TEMA 1: Introducción a las Técnicas Estadísticas para la Calidad

1 Introducción

2 Elementos básicos relacionados con la calidad

3 Modelos de actuación de la empresa en materia de calidad

4 Evolución histórica de las técnicas estadísticas para el control de la calidad

1. Introducción

En este tema se introducen los conceptos fundamentales asociados a la calidad, tales como el significado propio de la calidad y los aspectos relacionados con el control y gestión de la misma. Se realiza asimismo una breve introducción sobre la evolución histórica del control y la gestión de la calidad y las causas fundamentales que originaron el desarrollo de técnicas estadísticas para el control y mejora de la calidad.

El concepto de calidad puede tener diferentes acepciones dependiendo de la situación concreta a la que se aplique. Por ejemplo, Juran (1974) pone énfasis en el punto de vista del consumidor:

Calidad es idoneidad para el uso.

Crosby (1979) concreta esta definición en el siguiente sentido:

Calidad es el cumplimiento de los requerimientos o especificaciones,

donde se entiende que las especificaciones reflejan la idoneidad para el uso. En general, el productor y el consumidor deben intervenir en la definición de las especificaciones para medir la calidad de un producto. En la siguente definición, proporcionada por el *American Standars Institute* y la *American Society for Quality Control*, se recogen estos aspectos.

Definición 1 *Calidad es la totalidad de rasgos y características de un producto o servicio que reflejan su capacidad para satisfacer unas necesidades concretas.*

El uso de técnicas de control de la producción para obtener un cierto nivel de calidad se remonta al nacimiento de la industria, e incluso a periodos anteriores en los que se desarrollaba un trabajo artesanal y el nivel de calidad del producto se aseguraba con la experiencia del artesano y el adiestramiento del aprendiz. Surge la figura del inspector tras experimentarse una especialización en la producción. El crecimiento y desarrollo de la industria motiva la obtención de técnicas para el control de la calidad en la empresa. La variabilidad inherente a los métodos de medición en los que se basan estas técnicas de control origina un planteamiento estadístico de las mismas.

La parte de la política de la empresa que se dedica a impulsar el sistema de calidad de la misma propone diferentes modelos para su organización. Por ejemplo, el *Modelo de Frederick Taylor* propone una estructura jerárquica en el control del proceso de fabricación, en contraste con el concepto de *Calidad Total*, que propone la participación activa de todos los trabajadores que deben ser incentivados para que tomen responsabilidades en el aseguramiento de la calidad del producto. En relación con esta ultima política o estrategia en la mejora de la calidad, Japón sigue una política basada en la mejora continuada de la calidad, proporcionando los medios para que el esfuerzo y la investigación se dirijan al funcionamiento correcto del proceso y a su mejora continuada. Esta política contrasta inicialmente con la seguida por Estados Unidos, que incentiva la investigación y el esfuerzo dirigidos a alcanzar un nivel de calidad en el producto. Tras alcanzar dicho nivel, que se refleja en una cierta aceptación en el mercado, el interés por la mejora de la calidad del producto se pierde. Las diferencias entre las dos posturas anteriores se reflejan en el destino de sus inversiones. Específicamente, en Japón hay una mayor inversión en el desarrollo de técnicas de control y prevención de errores y una inversión inferior en técnicas de inspección. En Estados Unidos el destino de las inversiones es totalmente diferente, dedicándose una gran parte del presupuesto a la inspección y una parte relativamente pequeña a las técnicas de control y diseño.

Las técnicas estadísticas clásicas que inicialmente se aplicaron en el control de la calidad fueron: La inspección por muestreo y los diagramas de control. Posteriormente, la incorporación de las técnicas de diseño de experimentos y series temporales han contribuido al desarrollo de métodos estadísticos para la prevención de errores y mejora continuada de la calidad. Los contenidos de esta asignatura respetan este orden cronológico en la introducción de técnicas estadísticas para el control y mejora de la calidad.

2. Elementos básicos relacionados con la calidad

Las exigencias sobre la calidad del producto expresadas por los consumidores han originado en parte el que la empresa utilice dicha exigencia como argumento clave para la competitividad. Se crean así sistemas de calidad en la empresa para llevar a cabo la política y gestión de la calidad. Antes de describir los elementos fundamentales que configuran dichos sistemas, se introduce seguidamente el concepto de calidad de acuerdo con las exigencias del consumidor.

En la sección anterior se hizo referencia a las especificaciones que debe cumplir un producto para introducir el concepto de calidad. En realidad, parte de estas especificaciones intentan satisfacer las necesidades y expectativas del consumidor. En la medida que dichas necesidades y expectativas sean satisfechas, así será la calidad que para dicho cliente tiene el mencionado producto. Generalmente, las expectativas del cliente incluyen, entre otros, los aspectos relacionados con

- Amplitud del uso
- Seguridad
- Fiabilidad
- Economía.

La calidad se controla y mejora a lo largo de todo el proceso productivo, es decir, en el diseño, en la fabricación del producto, en la prestación del servicio, en la comercialización, en el servicio tras la venta, etc.

El concepto de cliente puede ser muy amplio, incluyendo no sólo al cliente externo que consume el producto, sino también al cliente interno que forma parte de la cadena de producción de la empresa. Este es el concepto que se considera en la siguiente defnición.

Definición 2 (Definición de Taguchi)

La calidad del producto es la mínima pérdida impuesta por este producto a la sociedad durante la vida de dicho producto.

La pérdida impuesta a la sociedad coincide con la pérdida a largo plazo de la empresa.

En relación con la definición clásica de calidad, referida en la sección anterior, se tiene que un producto que cumple las especificaciones ocasionará una pérdida nula a la sociedad. Mientras que esta pérdida se incrementará según nos alejemos de dichas especificaciones.

Función de pérdida de Taguchi

Se establecen un valor N o varios valores $\mathbf{N}$ nominales que reflejan las especificaciones. Dicho valor (respectivamente valores) interviene en la función de pérdida L como sigue:

$$L = K(x - N)^2$$

(resp.

$$L = K\|\mathbf{x} - \mathbf{N}\|^2),$$

donde x (resp. $\mathbf{x}$) es el valor de la característica numérica de la calidad estudiada, N (resp. $\mathbf{N}$) es el valor nominal y K es una constante de proporcionalidad, que se calcula a partir de un punto dado de la curva anterior. Cuando se incorporan errores de medición en el modelo, así como otras fuentes de variabilidad, la característica estudiada se representa mediante una variable aleatoria X con media μ y desviación típica σ (resp. $\mathbf{X}$ con vector de medias $\boldsymbol{\mu}$ y matriz de covarianzas Σ). En este caso, el valor medio de la pérdida se representa mediante la siguiente ecuación:

$$E[L] = K\left(\sigma^2 + (\mu - N)^2\right).$$

Por tanto, la pérdida media por unidad fabricada es menor cuanto menor es la variabilidad de X (resp. $\mathbf{X}$) y cuanto menor es el descentrado (sesgo).

El diseño de experimentos es utilizado por Taguchi para efectuar el llamado control *Off Line*, cuyo objetivo es obtener productos robustos, es decir, productos que no sean sensibles a las causas de variación, disminuyendo la pérdida mediante un diseño adecuado del producto y del proceso.

A continuación se describen brevemente los elementos fundamentales que intervienen en la gestión y organización de la calidad en la empresa:

- *Política de la calidad.* Se define como el conjunto de directrices y objetivos generales de la empresa relativos a la calidad, expresados formalmente por la dirección general.

  Es necesario que la empresa establezca su política de la calidad para crear un sistema eficaz de la calidad que permita invertir esfuerzo y material de forma adecuada. El compromiso adquirido por la empresa en relación con la calidad del producto y el proceso se refleja en la política de la calidad adoptada.

- *Gestión de la calidad.* Es la parte de la gestión general de la empresa que se dedica a determinar y aplicar la política de la calidad, de forma que resulte económicamente rentable. Más concretamente, mediante dicha gestión se fijan los objetivos de la calidad, se organizan los medios y material humano, se forma y motiva al personal, se realizan auditorías, etc.

- *Sistema de calidad.* Tras determinar la política a seguir en relación con la calidad de la producción se deben realizar las acciones y establecer los recursos necesarios que, mediante la gestión de la calidad, permitan alcanzar los objetivos señalados en la política de la calidad. Más concretamente, se define el sistema de calidad como el conjunto de acciones relacionadas con la organización, el desarrollo de infraestructura y los recursos que se establecen para llevar a cabo la gestión de la calidad.

- *Calidad total.* Está relacionada con la gestión de la empresa a largo plazo. De hecho, es una modalidad de la gestión de la calidad cuyo objetivo consiste en obtener un elevado y permanente nivel de competitividad de la empresa sobre la base de adquirir un compromiso total de la gerencia y de todos los empleados en el cumplimiento de las necesidades y expectativas del cliente, mediante una mejora continuada de la calidad.

- *Aseguramiento de la calidad.* Conjunto de acciones planificadas y sistemáticas que son necesarias para garantizar que el nivel de calidad propuesto se va a alcanzar.

- *Mejora continuada de la calidad.* Es una modalidad de la política de la calidad en la que no se fija un nivel específico de calidad en los productos o servicios, sino que se establecen objetivos dinámicos en materia de calidad que permiten mejorar el proceso y el producto de forma continuada de acuerdo con su evolución.

- *Calidad del diseño y calidad de conformidad.* Estos dos conceptos están relacionados con el producto que se quiere obtener y el producto que realmente se obtiene, respectivamente. En relación con el primero, los estudios de mercado, las características de la empresa, las necesidades del cliente, etc., permiten establecer las especificaciones y tolerancias de las características del producto que forman parte del diseño del mismo y constituyen la calidad del diseño o calidad que se desea obtener. Por otra parte, una vez fabricado el producto, la calidad del diseño o especificaciones establecidas se cumplirán en mayor o menor grado. De hecho, el grado de cumplimiento de las especificaciones y características de la calidad constituyen la calidad de conformidad.

- *Control de la calidad.* Tras fijar la calidad del diseño, es necesario obtener una alta calidad de conformidad. Se deben establecer entonces métodos de trabajo que permitan comprobar la calidad de conformidad, comparando las medidas del producto fabricado con las medidas ideales establecidas por la calidad del diseño. Asimismo se deben desarrollar métodos para interpretar las diferencias y actuar sobre ellas. Dicho métodos definen el control de la calidad, y su diseño cumple un doble objetivo:

  - Mantener el proceso bajo control.
  - Eliminar las causas atribuibles que ocasionan el incumplimiento de las especificaciones.

  En relación con el primer objetivo los diagramas de control juegan un papel fundamental. Asimismo el diseño de experimentos proporciona las herramientas adecuadas en relación con el segundo objetivo, cuando se considera la modelización estadística del proceso.

3. Modelos de actuación de la empresa en materia de calidad

El concepto de proceso en este ámbito es bastante amplio e incluye diversos factores, tales como el material, la maquinaria, la mano de obra, el método, el medio, etc. La evolución histórica de las técnicas desarrolladas para la calidad está ligada a las actitudes que se han adoptado frente a dicho proceso. Específicamente, se pueden considerar tres actitudes claramente diferenciadas:

(i) No actuar.

(ii) Efectuar una inspección al 100 %.

(iii) Aplicar los métodos estadísticos para controlar y mejorar la calidad (prevención de errores).

Considerando (i), se retiran aquellas unidades defectuosas que son observadas. Puesto que no se ha establecido una estructura sistemática para inspección o revisión, habrá muchas unidades defectuosas que no sean detectadas y lleguen al consumidor. Esta postura fue inicialmente adoptada cuando no existía una cultura de la calidad, puesto que el concepto de competitividad no se había desarrollado antes de la revolución industrial.

La postura (ii) fue adoptada posteriormente, con el desarrollo de la industria. Actuando como en (ii), dado que se analizan todas la unidades producidas, las unidades defectuosas serán retiradas y en algunos casos reparadas. Por tanto, se evita el consumo de unidades defectuosas. En cambio, no se corrigen los errores y, consiguientemente, el proceso continuará fabricando unidades defectuosas. Nótese que (ii) presenta otros inconvenientes tales como que no es aplicable a ensayos destructivos, costos muy elevados, etc., que motivan la aplicación de (iii).

Según se ha comentado, la aplicación de (iii) se produce tras el elevado costo que suponía la aplicación de (ii) y ante la competitividad que surge con el desarrollo de nuevas tecnologías en la empresa. La aplicación de métodos estadísticos de inspección reduce costos. Adicionalmente, la consideración de métodos estadísticos de control produce una mejora la calidad del proceso, incluyendo el desarrollo de técnicas de prevención que exigen un conocimiento más amplio de las características del proceso.

Dependiendo de que se actúe o no en materia de calidad y dependiendo asimismo de la metodología adoptada, se originan costos diferentes. Así se pueden distinguir

- Costos de prevención. Son los costos asociados al diseño del producto y del proceso desde el punto de vista de la calidad, así como los costos de producción dirigidos a prevenir la aparición de defectos.

- Costos de inspección. Comprenden los costos de

  - medición
  - revisión
  - evaluación de cada unidad producida para controlar la calidad.

    Este tipo de costos aparecen en la inspección 100 % y en la inspección por muestreo.

- Costos internos por defectos. Aparecen cuando se detectan defectos en los productos antes de que sean comercializados. Las unidades defectuosas deben ser corregidas, o bien desechadas.

- Costos externos por defectos. Se generan cuando productos defectuosos llegan al consumidor. Estos costos incluyen gastos asociados a periodos de garantía, reclamaciones, responsabilidad legal, pérdida de clientes, etc.

En el caso de no actuación en materia de revisión del proceso y de la producción o de mejora de la calidad, los costos de inspección y prevención no existen. Los costos internos por defectos son pequeños; en cambio, los costos externos por defectos son muy altos.

Cuando la política de la calidad adoptada se enfoca fundamentalmente a la revisión del proceso y de la producción, es decir, a la detección de errores, los costos de inspección y por defectos internos son muy elevados. En cambio, los costos de prevención y por defectos externos son muy pequeños.

4. Evolución histórica de las técnicas estadísticas para el control de la calidad

El control estadístico de la calidad surge en 1924 con la puesta a punto de los gráficos de control para el control estadístico del proceso de fabricación industrial (SPC) desarrollado por W.A. Shewhart. Posteriormente se desarrollan técnicas de inspección estadística basadas en los planes de muestreo por atributos. Se construyen tablas de muestreo que minimizan la inspección total media para una proporción de defectuosos dada (calidad de entrada). Asimismo se desarrollan planes de muestreo basados en un nivel de calidad aceptable (ver normas MIL-STD 105D y UNE 66-020-73). En torno a los años 50 se extiende con gran rapidez en EEUU el control estadístico de la calidad basado esencialmente en los gráficos de control y en las técnicas de muestreo para el control de recepción. En 1957, el ejército de EEUU adopta el procedimiento de Tablas de Muestreo para la inspección por variables, adoptadas en España en 1984 bajo la denominación UNE 66-030-84. Se produce un auge de los métodos estadísticos de control que se identifican con los métodos estadísticos en la industria. El término *control total de la calidad* se utiliza por primera vez en los años 60. Esta década se caracteriza por el desarrollo de técnicas motivacionales como los programas de 'cero defectos', que pretenden incentivar a los empleados para la propia autocorrección que impida la aparición de unidades defectuosas. En Japón se desarrollan diversos elementos para el control estadístico de la calidad, creándose una infraestructura que desde los años 50-60 hace de Japón una de las principales potencias en materia de mercado en relación con su productividad, calidad y competitividad.

Actualmente son tres las líneas en las que se centran el control y la gestión de la calidad.

(i) El control estadístico de la calidad.-En esta línea destaca el control *Off Line* de Taguchi, cuyo objetivo fundamental es el de obtener productos y procesos robustos, poco sensibles a las causas de variación. La metodología utilizada es la de los

Diseños de Experimentos con peculiaridades propias establecidas por Taguchi. También hay que mencionar el auge adquirido por los gráficos de control multivariantes, basados en el estudio conjunto de variables cuantitativas de la calidad que se hallan correlacionadas.

(ii) Calidad Total.-Se desarrolla en un ambiente de gran competitividad donde el cliente es el objetivo principal de la producción. Consiste en el compromiso global de la empresa en una mejora continuada de la calidad utilizando los medios necesarios para que todo el personal se involucre en este objetivo común.

(iii) Aseguramiento de la calidad.-La inspección al 100 % es cara, e inviable en algunos casos. Surge así la tendencia actual de organizar la empresa para desarrollar todo tipo de acciones planificadas y sistemáticas para proporcionar a los clientes la confianza en que los productos y servicios cumplirán las exigencias requeridas en relación con la calidad. Existen cinco normas que constituyen el modelo normalizado básico de aseguramiento de la calidad.

- ISO-9000.

  a) Establecer diferencias y relaciones entre los principales conceptos de la calidad.

  b) Establecer las líneas y directrices para eligir y utilizar la serie de Normas Internacionales sobre sistemas de calidad ISO-9001, 9002, 9003, 9004.

- ISO-9001. Sistemas de calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en el diseño y desarrollo del proceso de producción, instalación y postventa.
- ISO-9002. Sistemas de calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en la producción y en la instalación.
- ISO-9003. Sistemas de calidad. Modelo para el aseguramiento de la calidad en la inspección y en los ensayos finales.
- ISO-9004. Gestión de la calidad y elementos de un sistema de la calidad. Reglas generales.