



### Concepto de control de la calidad

Si bien es necesario determinar las características y los estándares de nuestro producto para lograr una buena aceptación en el mercado, es igualmente importante que controlemos nuestro proceso productivo para que el producto o servicio que ofrecemos tenga las características de diseño que hemos establecido.

El control de la calidad consiste en la prevención, detección y corrección de los defectos de nuestro producto o servicio, y tiene como objetivo final que el consumidor reciba un producto con las características de calidad establecidas por la empresa. Para lograr este objetivo final se requieren varios objetivos intermedios, como son:

1. Asegurar que los productos que recibimos de nuestros proveedores tengan los estándares de calidad que requiere nuestra empresa.
2. Mantener un proceso de manufactura o de servicio que esté de acuerdo con las especificaciones de diseño que hemos establecido para nuestro producto o servicio.
3. Lograr el más alto nivel de calidad posible para nuestro producto o servicio.
4. Reducir el trabajo de compostura o corrección de errores en la manufactura, así como el número de clientes insatisfechos con nuestro producto o servicio.
5. Reducir los costos internos y externos de la calidad en los que incurrimos debido a la baja calidad de nuestro proceso de manufactura o servicio.

El control del proceso consiste en verificar que los estándares de calidad del producto o servicio que ofrecemos sean los que hemos establecido, y tomar las decisiones correctivas, en caso de que no se estén cumpliendo las normas de calidad. Algunas características de calidad de nuestro producto o servicio pueden no ser susceptibles de verificación directa; sin embargo, es función de la ingeniería de la calidad determinar las características medibles o verificables que nos permitan asegurar que nuestro producto o servicio posee las características deseadas. Habiendo dado este paso previo, nuestro sistema de control de calidad debe estar constituido por:

1. Las normas o estándares de calidad de nuestro producto o servicio.
2. El sistema o método de medición que utilizaremos para verificar las normas de calidad de nuestro producto o servicio.
3. Comparación de las medidas de calidad del producto o servicio producido con las normas establecidas, con el objeto de tomar las medidas correctivas en caso necesario.

La inspección de la calidad debe realizarse en tres niveles fundamentales: proveedores, trabajo en proceso y producto final. La inspección de la calidad de los proveedores se hace para estar seguros de la calidad de los productos que recibimos, de manera que sean aceptables para su uso en la manufactura de nuestro producto o en la operación de nuestro servicio. Para ello, se acostumbra utilizar el muestreo de aceptación, es decir, generalmente no es posible inspeccionar la totalidad de unidades de un lote recibido; en este caso se selecciona un número determinado de unidades (una muestra del lote), y dependiendo de las características de estas unidades, se acepta el lote o se devuelve al proveedor para una mejor atención (por ejemplo, si todas las unidades del lote tienen defecto, de seguro rechazaremos el lote).

## Fundamentos de negocio

### Producción > Elementos clave para competir (Calidad y productividad) > Control de la calidad



La inspección del trabajo en proceso se hace para verificar que no se cometieron fallas en alguno de los pasos del proceso de producción. Teniendo en cuenta el diagrama de flujo del proceso productivo, podremos decidir al final de qué paso del proceso productivo podríamos inspeccionar el producto en proceso para evitar errores en el producto final. La técnica más usada para el control de la calidad de los trabajos en proceso es el control estadístico de la calidad del proceso. Si tu empresa ofrece un servicio, el proceso de inspección o control de la calidad del servicio se puede realizar en algunos o todos los pasos que requiere el servicio.

Finalmente, la inspección del producto final es necesaria para verificar la calidad del producto terminado. Esta puede ser una inspección visual para verificar la apariencia del producto, o una prueba para verificar su desempeño. A menudo, en este caso el muestreo de aceptación es también útil. Debemos tener en cuenta que en los servicios también podemos hacer una inspección final; por ejemplo, una agencia de viajes puede ocasionalmente hacer visitas a los hoteles que recomienda a sus clientes para verificar su calidad, o también puede planear visitas a los clientes atendidos para pedir su opinión sobre el servicio.

#### El proceso de inspección

Antes de discutir las técnicas para el control estadístico de la calidad, es conveniente mencionar algunas de las consideraciones que son importantes para organizar eficientemente nuestro sistema de inspección. En primer lugar, debemos mencionar que, en el pasado, el control de la calidad era responsabilidad de los inspectores, quienes detectaban los productos fallados y los descartaban o separaban para su reproceso. La naturaleza del trabajo de los inspectores, sin embargo, no estaba de acuerdo con el concepto de mejora de la calidad, ya que actuaban más bien como elementos controladores. Actualmente, se espera que los mismos operarios sean los inspectores de su trabajo, con el objeto de mejorarlo, o bien que los inspectores actúen más bien como consultores técnicos o entrenadores en el buen sentido de la palabra, con el objeto de evitar que el trabajo de los operarios se vea desmerecido, y se estimule al trabajador a mejorar su labor.

Con respecto al control de los proveedores, algunas empresas modernas evitan el trabajo de inspección trabajando muy cercanamente con ellos, verificando que sus procesos produzcan los insumos que son adecuados para la empresa, y haciéndoles llegar las recomendaciones que sirvan para mejorar la calidad de sus productos. En este caso, la mutua confianza es muy importante. Esta práctica ha dado excelentes resultados en el Japón, y se está empezando a difundir en otros países. En negocios pequeños, sin embargo, el seguimiento de los proveedores se dificulta por la poca importancia relativa que podría tener para el proveedor un cliente pequeño. En estos casos, la práctica del asociacionismo de los pequeños empresarios ha dado muy buenos resultados en algunos países, como Italia. Entre otros beneficios, la asociación de pequeños empresarios puede darles el poder de negociación necesario para exigir una buena calidad a sus proveedores.

Un punto importante es que existen fundamentalmente dos tipos de inspección: la inspección por atributo, y la inspección por variable. Un atributo es una característica del producto que tiene dos posibilidades, o está presente en el producto, o no lo está. Un ejemplo de atributo es la calidad del horneado del pan; por el color del pan es posible decidir si está bien horneado, o no lo está. Otros ejemplos de atributos pueden ser la forma, apariencia, sabor, olor, etc. La inspección por variable ocurre cuando la característica de calidad del producto puede ser medida. Los ejemplos más comunes de variables son peso, longitud y contenido de un componente particular. En servicios, un ejemplo de atributo de calidad es la opinión del cliente: satisfecho o insatisfecho, y un



ejemplo de variable de calidad es el tiempo que demora la atención. El reconocer si la inspección es por atributo o por variable es importante porque las técnicas de análisis de los datos son diferentes en cada caso. También es cierto que, en general, una inspección por atributo puede ser menos difícil y posiblemente se requiera equipo menos sofisticado.

Otro factor importante a considerar en el proceso de inspección es el número de unidades que serán inspeccionadas. En este sentido, se puede optar fundamentalmente por una de dos opciones: inspección al 100%, o inspección por muestreo. Debemos tener en cuenta que si bien la inspección al 100% (de todas las unidades) puede ser la forma más efectiva de asegurar la calidad, ésta no es perfecta, ya que puede haber errores humanos en la medición, por otro lado, puede ser muy costosa en algunos casos, o simplemente resultar imposible si el proceso de inspección requiere que el producto se destruya (como es el caso de la resistencia a la rotura de algunos materiales). En la inspección por muestreo sólo se inspecciona una fracción de los lotes de producción, y deben utilizarse técnicas estadísticas para decidir sobre la calidad de todo el lote.

Finalmente, otra decisión importante relacionada con el proceso de inspección es la localización de las estaciones de inspección. Debemos decidir no sólo en qué fase del proceso se realizarán las inspecciones, sino también dónde efectuar la inspección, teniendo en cuenta los costos en que se incurre cuando se detecta una falla, y también el costo de no detectarla (costos de mantenimiento y costos internos). Algunas reglas populares para localización de estaciones de inspección son las siguientes:

1. Localizar las estaciones luego de cada operación más probable de generar fallas.
2. Localizar las estaciones al final de cada operación de un producto terminado.
3. Localizar las estaciones antes de cada operación de manufactura o servicio.
4. Localizar las estaciones antes de cada operación costosa o donde recibirá un alto valor agregado.
5. Localizar las estaciones antes de las operaciones que hacen la detección de errores costosa, o que pueden ocultar las fallas, por ejemplo, una operación de pintura.

### **Muestreo de aceptación por atributo**

El objetivo del muestreo de aceptación es determinar si un conjunto de productos satisface los requerimientos de calidad o no, a partir de la inspección de sólo una parte del conjunto. En el lenguaje de control de la calidad, el conjunto de productos recibe el nombre de lote, y la parte del conjunto que fue inspeccionada recibe el nombre de muestra.

Debemos especificar un criterio para aceptar el lote basado en los resultados de la inspección. Evidentemente, este criterio tendrá que ver con el número de productos defectuosos que encontremos en la muestra; si éste es alto, el lote será rechazado. Si el lote es aceptado, será enviado a producción para su uso, o a los clientes, en caso de tratarse de productos terminados. En caso de rechazar el lote, deberán tomarse las medidas correctivas, ya sea la devolución del pedido al proveedor, o su reproceso para la corrección de fallas.

Al decidir si usamos o no un muestreo de aceptación, debemos considerar algunos factores, ya que si bien es menos costoso que una inspección al 100%, existe un costo del procedimiento. Algunos de los factores por considerar serán el nivel de confianza en los proveedores, el costo en que se incurre al aceptar productos defectuosos, y el riesgo del muestreo. Respecto de este último punto, es necesario aclarar que en el muestreo de aceptación existe siempre un riesgo debido a la naturaleza estadística del proceso de toma de decisiones. En general, existen dos tipos de errores con probabilidad de ocurrir. El primero es llamado error tipo I, y ocurre cuando rechazamos un lote que cumple con las



especificaciones de calidad; el segundo es llamado error tipo II, y ocurre cuando aceptamos un lote que no cumple con las especificaciones de calidad. Afortunadamente, es posible controlar la probabilidad de ocurrencia de estos errores, de manera que puedan mantenerse bajas; la clave para reducir la probabilidad de ocurrencia de estos errores es el tamaño de la muestra (es decir, el número de productos inspeccionados en la muestra), tal como veremos más adelante. Por esta razón, se sabe también que el muestreo de aceptación es más eficiente cuando el lote es grande.

En el muestreo de aceptación por atributo, como ya mencionamos, se inspecciona un atributo del producto, es decir, una característica que puede estar presente o no. En general, el criterio de aceptación del lote estará dado por el número máximo de productos de la muestra que no poseen el atributo (en este caso, suponemos que la posesión del atributo significa buena calidad). Un plan de muestreo de aceptación por atributo debe especificar el tamaño de la muestra, al cual llamaremos  $n$ , y el número máximo de productos fallados (que no poseen el atributo), al cual llamaremos  $m$ . La determinación de  $n$  y  $m$  en un plan de muestreo por atributo se hace de acuerdo con el riesgo que estamos dispuestos a correr de cometer los errores tipo I y tipo II.

El primer paso para establecer un plan de muestreo es fijar el nivel de calidad que esperamos. En este caso, supongamos que esperamos que por lo menos el 95 % de los focos funcione correctamente, que es la norma establecida por nuestro proveedor.

El segundo paso es determinar el tamaño de la muestra (tema que discutiremos más adelante). Por el momento, supongamos que hemos determinado que  $n = 10$ . Para determinar el número máximo  $m$  de productos defectuosos debemos fijar la probabilidad de cometer el error tipo I (de rechazar un lote que cumple las especificaciones).

En la práctica, la probabilidad de cometer el error tipo I se fija en valores menores o iguales que 0.10. Supongamos que hemos establecido que nuestra probabilidad de cometer el error tipo I esté alrededor de 0.10. Para determinar  $m$  debemos tener en cuenta que si la probabilidad de obtener un producto defectuoso es  $p$ , entonces la probabilidad de que haya  $k$  productos defectuosos de  $n$  inspeccionados obedece a la distribución binomial, dada por:

$$f(k;n,p) = \frac{[n! P^k (1 - p)^{n-k}] / (n - k)! k!}{n!}$$

donde, para cualquier número entero  $i$ , la notación  $i!$  hace referencia al "factorial de  $i$ ", y es igual a  $i! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times i$ , por ejemplo,  $3! = 1 \times 2 \times 3 = 6$ , con la convención de que  $0! = 1$ . Teniendo en cuenta las probabilidades de la distribución binomial para  $n = 10$  y  $p = 0.05$  (de acuerdo con lo convenido, la probabilidad de que un foco determinado de un lote bueno sea defectuoso es 0.05), podemos calcular las probabilidades de  $k$  productos defectuosos en la muestra.

Si queremos determinar un tamaño de muestra adecuado, debemos tener en cuenta las probabilidades de error tipo II. En general, aumentar un tamaño de muestra produce el efecto de disminuir la probabilidad de cometer el error tipo II, una vez que se ha fijado el riesgo de cometer el error tipo I. Por ejemplo, supongamos que un porcentaje de falla de 0.20 es malo para nosotros y quisiéramos que la probabilidad de aceptar un lote con 20% de defecto no sea mayor de 0.5. En este caso, debemos tener en cuenta las probabilidades de que hallemos  $k$  defectuosos en una muestra proveniente de un lote con 20% de defectuosos, es decir, los valores  $f(k; 10,0.2)$  que se presentan en el Cuadro 2. Con nuestro criterio de aceptación de  $m = 1$ , tenemos que la probabilidad de aceptar un lote con 20% de defecto es  $0.1074 + 0.2684 = 0.3758$ , menor que 0.5, lo cual satisface nuestras expectativas. Esto quiere decir que el 37.58% de los lotes que tengan 20% de



defecto serán aceptados; si esto no satisface nuestras expectativas, deberemos incrementar el tamaño de la muestra para que esta probabilidad disminuya.

Con el anterior ejemplo, hemos querido ilustrar los pasos necesarios para diseñar un sistema de muestreo de aceptación por atributo en la forma más sencilla posible, si esto te parece aún complicado, te recomendaríamos que un especialista en estadística te haga los cálculos. En todo caso, resumiremos los pasos necesarios para la determinación de un plan de muestreo de aceptación por atributo:

1. Determinar la fracción de defectuosos  $p$  que esperamos en un lote aceptable.
2. Fijar la probabilidad de cometer el error tipo I deseada (menor de 0.10) y un tamaño de muestra  $n$  que consideremos adecuado desde el punto de vista del costo.
3. Con base en los valores de  $p$ ,  $n$  y la probabilidad de cometer el error tipo I, se determina el nivel de aceptación  $m$ , haciendo uso de las tablas de la distribución binomial.
4. En función de un porcentaje de defectos no deseable, y de una probabilidad de cometer el error tipo II con ese porcentaje, determinar si el tamaño de muestra  $n$  satisface nuestras expectativas de costo y precisión. Si las satisface, podemos aceptar el plan de muestreo; de otra forma, debemos incrementar el tamaño de muestra  $n$  y volver al paso 3.

### **Muestreo de aceptación por variable**

En el muestreo de aceptación por variable, inspeccionamos los productos de acuerdo con una medida cuantitativa de la calidad (por ejemplo: peso, longitud, resistencia a la presión, etc.). En el caso de las características que se miden en una escala continua, debemos tener en cuenta que nunca se pueden lograr estándares exactos, porque siempre hay una pequeña variabilidad entre los productos. Por ejemplo, si un saco de arroz especifica un peso de 50 kg., lo normal es que recibamos sacos con pesos cercanos a los 50 kg., pero nunca con precisión matemática la especificación indicada. En general, el control de la calidad por variables requiere de la especificación de un valor promedio de la variable o característica, y de una medida del grado de variabilidad de la variable; al respecto, la medida de variabilidad adoptada universalmente es la desviación estándar. Si la calidad de un producto especifica que la variable de calidad tiene una media  $\mu$  y una desviación estándar  $S$ , esto significa que aproximadamente en el 68% de los productos la variable de calidad tiene un valor que está entre  $\mu - S$  y  $\mu + S$ . Un plan de muestreo de aceptación por variable debe especificar el tamaño de la muestra, al cual llamamos  $n$ , y el rango de aceptación para el promedio de la muestra.

La determinación de  $n$  y del rango de aceptación en un plan de muestreo por variable se hace de acuerdo con el riesgo que estamos dispuestos a correr de cometer los errores tipo I y tipo II.

Supongamos que de acuerdo con nuestro costo de inspección, hemos determinado que  $n = 10$  es un tamaño de muestra apropiado. Con el fin de determinar el rango de aceptación para el promedio de la muestra, debemos fijar la probabilidad de cometer el error tipo I (rechazar un lote que cumple las especificaciones). En este caso, fijaremos la probabilidad de error tipo I en 0.05. Para determinar el rango de aceptación debemos tener en cuenta que la variable:

$$Z = (x - \mu) / [S / \sqrt{n}]$$

Tiene una distribución de probabilidades conocida con el nombre de distribución normal estándar. Las probabilidades de la distribución normal estándar están tabuladas en los textos de estadística. En particular, en estas tablas se puede ver que la probabilidad de que



Z tome un valor menor de 1.645 es igual a la probabilidad de error tipo I de 0.05 que hemos fijado. Luego, si el lote cumple con las especificaciones de calidad, es decir  $n = 50$  y  $S = 1$ , la probabilidad de que la media de la muestra  $\mu$  sea menor de:

$$\mu - 1.645 (S \sqrt{n}) = 50 - 1.645 (1 / \sqrt{10}) = 49.48$$

es de 0.05. Es decir; si nuestro criterio de rechazo es que la media de los pesos de la muestra de 10 sacos es menor de 49.48 kg., tendremos una probabilidad de 0.05 de cometer el error tipo I, como lo queríamos. De esta forma, hemos determinado nuestro rango de aceptación, aceptamos el lote de 100 sacos si en una muestra de 10 sacos encontramos un peso promedio de 49.48 kg. o más. Si queremos determinar un tamaño de muestra adecuado, debemos tener en cuenta las probabilidades de cometer el error tipo II. Al igual que en el muestreo por atributo, al aumentar el tamaño de la muestra, se disminuye la probabilidad de cometer el error tipo II, una vez que se ha fijado el riesgo de cometer el error tipo I.

Resumiremos los pasos necesarios para la determinación de un plan de muestreo de aceptación por variable:

1. Determinar la media  $y$ . y la desviación estándar  $S$  que esperamos en un lote aceptable.
2. Fijar la probabilidad de cometer el error tipo I deseada (menor de 0.10) y un tamaño de muestra  $n$  que consideremos adecuado desde el punto de vista del costo.
3. Con base en los valores de  $n$ ,  $\mu$ ,  $S$  y la probabilidad de cometer el error tipo I, se determina el rango de aceptación haciendo uso de las tablas de la distribución normal estándar.
4. En función de una media de la característica que no es deseable, y de una probabilidad de cometer el error tipo II con esa media, determinar si el tamaño de muestra  $n$  satisface nuestras expectativas de costo y precisión. Si las satisface, podemos aceptar el plan de muestreo; de otra forma, debemos incrementar el tamaño de muestra  $n$  y volver al paso 3.

Debemos indicar que para el caso de muestreo de aceptación por variable se puede determinar directamente el tamaño de muestra apropiado en función de las probabilidades de cometer los errores tipo I y II; sin embargo, no hemos mencionado el procedimiento para simplificar la exposición, para una explicación más detallada, te recomendamos consultar un texto de estadística.

### **Control estadístico de los procesos**

A pesar de los esfuerzos de la tecnología y de las empresas para mejorar la calidad en los procesos productivos, no será posible que los estándares de calidad de los productos sean perfectos; las máquinas y las herramientas se deterioran con el uso, la calidad de los insumos no es perfecta y existe siempre la posibilidad de fallas humanas. Afortunadamente, cada uno de los factores que hemos mencionado son susceptibles de corrección, las máquinas y herramientas se reparan o se reemplazan, los proveedores pueden mejorar su calidad y los seres humanos pueden corregir sus errores. Estas causas de baja calidad, que es posible enmendar, se denominan causas asignables. Sin embargo, existen otras causas de baja calidad que son inherentes a un proceso productivo; estas causas pueden ser asignadas simplemente al azar, o al nivel de la tecnología, porque aun las máquinas más modernas no son perfectas. Estas causas originan variaciones normales en los estándares de calidad y se denominan causas comunes. El propósito del control estadístico de los procesos productivos es justamente detectar cuándo una variabilidad en los estándares de producción se debe a las causas asignables, de manera que el proceso deba ser revisado y detectarse la causa de la anormalidad.



El control estadístico de los procesos utiliza un sistema de gráficas, las cartas de control, para detectar cuándo una variabilidad en el proceso productivo se debe a causas asignables.

Una carta de control es una gráfica que describe cuándo un proceso está bajo control, y cuándo está fuera de control, en cuyo caso debe buscarse la causa asignable que origina la falta de control.

A continuación, resumiremos los pasos que deben seguirse para construir las cartas de control. Como en el caso del muestreo de aceptación, deben distinguirse los casos de control por atributo, y control por variable.

Para el control de los procesos por atributo, se seleccionan  $M$  muestras de tamaño  $n$  en secuencia, y se calculan las proporciones  $p_i$  de defectuosos en la muestra  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ). Generalmente,  $M$  debe estar entre 20 y 30, y  $n$  es al menos 100. El siguiente paso es calcular:

$$\mu = (p_1 + p_2 + \dots + p_M) / M,$$
$$V = \mu (1 - \mu) / n, \text{ y } S = \sqrt{V}.$$

Los límites de control son:

$$LSC = \mu + 3 S, \text{ y } LIC = \mu - 3 S.$$

Los valores  $p_1, p_2, \dots, p_M$  son los que se grafican en la carta de control para los tiempos  $1, 2, \dots, M$ .

Para el control de los procesos por variable, existen dos tipos de carta usuales, una la llamaremos carta -  $\mu$ , y la otra carta-R (la letra R hace referencia al rango). El rango se usa a menudo como medida de variabilidad, ya que es más fácil de calcular que la desviación estándar. Para construir la carta de control se seleccionan  $M$  muestras de  $n$  observaciones cada una en secuencia, luego se calculan los promedios  $p_i$ , y los rangos  $R_i$  (la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de la muestra) para la muestra  $i$ . A continuación, se calculan:

$$\mu = (p_1 + p_2 + \dots + p_M) / M,$$
$$R = (R_1 + R_2 + \dots + R_M) / M$$

Las cartas se construyen graneando los promedios y los rangos en secuencia, en sus respectivas cartas. La carta-R se construye primero, ya que si esta carta se encuentra fuera de control, la información de la carta - $\mu$  no es confiable.