

Tema 1: Conceptos básicos

1. Calidad y Mejoramiento de Calidad

De acuerdo a Juran y Gryna (1977), **calidad** es la totalidad de características de un producto o servicio que conducen con su aptitud a satisfacer una necesidad básica.

Montgomery (2004), dice que el concepto de **calidad** para la mayoría de las personas está relacionado con las características (una o más) deseables que debería poseer un producto o servicio.

Para Gutiérrez y De La Vara (2004), **calidad** es el juicio que el cliente tiene sobre un producto o servicio, resultando del grado con el cual un conjunto de características inherentes al producto, cumplen con los requisitos.

Aún cuando desde hace mucho tiempo se viene hablando de **calidad**, es a partir de los años veinte que se empieza a aplicar la teoría estadística en el **control de calidad**, dando así origen al **control estadístico de calidad**. Sus bases son sentadas en 1931 por Walter A. Shewhart y publicadas en su libro “Economic control of quality of manufactured product”. A Shewhart se le debe además, el primer bosquejo de un gráfico de control.

Según las normas industriales japonesas el **control de calidad** es un sistema de métodos de producción que económicamente genera bienes o servicios de calidad, acordes con los requisitos de los consumidores. Si este sistema usa métodos estadísticos se denomina **control estadístico de calidad**.¹ Lo que hoy es conocido como **control**

¹ ¿Qué es control total de calidad? La modalidad japonesa. Kaoru Ishikawa. Página 40.

estadístico de calidad, se inicia con el trabajo de Harold F. Dodge y H. Roming, “Tablas de inspección por muestreo-muestreo simple y doble”.

Sin entrar en discusión con los términos o metodologías para asegurar la calidad, en general, consideremos el **sistema o gestión de la calidad de una empresa**, como un sistema integrado, formado por una serie de subsistemas que actúan de forma coordinada, mediante la aplicación de un conjunto de acciones, con el objetivo de fabricar productos de calidad o dar servicios con niveles de calidad adecuado.²

El logro de la calidad está relacionado directamente con el funcionamiento cohesionado tanto en el sentido vertical (desde los gerentes hasta los técnicos y obreros) como en el horizontal (departamentos, secciones y programas responsables de los subsistemas) de dicho sistema.

De esta forma, debe realizarse una **Investigación de Mercado** que permita determinar necesidades de los clientes y características del sector al cual va dirigido el producto o servicio, así se garantiza que el mismo cumpla con las expectativas del consumidor. Se define aquí también, el **Diseño**, es decir, la parte estética o artística del producto. La calidad del diseño se alcanza cuando las especificaciones satisfacen las expectativas del cliente. La calidad de **Fabricación** debe cumplir con las especificaciones del diseño. Según Juran y Gryna (1997), la **Confiabilidad** es la probabilidad que un producto cumpla sin fallas con su función en un periodo de tiempo determinado. Es ideal que el tiempo entre fallas sea grande o, la tasa de fallas sea pequeño. Un **Servicio** rápido, efectivo y económico es un aspecto que produce un

² Control Estadístico de la Calidad. Víctor A. Márquez M. Página 3.

impacto positivo en el cliente. La **Disponibilidad** definida por Juran y Gryna (1997) como

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempooperativo}}{\text{Tiempooperativo} + \text{Tiempooperativo}}$$

es un elemento función del servicio y la confiabilidad. Luego una disponibilidad de calidad se corresponde con un buen servicio y una alta confiabilidad.

Cuando un proceso se desea controlar estadísticamente, significa que el mismo debe ser controlado con ayuda de reglas de decisión que detecten diferencias significativas entre lo observado y las normas que controlan el proceso.

De lo expuesto anteriormente podemos indicar que la calidad de un producto se puede evaluar de acuerdo a un conjunto de parámetros, denominados **características o dimensiones de calidad**. Estos parámetros son:

1. **Desempeño.** ¿Cumple el producto con determinadas funciones? ¿Cómo las cumple?
2. **Confiabilidad.** Frecuencia con la que falla el producto. Si falla poco, es un producto confiable. La confiabilidad es inversamente proporcional a la frecuencia de falla.
3. **Durabilidad.** Se refiere al ciclo de vida útil del producto. Se desea que el producto tenga un prolongado ciclo de vida útil.
4. **Facilidad de servicio.** El acceso al mantenimiento o reparación debe ser directo, rápido y económico.
5. **Estética.** Se refiere al atractivo del producto. Su presentación; color, forma, estilo, características táctiles y sensoriales, entre otras.

6. **Otras características o funciones.** Se refiere a la incorporación de características o funciones que superan el desempeño de la competencia.
7. **Calidad percibida.** Reputación alcanzada respecto a la calidad del producto. Conocimiento basado en el desempeño de sus funciones.
8. **Conformidad con los estándares.** Cumplimiento de los requerimientos establecidos para su fabricación.

Estas características de calidad pueden clasificarse en varios tipos:

1. **Físicas.** Longitud, peso, viscosidad.
2. **Sensoriales.** Sabor, color, apariencia.
3. **Orientadas al tiempo.** Confiabilidad, durabilidad, facilidad de servicio.

Ahora bien, la calidad de un producto puede definirse como la satisfacción de requisitos para su uso o, como una función inversamente proporcional a la variabilidad negativa, indeseable o perjudicial (al disminuir la variabilidad negativa aumenta la calidad).

Si se define como la adecuación para su uso, dos aspectos se distinguen en la calidad de un producto:

1. **Calidad de diseño.** Se refiere al grado o nivel de calidad.
2. **Calidad de conformidad.** Medida en que el producto cumple con las especificaciones requeridas por el diseño.

Cuando la calidad se define como una función inversa de la variabilidad negativa, el objetivo a alcanzar es el de reducir dicha variabilidad. El proceso que permite tal reducción es denominado **mejoramiento de calidad**.

Cualquier proceso debe ofrecer productos o servicios con algunos niveles nominales o requeridos en sus características de calidad. Con el propósito de garantizar esto, debe ejecutarse un conjunto de actividades operativas, administrativas y de ingeniería, denominado **control estadístico de la calidad**.

Por lo general es difícil encontrar unidades de producto idénticas que estén en niveles que cumplan con las expectativas del consumidor. Esto se debe a la presencia de cierta cantidad de variabilidad en cualquier producto. Como se dijo anteriormente, el mejoramiento de la calidad se fundamenta en la reducción de esta variabilidad. Los métodos estadísticos juegan un papel primordial aquí, dado que esta variabilidad solo puede describirse en términos estadísticos.

Los datos asociados con las características de calidad se pueden clasificar como **datos de atributos y de variables**. Los primeros son generalmente datos discretos, mientras que los datos de variables son por lo general, mediciones continuas. Las características de calidad son evaluadas en base a las mediciones deseadas o establecidas para dichas características. Estas mediciones se denominan **especificaciones**. Al valor máximo permitido para una especificación se le denomina **límite superior de especificación** y, al su valor mínimo, **límite inferior de especificación**. Existen situaciones en las que la característica solo posee uno de estos límites.

Lograr una producción dentro de las especificaciones, es decir, dentro de lo establecido en las normas técnicas, es el objetivo principal del control estadístico de la calidad, es decir, evitar la producción de artículos y servicios disconformes.

Dentro de la producción de bienes, el control estadístico de la calidad se centra fundamentalmente en el control de:

- Recepción de materia prima
- Fabricación
- Productos terminados y semiterminados
- Servicio

La materia prima usada para obtener productos terminados o semiterminados, debe ser sometida a mecanismos de control que permitan garantizar materia prima que cumpla con los requerimientos exigidos. Estos mecanismos o métodos de control se denominan **muestreo de aceptación o rechazo**.

Durante el proceso de fabricación se deben aplicar mecanismos que permitan detectar en un tiempo relativamente corto, causas que puedan incidir en la fabricación de artículos defectuosos o no conformes. Los métodos más usados son los **gráficos de control**.

Como se dijo anteriormente, una alta confiabilidad y disponibilidad es la esperanza del consumidor. Esta meta se logra mediante un buen control de servicio, cuando el artículo está en el mercado.

2. Métodos Estadísticos de Control y Mejoramiento de la Calidad

Existen diversas técnicas estadísticas útiles en el análisis y estudio de calidad así como en la mejora de los procesos de producción.. Estas técnicas o métodos se pueden clasificar en dos grupos:

- **En Línea.** Técnicas que se aplican directamente sobre la línea de producción.
 - Gráficos de Control

- Muestreo para Aceptación o Rechazo
- **Fuera de Línea.**
 - Diseño de Experimentos
 - Análisis de Regresión
 - Análisis de Series de Tiempo
 - Simulación
 - Metodología de Taguchi

3. Gráficos o Diagramas de Control

La calidad de un producto inevitablemente sufre variaciones. Las causas de estas variaciones se pueden clasificar en:

1. Causas fortuitas o debidas al azar
2. Causas asignables

Aún cuando la materia y el proceso de producción sean adecuados, siempre se tendrá cierta variabilidad natural e inevitable en la calidad del producto. Esta variabilidad se dice se debe a causas fortuitas. Existen situaciones en las que está presente variabilidad debido a causas que no forman parte del patrón de causas fortuitas, que pueden ser investigadas y por ende, controladas. A estas causas de variabilidad se les denomina causas asignables y se generan por máquinas desajustadas, errores de manejo y materia prima defectuosa. Su control, investigar y corregir, es uno de los principales objetivos del control estadístico de procesos.

Si un proceso opera únicamente con causas fortuitas, se dice que el mismo está bajo control. Si dicho proceso opera con causas asignables, se dice que está fuera de control.

Gráficos de control. Su fundamentación estadística.

Constituyen una técnica de monitoreo de procesos en línea. Se pueden usar para estimar los parámetros de un proceso de producción (media, varianza, fracción disconforme, etcétera) y así, determinar la capacidad del mismo para producir productos aceptables.

El uso de los gráficos de control se ha popularizado debido a diversas razones, entre ellas están las siguientes:

1. Representa una técnica probada para mejorar la productividad reduciendo los desechos y el reprocesamiento.
2. Son efectivos para prevenir defectos manteniendo el proceso bajo control.
3. Previenen el ajuste innecesario del proceso distinguiendo el ruido de fondo de la variación anormal.
4. Proporciona información de diagnóstico permitiendo así, realizar los cambios necesarios para mejorar
5. Proporcionan información sobre la capacidad del proceso y así, poder estimarla.

Los gráficos de control son una representación gráfica de una característica de la calidad medida a partir de una muestra. Esta conformado por tres líneas; **línea central**, **límite superior** y **límite inferior**. La línea central representa el valor bajo control de la

característica de la calidad. Cuando los puntos muestrales se encuentran entre los límites de control, decimos que el proceso está bajo control. Un punto fuera de los límites de control o la presencia de un patrón sistemático (no aleatorio) en el comportamiento de los puntos muestrales, son indicios de que el proceso está fuera de control.

Los gráficos de control pueden verse como una prueba de la hipótesis H_0 : **el proceso está bajo control** contra H_1 : **el proceso está fuera de control**. Por ejemplo, si el valor medio de la característica se encuentra entre los límites de control, no se rechaza H_0 . En caso contrario, se rechaza H_0 . Si se concluye que el proceso está fuera de control cuando realmente está bajo control (se rechaza H_0 siendo verdadera), se está cometiendo un error de tipo I. Si se concluye que el proceso está bajo control cuando realmente no lo está (se acepta H_0 siendo falsa), se incurre en un error tipo II. El conocimiento de la probabilidad de cometer error tipo II permite hacer un análisis del desempeño de un gráfico de control.

Nótese que el gráfico de control solo detectará las causas asignables, no corregirá. Por lo tanto es necesario para esto, implementar un plan de acción, denominado plan de acción para condiciones fuera de control.

Clasificación de los gráficos de control.

Los gráficos de control pueden clasificarse en dos tipos:

1. **Gráficos de Control de variables.** Si la característica de calidad puede medirse como un número en una escala de medida continua, entonces pueden diseñarse gráficos para controlar la tendencia central o la variabilidad. Para

controlar la tendencia central debe usarse un gráfico de control basado en una medida de tendencia central y una medida de variabilidad. Si se desea controlar la variabilidad del proceso, debe usarse un gráfico de control basado en el rango muestral o en la desviación estándar.

2. **Gráficos de Control de atributos.** Es ideal cuando la característica de la calidad se refiere a la presencia o no de ciertos atributos. También cuando la característica representa el número de defectos por unidad de producto. Esto es, si la característica de la calidad se mide en una escala de medida cualitativa, el gráfico de control apropiado es el de atributos.

Un aspecto de vital importancia en el uso de los gráficos de control es su diseño. Este consiste en la selección de: los límites de control, el tamaño muestral y la frecuencia de muestreo.

La elección de los límites de control representa un aspecto fundamental en el uso de los gráficos de control. Si los límites de control se seleccionan alejados de la línea central, la probabilidad de considerar un proceso fuera de control sin estar presente alguna causa fuera de control reduce pero, la probabilidad de cometer error tipo II se incrementa. Caso contrario ocurre si los límites de control se seleccionan cercanos de la línea central.

Los otros dos aspectos a considerar en el diseño de un gráfico de control sin el tamaño muestral y la frecuencia de muestreo. El tamaño muestral y la frecuencia de muestreo. El tamaño muestral es una función del tamaño del cambio que se desea detectar. Si el cambio a detectar es pequeño, es necesario una muestra grande. Muestras pequeñas se requieren si el cambio a detectar es grande. En cuanto a la frecuencia de

muestreo, en la práctica se produce por lo general a tomar muestras pequeñas en intervalos cortos. También puede tomarse muestras grandes en intervalos grandes.

La longitud promedio de corrida, ARL, es otro mecanismo para la toma de decisiones respecto al tamaño muestral y la frecuencia de muestreo. La ARL es simplemente el número promedio de puntos que debería graficarse antes de que un punto indique una condición fuera de control. Si las observaciones no están correlacionadas, entonces

$$ARL = 1/p$$

donde p es la probabilidad de que cualquier está fuera de los límites de control.

Patrones en los Gráficos de Control.

Como se dijo anteriormente, un gráfico de control puede indicar que un proceso está fuera de control cuando uno o más puntos están fuera de los límites de control o cuando los puntos siguen un patrón de comportamiento no aleatorio. Por ejemplo, cuando se producen corridas (ascendentes o descendentes) largas, se está produciendo una señal de una condición fuera de control. El problema entonces, es la identificación de patrones y sus razones. No solo el conocimiento estadístico, sino la experiencia y conocimiento del proceso es requerido para la identificación e interpretación de tales patrones.

El Western Electric Handbook propone considerar un proceso fuera de control si:

1. Un punto se encuentra fuera de los límites 3σ .
2. Dos de tres puntos consecutivos se localizan fuera de los límites 2σ (límites de advertencia)
3. Cuatro de cinco puntos consecutivos se localizan a una distancia de un σ o más de la línea central.
4. Ocho puntos consecutivos se localizan en el mismo lado de la línea central.

Los gráficos de control resultan más efectivos si forman parte del Control Estadístico de Procesos. El control estadístico de procesos está conformado por los siguientes lineamientos:

1. Histograma y gráficos de Tallo y Hoja.
2. Hoja de Verificación.
3. Gráfico de Pareto.
4. Diagrama de Causa y Efecto.
5. Diagrama de Concentración de defectos.
6. Diagrama de Dispersión.
7. Gráfico de Control.

Una distribución de frecuencias es la organización de un conjunto de datos por orden de magnitud. La organización depende del tipo de variable. Si la variable es cuantitativa, un gráfico apropiado para su representación es el **Histograma de Frecuencias**. A través de este gráfico podemos observar ciertas propiedades, tales como: localización o tendencia central y dispersión.

Una forma útil de resumir y representar un conjunto de datos es el **Diagrama de Tallo y Hoja**. Si se combina este diagrama y un gráfico de series de tiempo, se obtiene

una nueva representación gráfica punto-dígito, el cual toma en consideración el orden en el tiempo.

El número y tipo defectos pueden ser resumidos mediante la **Hoja de Verificación**. Es una herramienta que permite recabar toda la información útil en el diagnóstico de causas de un mal desempeño. Si el resumen se considerando el orden en el tiempo, permitirá identificar tendencias y otros patrones importantes.

Un histograma de datos de atributos ordenados por categoría recibe el nombre de **Gráfico de Pareto**.

Una vez que un problema es identificado y aislado para estudios adicionales, se deben identificar inicialmente las causas de dicho problema. Para ello puede usarse un **Diagrama de Causa Efecto**, denominado también **Espina de Pescado**. Para su construcción se debe seguir el siguiente algoritmo o conjunto de pasos:

1. Definir el problema a analizar.
 2. Constituir un equipo de trabajo para analizar el a través de una lluvia o tormenta de ideas.
 3. Trazar el rectángulo asociado con el problema y la línea central del mismo.
 4. Especificar las principales categorías de causas potenciales, trazar un rectángulo para cada una y conectarlas con la línea central.
 5. Identificar las posibles causas y clasificarlas dentro de las categorías planteadas en el paso (4). Aquí pueden crearse nuevas categorías si es necesario.
 6. Clasificar las causas de acuerdo a su incidencia en el problema.
-

7. Tomar las acciones correctivas.

El Diagrama de Concentración de Defectos es un dibujo que resulta al marcar los tipos de defectos para luego analizar si la localización de los mismos ofrece alguna información útil en la identificación de sus causas potenciales.

El Diagrama de Dispersión es el gráfico construido con los puntos (x_i, y_i) que permite indicar el tipo de relación que puede existir entre las variables X , Y .