación a si procede aceptar o rechazar el lote. Las unidades inspeccionadas se declaran o buenas o malas a cuyo fin se considera, de la forma siguiente, un plan de muestreo doble:

Tómese una muestra integrada por 15 unidades. Si ninguna de ellas es mala, debe aceptarse el lote. Si se encuentran tres o más que son malas, debe rechazarse el lote. Si son dos las malas, tómese una nueva muestra.

A continuación, con una segunda muestra de 10 unidades, acéptese el lote únicamente si todas son buenas; si no es así, recházese. El problema consiste en trazar la curva característica de explotación y determinar el nivel de calidad promedio. La figura 5.14 indica la interacción entre terminal y operador y en ella las partes subrayadas son las que constituyen una entrada efectuada manualmente mientras que todas las demás han sido impresas por la computadora.

FIG. 5.14 Output en la terminal de la computadora MLBIN\$



2. Gráfico de control para el número de unidades defectuosas: (9)
 Debe inspeccionarse un número dado de características para cada unidad producida, procurando que cada defecto tenga igual valor. Se instituye entonces un gráfico de control mediante el cual se procederá a examinar diariamente una muestra de 10 unidades tomadas al azar para determinar si el proceso se desarrolla dentro de unos límites aceptables.

Los datos correspondientes al número de defectos observados en el curso de los últimos 20 días son:

Día	Número de defectos	Número de unidades en la muestra	Día	Número de defectos	Número de unidades en la muestra
1	20	10	11	26	10
2	18	10	12	22	10
3	16	10	13	20	10
4	30	10	14	35	10
5	35	10	15	18	10
6	18	10	16	16	10
7	26	10	17	8	10
8	14	10	18	15	10
9	40	10	19	16	10
10	8	10	20		

La figura 5.15 nos ofrece el resultado de la computadora y, como ocurre en el ejemplo anterior, cabe observar que las partes subrayadas corresponden a anotaciones efectuadas por el operador en la terminal.

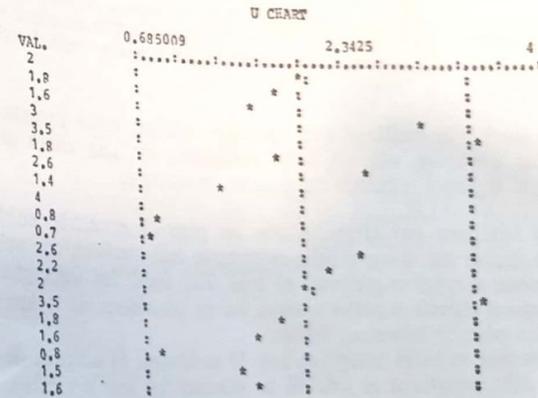
Los límites de control para el gráfico se establecen en 3 sigma, lo cual implica que un 99,7 por ciento de los datos deben quedar incluidos dentro de estos límites. Ahora bien, dado que tres unidades de cada 20 se sitúan fuera de los límites establecidos, cabe sospechar que el proceso se encuentra fuera de control pues el número promedio no puede ser superior a tres de cada 1.000. Además tenemos que tres unidades más aparecen cerca de la parte interior del límite inferior. Por consiguiente, teniendo en cuenta tales circunstancias, el proceso debe ser reexaminado para determinar la causa que motiva tan amplia variación. Si se trata de una máquina, por ejemplo, es dable suponer que tiene sus engranajes o sus cojinetes desgastados o bien que alguna pieza se ha aflojado.

9. Un gráfico \bar{p} es un gráfico de control en el que $\bar{p} = \frac{c}{k}$, donde c corresponde al número total de piezas defectuosas en una muestra cualquiera y k al de unidades inspeccionadas en ella.

Fig. 5.15 Output en la terminal de la computadora UCHRT \$

```

PROCESO
UCHRT$
19:48 06/04/70
INTRODCIR EL NUMERO DE MUESTRAS 20
INTRODCIR UNA MUESTRA CADA VEZ. EL NUMERO DE PIEZAS
DEFECTUOSAS Y DE UNIDADES INSPECCIONADAS
MUESTRA # 1 ? 20,10
MUESTRA # 2 ? 18,10
MUESTRA # 3 ? 16,10
MUESTRA # 4 ? 30,10
MUESTRA # 5 ? 35,10
MUESTRA # 6 ? 18,10
MUESTRA # 7 ? 26,10
MUESTRA # 8 ? 14,10
MUESTRA # 9 ? 40,10
MUESTRA #10 ? 8,10
MUESTRA #11 ? 7,10
MUESTRA #12 ? 26,10
MUESTRA #13 ? 22,10
MUESTRA #14 ? 20,10
MUESTRA #15 ? 35,10
MUESTRA #16 ? 18,10
MUESTRA #17 ? 16,10
MUESTRA #18 ? 8,10
MUESTRA #19 ? 15,10
MUESTRA #20 ? 16,10
    
```



CONCLUSION

Las decisiones respecto a la calidad revisten importancia capital para la mayoría de firmas, y ejercen una influencia decisiva sobre la imagen de las mismas, la selección de productos, los procesos de fabricación y las relaciones con los clientes. Buena parte de este capítulo

ha sido dedicado a esta influencia dominante así como a poner de manifiesto la estructura de diversos sistemas de control de calidad en los ambientes fabriles y en los que no lo son. Nosotros, por nuestra parte, vemos el desarrollo futuro del control de calidad como centrándose sobre el objetivo de conseguir una mayor perfección en los sistemas elegidos y extendiendo su aplicación en el marco general de las organizaciones en lugar de desarrollar nuevos conceptos estadísticos. De acuerdo con lo dicho en la introducción, los aspectos estadísticos de la cuestión se hallan bien desarrollados y corresponden a la industria el convertir la teoría en práctica.

La calidad «ideal» en la producción de una firma puede definirse como el punto de diferencia máxima entre coste de producción y valor que supone para el cliente. De aquí que, en general, el objetivo de una firma no deba ser la consecución de una calidad perfecta por cuanto el incremento en el valor del producto para el cliente raramente compensa el aumento de coste que implica alcanzar la perfección. En todos los casos, al decidir respecto a un programa de control de calidad debe adoptarse un punto de vista equilibrado con relación a los propósitos de la firma, el medio en que desarrolla sus actividades y los costes pertinentes.

PREGUNTAS DE REPASO Y DISCUSIÓN

1. Analicéanse algunas de las dificultades con que se tropieza al tratar de definir la calidad. Indíquense algunas de las formas en que resulta posible una definición.
2. ¿Cuál es, idealmente, el nivel óptimo de calidad que debe perseguir una firma?
3. ¿Cuál es nuestra reacción ante el comentario frecuentemente expresado de que conviene esforzarse para alcanzar la máxima calidad posible?
4. ¿Por qué el nivel general de calidad del producto debe establecerse por la dirección corporativa antes que por un nivel inferior?
5. ¿Cuáles son las responsabilidades contraídas por una firma respecto a sus clientes para garantizar la calidad de sus productos?
6. ¿Debería ser una firma legalmente responsable por su producción de unidades defectuosas (por ejemplo, un marcapasos, un componente de la dirección en un automóvil, algún juguete infantil)?
7. Analicéanse el conjunto de hechos descritos en el programa general de garantía de calidad descrito en la figura 5.4.
8. ¿Cómo podemos determinar a qué nivel organizativo el jefe de control de calidad debería situarse?
9. Con el fin de disponer de un sistema de control de calidad, ¿cuáles son las cantidades básicas que precede especificar?
10. Supóngase, como administrador adjunto de un centro sanitario, que se nos ha pedido que sometamos a consideración un plan de control de calidad para el próximo año así como otro para el quinquenio venidero. ¿Cuál ha de ser la estructura de tales planes?

11. Resumamos, de forma concisa, cómo difiere el muestreo por atributos del efectuado por variables.
12. ¿Cuál es el significado de riesgo del productor y riesgo del consumidor?
13. ¿Cuándo se halla justificado el coste de inspección o cuándo no vale la pena instituir un sistema encaminado a tal fin?
14. Describábase brevemente un gráfico P y explíquese por qué se basa en una distribución binomial.
15. ¿Cómo cabe utilizar los sistemas de control de calidad en los tipos de servicios siguientes? Compañías aéreas, comercios de automóviles, consultas médicas, *drugstores* y grandes almacenes.

PROBLEMAS

1. Los departamentos de policía (local y estatal) están tratando de determinar el porcentaje de delitos por zonas con objeto de redistribuir sus patrullas y reducir su número en aquellos sectores donde el nivel de transgresiones es decreciente y aumentarlo donde se acusa un alza. La ciudad y el condado se hallan divididos en zonas que abarcan alrededor de 5.000 residencias. La policía admite que no todos los delitos son objeto de denuncia, pues algunos no quieren verse implicados, otros los consideran de poca importancia para dar cuenta de los mismos, mientras que otros finalmente encuentran difícil redactar una denuncia o bien no tienen tiempo para ello. Cada mes, debido a tal circunstancia, la policía establece contacto telefónico con una muestra tomada al azar compuesta de 1.000 domicilios entre los 5.000 de la zona. En esta labor se solicitan datos sobre delitos (las personas contactadas reciben la necesaria garantía de que serán mantenidas en el anonimato). Los datos reunidos en el curso de los últimos 12 meses para un sector son los siguientes:

Mes	Incidencia del delito	Dimensión de la muestra	Porcentaje
Enero	7	1.000	0,007
Febrero	9	1.000	0,009
Marzo	7	1.000	0,007
Abril	7	1.000	0,007
Mayo	7	1.000	0,007
Junio	9	1.000	0,009
Julio	7	1.000	0,007
Agosto	10	1.000	0,010
Septiembre	8	1.000	0,008
Octubre	11	1.000	0,011
Noviembre	10	1.000	0,010
Diciembre	8	1.000	0,008

Desarrollése un gráfico p que tenga un 95 por ciento de garantía ($1,96 \sigma$) y transpónganse los datos correspondientes a cada uno de los meses. Si los tres meses próximos indican una incidencia del delito en este sector igual a:

Enero = 10 (de entre los 1.000 tomados como muestra)
 Febrero = 12
 Marzo = 11

¿cuáles son los comentarios que cabe hacer respecto al porcentaje de delitos?

2. Algunos ciudadanos se quejaron ante los concejales del ayuntamiento en el sentido de que debería existir una protección uniformizada de la ley contra la delincuencia. Los argumentos aducidos por los ciudadanos sostenían que esta «protección uniformizada» debía interpretarse en el sentido de que las zonas con un nivel de delitos más elevado debían contar con mayor protección policiaca que aquellas donde dicho nivel era más bien bajo. Por lo tanto, las patrullas de policía y otros métodos para impedir el delito (tal y como una buena iluminación en las calles así como «limpiar» los lugares y edificios abandonados) debía utilizarse de modo proporcional al nivel de transgresiones cometidas.

En forma similar al problema 1, la ciudad ha sido dividida en 20 zonas geográficas, cada una de las cuales engloba 5.000 residencias. Las 1.000 tomadas como muestra en cada zona pusieron de manifiesto la siguiente incidencia de delitos en el curso del pasado mes.

Zona	Número de delitos	Dimensión de la muestra	Porcentaje
1	7	1.000	0,007
2	3	1.000	0,003
3	9	1.000	0,009
4	8	1.000	0,008
5	7	1.000	0,007
6	12	1.000	0,012
7	6	1.000	0,006
8	9	1.000	0,009
9	6	1.000	0,006
10	3	1.000	0,003
11	9	1.000	0,009
12	7	1.000	0,007
13	6	1.000	0,006
14	8	1.000	0,008
15	6	1.000	0,006
16	12	1.000	0,012
17	4	1.000	0,004
18	9	1.000	0,009
19	6	1.000	0,006
20	13	1.000	0,013

150

- Sugiérase una redistribución del esfuerzo encaminado a proteger contra el delito basado sobre el análisis de un gráfico p . Al objeto de que podamos tener la razonable certeza en nuestra recomendación, debemos elegir un nivel de seguridad del 95 por ciento (es decir, $1,96 \sigma$).
3. Hagamos una visita a una institución local, tal como el departamento de policía, el cuartelillo de bomberos, unos grandes almacenes, la compañía telefónica, los servicios de limpieza, gas y electricidad o aguas potables, una firma constructora, un restaurante o un hotel para tener idea del nivel de calidad que aplica. Hagamos una lista de los puntos que nos conviene inspeccionar, por ejemplo, cuáles son sus propósitos, cómo evalúan la calidad, y cuáles son las consecuencias que, en su opinión, se producen cuando la misma es deficiente. Utilicemos como guía la sección correspondiente del capítulo que trata del control de calidad en las actividades de servicios.
4. Se ha montado un proceso para la fabricación de rodamientos destinados a una gama de motores para lavadoras. Para que ajusten correctamente, el diámetro interior de los rodamientos debe ser de 0,7000 pulgadas con una tolerancia de $\pm 0,0050$. La maquinaria tiene una variación natural en su producción de $\sigma = 0,0005$ pulgadas (distribuida normalmente) y el diámetro de los rodamientos se va reduciendo a medida que las herramientas se desgastan.
- a) Trácese un gráfico de control dinámico para aceptar el 99 por ciento de la producción ($2,58 \sigma$) durante el periodo de tiempo más prolongado que se pueda antes de que la herramienta deba ser sustituida.
- b) Si el proceso significa una modificación de 0,001 de pulgada por cada 100 rodamientos fabricados, ¿cuántos podrán hacerse antes de que deba detenerse el proceso para sustituir la herramienta?
5. Los pistones para los motores Diesel, fabricados en una sección de unos talleres de construcción de locomotoras, se utilizan con posterioridad en el departamento de montaje. La inspección que se lleva a cabo es del 100 por ciento y cualquiera de los que tienen a su cargo tal cometido puede verificar los pistones, respecto a la calidad, a un ritmo promedio de uno cada tres minutos. En el curso de este proceso, el inspector separa todas las unidades defectuosas. El coste total del inspector, incluidas primas especiales, gastos generales y salario, es igual a 8 \$ por hora. El nivel de producción se estima bueno en un 95 por ciento. Digamos, por último, que si se instala un pistón defectuoso en una máquina, ello da lugar a que un mecánico deba emplear una hora en proceder a su sustitución, con un coste total de 9,50 \$ por hora. ¿Resulta justificada la inspección? ¿Cuál es el ahorro o pérdida netos si se efectúa la inspección?
6. El verificar un cohete tierra-tierra para blancos visibles supone efectuar un disparo real del mismo y su ulterior destrucción. Por tanto, para aceptar o rechazar un lote lo aconsejable es someter a ensayo el menor número posible y, a tal fin, un plan secuencial de muestreo ofrece la ventaja de un test valiéndose de un número reducido de unidades.
- a) Desarrollése un plan secuencial de muestreo en el que el fabricante cuente con una probabilidad del 95 por ciento de aceptar cualquier lote con un 0,05 por ciento de cohetes defectuosos y el consumidor

(el ejercicio) hace de una garantía del 90 por ciento de que no aceptará lote alguno que incluya más de un 3 por ciento de unidades defectuosas (es decir: $\alpha = 0,05$; $\beta = 0,10$; $P_1 = 0,05$; $P_2 = 0,05$).

b) ¿Qué número mínimo de unidades debe someterse a verificación con objeto de aceptar el lote? Supóngase que se ha encontrado un cohete defectuoso, ¿qué dimensión ha de tener la muestra de verificación?

7. Para facilitar la función de control, un fabricante quería desarrollar un gráfico que le permitiese determinar el número de discrepancias en los agujeros destinados al montaje de ménsulas (descentrados, deformados, con rebabas o semiladridos) en el chasis de la fuente de alimentación de un televisor de 18 pulgadas. Se han tomado 15 muestras de dimensión de un las discrepancias observadas son las siguientes:

Número de la muestra	Número de errores	Fración defectuosa (errores/100)	Número de la muestra	Número de errores	Fración defectuosa (errores/100)
1	3	0,03	9	3	0,03
2	14	0,14	10	1	0,01
3	8	0,08	11	3	0,03
4	2	0,02	12	8	0,08
5	6	0,06	13	4	0,04
6	7	0,07	14	6	0,06
7	2	0,02	15	2	0,02
8	9	0,09			

- Desarrollése un gráfico de control para una garantía del 99 por ciento (2,58 s).
 - ¿Cómo cabe explicar que la muestra 2 resulte fuera de los límites?
 - Si las tres muestras contienen 9, 10 y 11 unidades defectuosas respectivamente, ¿qué medidas procede adoptar?
8. Un operario, temporalmente encargado de fabricar una pieza sencilla, trata de determinar si el proceso se desarrolla normalmente. Con una rápida ojeada al gráfico de control que le ha sido facilitado por el departamento correspondiente, observa que el límite superior ha sido establecido en 0,062 y la línea central en un 2 por ciento de unidades defectuosas. Sin buscar más información, toma una muestra de 25 piezas de entre las que se están fabricando y comprueba que contiene dos defectuosas. ¿Debería detener el proceso?

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DE CALIDAD

APENDICE: CARACTERÍSTICAS DE TESTS SECUENCIALES DE LA DISTRIBUCION BINOMIAL.

Caridades características de tests secuenciales de la distribución binomial calculada para varias combinaciones de P_1 , P_2 , $\alpha = 0,05$ y $\beta = 0,10$ *

P_1	P_2	h_2	h_1	s	\bar{r}_a	\bar{n}_1	\bar{n}_2	\bar{n}_5	\bar{n}_2
0,005	0,01	4.1393	3.2245	0,007215	447	5	1,283	1,863	1,222
	0,02	2,0624	1,5054	0,01034	149	3	2,44	309	185
	0,03	1,5006	1,2389	0,01400	89	2	1,22	143	82
	0,04	1,3684	1,0543	0,01852	63	2	7,9	87	49
	0,05	1,2305	0,9585	0,01970	49	2	5,8	61	33
	0,06	1,1371	0,8857	0,02237	40	2	4,5	45	25
	0,07	1,0679	0,8318	0,02496	34	2	3,7	35	19
	0,08		2,0118	0,01824	111	3	2,15	290	181
0,010	0,03	2,5829	1,5887	0,02172	74	3	1,30	133	92
	0,04	2,0397	1,3539	0,02489	55	2	8,1	98	58
	0,05	1,7510	1,2211	0,02811	44	2	6,0	70	40
	0,06	1,5878	1,1209	0,03113	37	2	4,7	53	30
	0,07	1,4391	1,0458	0,03406	31	2	3,8	43	24
	0,08	1,3426							
	0,09		4,0736	0,02166	147	5	4,23	612	402
			2,8716	0,02554	88	3	1,88	258	181
0,015	0,04	2,8716	1,8153	0,02917	63	3	1,13	149	92
	0,05	2,3307	1,5710	0,03253	49	3	7,9	100	61
	0,06	2,0169	1,4089	0,03598	40	2	6,0	74	44
	0,07	1,8089							
			6,9527	0,02467	220	8	1,027	1,565	1,073
0,02	0,03	4,0495	3,1541	0,02889	110	5	3,14	455	300
	0,04	3,0509	2,3763	0,03282	73	4	1,84	228	146
	0,05	2,5348	1,9743	0,03655	55	3	1,06	142	89
	0,06	2,2146	1,7250	0,04012	43	3	7,6	99	61
	0,07	1,9941	1,5532	0,04359	36	3	5,8	74	45
	0,08	1,8315	1,4265	0,04696	31	2	4,7	58	35
	0,09	1,7055	1,3285	0,05025	27	2	3,8	47	28

* Resumen, con autorización, de la tabla 2.23 de Statistical Research Group, Universidad de Columbia, «Sequential Analysis of Statistical Data: Applications» (Nueva York: Universidad de Columbia, 1945), págs. 239-242.