



VNiVERSIDAD
D SALAMANCA

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Estadística

MEJORAS QUE APORTA LA
IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL
ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD EN EL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA
EMPRESA

Autor: David Méndez Núñez

Tutora: María Teresa Cabero Morán

Salamanca, 2024



VNiVERSIDAD
D SALAMANCA

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Estadística

MEJORAS QUE APORTA LA
IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL
ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD EN EL
PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA
EMPRESA

Autor: David Méndez Núñez

Fdo. (firma)

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del autor, David Méndez Núñez.

Tutora: M. Teresa Cabero Morán

Fdo. (firma)

Salamanca, 2024



Certificado de la tutora de TFG

D./Dña. María Teresa Cabero Morán, profesora del Departamento de Estadística de la Universidad de Salamanca,

HACEN CONSTAR:

Que el trabajo titulado “MEJORAS QUE APORTA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE UNA EMPRESA”, que se presenta, ha sido realizado por David Méndez Núñez, con DNI ****5905 y constituye la memoria del trabajo realizado para la superación de la asignatura Trabajo de Fin de Grado en Estadística en esta Universidad.

Salamanca, 30 de junio de 2024

Fdo.: María Teresa Cabero Morán

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Estado de la Cuestión	1
1.2 Objetivo	2
1.3 Estructura	2
2. CALIDAD: CONCEPTOS GENERALES	3
2.1 Evolución de la calidad	3
2.1.1 El desarrollo entre guerras	4
2.2 La calidad actual	6
3. CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD	11
3.1 ¿Qué es el control estadístico de la calidad?	11
3.2 Objetivos del control estadístico de la calidad	12
3.3 Herramientas para el control estadístico de la calidad	13
3.3.1 Control Estadístico de Procesos (CEP)	13
3.3.2 Muestreo de Aceptación (MA)	13
3.3.3 Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP)	14
3.3.4 Importancia de las herramientas de control de calidad estadístico	14
3.4 Cómo llevar a cabo un control estadístico de calidad eficaz	14
4. GRÁFICOS DE CONTROL	17
4.1 Nacimiento de los gráficos de control	17
4.2 ¿Qué son los gráficos de control?	17
4.3 Gráficos de Control de Shewart	19
4.3.1 Gráficos de Control por número de defectos	19
4.3.2 Gráficos de Control por atributos	20
4.3.2.1 Gráfico p	20
4.3.2.2 Gráfico np	21
4.3.3 Gráficos de Control por variables	21
5. PLANES DE MUESTREO	27
5.1 ¿Qué son los planes de muestreo?	27
5.2 Planes de aceptación o rechazo	28
5.2.1 Cálculo del plan de muestreo simple	29
5.2.2 Normas militares	30
5.2.3 Norma Japonesa	31
5.3 Planes de control rectificativo	32
5.3.1 Cantidad total media de inspección	33
5.3.2 Dodge-Roming	34
6. METODOLOGÍA	35

6.1 Datos	35
6.2 ¿Qué es Excel y por qué su uso?	36
7. APLICACIÓN PRÁCTICA	37
7.1 Gráficos de control	37
7.1.1 Gráfico p	37
7.1.2 Gráfico de medias y desviaciones típicas	39
7.1.3 Gráfico c	42
7.2 Norma japonesa	44
7.3 Plan de muestreo triple	45
7.4 Contraste de hipótesis y costes	46
7.4.1 Contrastes y costes en gráfico p	46
7.4.2 Contrastes y costes en gráfico de medias y desviaciones	47
7.4.3 Contrastes y costes en gráfico c	48
8. CONCLUSIONES	49
8.1 Conclusiones generales	49
8.2 Conclusiones específicas	50
9. BIBLIOGRAFÍA	51

1. INTRODUCCIÓN

La estadística es una ciencia que estudia tanto la recopilación como la descripción de los datos con su posterior análisis e interpretación, obteniéndose a partir de estos, ciertas conclusiones. El control de calidad basa la mayor parte de sus aspectos en la estadística lo que desemboca en que esta se encuentre inmersa en múltiples de sus procesos.

A su vez, los métodos estadísticos son empleados a la hora de recopilar y examinar ciertos datos buscando patrones y reduciendo el sesgo en la evaluación a partir de la aplicación de un análisis numérico.

El Control Estadístico de la Calidad (CEC) ha surgido como una herramienta esencial en la gestión eficaz y competente de los procesos de producción en múltiples campos empresariales. La puesta en práctica de dicha técnica permite a las compañías que la implementan en su día a día valorar y perfeccionar constantemente la calidad de sus productos, mejorando así sus procesos además de potenciar su posicionamiento en el mercado. Se abordará la importancia y las mejoras que ofrece en el proceso de producción de una empresa la implementación del Control Estadístico de la Calidad.

1.1 Estado de la Cuestión

Actualmente, el planeta se caracteriza por la continua globalización y la creciente competencia, es por ello que la calidad de los productos se ha convertido en uno de los factores más importantes para alcanzar el éxito empresarial. Los compradores demandan cada vez más productos que no solo cumplan con sus expectativas, sino que también mantengan determinados estándares en cuanto a la calidad. En este aspecto, el control estadístico de la calidad emerge como una metodología esencial para gestionar y controlar la variabilidad inherente a los procesos de producción. Para ello, lleva a cabo determinadas funciones como la identificación de las desviaciones y, a su vez, permitiendo una toma de decisiones informada con facilidad.

Se dispone de una gran cantidad de estudios con relación a este tema y cuya literatura ha ido evolucionando con el paso de los años. Su origen se remonta al 1924 de la mano de Walter A. Shewhart, quien introdujo en los procesos tanto las cartas de control como los principales conceptos. A partir de ello, el control estadístico de la calidad ha experimentado un desarrollo continuo, a través de contribuciones significativas de expertos como W. Edwards Deming y Joseph Juran en el marco de la revolución industrial japonesa. Han surgido numerosas teorías y modelos con el paso del tiempo, destacando los catorce principios de Deming que se encuentran en su libro *Out of the Crisis* y que destaca la importancia de la persistencia en un negocio. Junto con estas transformaciones de Deming, el importante estadístico estadounidense aporta el modelo de las siete enfermedades mortales en el cual se encuentran aquellos aspectos que se oponen al cambio e incluso a una mejora o evolución favorable.

Dicho concepto de calidad ha permanecido presente y ha ido evolucionando con el paso del tiempo. Desde su aparición en las primeras tareas del ser humano, la calidad ha estado presente en numerosas actividades como la artesanía, durante la Edad Media, surgen los nuevos mercados que basan su reputación en función de la calidad de sus productos. Dicha actividad

mercantil, llega a masificarse y es por ello que se establecen ciertas directrices a la hora de fabricar dichos productos. Posteriormente, las mercancías solían pasar por un proceso de revisión y certificación por parte del gremio antes de ser selladas.

1.2 Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es hacer un análisis minucioso de los beneficios y las mejoras que puede aportar la implementación del control estadístico de la calidad en el proceso de producción de una empresa. Para obtener este propósito, se llevará a cabo una revisión rigurosa de la literatura especializada, además de analizar estudios de casos prácticos y recopilar datos significativos de empresas que han adoptado esta metodología.

Se busca identificar patrones, tendencias comunes, adversidades y resultados exitosos relacionados con la implementación del CEC. Asimismo, se plantearán sugerencias prácticas y planes para maximizar los beneficios que aporta este método en entornos de producción específicos. En definitiva, se pretende contribuir al conocimiento existente en el campo del control estadístico de la calidad, ofreciendo valiosos puntos de vista para las empresas que buscan mejorar su calidad y eficiencia operativa.

1.3 Estructura

El trabajo consta de varias secciones principales, en las que cada una de estas aborda aspectos específicos con referencia al control estadístico de la calidad.

Inicialmente, se comienza con la introducción. En este primer apartado se discute sobre la importancia de la estadística en el control de calidad y cómo su aplicación puede llegar a mejorar aquellos procesos de producción en las empresas. Además de esto, se presenta una visión general del Control Estadístico de la Calidad (CEC) y su importancia con referencia a la gestión de la calidad, seguido como segundo apartado, se proporciona una revisión histórica y conceptual de la misma, desde sus orígenes hasta la actualidad.

El tercer apartado aborda la situación actual del control estadístico de la calidad a nivel global, es decir, en este punto, se examinan las tendencias que se siguen por parte de las empresas, junto con sus desafíos actuales.

Como siguiente apartado, se describen los diferentes tipos de gráficos de control utilizados en el control estadístico de la calidad, explicando tanto cual es el método que se sigue para su construcción como su consiguiente interpretación, junto a ejemplos prácticos.

En cuanto a la metodología, se detallan aquellas herramientas utilizadas para la recopilación y análisis de datos en el estudio llevado a cabo. Además de ello, se explica cómo se seleccionaron los casos prácticos y los criterios utilizados para evaluar los resultados.

A continuación, se presentaron los resultados y la discusión obtenidos a partir del análisis de los datos y de los estudios de caso. También se exponen las principales tendencias mediante la implementación de los gráficos de control, desafíos y oportunidades identificadas en la implementación del CEC mediante contrastes de hipótesis y comparaciones de costos antes y después de la implementación del control estadístico de la calidad.

Por último, se exponen las conclusiones del trabajo, destacando los beneficios del control estadístico de la calidad y las fuentes bibliográficas y estudios consultados para la realización del trabajo, siguiendo un formato de citación APA.

2. CALIDAD: CONCEPTOS GENERALES

2.1 Evolución de la calidad

Desde los mismos orígenes del ser humano, durante las primeras civilizaciones, se observaba como el hombre mostraba preocupaciones por realizar tareas de la mejor forma posible, llevando a cabo trabajos que le proporcionaban fortalezas y beneficios competitivos respecto a sus coetáneos y su entorno. Este proceso se puede observar fácilmente en la calidad de los productos que estos consumían y que, tras su desarrollo a partir de numerosos errores, permitió diferenciar aquellos productos que se podían consumir o no.

Continuamente se busca la perfección en cuanto a la búsqueda de sistemas que promueven la optimización constante con ciertos estándares de calidad. No obstante, se manifiestan diferencias significativas con relación al entendimiento e implementación del Control Estadístico de la Calidad entre las empresas.

A finales del siglo XIX, surge la revolución industrial y con ello la producción en cadena. Esto dio paso a que las fábricas produjeran de manera masiva, reduciendo los costes de fabricación en comparación a los sistemas artesanos de épocas anteriores. Pero, a pesar de esto, el concepto de calidad cambia significativamente, debido a que durante esta nueva etapa se busca obtener un producto más temporal y menos duradero, a diferencia de aquellos hechos artesanalmente. Se persigue que estos se ajusten a las necesidades de los clientes sin darle tanta importancia a la duración de los mismos.

En ese tiempo también surge la división en las tareas del proceso de producción a partir del Taylorismo. Dicho sistema de organización del trabajo asociado a la producción en cadena aparece gracias a Frederick Winslow Taylor, el cual decidió dividir las tareas de los trabajadores dándole una mejor administración al trabajo de aquella época.

Como detalla Taylor (1911):

“El trabajo y la responsabilidad se reparten casi por igual entre la gerencia y los obreros. La gerencia toma bajo su responsabilidad todo aquel trabajo para el que está más capacitada que los obreros, mientras que, en el pasado, casi todo el trabajo y la mayor parte de la responsabilidad se echaban sobre las espaldas de los trabajadores” (p. 43).

La teoría propuesta por Taylor destaca la necesidad de una supervisión y control meticulosos del trabajo para asegurar su adecuada realización. Esta perspectiva pone énfasis en la tarea en sí misma, dejando de lado consideraciones como los sentimientos o la personalidad de los trabajadores. Sin embargo, esta visión podría conllevar a una pérdida del reconocimiento de la profesionalidad del trabajador, reduciéndolo a la mera función de una máquina.

En los últimos años del siglo XIX, se originan oficialmente los procesos de estandarización de las condiciones y métodos de trabajo. Uno de los principios esenciales establece que la planificación y la ejecución del trabajo deben estar claramente diferenciadas para mejorar la productividad. Posteriormente a esto, se observó una clara disminución en la calidad de los productos al eliminarse la inspección realizada por cada uno de los operarios. Como medida para abordar esta cuestión, se optó por introducir la función de inspección dentro

de la fábrica, asignando a un empleado la responsabilidad de distinguir entre los productos aceptables y los defectuosos, apareciendo, así por primera vez en las empresas, los departamentos de control de calidad.

De esta manera, surge la calidad por inspección, en la que todo el peso de que los consumidores reciban productos defectuosos o en mal estado, recae sobre aquellos trabajadores encargados de llevar a cabo determinadas tareas a la hora de supervisar si dichos objetos se encuentran en un estado aceptable para los compradores.

Fueron Galton y Pearson quienes, en ese orden, empezaron a conectar algunos aspectos dispersos de la época. Galton, demostró cómo poder comparar dos conjuntos de datos para así determinar si existe o no alguna relación significativa entre ellos. Con ello, introdujo términos como la correlación y la regresión a la media.

Por otra parte, Pearson se propuso desarrollar el marco matemático para estos dos conceptos. Después de realizar numerosas pruebas, Pearson llegó a la idea fundamental de la desviación estándar, que indica la media de cuánto se desvían los valores observados de los esperados. Pearson entendió que, combinando la media y la desviación estándar, podía llegar a calcular con absoluta precisión la regresión propuesta por Galton.

Tras un análisis detallado de datos de apuestas provenientes de las mesas de juego de Montecarlo, Pearson formuló la prueba ji cuadrado. Su objetivo era distinguir si la diferencia entre los valores observados y los esperados era significativa o simplemente un producto del azar. Pearson elaboró meticulosamente la tabla de la ji cuadrado a mano.

La integración tanto de la correlación como la regresión de Galton junto con la desviación estándar y la prueba ji cuadrado de Pearson sentó las bases de la estadística moderna.

En las últimas décadas, se ha observado la creciente implementación del control estadístico de la calidad en sectores industriales, servicios o áreas médicas, debido a su aumento en la tendencia de una mayor responsabilidad y gestión en cuanto a la calidad.

2.1.1 El desarrollo entre guerras

Posteriormente a la Primera Guerra Mundial, durante un período en el que se optimizaron los sistemas de producción en serie y se perfeccionaron los procesos y técnicas de control de calidad, comenzó una nueva fase en el desarrollo del concepto de calidad. A lo largo de este proceso, la inspección pasó de ser el centro de atención a transformarse en una herramienta integrada al concepto de calidad.

En 1924, el matemático Walter Shewhart desarrolló una gráfica que reunía una gran cantidad de estadísticas las cuales se usaban para supervisar las variables del producto, marcando así el comienzo oficial de la era del control estadístico de calidad. Este enfoque proporcionó un método mucho más económico para controlar mejor la calidad en entornos de producción en serie en comparación con las prácticas anteriores. El objetivo principal de este nuevo método fue mejorar la eficiencia de las líneas de producción en términos de costo-beneficio, utilizando la estadística de manera efectiva para aumentar la productividad y reducir los errores.

Shewhart también mostró un gran interés en aquellos aspectos administrativos de la calidad al crear el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar) y que, posteriormente sería renombrado por los japoneses como el ciclo Deming. Este constituye la base de los sistemas de gestión de calidad utilizados en la actualidad.

En la Figura 1, observamos como se divide el ciclo PHVA o ciclo Deming y en que se basa cada una de sus etapas.



Figura 1. Ciclo de mejora continua de Deming

(Fuente: <https://www.facebook.com/gruposeiton/photos/a.735553176792514/1589659294715227/?type=3>)

En el período entre guerras, se comenzaron a aplicar técnicas estadísticas en la inspección final, lo que permitió evitar la necesidad de inspeccionar cada producto individualmente. Más tarde, se implementaron controles intermedios del producto durante el proceso de fabricación, lo que ayudó a prevenir el rechazo de productos completamente acabados.

Durante el comienzo de la segunda guerra mundial el control estadístico de calidad pasó a ser un recurso estratégico para las industrias, destacando aquellas pertenecientes a países de Norteamérica.

Según Duncan (1996), el principal propósito del nuevo enfoque era demostrar con absoluta certeza lo que se podría asegurar mediante un sistema sustentado en la estadística para prevenir la pérdida de vidas humanas, a partir de estándares básicos de calidad. A su vez, el gobierno estadounidense fue uno de los principales impulsores para mejorar la calidad y su impacto en la productividad, concretamente en su sector militar.

En el mismo período de la Segunda Guerra Mundial, surge un nombre en el escenario del desarrollo de la calidad, el doctor William Edwards Deming, un destacado estadístico y discípulo de Shewhart. Previamente había trabajado en la reconocida Western Electric Company en Chicago, Illinois, donde se llevaron a cabo los primeros experimentos importantes sobre productividad dirigidos por Elton Mayo, quien estaba prácticamente desconocido en ese momento.

Durante este tiempo, Deming impartió clases en la Universidad de Stanford, dando lecciones a ingenieros militares sobre el control estadístico de calidad. Desde 1942 hasta 1945, Deming colaboró significativamente a mejorar la calidad de la industria estadounidense destinada a la guerra.

Tras la conclusión de la Segunda Guerra Mundial, la gestión de la calidad adoptó dos enfoques totalmente diferentes. Mientras que en Occidente se siguió el camino de la inspección como principal método de control, en Japón se desarrolló un enfoque radicalmente distinto. Durante la década de 1950, Japón reconoció la importancia de la fabricación de productos correctos desde el inicio para evitar el hacer y comercializar artículos defectuosos. Con el transcurso de muchos años de grandes trabajos, Deming, considerado el padre de la calidad en Japón, viajó a Tokio en 1947 y estableció contacto con ingenieros japoneses. Impartió una serie de conferencias sobre control estadístico de calidad y modelos administrativos para la gestión de la calidad, enfatizando la responsabilidad de los directivos en su consecución.

Deming introdujo en Japón el ciclo PHVA. Por lo tanto, a pesar de que el control de calidad comenzó con un enfoque centrado en la inspección, pronto se trasladó a la prevención como método para controlar los factores del proceso que causaban productos defectuosos.

En 1954, Joseph M. Juran al igual que Deming, viajó a Japón, donde contribuyó a resaltar la significativa implicación de la alta dirección en la consecución de la calidad, un modelo que más tarde fue adoptado a nivel global.

Otro nombre a destacar fue el de Armand V. Feigenbaum, quien desarrolló el concepto de gestión de la calidad e implementó el programa de calidad en General Electric. Este programa, conocido como *Total Quality Control*, fue introducido por primera vez en Estados Unidos en 1951 a través de su libro *Total Quality Control*. Feigenbaum asumió el cargo de director de todas las unidades de producción de General Electric en todo el mundo, lo que le permitió difundir sus conocimientos sobre calidad dentro de la compañía. En 1956, Feigenbaum también visitó Japón.

Estos tres personajes: Edwards Deming, Joseph Juran y Armand V. Feigenbaum, son responsables del notable avance en la calidad en Japón, una mejora que fue consolidada posteriormente por Ishikawa a partir de 1955.

Con la llegada de los primeros desastres en la exploración espacial, se demostró que la mayoría de los fallos se originaban en errores de personas; por consiguiente, es crucial centrar los esfuerzos en el factor humano. Debido a esto en mayo de 1963, se celebró en Japón la Primera Conferencia de Círculos de Control de Calidad, marcando el inicio de lo que posteriormente se conocería como el "milagro japonés".

2.2 La calidad actual

El periodo entre el final de la Segunda Guerra Mundial y el término de la década de los setenta representó una época muy significativa en cuanto a la formulación teórica y conceptual de la calidad tal y como la conocemos en la actualidad. Después de esta década, como resultado de los cambios en los esquemas económicos globales, surgió una tercera fase en el desarrollo de la calidad. Irrumpe a nivel global el concepto de "Proceso de Calidad Total".

En esta nueva fase, se destaca el esfuerzo por lograr la calidad en todos los ámbitos dentro de las organizaciones, independientemente de su actividad económica. Esto implica abarcar áreas como finanzas, ventas, recursos humanos, administración, mantenimiento, producción y servicios. Todos los participantes, desde los encargados de la planificación y diseño de nuevos productos hasta aquellos involucrados en la fabricación, contabilidad y gestión del personal, entre otros, deben estar comprometidos. Además, los responsables de la investigación de mercado desempeñan un papel crucial al escuchar las opiniones de los consumidores y utilizarlas en la planificación del producto para satisfacer sus necesidades. En

este enfoque, la calidad se orienta hacia el sistema en su conjunto, no limitándose solamente a la línea de producción.

La crisis del petróleo junto con el aumento de la capacidad productiva y la globalización de los mercados están llevando a las organizaciones a reconsiderar sus estrategias, buscando nuevas formas de mejorar la eficacia y eficiencia de sus sistemas de producción, adoptando a su vez nuevos enfoques en la dirección y gestión de los trabajadores. Esto da lugar a un entorno en el que los clientes tienen una amplia gama de opciones de productos y servicios para elegir.

Desde la perspectiva de la Calidad Total, la simple conformidad con los estándares de uso llega a ser insuficiente, ya que muchos de estos productos pueden ser técnicamente aptos para su uso, pero no satisfacen las expectativas de los clientes a los que están destinados. De esta manera, surge una nueva definición de calidad: "Adecuación a las expectativas del cliente".

La Calidad Total promueve la expansión del concepto de calidad a todos los aspectos de la organización, fomentando que hacer las cosas correctamente desde el inicio y a la primera se convierta en una norma habitual. Esto requiere el desarrollo de programas concretos en referencia a esta calidad y los cuales incluyan:

- Un compromiso por parte de toda la administración.
- El respaldo de los supervisores en las actividades de mejora y la participación de todos los empleados de la organización.
- Sistemas de participación, motivación y reconocimiento para aprovechar tanto la creatividad como la iniciativa de los trabajadores y llevar a cabo todas las sugerencias beneficiosas.
- La búsqueda permanente de las necesidades de los consumidores y la evaluación de su satisfacción intentando alcanzar la fidelización.
- La constante mejora de todos los aspectos, divisiones y procedimientos, tanto en la producción como en la gestión, buscando optimizar los recursos y simplificar los procesos.

La Calidad Total tiene como objetivo mejorar la gestión en su totalidad. Todo aquello que tiene lugar en la empresa se considera un proceso, y todo proceso puede ser perfeccionado. Para ello, se requiere la colaboración de todas las personas de manera que, trabajando en equipo, se busca alcanzar la excelencia a través de una mejora permanente. Por ejemplo, la Calidad Total aborda tanto la gestión de la calidad en la práctica médica como la calidad de la gestión realizada en la organización. Es por ello que:

- La definición de Calidad no proviene ni de la organización ni de las normas: la define el cliente.
- La calidad deriva de la comparación con aquellos que son mejores.
- La calidad constante se logra a través de valores, organización y de sistemas que la promueven, por lo tanto, no es el resultado de situaciones fortuitas o acciones individuales.

La tercera fase del concepto de calidad concluye con el comienzo de la década de los noventa, momento en el que surgieron nuevos fenómenos socioeconómicos, destacando la globalización y que transformaron completamente el concepto de empresa.

La cuarta fase es actualmente identificada como mejora continua de la calidad total y se caracteriza por una creciente competencia en los mercados globales. Tanto la industria occidental como especialmente la estadounidense, comienzan a perder su posición dominante en sectores donde históricamente habían mantenido una ventaja competitiva significativa, como la fabricación de automóviles, acero o computadoras, entre otros.

En este nuevo periodo, el componente humano desempeña un rol crucial al dar inicio a un proceso constante de reducción de costos, ya que ha adquirido ciertas capacidades y aptitudes para colaborar en equipo y resolver problemas. La empresa reconoce la necesidad de fomentar el desarrollo intelectual y la generación de conocimiento interno, pero de manera sistémica.

Además, un porcentaje del sueldo de los empleados se asigna en función de los logros o resultados alcanzados por estos durante un periodo de tiempo, motivando así su manera de actuar.

Tal y como entendemos el concepto de calidad actualmente surge en el siglo XX.

Las más recientes corrientes en esta materia se orientan hacia la obtención de la excelencia en todos los aspectos, la cual implica la adopción de prácticas destacadas en la gestión del servicio y la obtención de resultados basados en principios fundamentales, entre los cuales se encuentran: enfoque en los resultados, atención al cliente, liderazgo y persistencia, basarse en hechos y procesos, involucramiento del personal, mejora continua e innovación, establecimiento de alianzas mutuamente beneficiosas y responsabilidad social.

En un entorno de competencia global, las empresas se encuentran con el desafío de fabricar y comercializar productos de la mayor calidad posible al menor costo realizable. La colaboración del personal y la optimización del proceso se manifiesta en una constante reducción de costos combinado con el acercamiento a los clientes, medida en términos de ventas, resulta en un incremento de las ganancias de la empresa.

La Tabla 1 proporciona una visión resumida de la evolución cronológica del concepto de calidad.

Etapas	Concepto	Finalidad
Artesanal	Realizar trabajos de calidad, independientemente del costo o dedicación.	- Cumplir con las expectativas del cliente. - Plena satisfacción del artesano por la ejecución exitosa del trabajo. - Desarrollar un producto distintivo.
Revolución Industrial	Producción en masa sin considerar la calidad.	- Cubrir una gran solicitud de productos. - Generar ganancias.
Administración Científica	Implementación de técnicas de control de calidad.	- Cumplimiento de los estándares y requisitos técnicos.
Segunda Guerra Mundial	Garantizar la calidad de los productos (armamento), en un tiempo mínimo.	- Asegurar productos eficientes disponibles en las cantidades y plazos necesarios.
Posguerra Occidente	Producción en grandes volúmenes para satisfacer la demanda.	- Atender la demanda de bienes generada por el conflicto bélico.
Posguerra Japón	Producir desde el inicio productos de alta calidad.	- Reducir los gastos por productos defectuosos mediante la calidad. - Cumplir con las exigencias del cliente. - Fomentar la competitividad.
Década de los setenta	Implementación de métodos y procedimientos para prevenir la aparición de productos defectuosos.	- Cumplir con las expectativas del cliente. - Evitar fallos. - Disminución de gastos.
Década de los noventa	Enfoque en la calidad dentro de todas las áreas de la empresa.	- Cumplir con las expectativas del cliente. - Evitar equivocaciones. - Ahorro de recursos. - Involucramiento de toda la plantilla.
Actualidad	Formación de líderes de calidad para mejorar procesos.	- Cumplimiento de las expectativas del cliente. - Evitar defectos. - Disminución gradual de gastos. - Fomentar la competitividad. - Incremento de beneficios.

Tabla 1. Evolución cronológica de la calidad

A nivel global, las empresas están adoptando el enfoque de gestión de calidad basado en procesos. Este modelo establece que para que una organización opere de manera eficiente, debe implantar y gestionar una serie de actividades interrelacionadas. Se conoce como "enfoque basado en procesos" ya que se centra en la implementación de un sistema de procesos dentro de la organización, identificando y gestionando la interacción entre ellos para lograr los resultados deseados. El control de la satisfacción de los consumidores implica evaluar la percepción del cliente sobre si la organización ha cumplido con sus requisitos o no.

En la actualidad, existen dos principales enfoques de Gestión de la Calidad:

1. Los Sistemas de Aseguramiento de la Calidad, los cuales se fundamentan en normativas como la ISO 9000. Estos sistemas se centran principalmente en la estructura de procesos de la organización y están diseñados para asegurar que el trabajo realizado cumpla con los requisitos establecidos previamente. Son sujetos a certificación por parte de entidades independientes como AENOR y otras.
2. Los Modelos de Calidad Total o Excelencia en la Gestión, que son aún más arriesgados que los anteriores. Estos modelos no solo se basan en los sistemas de aseguramiento de calidad, sino que también aspiran a alcanzar la excelencia en la gestión organizacional. Se estructuran en torno a los principios de la Calidad Total, abarcando todas las áreas clave de la organización.

La visión convencional de la calidad que está enfocada en las características de un producto o servicio ha sido reemplazada por el nuevo paradigma conocido como calidad total. Este enfoque es más holístico y está destinado a ser aplicado en la administración de organizaciones en general.

3. CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD

3.1 ¿Qué es el control estadístico de la calidad?

El uso de técnicas estadísticas en procesos industriales, administrativos y/o de servicios se conoce como "Control Estadístico de la Calidad". El objetivo es determinar si todas las partes del proceso o servicio cumplen con los estándares de calidad establecidos y contribuir al cumplimiento de estos estándares.

Es una técnica que utiliza herramientas estadísticas para evaluar y analizar la calidad de los bienes o servicios. Estas herramientas facilitan la recolección y el análisis de datos, lo que permite tomar las decisiones necesarias para mejorar o perfeccionar los productos o servicios.

El control estadístico de la calidad tiene sus principales aspectos en la recopilación y análisis de datos en tiempo real, cuyo propósito se relaciona con poder identificar cualquier variación o desviación que pueda impactar negativamente la calidad del producto final durante el proceso. Además de ello facilita la implementación de medidas correctivas y preventivas de manera inmediata, facilitando que la producción de productos no conformes no se lleve a cabo a medida que se desarrolla el proceso.

Contando con que este método es utilizado para la supervisión de los procesos, el control estadístico de la calidad también integra técnicas y métodos estadísticos los cuales se emplean para analizar aquellos datos que han sido recopilados previamente. Es por ello que, gracias a esto, hay una enorme simplificación mediante la detección de las causas detrás de las variaciones y desviaciones, capacitando la implementación de acciones correctivas y preventivas de manera mucho más eficiente.

Es crucial asegurarse de recopilar datos de manera precisa y confiable, así como de analizarlos empleando herramientas estadísticas adecuadas. Posteriormente, es necesario implementar acciones correctivas con el fin de elevar la calidad del producto o servicio y prevenir potenciales inconvenientes en el futuro.

En la búsqueda de un método eficaz para optimizar la calidad de los productos, el control estadístico de la calidad es la solución necesaria.

El empleo del control estadístico de la calidad permite detectar y abordar problemas potenciales antes de que impacten en la experiencia de los clientes.

Durante un proceso industrializado se puede observar cómo está influenciado por una serie de factores aleatorios que imposibilitan la producción de dos productos los cuales claramente se ve como son exactamente idénticos. Es decir, las características que determinan al producto fabricado se observan como no son consistentes y muestran un cierto grado de variabilidad.

Dicha variabilidad obtenida, no deseada por la industria, tiene por objetivo ser reducida al mínimo posible o al menos ser estabilizada dentro de ciertos límites. El control estadístico de procesos o CEP es una herramienta valiosa para lograr este último objetivo.

En ciertas situaciones, su aplicación dentro de la industria sigue a una estrategia de optimización constante de los procesos y a la reducción de los gastos, mientras que, en otros casos, prevalece como un requisito del cliente o de los estándares pertinentes en el sector al que pertenece la industria.

La principal complicación en la entrega de productos o servicios de calidad y que se encuentren en un estado impecable radica en la variabilidad intrínseca de cualquier proceso de producción o prestación de servicios.

Si la disparidad entre dos unidades es mínima, puede pasarse por alto, pero si es considerable, una unidad puede resultar inaceptable o, en otras palabras, defectuosa.

El propósito de aplicar técnicas estadísticas al control de calidad es estudiar y evaluar esta variabilidad.

3.2 Objetivos del control estadístico de la calidad

Para alcanzar sus objetivos, el control estadístico de calidad se vale de una serie de técnicas estadísticas que permiten detectar y gestionar las variaciones en los procedimientos de producción y prestación de servicios.

Las metas principales del control estadístico de la calidad incluyen mejorar la calidad de los productos y servicios, reducir los costos y aumentar la satisfacción del cliente. No obstante, también se centra en otros aspectos fundamentales:

1. **Reducción de la variabilidad de los procesos:** consiste en minimizar la variación en la producción de productos o prestación de servicios, lo que implica que estos sean más uniformes y puedan satisfacer con los estándares de calidad preestablecidos. Para lograr esto, es esencial en primer lugar detectar las causas que generan la variabilidad y eliminarlas del proceso de fabricación. Al reducir la variabilidad, se logra disminuir los costos de producción al requerir menos recursos para ajustar procesos y corregir defectos.
2. **Mejora de la capacidad del proceso:** se hace alusión a la habilidad de los procesos para generar productos o servicios que se ajusten a especificaciones determinadas. Dicha mejora en esta capacidad garantiza que los productos o servicios cumplan con las exigencias de los consumidores y sean entregados conforme a lo acordado. Esto significa una reducción de productos o servicios defectuosos y, como resultado, en una disminución de los costos de producción y un incremento en la rentabilidad.
3. **Mejora de la eficiencia de los procesos:** el logro de dicho objetivo se alcanza al detectar y disminuir áreas de desperdicio y reprocesamiento en los procesos. La disminución del desperdicio y el retrabajo conlleva a una reducción de los costos de producción y a una mejora en la complacencia del cliente, al recibir productos o servicios de calidad en el tiempo estipulado.

Es fundamental resaltar que la mejora en la capacidad y eficiencia del proceso es un proceso continuo que requiere un monitoreo constante, análisis e inspección de los datos de producción.

Con ese propósito, se emplean diversas herramientas estadísticas como el análisis de control de procesos y la capacidad de proceso, entre las más destacables.

También es importante destacar que el control estadístico de la calidad no se limita únicamente a la fabricación de productos, sino que también se extiende a la entrega de servicios, con el objetivo de asegurar una entrega consistente y conforme a las proyecciones deseadas por el cliente.

3.3 Herramientas para el control estadístico de la calidad

El control estadístico de la calidad está integrado por ciertas herramientas las cuales facilitan su implementación efectiva. Entre las herramientas más destacadas se encuentran el Control Estadístico de Procesos (CEP) y el Muestreo de Aceptación (MA), cada una con sus propias características y aplicaciones en el entorno empresarial e industrial.

3.3.1 Control Estadístico de Procesos (CEP)

El Control Estadístico de Procesos (CEP) desempeña un papel crucial en el ámbito del control estadístico de la calidad, ya que se centra en supervisar y controlar la variabilidad en los procesos de producción de una organización.

El propósito del CEP es identificar y rectificar cualquier desviación en el proceso, con el fin de lograr una producción más constante y previsible. Estas desviaciones pueden surgir debido a varios factores, como las fluctuaciones en la materia prima, el desgaste de las máquinas o errores humanos.

Los gráficos de control utilizados en el CEP posibilitan a los operadores supervisar los procesos en tiempo real y detectar desviaciones. Asimismo, el CEP colabora en la mejora de la calidad de los productos y la reducción de los desechos al resolver los problemas antes de que se conviertan en defectos de fabricación.

3.3.2 Muestreo de Aceptación (MA)

El Muestreo de Aceptación es una herramienta empleada para inspeccionar lotes de productos y determinar si deben ser aceptados o rechazados.

El objetivo principal del MA es verificar si el lote cumple con los requisitos establecidos previamente, determinando cualquier motivo de la falta de cumplimiento si es necesario.

Existen tres enfoques principales de MA: el muestreo por atributos, el muestreo por variables y el muestreo por defectos:

- El muestreo por atributos, clasifica la calidad de los productos en categorías discretas de aceptable o no aceptable.
- El muestreo por variables emplea medidas cuantitativas para evaluar la calidad.

- El muestreo por defectos, en el cual, la calidad de cualquier tipo de producto se mide por número de defectos.

3.3.3 Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP)

La Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (APQP) se emplea en la industria con el fin de planificar y desarrollar productos y procesos de forma sistemática y eficaz.

Esta metodología se centra en evitar errores o defectos durante el proceso de desarrollo del producto, en lugar de remediarlos una vez que ya han surgido. APQP comprende diversas etapas, que van desde la planificación inicial hasta la validación y el lanzamiento del producto.

3.3.4 Importancia de las herramientas de control de calidad estadístico

El uso de estas herramientas puede detectarse en la diferencia entre una empresa la cual es capaz de producir bienes de alta calidad de forma constante y una que enfrenta permanentes problemas de calidad y rendimiento.

Es por ello que es esencial que las empresas reconozcan la importancia de dichas herramientas y estas sean integradas en sus procesos de producción lo antes posible.

3.4 Cómo llevar a cabo un control estadístico de calidad eficaz

Hay unos factores esenciales para que sea apropiada la utilización de gráficos de control. Primeramente, el proceso debe contar con una estabilidad la cual sea suficiente y que a pesar de que sea aleatorio, sea capaz de permitir anticipación durante el desarrollo del mismo.

En términos generales, si un proceso es caótico, no es predecible, ni será controlable. Por lo tanto, en todos estos casos que cuentan con estos factores no se debe aplicar gráficos de control ni tampoco expresar capacidad.

Es por ello que resulta necesario emplear herramientas estadísticas más avanzadas para así poder estudiar el proceso hasta que se adquiera un nivel de comprensión empírica la cual permita identificar las causas por las que se presenta cierta inestabilidad y proceder a corregirlas.

Existen diversas estrategias y técnicas para implementar un control de calidad efectivo.

Las siete herramientas de Ishikawa son un conjunto de técnicas empleadas en el control estadístico a lo largo del proceso de fabricación o prestación del servicio, con el fin de mejorar la eficiencia y el rendimiento:

- **Plantillas de recogida de datos:** utilizadas para recopilar datos sobre una característica específica de calidad. A lo largo del proceso se van registrando ciertas evaluaciones y se va mostrando como se dividen en grupos.
- **Histogramas:** gráficos que representan visualmente la distribución de variables. Facilita demostrar la división de los contenidos alojados dentro del gráfico.

- **Diagramas de causa-efecto:** se utilizan para identificar las causas principales de los problemas.
- **Diagramas de Pareto:** gráficos que muestran las variables cualitativas más relevantes y significativas. Elimina aquellos factores que intervienen en los primeros defectos haciendo que desaparezca gran parte de los errores.
- **Diagramas de dispersión:** se emplean para analizar la relación entre dos variables.
- **Gráficos de flujo:** son un tipo de esquemas que definen como se elabora el proceso en sus diversas etapas identificando sus problemas.
- **Gráficos de control:** diagrama cuya representación muestra valores de una característica de calidad con unos límites predefinidos.

Una de las metodologías más utilizadas es Seis Sigma, que tiene como objetivo mejorar el rendimiento y rentabilidad al reducir la variabilidad en los procesos.

Básicamente, Seis Sigma busca optimizar los procesos y promover una cultura de mejora continua en la empresa. Esto se traduce en la reducción de defectos en los productos o servicios.

El nombre Seis Sigma hace referencia a seis desviaciones estándar de la media. Según este método, se busca lograr un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMP).

Para llevar a cabo este proceso, es fundamental contar con un Control Estadístico de Procesos (como el CEP), se trata de un conjunto de instrumentos para supervisar el rendimiento de un proceso. Una de las herramientas empleadas en el CEP son los gráficos de control, en los cuales el eje vertical representa el valor de la variable de interés.

Estos gráficos incluyen tres líneas importantes:

1. **Línea central (LC):** la cual representa el valor medio de la calidad estudiada.
2. **Límite Superior de Control (LCS):** mayor valor del intervalo donde se sitúa la calidad estudiada.
3. **Límite Inferior de Control (LCI):** menor valor del intervalo donde se sitúa la calidad estudiada.

Además, los gráficos de control tienen como objetivo:

- La identificación inmediata de factores específicos.
- Determinar aquellos parámetros que se lleven a cabo durante el proceso de producción.
- Recopilar información en busca de la mejora del proceso.

La Figura 2 es la representación del gráfico de control realizado a través del control estadístico de la calidad.

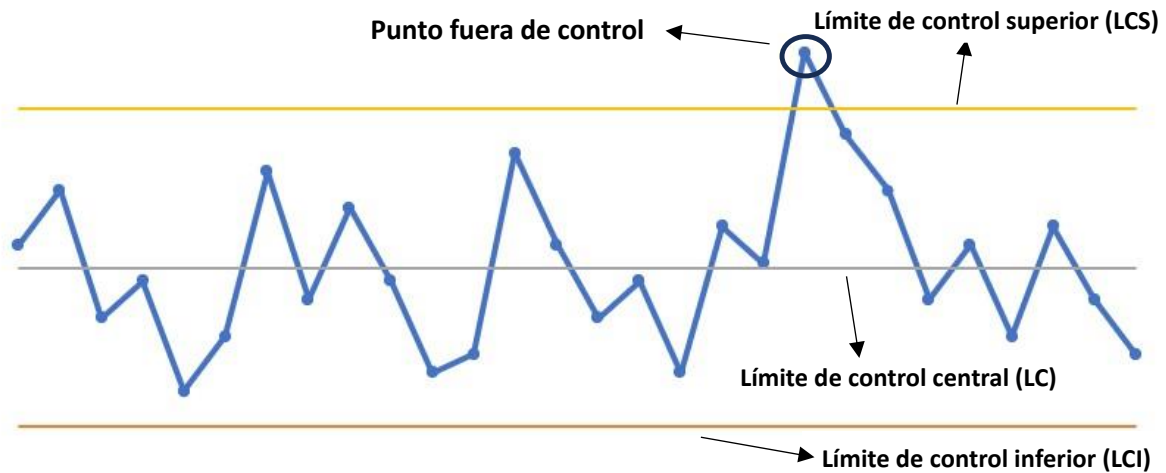


Figura 2. Gráfico de control
(Foto propia)

Los límites se establecen mediante un análisis estadístico de los datos, lo que permite determinar el rango en el que los puntos deberían encontrarse si el proceso está bajo control. Cuando los puntos del proceso están dentro de los límites de control, se considera que el proceso está en estado de control y se mantiene constante alrededor de un valor medio estable. Sin embargo, si los puntos se encuentran fuera de estos límites, se concluye que el proceso está fuera de control y se requiere intervenir para eliminar la variación.

Asimismo, aparte de detectar problemas presentes, el control estadístico de la calidad permite prever y evitar problemas futuros. Esto brinda la oportunidad de corregir los problemas a tiempo y garantizar la calidad a largo plazo.

4. GRÁFICOS DE CONTROL

4.1 Nacimiento de los gráficos de control

Alrededor de 1920, surgen los gráficos de control de la mano de Walter A. Shewart, mientras que este trabajaba en la empresa estadounidense *Bell Labs*. Tuvo como motivación la necesidad de minimizar aquellos fallos que surgían dentro de los sistemas de transmisión telefónicos. Además, este método buscaba controlar la calidad en los medios de producción de masa reduciendo los costos en todas las tareas.

No solo centró sus innovaciones y avances alrededor de los métodos estadísticos, sino que también fue el primero en tratar los denominados aspectos filosóficos de la calidad.

Shewhart y su equipo reconocieron que, para mejorar la calidad de estos sistemas, era de vital importancia comenzar reduciendo la variabilidad durante los procesos de fabricación. Dicha variabilidad se atribuía a dos tipos de causas: comunes y especiales.

Al identificar y controlar aquellas causas comunes, esperaban poder optimizar los procesos y hacer desaparecer los posibles problemas de calidad futuros de manera eficaz.

A partir de las teorías y conceptos conocidos por Shewhart, estos fueron adoptados y ampliamente difundidos por W. Edwards Deming.

Deming jugó un papel fundamental en el desarrollo, la expansión y la implementación de estas ideas en la industria tanto japonesa como estadounidense a lo largo del siglo XX.

4.2 ¿Qué son los gráficos de control?

Los gráficos de control son aquellas herramientas que permiten ayudar a entender la estabilidad y variabilidad de un proceso de una manera generalizada y simplificada. Este tipo de procesos son especialmente comunes en la industria de fabricación. No obstante, predomina su uso en procesos de materias primas, procesos de piezas en manufactura o volúmenes de producción unitarios.

Tienen como función y objetivo principal detectar y eliminar las causas por las cuales la variabilidad puede afectar a la calidad del producto final.

Shewhart definió en tres sencillas funciones a los gráficos de control:

- Definir la meta dentro de un proceso.
- Cómo obtener dicha meta.
- Precisar si esa meta ha sido lograda.

En la actualidad, en función de cómo utilizan el tipo de datos que se esté midiendo (variables o atributos) y las variables específicas que se desean controlar, podemos encontrar distintos tipos de gráficos de control, como los gráficos x-S o x-R, entre otros.

Este tipo de gráficos proporcionan una representación visual de cómo se desarrolla el proceso con respecto a ciertos límites establecidos. Esto, además, permite a los equipos de trabajo tomar decisiones las cuales permitan mejorar positivamente la calidad y la eficiencia del proceso.

Los gráficos de control se componen de un sistema de coordenadas con un eje vertical el cual representa la medida o aquel factor que queremos tener controlado en un periodo de tiempo o el número de muestras, el cual se encontrará situado en el eje horizontal del gráfico final.

Además de ello, también cuentan con tres líneas horizontales de gran importancia. El Límite Superior de Control (LCS), el Límite Inferior de Control (LCI), y la Línea Central (LC), que es la encargada de representar el valor nominal o la media de la medida.

La distancia que separa estos límites es de $\pm 3\sigma$, donde σ es la desviación. Esto se basa en la suposición de que la mayor parte de los procesos siguen una distribución normal gaussiana.

A la hora de representar los puntos de manera correspondiente en cada medición en el gráfico, este nos muestra una detallada vista de la tendencia, variabilidad y estabilidad del proceso. Aunque, normalmente, la variabilidad de aquellos puntos que se mantengan dentro de los límites establecidos se deberá a causas comunes o independientes al proceso. La variabilidad observada, por lo tanto, es predecible y no podría ser modificada a menos que se realicen dentro del proceso una serie de mejoras en el sistema global del mismo. Como resultado esperado, se observa que la variación es irregular, aleatoria y sin una tendencia discernible.

Por el contrario, si se observa cierta tendencia, es probable estar frente a un proceso inestable. Además, los valores deben dispersarse alrededor del valor central o media; de lo contrario, será necesario un reajuste en los parámetros del proceso para que este se centre adecuadamente.

En cuanto a los puntos aislados que se quedan fuera de los límites indicados, pueden tener varias causas de variación, las cuales son impredecibles. Es por ello que, es esencial mantener la atención a estos puntos identificando como eliminar sus causas y así estabilizar el proceso.

Si son varios puntos los que se mantienen fuera de los límites, podríamos estar delante de un proceso caótico, el cual es inestable y se encuentra con una incapacidad para ser controlado. En una situación como esta, puede llegar a ser necesario recurrir al empleo de herramientas más avanzadas para la obtención de un análisis mucho más profundo. A la hora de tomar medidas para mejorar ciertos aspectos, es de vital importancia una interpretación adecuada del gráfico.

La Capacidad de Proceso es un concepto el cual determina si un proceso puede llegar a ser estable o no.

Un proceso está bajo una distribución normal y no presenta causas de variabilidad, por lo tanto, el 99,73% de las muestras estarán dentro de $\mu \pm 3\sigma$, donde μ estará definido como la media y σ es la desviación estándar. Es por ello que, en este caso, 6σ representa la variabilidad

dentro del proceso, lo cual también puede conocerse como Capacidad de Proceso. Esta medida está representada por la anchura de la campana de Gauss.

Para evaluar, por lo tanto, si nuestro proceso es o no estable, anteriormente debemos comprender los parámetros de capacidad y a ver utilizado los gráficos de control. En nuestra sociedad actual, este análisis se realiza mayoritariamente mediante determinados *software* especializados y en ocasiones ya integrados directamente en las máquinas del proceso. Además, estos son capaces de proporcionar resultados en tiempo real.

A pesar de ello, aquellas interpretaciones las cuales deben ser más precisas dentro de estos resultados, siguen siendo responsabilidad de las personas. Es por ello que ser capaz de estabilizar un proceso viene de la mano de la habilidad y comprensión de aquellos trabajadores que lo supervisan y ajustan.

4.3 Gráficos de Control de Shewart

Los Gráficos de Control de Shewart son una de las herramientas más usadas en el control estadístico de la calidad y varían según el tipo de datos que representan:

4.3.1 Gráficos de Control por número de defectos

En este caso, la calidad se mide en función del número de defectos. Estos gráficos siguen una distribución de Poisson ($P(c)$), cuya función de probabilidad es la siguiente:

$$p_x(x) = e^{-c} \frac{c^x}{x!} \quad x = 0, 1, 2 \dots$$

4.3.1.1 Gráfico c

En él se muestra el control del número total de defectos en la muestra durante intervalos de tiempo o periodos de muestreo.

Tiene como media: $\mu = c$

Tiene como varianza: $\sigma^2 = \mu = c$

La variable c se conoce como el número medio de defectos presentes y se estima por $\hat{c}$ que sería el número medio de defectos en las muestras seleccionadas con las que se están trabajando.

Dentro del gráfico c se distinguen tres límites con sus fórmulas correspondientes:

1. **Límite Superior de Control:** $LSC = \hat{c} + 3\sqrt{\hat{c}}$
2. **Límite Central:** $LC = \hat{c}$
3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = \hat{c} - 3\sqrt{\hat{c}}$

Si este último límite de control fuera un número negativo, se trabajaría con él como si fuera un 0.

4.3.1.2 Gráfico U

Representa el número de defectos por unidad de medida durante un periodo de muestreo. Es similar a los gráficos p pero tiene sus bases en el gráfico c.

Dentro del gráfico U se distinguen tres límites con sus fórmulas correspondientes:

1. **Límite Superior de Control:** $LSC = \hat{U} + 3\sqrt{\frac{\hat{U}}{L}}$

2. **Límite Central:** $LC = \hat{U} = \frac{\text{total de defectos}}{\text{media total}}$

3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = \hat{U} - 3\sqrt{\frac{\hat{U}}{L}}$

Si este último límite de control fuera un número negativo, también se trabajaría con él como si fuera un 0.

4.3.2 Gráficos de Control por atributos

Cuando aquel valor a medir en la calidad no se presenta en forma numérica, se le denomina atributo. En él, se analizan tanto las características buenas como las características malas, independientemente una u otra. Estos gráficos, a diferencia de los gráficos de control por número de defectos, siguen una distribución binomial, cuya función de probabilidad es la siguiente:

$$p_x(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad x = 0, 1, \dots, n$$

4.3.2.1 Gráfico p

Representa el porcentaje de unidades defectuosas en la muestra, es decir, la calidad se mide en función de la proporción de defectuosos.

La p se estima por medio de la proporción muestral:

$$\bar{p} = \frac{n^{\circ} \text{ defectuosos totales}}{n^{\circ} \text{ muestras} \cdot \text{tamaño de la muestra}}$$

La proporción estimada cuenta con fórmulas para la media y para la desviación típica:

- **Media:** $E(\bar{p}) = p$ y que se estima por $\bar{p}$

- **Desviación típica:** $\sigma(\bar{p}) = \sqrt{\frac{pq}{n}}$ y que se estima por $\hat{\sigma}(\bar{p}) = \sqrt{\frac{\bar{p}\bar{q}}{n}}$

Dentro del gráfico p se distinguen tres límites con sus fórmulas correspondientes:

1. **Límite Superior de Control:** $LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}\bar{q}}{n}}$
2. **Límite Central:** $LC = \bar{p}$
3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}\bar{q}}{n}}$

4.3.2.2 Gráfico np

Cuando el tamaño de la muestra es constante se usa el gráfico np y este representa la cantidad de unidades defectuosas en la muestra.

En cuanto a su media y desviación típica son las siguientes:

- **Media:** $E(\bar{np}) = np$
- **Desviación típica:** $\sigma(\bar{np}) = npq$

Dentro del gráfico np se distinguen tres límites con sus fórmulas correspondientes:

1. **Límite Superior de Control:** $LSC = np + 3\sqrt{npq}$
2. **Límite Central:** $LC = np$
3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = np - 3\sqrt{npq}$

4.3.3 Gráficos de Control por variables

Este tipo de gráficos se dan cuando la característica de la calidad a medir es de tipo continuo. En ellos, la media y la varianza no están relacionados, además de seguir una distribución normal $N(\mu, \sigma)$

Principalmente, los objetivos de estos gráficos es mantener en todo momento el estado de control, a través de las siguientes formas:

- Verificar que la desviación se mantiene constante.
- Verificar que la media mantiene su valor

A partir de dicha desviación típica y además de suponer que la X es normal, se puede llegar a conocer cuál es la proporción de unidades fabricadas que tengan un valor de X entre ciertos límites.

Para que un gráfico de control por variables se lleve a cabo, hay que estimar tanto la media como la desviación típica del proceso y suponiendo que se encuentre en estado de control. Esto se realizará a partir de ir eliminando las causas asignables de variación. Estas causas pueden ser:

- Cansancio laboral.
- Horarios rotativos.
- Varios distribuidores de materias primas.

No obstante, todas las muestras tomadas serán agrupadas en muestras más pequeñas y a su vez separadas a lo largo del intervalo de producción. Esto hace que sea más sencillo detectar problemas puntuales en un menor periodo de tiempo. Por lo tanto, tendremos k muestras con n elementos cada una.

$$(X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{kn})$$

donde X_{ij} representa la j -ésima observación de la i -ésima muestra:

$$(i = 1, \dots, k, j = 1, \dots, n)$$

Si el proceso se hubiese mantenido en estado de control, los nk datos conformarían una muestra aleatoria simple y habría que estimar la media poblacional por la media muestral (también conocido como estimador centrado usual):

$$\hat{\mu} = \bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \bar{X}_i = \frac{1}{nk} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij}$$

De manera similar, un estimador centrado, pero en este caso de la varianza, sería la cuasivarianza muestral:

$$\hat{\sigma}^2 = s_c^2 = \frac{1}{nk - 1} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{\bar{X}})^2$$

Si, por el contrario, el proceso no está en estado de control, la muestra no es aleatoria simple y, por lo tanto, se debería decidir entre utilizar gráficos de control para la variabilidad o para los promedios.

Podemos medir la variabilidad a través de tres métodos:

1. Desviación típica (s)
2. Cuasidesviación típica (s_c)
3. Recorrido (R)

Para llegar a tener un estado de control claro, los puntos deben de estar dentro de control en ambos casos tanto para las medias como la variabilidad. Aquel punto que se encuentre fuera de control en al menos uno de los gráficos se eliminará de ambos.

Durante el proceso de monitorización de un gráfico de control se pueden dar varias situaciones:

- **Alarma verdadera:** se detecta una causa especial y a continuación se descubre su originalidad.

- **Se produce una causa especial**, pero esta no es detectada.
- **Falsa alarma:** no se detecta ninguna causa especial, pero, aun así, el gráfico de control genera una alarma.
- **No se detecta ninguna causa especial** y, por lo tanto, el gráfico de control no genera ninguna alarma.

Es esencial determinar tanto los límites inferior y superior de control (LIC y LSC) de manera que se detecte la presencia de causas especiales con la mayor probabilidad posible y lo más rápido que esto sea capaz de detectarse. A su vez, también intenta que se minimice el número de falsas alarmas.

Principalmente, se debe observar que no presenten anomalías, un ejemplo claro sería que dichos gráficos contengan tendencias o rachas. También, se podrían presentar casos de periodicidad, en el cual se repite consecutivamente un patrón de puntos, inestabilidad, localizando fluctuaciones próximas tanto al límite inferior de control como al límite superior de control y la superestabilidad, en la que se observa 16 o más puntos entre $-\sigma$ y $+\sigma$.

Si se establece como norma que cada vez que se presente una de estas situaciones se active una alarma, esto daría lugar a dos claros supuestos los cuales son o no positivos para la producción:

1. Mejorará notablemente la sensibilidad durante el proceso de seguimiento de este, aumentando la probabilidad y la rapidez a la hora de detectar las alarmas.
2. Se incrementará el promedio de alarmas falsas, es decir, aplicando varios criterios para detectarlas, lo que implica que cada uno de ellos cuente con su propia tasa de falsas.

A partir de estos supuestos, se puede extrapolar que el primer efecto es positivo, sin embargo, el segundo es claramente negativo. Esto requiere de la búsqueda de soluciones para encontrar un equilibrio que optimice la detección de alarmas verdaderas mientras se minimiza la tasa de falsas.

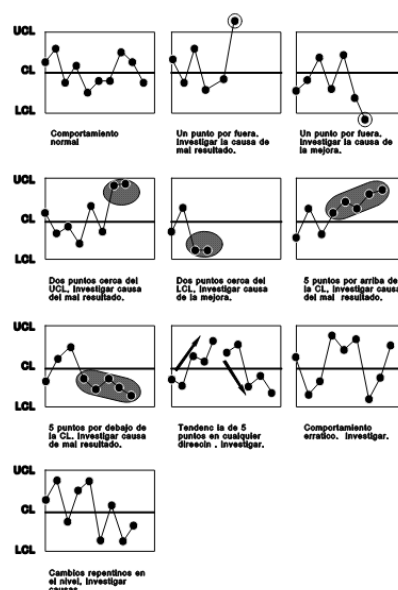


Figura 3. Principales anomalías de los gráficos de control

(Fuente: <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29989/modulo5controlindustrial.pdf>)

4.3.3.1 Gráficos de control por variables para la variabilidad

Debe ser el primero que se realice, debido a que el comportamiento de las medias depende del comportamiento de la variabilidad.

Para que la dispersión del proceso sea estable, es necesario que el gráfico de control por variables para la variabilidad se encuentre en estado de control. Por el contrario, si se quiere que este se encuentre en estado de control, se debe llevar a él.

Como se ha explicado anteriormente, los tres tipos de gráficos de control para la variabilidad, se utilizan en función del tamaño de las muestras:

1. **Desviación típica (s):** se utiliza en muestras mayores o iguales a 10.
2. **Cuasidesviación típica (s_c):** se utiliza en muestras mayores o iguales a 10.
3. **Recorrido (R):** se utilizan en muestras mucho más pequeñas.

A continuación, se mostrarán los límites de cada uno de estos tipos:

- Para media y varianza conocidas (s)

1. **Límite Superior de Control:** $LSC = B_6\sigma$
2. **Límite Central:** $LC = c_2\sigma$
3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = B_5\sigma$

- Para media y varianza conocidas (s_c)

1. **Límite Superior de Control:** $LSC = B_6\sigma$
2. **Límite Central:** $LC = c_4\sigma$
3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = B_5\sigma$

- Para media y varianza conocidas (R)

1. **Límite Superior de Control:** $LSC = D_2\sigma$
2. **Límite Central:** $LC = d_2\sigma$
3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = D_1\sigma$

- Para media y varianza desconocidas (s)
 1. **Límite Superior de Control:** $LSC = B_4 \bar{s}$
 2. **Límite Central:** $LC = \bar{s}$
 3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = B_3 \bar{s}$
- Para media y varianza desconocidas (s_c)
 1. **Límite Superior de Control:** $LSC = B_4 \bar{s}_c$
 2. **Límite Central:** $LC = \bar{s}_c$
 3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = B_3 \bar{s}_c$
- Para media y varianza desconocidas (R)
 1. **Límite Superior de Control:** $LSC = D_4 \bar{R}$
 2. **Límite Central:** $LC = \bar{R}$
 3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = D_3 \bar{R}$

4.3.3.2 Gráficos de control por variables para las medias

A través de este tipo de gráficos, se define el centro del proceso, el cual cambia a lo largo del tiempo o dependiendo de si es estable o no. Si el proceso cambia con el tiempo, se debe a que existen causas asignables las cuales son la fuente de dicho problema.

Es por ello que se debe llevar dicho gráfico a un estado de control, eliminando aquellos puntos que se encuentren fuera del mismo, es decir, que se encuentren fuera de control, tanto en los gráficos de variabilidad como en los de la media.

Se distinguen tres tipos de gráficos de control para las medias:

$$(\bar{X}, s) \quad (\bar{X}, s_c) \quad (\bar{X}, R)$$

Los límites para estos gráficos son:

- Para media y varianza conocidas ($\bar{X}$)
 1. **Límite Superior de Control:** $LSC = \mu + A\sigma$
 2. **Límite Central:** $LC = \mu$
 3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = \mu - A\sigma$

- Para media y varianza desconocidas ($\bar{X}, s$)
 1. **Límite Superior de Control:** $LSC = \bar{\bar{X}} + A_1 \bar{s}$
 2. **Límite Central:** $LC = \bar{\bar{X}}$
 3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = \bar{\bar{X}} - A_1 \bar{s}$

- Para media y varianza desconocidas ($\bar{X}, s_c$)
 1. **Límite Superior de Control:** $LSC = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}_c$
 2. **Límite Central:** $LC = \bar{\bar{X}}$
 3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}_c$

- Para media y varianza desconocidas ($\bar{X}, R$)
 1. **Límite Superior de Control:** $LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$
 2. **Límite Central:** $LC = \bar{\bar{X}}$
 3. **Límite Inferior de Control:** $LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$

Los valores de A_i, B_i, C_i y D_i son números tabulares obtenidos a partir de valores de tabla considerados en función del tamaño de cada grupo.

(En el anexo, figura A1, se encontrará la tabla que reúne los valores de dichos parámetros).

5. PLANES DE MUESTREO

5.1 ¿Qué son los planes de muestreo?

Para asegurar la calidad, es necesario seguir ciertas estrategias que conlleven la inspección o verificación de los productos una vez han sido finalizados. Esta práctica implica establecer un filtro sobre los productos antes de que lleguen al cliente y en función de si cumplen o no con los estándares, estos sean desechados o reparados.

Esta inspección, también conocida como control de recepción, generalmente es realizada por personal distinto al encargado de la producción, lo cual puede resultar costoso y podría no tener en cuenta las actividades de prevención o los planes de mejora.

Esto consiste en un control final, el cual se produce entre el productor y el cliente, y tiene la ventaja de ser imparcial, pero a su vez, presenta desafíos como el desconocimiento del proceso de producción, la falta de responsabilidad de producción en cuanto a calidad, la poca rapidez en la comunicación de la información, entre otros.

Cuando los ensayos son destructivos, realizar una inspección de todas las unidades producidas puede ser prácticamente imposible. Por lo tanto, es necesaria la toma de decisiones ya sea de aceptación o rechazo del lote en su totalidad debido a la calidad de una muestra aleatoria.

Dicho enfoque estadístico proporciona menos información y conlleva riesgos asociados al muestreo, pero tiene como resultado ser mucho más económico, requiere de la presencia de menos inspectores, agiliza la toma de decisiones y también el rechazo de todo el lote motiva a los proveedores a mejorar la calidad.

Si se aplica el control estadístico al producto final, se conoce como control de aceptación, o también puede aplicarse a lo largo del proceso de producción y se denominaría control del proceso.

Durante el control estadístico de recepción, se establecen planes de muestreo los cuales cuentan con criterios de aceptación o rechazo hacia los lotes completos por ensayos realizados en una muestra aleatoria. Este tipo de control por muestreo puede diferenciarse en atributos, siguiendo la norma ISO-2859, o en variables, según la norma ISO-3951.

Con respecto al control estadístico de procesos, aquellas herramientas como los gráficos de control, ayudan a la toma de decisiones cuando el proceso se encuentra fuera de control. A su vez, los estudios de capacidad de estos permiten evaluar si pueden ser capaces de producir dentro de los límites de las especificaciones de calidad establecidas.

A la hora de inspeccionar las unidades que se encuentran en el interior de cierto lote, primeramente, se seleccionan de cada uno algunos artículos y, a partir de ello, se toman determinadas decisiones. Esto depende de la muestra, es decir, en función de si dicho lote se acepta o se rechaza, según el número de unidades defectuosas contenidas en la muestra observada.

Para obtener una solución a esta cuestión, se utilizan los denominados planes de muestreo.

5.2 Planes de aceptación o rechazo

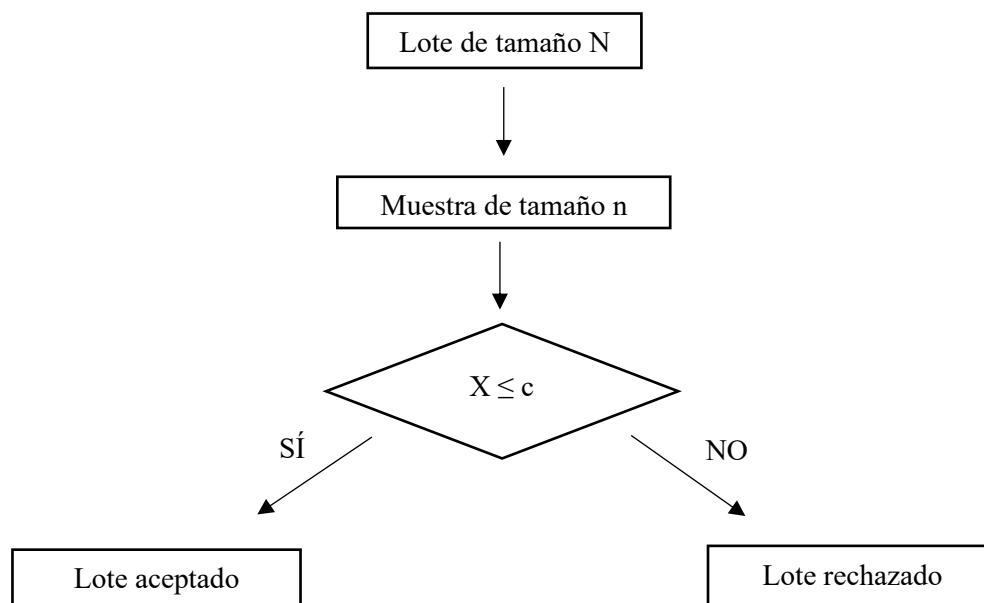
Entre los más reconocidos se encuentran las normas japonesas JIS Z 9002, las normas estadounidenses *Military Standard* MIL-STD-105D, y la norma UNE 66020 la cual considera el tipo y el rigor de la inspección.

Los muestreos pueden ser simples, dobles, múltiples y secuenciales. Este último caso suele darse en situaciones extremas donde tras cada observación se toma una decisión de aceptar el lote, rechazarlo o continuar con el muestreo.

Dentro del plan de muestreo simple, se lleva a cabo un proceso dividido en cuatro fases a lo largo de un periodo de tiempo:

1. Se comienza seleccionando una muestra de tamaño n de un lote el cual está comprendido por N unidades.
2. A continuación, se inspeccionan en función a un atributo de calidad, el cual determina si dicha unidad es apta o no.
3. La suma de aquellas unidades, las cuales, no cumplen los requisitos se denominarán X .
4. Por último, se contrastan las unidades que no cumplen los requisitos, X , con el número de aceptación, c , es decir, si estas son menores o iguales que c , el lote sería aceptado, por el contrario, sería rechazado.

Este proceso podría representarse mediante un diagrama de flujo:



Los dos tipos de errores que son propios a cualquier contraste de hipótesis se derivan de la decisión tomada en el plan de muestreo:

1. Erróneamente rechazar un lote que en realidad debería ser aceptado.
2. Erróneamente aceptar un lote que debería ser rechazado según los datos de la muestra.

Al primer error se le conoce como riesgo del fabricante, se representa por α y es la probabilidad de cometer el error tipo I o la probabilidad de rechazar el lote en el cual la proporción de defectuosos es menor que la proporción que especifica el vendedor, $p \leq p_A$. A este primer tipo de error se le asocian valores como 0,001, 0,01, 0,05 o 0,1.

Al segundo error se le conoce como riesgo del comprador y se representa por la letra β . Es la probabilidad de cometer el error de tipo II y β es la probabilidad de aceptar el lote siendo mayor la proporción de artículos defectuosos que la proporción que especifica el comprador, es decir, $p \geq p_R$. Para este segundo error, se le suelen asignar valores como 0,1, 0,12 o 0,2.

Es por ello que para establecer un plan de muestreo (n, c) se necesita antes definir tanto (α, p_A) como (β, p_R).

Para ello, se suele establecer una relación que es muy común:

$$4 \leq \frac{p_R}{p_A} \leq 10$$

Para describir el plan de muestreo, se emplea la curva característica (CO), la cual se define mediante:

- **CO (p):** probabilidad de aceptar un lote teniendo una proporción p de artículos defectuosos.

Definir (α, p_A) y (β, p_R) es equivalente a establecer dos puntos sobre la curva característica y a medida que incrementa el tamaño de la muestra y se mantiene α constante, el error β tiende a reducirse.

Es por ello que, a partir de dicha curva, determinar el plan de muestreo en función de dos puntos en ella es una tarea bastante laboriosa y por lo tanto se han creado tablas, las cuales proporcionan información para hacer más sencillos estos trabajos.

5.2.1 Cálculo del plan de muestreo simple

Denominando X como el número de unidades defectuosas en una muestra de tamaño de n y siguiendo una distribución binomial $B(n, p)$, obtendremos un plan de muestreo (n, c) siendo N infinito.

Para ello, utilizaremos la siguiente función de probabilidad:

$$P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1 - p)^{n-x} \text{ siendo } x = 0, 1, 2, \dots$$

Dicha función de probabilidad es la responsable de que se encuentre en cierta muestra de tamaño n , x unidades defectuosas.

A su vez,

$$P(X > c) = \sum_{i=c+1}^n \binom{n}{i} p_A^i (1 - p_A)^{n-i} \leq \alpha$$

Y, por lo tanto, se deben verificar las siguientes ecuaciones:

$$P(X \leq c) = \sum_{i=0}^c \binom{n}{i} p_A^i (1 - p_A)^{n-i} \geq 1 - \alpha$$

$$P(X \leq c) = \sum_{i=0}^c \binom{n}{i} p_R^i (1 - p_R)^{n-i} \geq \beta$$

En las cuales tanto la n como la c son incógnitas.

5.2.2 Normas militares

Military Standard 105E (MIL-STD-105E) es un sistema de planes de muestreo, el cual es utilizado para la aceptación de atributos. Originalmente se desarrolló durante la Segunda Guerra Mundial como un conjunto de tablas de inspección para el ejército de Estados Unidos. A lo largo del tiempo, ha experimentado varias modificaciones, desde el 105B hasta el 105E en 1989, que es la versión actual.

El MIL-STD-105E abarca tres tipos de muestreo: simple, doble y múltiple. Para cada uno de ellos, se establecen planes específicos según el nivel de calidad que el comprador espera del vendedor, lo cual está determinado por el Nivel de Calidad Aceptable (NCA) o AQL por sus siglas en inglés (*Acceptable Quality Level*).

Según la norma militar, en el caso del plan de muestreo simple, se trata de una combinación de tres (n , A_c , R_e). En la cual n , es el tamaño de muestra, A_c , es el número de aceptación o el máximo de unidades defectuosas para la aceptación de un lote y R_e , es el número de rechazo o el mínimo de unidades defectuosas para rechazar un lote.

La norma MIL-STD-105E proporciona una gama de planes y directrices que permiten ajustarse a los cambios en la calidad de los lotes suministrados para la inspección.

Para un lote del mismo tamaño y nivel de calidad aceptable (NCA o AQL), se definen tres rigores de inspección:

1. **Inspección Normal:** Se emplea al inicio de la inspección de una actividad y refleja la calidad esperada del vendedor, similar al AQL.
2. **Inspección Rigurosa:** Se implementa cuando el vendedor ha obtenido un bajo rendimiento de la calidad conveniente. Los criterios de aceptación para los lotes bajo esta inspección son más exigentes que en la inspección normal.

3. **Inspección Reducida:** Se aplica cuando $p < AQL$, en otras palabras, el vendedor ha mantenido un buen desempeño en cuanto a la calidad. El tamaño de muestra utilizado en esta inspección es menor que en la inspección normal, lo que resulta en menores costos de inspección.

Las reglas que rigen la selección del plan de muestreo se resumen de la siguiente manera:

1. Normalmente se comienza con inspección normal, salvo que las condiciones impongan otro rigor.
2. Se cambia al plan riguroso si 2 de cada 5 lotes consecutivos son rechazados.
3. Se regresa al plan normal si se aceptan 5 lotes seguidos bajo la inspección rigurosa.
4. La inspección rigurosa concluye después de rechazar más de 10 lotes consecutivos, y, por lo tanto, se sugiere al vendedor que ajuste los niveles de calidad de su producción.
5. Se cambia al plan reducido si no se rechaza ningún lote durante 10 lotes consecutivos bajo la inspección normal y el número límite de defectuosos no es sobrepasado.
6. Se regresa al plan normal si un lote es rechazado durante la inspección reducida o no se toma decisión porque el número de defectuosos no llega a rechazo, en dicho caso se acepta o se cambia el rigor de la inspección.

Todo bajo la dirección que ponga la empresa.

La aplicación de la norma implica dos pasos fundamentales:

1. Seleccionar el plan apropiado de las tablas publicadas. (Anexo, figura A2)
2. Utilizar las reglas de cambio cuando la calidad del lote varía, ya sea para mejor o para peor.

Dentro de cada modo de inspección, se distinguen diferentes niveles de inspección ordinarios dependiendo del coste de la extracción de una unidad, los cuales se distribuyen de mayor a menor costo (I, II, y III) y especiales (S-1, S-2, S-3 y S-4), que se utilizan en casos de ensayos destructivos o inspecciones costosas. La elección del nivel adecuado se basa en la complejidad y responsabilidad del producto, siendo el nivel II el estándar si no se especifica otro.

5.2.3 Norma Japonesa

Aquella marca que comprende las Normas Industriales de Japón (JIS) es una de las más reconocidas en Japón y se fundamenta en la "Ley de Estandarización Industrial", la cual surgió en 1949.

Las normas JIS son revisadas regularmente para mantenerse al día con los avances tecnológicos. Cada una de estas normas JIS está sujeta a una revisión al menos una vez cada cinco años desde su instalación, modificación o reafirmación. En caso de que se considere

necesario realizar cambios en una norma JIS durante este periodo, pueden aplicarse procedimientos de modificación.

Estas normas tienen por objetivo informar y concientizar al público sobre la estandarización y unificación de las normas industriales, lo que conlleva a mejorar la tecnología y aumentar la eficiencia en la producción.

5.3 Planes de control rectificativo

En estos planes, los lotes rechazados son inspeccionados en su totalidad y se sustituyen aquellos elementos defectuosos. Los más utilizados suelen ser los más conocidos como Dodge-Romig.

Gracias a ello, es posible garantizar que la calidad media de entrada en el almacén (AOQ), tendrá un gran valor.

Se basa en un lote de N unidades, el cual contiene una proporción p de unidades defectuosas y en el que se tendrá una probabilidad por la cual el plan de muestreo tenga una aceptación de ciertos lotes y la cual denominaremos p_a .

Esta calidad media de entrada en el almacén será representada mediante la siguiente fórmula:

$$AOQ = p_a \cdot p + (1 - p_a) \cdot 0 = p_a \cdot p$$

En el caso de que el lote de N unidades sea reducido se empleará la siguiente fórmula a la hora de trabajar:

$$AOQ = \left(1 - \frac{n}{N}\right) \cdot p_a \cdot p$$

Este valor AOQ obtenido, se calcula llevando a cabo la multiplicación de p por la curva característica y, en gran parte, está influida por la p . Es por ello que, a menor p , mejor calidad obtenida en el almacén. Por lo tanto, conforme aumenta p , también a su vez, aumentará AOQ.

Dicho aumento no será proporcional en ambos. Aumentará notablemente más en p que en AOQ, debido a que los lotes una vez sean detectados, empezarán a ser rechazados y, por lo tanto, inspeccionados en su totalidad.

Si se da el caso de que dichos lotes sean rechazados constantemente por su mala calidad, esto provocará que sean todos inspeccionados y, por lo tanto, la calidad dentro del almacén será muy alta, inclusive del 100%.

Denominaremos AOQL al límite de la calidad media de entrada y el cual es el punto máximo de AOQ.

Un resumen más orientativo de dicho control del proceso de fabricación podría ser el siguiente. (Ver anexo, figura A3)

En cuanto a los planes de muestreo, encontraremos tanto simples (n, c) como dobles (n_1, c_1, n_2, c_2). Dentro de estos planes dobles, denominaremos a X_1 como el número el cual

contiene la cantidad de unidades defectuosas dentro de la 1ª muestra. A su vez X_2 será el encargado de contener al número de unidades defectuosas encontrados en la 2ª muestra con la que se está trabajando.

Una vez conocemos estas variables, se podrán destacar estos sucesos:

- $X_1 \leq c_1$, se acepta el lote.
- $X_1 > c_2$, se rechaza el lote.
- $X_1 > c_1$ pero $X_1 < c_2$, sería necesaria la obtención de una segunda muestra.
- $X_1 + X_2 \leq c_2$, se acepta el lote.
- $X_1 + X_2 > c_2$, se rechaza el lote.

5.3.1 Cantidad total media de inspección

En ocasiones, los lotes no contendrán unidades defectuosas, esto significa que no se llegará a rechazar ninguno de ellos y, por lo tanto, la cantidad de unidades inspeccionadas en cada uno será n .

Por el contrario, si todas las unidades inspeccionadas fueran defectuosas, todos los lotes serían inspeccionados al 100% y, por lo tanto, se llamaría N al tamaño de inspección por cada uno de los lotes.

Es por ello que, la calidad del lote está integrada entre 0 y 1.

A su vez, el tamaño de inspección cambiará entre n y N .

La magnitud que determina el diseño de los planes de muestreo de control rectificativo es la inspección total media por lote o ITM.

Suponiendo que $p \in (0, 1)$ se obtiene:

- Rectificativo simple

$$ITM = n + (1 - p_a) \cdot (N - n)$$

- Rectificativo doble

$$ITM = n_1 \cdot p_{a1} + (n_1 + n_2) \cdot p_{a2} + N \cdot (1 - p_a)$$

Durante el muestreo simple, el tamaño de la muestra permanece constante en todo momento, al contrario que en el muestreo doble, donde el tamaño de la muestra puede variar en función de si se toma una decisión en la primera etapa y si la segunda muestra se inspecciona en su totalidad o se utiliza el muestreo doble con reducción. Al tamaño muestral medio o NMM, se le deben considerar dos escenarios según si se lleva a cabo o no una inspección completa de la segunda muestra.

A la hora de tomar una muestra a mayores de dicha población, se combinan ambas y se determina tanto el tamaño como los criterios de aceptación y rechazo.

- Plan doble sin reducción

$$NMM = ITM = n_1 \cdot p_1 + (n_1 + n_2) \cdot (1 - p_1)$$

En la cual, p_1 es la probabilidad de aceptar el primer lote en la primera muestra más la probabilidad de rechazar el lote en la primera muestra.

- Plan doble con reducción

$$ITM = n_1 + \sum_{j=c_1+1}^{c_2} p(n_1, j) \left[n_2 p(n_2, c_2 - j) + \frac{c_2 - j + 1}{p} p(n_2 + 1, c_2 - j + 2) \right]$$

5.3.2 Dodge-Roming

Las tablas de Dodge-Roming se originaron a partir del conjunto de las desarrolladas en 1920 por H. F. Dodge y H.G. Roming. Estas tablas fueron diseñadas para facilitar la inspección de productos mediante muestreo por atributos, permitiendo la aceptación o rechazo por lote. En general, estas tablas se basan en conceptos como la calidad límite (NCL) y el límite promedio de calidad de salida (AOQL).

Para el diseño de los planes de muestreo según Dodge-Roming NCL, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Escoger un nivel de calidad límite (NCL) apropiado.
2. Especificar el tamaño del lote (N).
3. Calcular la proporción promedio de artículos defectuosos del proceso del productor (p).
4. Utilizando las tablas correspondientes (Ver tablas en anexo, figuras A4, A5, A6, A7, A8, A9 y A10), obtener el tamaño de muestra (n), el número máximo de defectos aceptables (c) y el límite promedio de calidad de salida.

Si dicha proporción media de artículos defectuosos (p) excede el 50% del nivel de calidad límite, se debe evaluar la posibilidad de reajustar este valor a un nivel de calidad límite más alto.

Una vez establecido el criterio de decisión para aceptar o rechazar un lote, se podría decir que si el número de defectos encontrados en un lote supera el máximo permitido (c), entonces se rechaza el lote y, por el contrario, si el número de defectos encontrados en un lote es igual o inferior al máximo permitido (c), entonces se acepta el lote.

El objetivo del plan de muestreo Dodge-Roming es garantizar que la proporción de unidades defectuosas rechazadas sea elevada, lo que reduce el riesgo para el consumidor (β) a un nivel igual o menor que el NCL. En resumen, se busca que la probabilidad de que el consumidor reciba unidades defectuosas sea inferior al 0,1.

6. METODOLOGÍA

6.1 Datos

Se comenzó con la búsqueda de datos reales publicados por empresas a través de foros o páginas web. Tras una búsqueda exhaustiva de la producción de cualquier empresa, su capacidad de aceptación de lotes o ya sea el número de productos o lotes defectuosos encontrados en un periodo de tiempo a lo largo de su producción, no fue posible recopilar información tanto suficiente como efectiva a la hora de llevar a cabo un caso práctico.

Es por ello, que se procedió a la simulación de estos datos para llevar a cabo un proceso práctico de cómo sucedía la fabricación de tabletas de turrón, a partir de un modelo teórico y probar así su evolución por medio de dicho estudio.

En primer lugar, se llevó a cabo una investigación relacionada con cómo afectaba el control estadístico de la calidad a la producción del turrón de Alicante.



Figura 4. Turrón de Alicante
(Fuente: <https://www.tasteatlas.com/turron-de-alicante>)

Todos estos datos fueron introducidos en el *software* de Excel y mediante dicho programa se llevaron a cabo todos los procesos de investigación.

Los datos fueron creados por medio de funciones de este programa, las cuales son utilizadas para generar datos aleatorios y que permitieron llevar a cabo el análisis de los mismos con facilidad.

En cuanto a la comparación de dichos datos simulados con cualquier tipo de datos reales, la simulación en todo momento se asemeja a posibles investigaciones realizadas por empresas dedicadas a la fabricación de tabletas de turrón. Esto ha sido posible gracias a la búsqueda de posibles factores de riesgo producidos dentro de las fábricas donde se producen estos alimentos.

Dichos datos también cuentan con cierta ausencia de variabilidad, debido a que estos registros están preparados para que ocurran en una época durante su máxima producción, ya que este producto suele tener su mayor facturación en una única época del año.

6.2 ¿Qué es Excel y por qué su uso?

Microsoft Excel es un *software* utilizado mayoritariamente para la organización y análisis de datos. Dicha aplicación permite trabajar con datos tanto numéricos como de texto y de una manera eficiente, empleando hojas de cálculo compuestas por filas y columnas.

Excel facilita la entrada, gestión y manipulación de datos, lo que resulta fundamental en campos como administración y contabilidad sobre todo para agilizar tareas como almacenamiento, tabulación, organización e interpretación de información.

Además, Excel es compatible con diversos dispositivos y sistemas operativos, lo que lo convierte en una herramienta versátil en las diferentes necesidades profesionales.

Para llevar a cabo los procesos prácticos, Excel es una herramienta que cumple con todos los requisitos y características óptimas para que la investigación se realice sin ningún tipo de problema y con la máxima facilidad y posibilidad de ser entendido en cada uno de los pasos a seguir durante todo el proceso.

7. APLICACIÓN PRÁCTICA

7.1 Gráficos de control

Para esta investigación se buscaba principalmente el contraste entre como una fábrica que produce turrón de Alicante, además de otros productos como barras de chocolate, puede notar un gran avance en su producción durante el proceso de fabricación de sus tabletas implementando el control estadístico de la calidad mediante los gráficos de control.



Figura 5. Fábrica de turrón en Jijona

(Fuente: <https://alicantepiazza.es/dentro-de-antiu-xixona-asi-se-fabrican-el-turron-y-el-chocolate-que-compras-en-mercadona>)

7.1.1 Gráfico p

Para comenzar, se estableció una media de peso de las tabletas de 300 gramos, de los cuales, 200 gramos eran de almendras.

Se envasan estas barras de turrón de 300 gramos en unos envoltorios, los cuales, son producidos por una máquina a partir de una pieza de plástico y aplicando, luego, un fondo metálico.

Al inspeccionar una barrita, se puede determinar tanto el peso total de esta como la cantidad de almendras que contiene. Tras ello, se busca elaborar aquellos gráficos de control para determinar la cantidad de barras de turrón de Alicante disconformes producidos por la máquina.

Para ello, se llevó a cabo la extracción de cierta cantidad de muestras con las que poder realizar la investigación.

Se extrajeron 25 muestras de tamaño 50 y de cada una de ellas se registró el número de tabletas disconformes encontradas en cada muestra.

Inicialmente, se propuso la elaboración de un gráfico de control p, el cual, para su diseño serían necesarios los límites tanto inferior, superior y central. La obtención de estos límites se llevaría a cabo a partir de las siguientes fórmulas:

1. Límite Superior de Control: $LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}q}{n}}$

2. Límite Central: $LC = \bar{p}$

3. Límite Inferior de Control: $LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}q}{n}}$

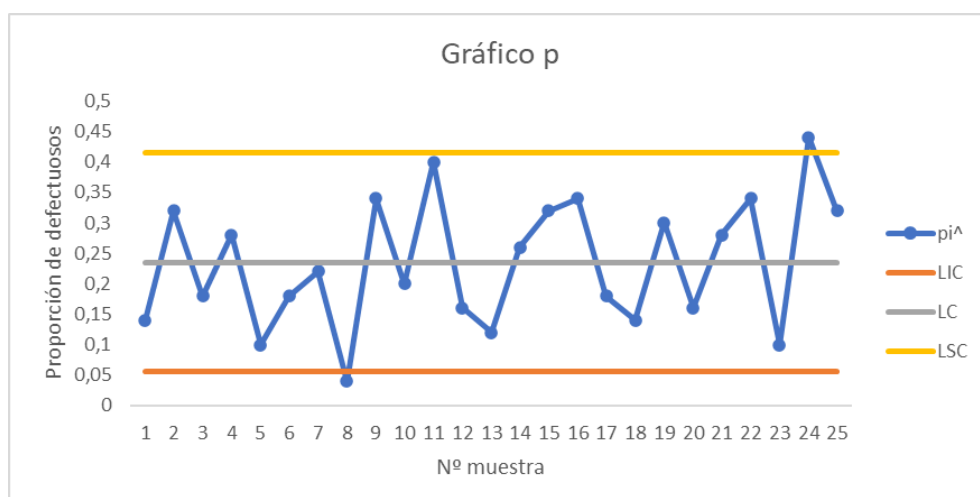
Destacando $\bar{p}$ como:

$$\bar{p} = \frac{n^{\circ} \text{ defectuosos totales}}{n^{\circ} \text{ muestras} \cdot \text{tamaño de la muestra}}$$

Los resultados obtenidos para cada uno de estos límites fueron:

- $LSC = 0,4141$
- $LC = 0,2344$
- $LIC = 0,0547$

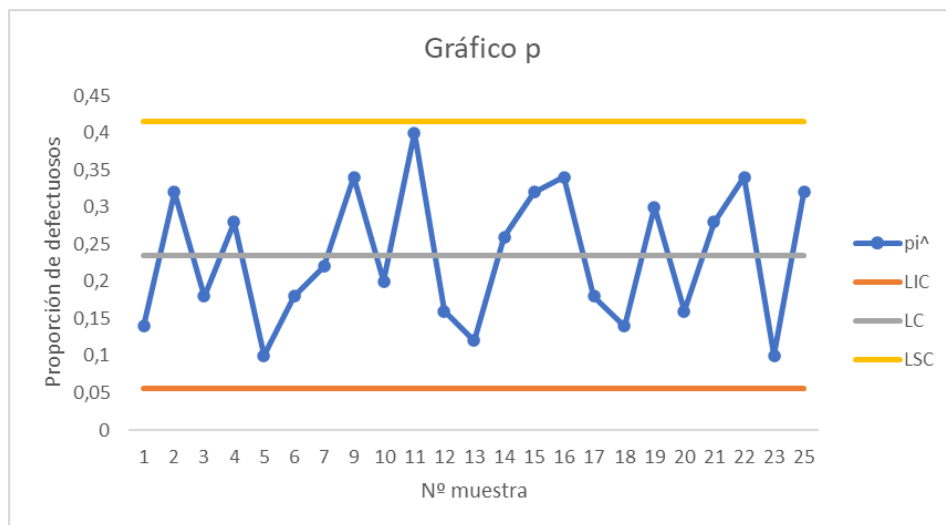
Como resultado, el gráfico obtenido fue el siguiente:



Se puede observar que varios puntos se encuentran fuera del gráfico de control (punto 8 y punto 24), es decir, se encuentran fuera de los límites de control y, por lo tanto, se deben excluir.

Se procedió a omitir dichos puntos del estudio y tras ello, se obtuvieron los siguientes resultados tanto para los límites de control como para el gráfico p:

- $LSC = 0,4135$
- $LC = 0,2339$
- $LIC = 0,0543$



Tras este segundo ajuste y de haber descartado los puntos anteriores, se observa como el gráfico se encuentra en estado de control y el cual está formado por 23 muestras.

7.1.2 Gráfico de medias y desviaciones típicas

Se han tomado otras 25 muestras de tamaño 5 y se ha calculado su media y su desviación típica. En estos datos, se recoge el peso, en gramos, de las almendras de cada una de las 125 tabletas de turrón.

Como se ha planteado anteriormente, se buscaba el diseño de los gráficos de control necesarios tanto para la media como para la desviación típica de los datos recopilados.

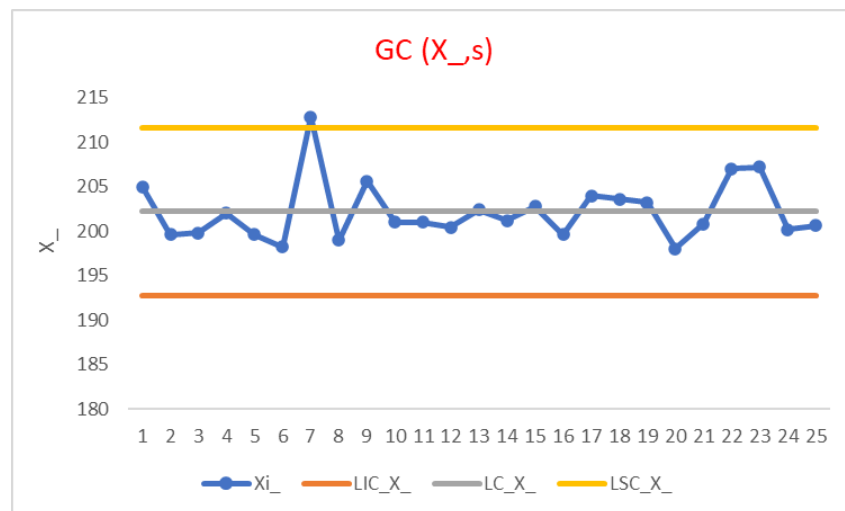
Es por ello que se buscaba diseñar los gráficos de control necesarios a partir de los límites de control. La obtención de estos límites se llevaría a cabo a partir de las siguientes fórmulas:

1. Límite Superior de Control: $LSC = \bar{\bar{X}} + A_1\bar{s}$
2. Límite Central: $LC = \bar{\bar{X}}$
3. Límite Inferior de Control: $LIC = \bar{\bar{X}} - A_1\bar{s}$

Estos límites son los encargados de representar el gráfico de control para las medias. En ellos, el valor de $A_1 = 1,5958$. (Dicha constante fue obtenida a partir de la tabla del anexo, figura A1). En función del tamaño de la muestra, los límites obtenidos fueron los siguientes:

- $LSC = 211,5671$
- $LC = 202,1840$
- $LIC = 192,8009$

El gráfico obtenido a partir de estos límites y denominando $X_{\bar{}}$ a la media del total de cada una de las medias en cada muestra, fue el siguiente:



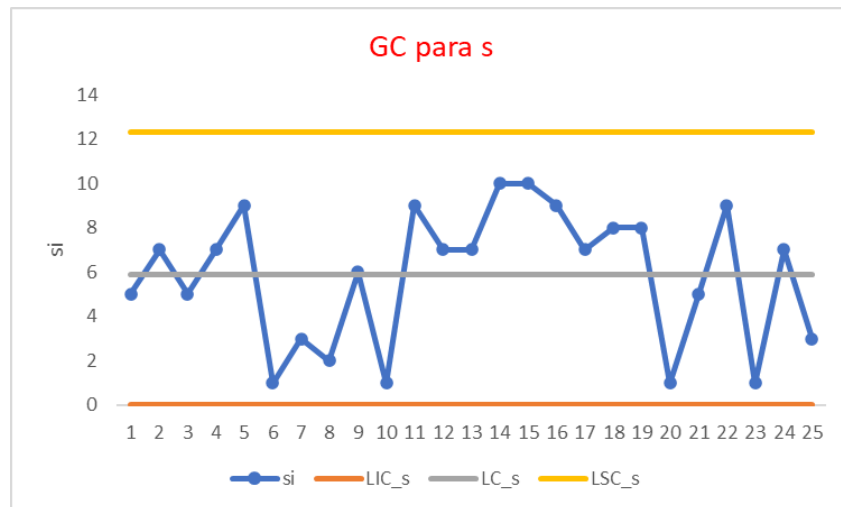
En cuanto a los límites para representar el gráfico de control con referencia a las desviaciones típicas, fueron los siguientes:

1. Límite Superior de Control: $LSC = B_4 \bar{s}$
2. Límite Central: $LC = \bar{s}$
3. Límite Inferior de Control: $LIC = B_3 \bar{s}$

Para obtener estos límites son necesarios los valores de B_3 y B_4 , los cuales fueron 0 y 2,089, respectivamente (Ver anexo, figura A1). Los límites obtenidos fueron los siguientes:

- $LSC = 12,2833$
- $LC = 5,88$
- $LIC = 0$

A partir de estos límites se llevó a cabo el gráfico de control:

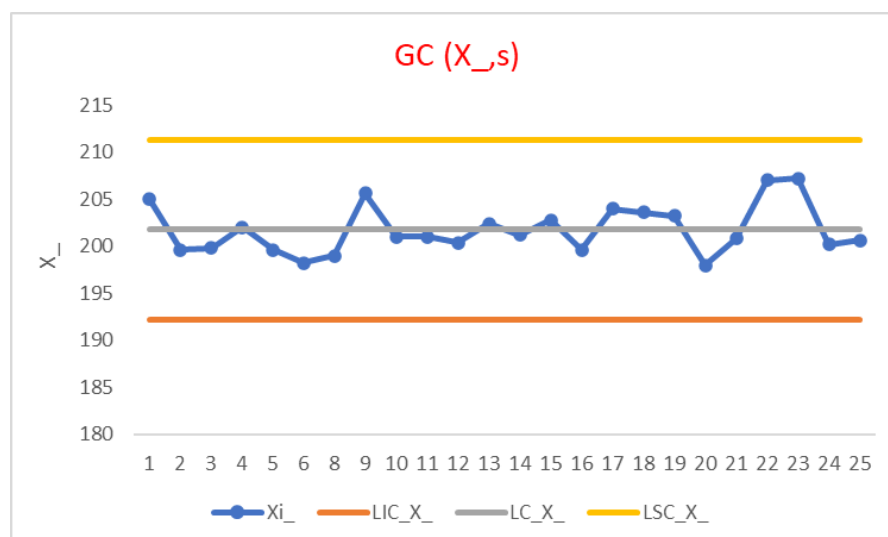


Con los gráficos obtenidos, se puede ver como el gráfico para las medias no se encuentra en estado de control. El punto 7, se encuentra fuera de los límites de control, por lo tanto, es necesario omitirlo.

Tras haber eliminado el punto 7 se obtuvieron los siguientes valores para los límites de control referentes a la media:

- $LSC = 211,3163$
- $LC = 201,7417$
- $LIC = 192,1671$

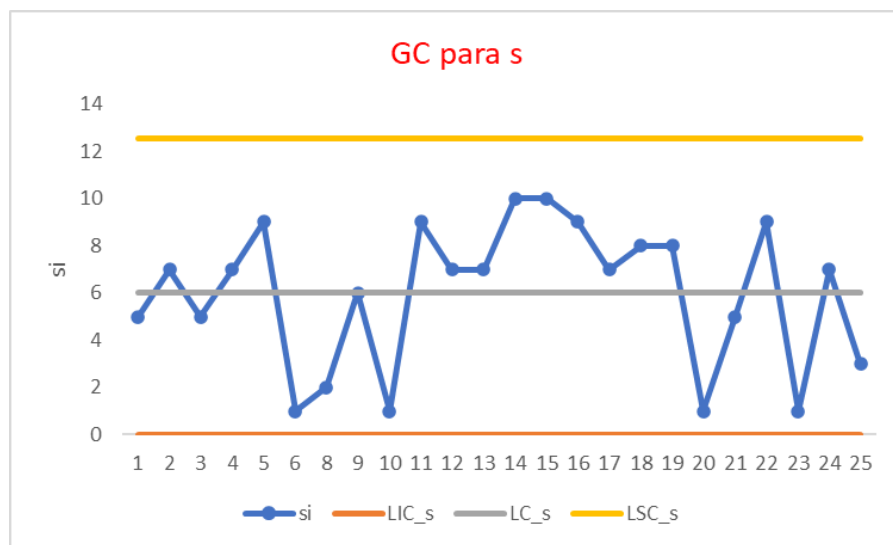
A partir de dichos límites de control, el gráfico resultante para las medias fue:



Aquellos valores para la desviación típica, los cuales conformaban los límites de control variaron de la siguiente manera:

- $LSC = 12,5340$
- $LC = 6$
- $LIC = 0$

Y a partir de los límites de control tras haber eliminado el punto 7, el gráfico de control obtenido para las desviaciones típicas fue el siguiente:



7.1.3 Gráfico c

Durante 25 días, se llevó a cabo una investigación por la cual se recopilaron la cantidad de defectos de las tabletas producidas en ellos y las cuales, fueron devueltas en gran cantidad al almacén debido a que contenían dichos defectos.

Es por ello que, en dicho estudio se contabilizaron un total de 214 defectos en los 25 días de recopilación de datos.

Se buscó la manera de poder reducir estos defectos, por lo tanto, se buscaron los límites de control necesarios para así poder realizar los gráficos de control pertinentes para elaborar el estudio.

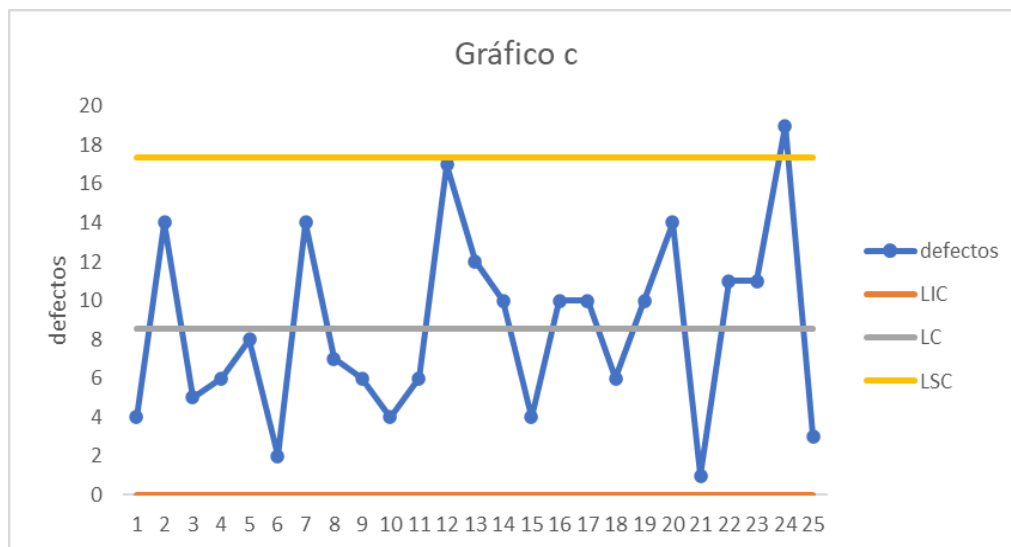
La obtención de estos límites se llevaría a cabo a partir de las siguientes expresiones:

1. Límite Superior de Control: $LSC = \hat{c} + 3\sqrt{\hat{c}}$
2. Límite Central: $LC = \hat{c}$
3. Límite Inferior de Control: $LIC = \hat{c} - 3\sqrt{\hat{c}}$

Los resultados obtenidos para cada uno de estos límites fueron:

- $LSC = 17,3372$
- $LC = 8,56$
- $LIC = -0,2172 = 0$

Como resultado, el gráfico obtenido fue el siguiente:

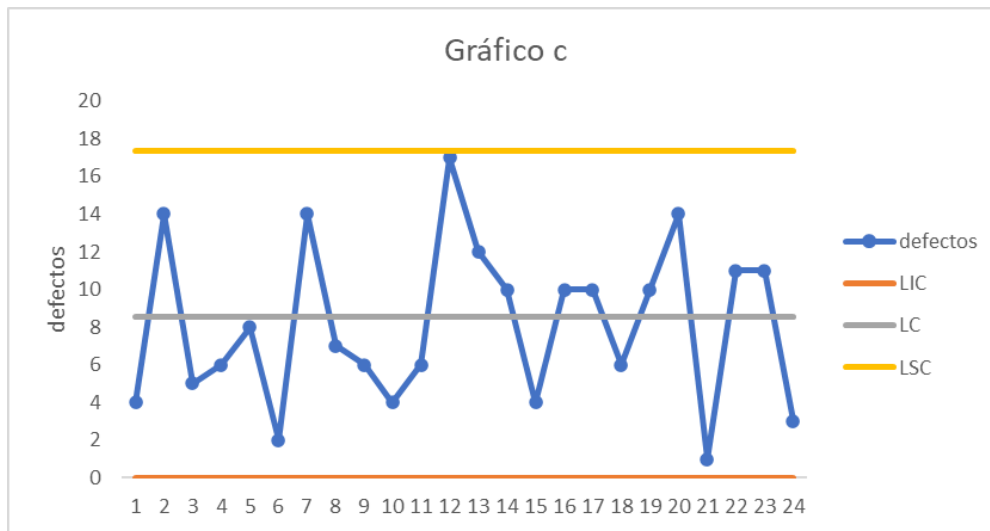


Como se puede observar en el gráfico de control, este, no se encuentra en estado de control. El punto 24, se encuentra fuera de los límites de control, por lo tanto, es necesario omitirlo.

Tras haber eliminado el punto 24 se obtuvieron un total de 195 defectos y a su vez, los siguientes valores para los límites de control:

- $LSC = 16,6763$
- $LC = 8,125$
- $LIC = -0,4264 = 0$

A partir de dichos límites de control, el gráfico resultante fue:



7.2 Norma japonesa

Posterior a los gráficos de control, se decidió elaborar un plan de muestreo para determinar cuál sería el más apropiado a partir de las exigencias de los compradores.

Inicialmente se determinó el riesgo que supondría para la fábrica la producción de las tabletas de turrón y este se estimó en un 5%. A este riesgo le denominaremos α y por lo tanto $\alpha = 0,05$.

Además de ello, se estipuló el riesgo del comprador a la hora de obtener las tabletas de turrón. A este valor se le denominará β y se marcó en un 10%. Por lo tanto, $\beta = 0,1$.

Para controlar este error, el comprador, estimó un p_R o nivel de calidad rechazable (LTPD), del 3%.

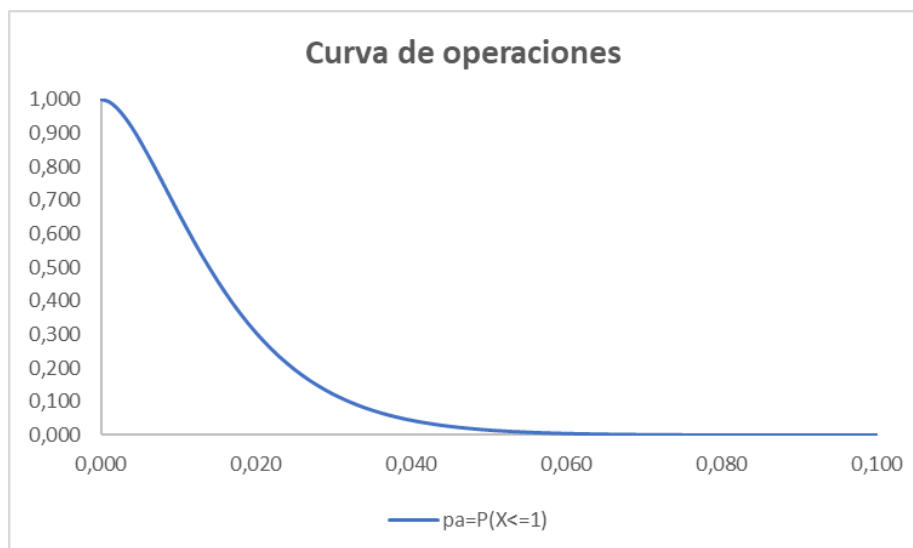
A su vez, la fábrica estableció un nivel de calidad aceptable (AQL) o p_A del 0,25%.

Con estos valores, se procedió a realizar mediante el proceso de norma japonesa un estudio en busca del plan de muestreo más óptimo y preferible para la fabricación de las tabletas de turrón.

Por medio de la tabla de valores de la norma japonesa y con los datos aportados en el estudio, se procedió a buscar el plan de muestreo. (Ver tabla en anexo, figura A11).

Tras esto, se estipuló un plan de muestreo (120, 1) y se realizó la curva característica pertinente para los valores estipulados anteriormente.

El gráfico para la curva característica fue el siguiente:



7.3 Plan de muestreo triple

Se reciben lotes de 2000 unidades, con una calidad media del proceso de fabricación del 2,5%. Estos lotes se someten a una inspección general. Además, la calidad de la fabricación, es mayor de la que se precisa y a su vez, el coste por unidad de cada producto es alto.

Con los datos aportados, se procede a la inspección de los últimos 35 lotes y el número de defectuosos de cada uno de ellos. Además de ello, se cuenta con 3 muestras de unidades defectuosas en caso de que sea necesario escoger otra muestra.

Inicialmente, se buscó la letra código correspondiente a los datos proporcionados. Para obtener dicha letra fue necesario observar la tabla sobre normas militares estándar a partir de las magnitudes muestrales. (Ver tabla en el anexo, figura A12).

Como resultado la letra código obtenida fue H.

A continuación, se determinó el plan de muestreo a seguir a partir del plan de muestreo triple.

	reducida	normal	rigurosa
n1	5	13	13
Ac1			
Re1	3	3	2
n2	5	13	13
Ac2		0	0
Re2	3	3	3
n3	5	13	13
Ac3	0	1	0
Re3	4	4	3

El esquema según este plan de muestreo triple y con los datos aportados de los lotes y las muestras defectuosas sería:

line	nº defect.	nº def.2ª	nº def.3ª	decisión	régim	observaciones
1	1	0	0	A	REDUCIDA	
2	1	2	2	R		
3	2	0	1	A	NORMAL	CON 4 SE RECHAZA, POR LO TANTO SE PASA A INSPECCIÓN NORMAL
4	0	0	0	A		
5	0	0	0	A		
6	2	0	1	A		
7	0	0	0	A		
8	0	1	1	A		
9	2	0	1	A		
10	1	1	1	A		
11	0	0	0	A		
12	1	0	0	A		
13	0	0	0	A		
14	0	0	0	A		
15	0	0	0	A		
16	0	0	0	A		
17	0	1	0	A		
18	0	0	0	A		
19	0	0	0	A		
20	0	0	0	A		
21	0	0	0	A	REDUCIDA	
22	0	0	3	R		
23	1	1	2	R	NORMAL	UN RECHAZO EN INSPECCIÓN REDUCIDA NOS PASA A INSPECCIÓN NORMAL
24	1	1	2	R		
25	0	0	0	A		
26	1	0	1	A		
27	0	0	0	A		
28	0	0	0	R		
29	1	1	0	A	RIGUROSA	DOS RECHAZOS EN INSPECCIÓN NORMAL, PASAMOS A INSPECCIÓN RIGOROSA
30	0	0	0	A		
31	1	1	0	A		
32	0	0	0	A		
33	0	1	0	A		
34	1	1	1	A	NORMAL	5 ACEPTACIONES EN RIGUROSA, PASAMOS A INSPECCIÓN NORMAL
35	0	0	0	A		

7.4 Contraste de hipótesis y costes

Una vez terminado el estudio, se decidió indagar en cómo afecta la presencia del control estadístico de la calidad en las fábricas de turrón.

Por ello se seleccionaron otras muestras, referentes a los gráficos de control p, c y de media y desviación típica, las cuales servirían para comprobar si una vez detectados los fallos en la máquina de producción de turrón por medio del control estadístico de calidad, permitiría disminuir tanto los errores de producción como los costes de los mismos.

7.4.1 Contrastes y costes en gráfico p

Se obtuvo otra muestra después del arreglo de la máquina, la cual contenía un total de 20 muestras de tamaño 50 y de cada una de ellas se registró el número de tabletas disconformes encontradas en cada muestra.

A continuación, se realizó un contraste de hipótesis para valorar la proporción de defectuosos antes y después del arreglo de la máquina.

Este contraste se llevó a cabo con la nueva muestra y con la anterior llevada a estado de control.

El contraste de hipótesis se realizó a partir del siguiente proceso y por medio de un α del 5%:

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = 2,8997$$

Teniendo las siguientes hipótesis:

$$\begin{array}{l} \{H_0: \text{no se reduce la proporción de defectuosos} \\ H_1: \text{sí se reduce la proporción de defectuosos} \end{array} \quad \begin{array}{l} \{H_0: p_1 \leq p_2 \\ H_1: p_1 > p_2 \end{array}$$

Como resultado, el estadístico de contraste fue $z_{0,95} = 1,6449$. Por lo tanto, se tuvo que rechazar la hipótesis nula, ya que la primera proporción de defectuosos fue mayor que la segunda, es decir, se redujo la proporción media de defectuosos.

Respecto al resultado de este contraste, se decidió elaborar una tabla de costes la cual orientaría de manera significativa, como afectaría en las pérdidas económicas de la fábrica, el carecer del uso del control estadístico de la calidad.

Se estableció un precio medio y orientativo tanto de la producción de una tableta de turrón, que fue de unos 0,80 €. El precio medio de la devolución, por parte de los compradores, de aquellas tabletas de turrón que se encontraran defectuosas, en unos 2 €. Por último, se estableció el precio medio que supondría para la fábrica la pérdida de uno de esos proveedores. El precio marcado para ello fue de 150 €.

Con estos datos y una muestra de 1000 tabletas de turrón, antes y después de la aplicación del control de calidad, se elaboraron las pérdidas totales que esto supondría.

	COSTE PRODUCCIÓN	COSTE DE DEVOLUCIÓN	COSTE DE PÉRDIDA DE CLIENTES
TABLETAS SIN CC	187,13 €	467,83 €	35.086,96 €
TABLETAS CON CC	146,40 €	366,00 €	27.450,00 €

Por lo tanto, esto supondría un ahorro total de 7.779,51€ en la producción de tabletas de turrón si se aplicase el control estadístico de la calidad.

7.4.2 Contrastes y costes en gráfico de medias y desviaciones

En este caso se obtuvieron 20 nuevas muestras de tamaño 5, las cuales reunían el peso de las almendras de cada tableta.

Se procedió a la comparación de si había mejorado o no el proceso en función del uso del control estadístico de la calidad.

Para ello, se empleó el siguiente contraste de hipótesis, comparando la nueva muestra con la anterior, referente al gráfico de medias y desviaciones, llevada ya a estado de control y a partir de un α del 5%:

$$Z = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}} = 2,64$$

Teniendo las siguientes hipótesis:

$$\begin{cases} H_0: \text{no se reduce la media de defectuosos} \\ H_1: \text{sí se reduce la media de defectuosos} \end{cases} \quad \begin{cases} H_0: p_1 \leq p_2 \\ H_1: p_1 > p_2 \end{cases}$$

Por lo tanto, con un estadístico de contraste $z_{0,95} = 1,6449$, $Z > z$, por lo que se rechaza la hipótesis nula, ya que la primera proporción de defectuosos fue mayor que la segunda y como resultado sí se reduce la media de defectuosos.

A partir de una muestra de 1000 tabletas, se decidió elaborar la misma investigación de cómo afectaría en los costes de la fábrica el carecer de control estadístico de calidad, a partir de los costes establecidos anteriormente:

	COSTE PRODUCCIÓN	COSTE DE DEVOLUCIÓN	COSTE DE PÉRDIDA DE CLIENTES
TABLETAS SIN CC	173,33 €	433,33 €	32.500,00 €
TABLETAS CON CC	48,00 €	120,00 €	9.000,00 €

Por lo tanto, esto supondría un ahorro total de 23.938,67€ en la producción de tabletas de turrón si se aplicase el control estadístico de la calidad.

7.4.3 Contrastes y costes en gráfico c

A partir de otra nueva muestra, en este caso, de 20 días, se procedió a realizar la comparación de si había influido o no la aplicación del control estadístico de la calidad.

En total se examinaron 3000 tabletas de turrón y de las cuales se registraron el número total de tabletas que presentaban al menos un defecto en ellas durante los 20 días.

Para ello se llevó a cabo el siguiente contraste, tanto en la nueva muestra como en la muestra anterior del gráfico c, llevada a estado de control y a partir de un α del 5%:

$$Z = \frac{\hat{p}_1 - \hat{p}_2}{\sqrt{\hat{p}\hat{q} \cdot \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} = 1,9152$$

Teniendo las siguientes hipótesis:

$$\begin{cases} H_0: \text{no se reduce la proporción de defectos} \\ H_1: \text{sí se reduce la proporción de defectos} \end{cases} \quad \begin{cases} H_0: p_1 \leq p_2 \\ H_1: p_1 > p_2 \end{cases}$$

Por lo tanto, con un estadístico de contraste $z_{0,95} = 1,6449$, $Z > z$, por lo que se rechaza la hipótesis nula ya que la primera proporción de defectuosos fue mayor que la segunda y como resultado sí se reduce la proporción de defectos.

Posteriormente, se decidió elaborar una tabla de costes, con los mismos precios establecidos anteriormente. Se obtuvo como resultado:

	COSTE PRODUCCIÓN	COSTE DE DEVOLUCIÓN	COSTE DE PÉRDIDA DE CLIENTES
TABLETAS SIN CC	52,00 €	130,00 €	9.750,00 €
TABLETAS CON CC	42,67 €	106,67 €	8.000,00 €

Por lo tanto, esto supondría un ahorro total de 1.782,67€ en la producción de tabletas de turrón si se aplicase el control estadístico de la calidad.

8. CONCLUSIONES

8.1 Conclusiones generales

A partir de las conclusiones extraídas, se puede reflejar lo profunda que es la importancia de aplicar estrategias estadísticas para la mejora tanto de la calidad como la eficiencia en los procesos de producción de las empresas.

Tras las evidencias recopiladas, se puede demostrar que el uso de herramientas estadísticas en el control de calidad, no solo permite detectar dentro de los procesos posibles desviaciones o variaciones, sino que también favorece la toma de decisiones informadas de manera más sencilla, permitiendo a su vez la implementación de medidas correctivas y preventivas de forma más eficaz.

Se puede destacar el proceso por el cual tuvo lugar la evolución a lo largo de la historia del concepto de calidad, además de su impacto en las prácticas empresariales actuales.

En la actualidad, se habla de un entorno empresarial, el cual cada vez es más y más competitivo y se encuentra totalmente globalizado. Es de vital importancia, la adopción de enfoques innovadores que permitan durante la gestión de la calidad, mantener la relevancia y la competitividad en el mercado.

La Calidad Total surge como un enfoque sustancial para promover la satisfacción del cliente, además de la continuidad en la mejora de todos los aspectos dentro de la organización de las empresas, destacando la gran importancia de factores como la formación y el compromiso de todo aquel que forme parte del personal, permitiendo así la implementación exitosa del Control Estadístico de la Calidad.

Asimismo, es evidente la necesidad de establecer programas y sistemas especializados en la motivación y reconocimiento para así estimular tanto la creatividad como la iniciativa de los trabajadores en la mejora de la calidad mediante su participación.

Se tiene por objetivo principal, la satisfacción del cliente, la cual permita lograr la fidelización de los mismos y el éxito empresarial a largo plazo, lo que permita destacar la relevancia estratégica de la calidad de la empresa en un entorno que se encuentra en constante evolución día a día.

Por lo tanto, con las conclusiones extraídas en este estudio se promueve la gran importancia del control estadístico de la calidad en las empresas más actualizadas y con más auge de la sociedad, enfatizando así la importante necesidad de adoptar enfoques ya sean innovadores y centrados en el cliente, lo que permite garantizar un rendimiento operativo superior y mantenga una sólida competitividad en el mercado actual.

8.2 Conclusiones específicas

1. Reducción de la proporción de defectuosos:

A partir del uso del control estadístico de la calidad, se ha podido demostrar una reducción significativa en la proporción de productos defectuosos o defectos. Las hipótesis planteadas y los contrastes realizados confirman que la aplicación del mismo, permite una disminución de la media de defectuosos y la proporción de defectos en la producción de tabletas de turrón.

2. Ahorro económico:

Gracias a la implementación del control estadístico de la calidad, se han obtenido ciertos resultados que desembocan en un ahorro económico considerable. Tras llevar a cabo ciertos estudios sobre los costos antes y después de la aplicación del control estadístico de calidad, se ha podido demostrar una reducción en los costos de producción, devolución y pérdida de clientes. Por ejemplo, se estimó un ahorro total de aproximadamente 7.779,51 euros en la producción de tabletas de turrón.

3. Mejora en la eficiencia y capacidad del proceso:

Ambos procedimientos mejoran significativamente con la implementación del control estadístico de la calidad. La reducción de desperdicios o defectos y la disminución de reprocesamientos desembocan en una menor variabilidad a lo largo de la producción, derivando en productos que cumplen con las especificaciones y expectativas deseadas por los clientes.

4. Importancia del monitoreo continuo:

Es esencial el mantener un monitoreo continuo, a la vez de un análisis constante de los datos de producción, de esta manera se puede mantener y mejorar aquellos estándares fundamentales de calidad. Además, las herramientas estadísticas como los gráficos de control, junto con los análisis de capacidad de proceso son indispensables para detectar desviaciones y tomar acciones correctivas a tiempo.

5. Aplicación del control estadístico de la calidad en diferentes ámbitos:

Tras las investigaciones realizadas, se puede determinar que el control estadístico de la calidad no es solamente aplicable en la fabricación de productos sino también en la prestación de servicios. Garantizar la calidad en todos los aspectos de una empresa contribuye tanto a la satisfacción del cliente como a la propia reputación de la misma.

9. BIBLIOGRAFÍA

Libros y revistas

Cubillos Rodríguez, M. C., & Rozo Rodriguez, D. (2009). El concepto de calidad: Historia, evolución e importancia para la competitividad. *Revista de la Universidad de la Salle*, 2009(48), 80-99.

Duncan, A. J. (1990). *Control de calidad y estadística industrial*.

Ramírez, N. F., Rendon, A. L. F., & Florez, J. M. C. (2020). *Notas de control estadístico de la calidad*. Editorial Universitaria (Cuba).

Taylor, F. W. (1972). *Scientific management: Comprising Shop Management, The Principles of Scientific Management (and) Testimony Before the Special House Committee*.

Taylor, F. W., & Fayol, H. (1986). *Administración industrial y general*.

Páginas web

(s. f.).<https://www.facebook.com/gruposeiton/photos/a.735553176792514/1589659294715227/?type=3> (FOTO)

(S/f). Gestipolis.com. <https://gestipolis.com/que-es-estadistica-tipos-y-objetivos/>

(S/f-b). Sefh.es. <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/erroresmedicacion/010.pdf>

(S/f-c). Ugr.es. https://www.ugr.es/~mruiz/temas/Tema_2.pdf

(S/f-e). Ull.es.

https://campusvirtual.ull.es/ocw/pluginfile.php/9931/mod_resource/content/4/Tema_6/Tema6-Muestreo-Aceptacion-Atributos.pdf

¿Qué es el control estadístico de procesos SPC? ¿Cómo mejoran la calidad en la

industria? (2023, julio 16). TCM Consultoría y Formación; Técnicas de Control

Metrológico S.L. <https://www.tcmetrologia.com/blog/cual-es-el-objetivo-del-spc-en-la-industria/>

Betancourt, D. (2022, 22 febrero). El gráfico de control como herramienta de la calidad.

Ingenio Empresa. <https://www.ingenioempresa.com/grafico-de-control/> (FOTO)

Colaboradores de Wikipedia. (2024, 29 enero). *Walter A. Shewhart*. Wikipedia, la

Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Walter_A._Shewhart

Colaboradores de Wikipedia. (2024b, abril 12). *William Edwards Deming*. Wikipedia, la

Enciclopedia Libre. https://es.wikipedia.org/wiki/William_Edwards_Deming

Colaboradores de Wikipedia. (2024b, febrero 13). *Taylorismo*. Wikipedia, la Enciclopedia

Libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Taylorismo>

Colaboradores de Wikipedia. (2024c, febrero 25). *Los principios de la administración*

científica. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Los_Principios_de_la_Administraci%C3%B3n_Cient%C3%ADfica&oldid=158419703 (MIRAR ESTE)

Control de calidad en recepción. Planes de muestreo – El blog de Víctor Yepes. (2019, 5

septiembre). <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/09/05/control-de-calidad-en-recepcion-plan-de-muestreo/>

De la calidad, 1. Introducción al Control de la Calidad 2. Métodos de Mejora, Gráficos, C.,

Np, G., & De los gráficos, G. X. y. R. 4. I. (s/f). *TEMA 3: Control Estadístico de la Calidad*. Unican.es. <https://personales.unican.es/sordocm/T3.pdf>

De la calidad., 5. 1. El Proceso de Control. (s/f). *El Control de los Estándares de Calidad*.

Ulpge.es. Recuperado el 7 de junio de 2024, de

<https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/29/29989/modulo5controlindustrial.pdf>

f (FOTO)

De las marcas, L. M. de las N. I. de J. es U. (s. f.). *Sección 1 Norma de JIS*. Legiscomex.com.

<https://www.legiscomex.com/comunicaciones/n/nov-17-04/marcado-etiquetado-japon.pdf>

Dicovski, L. (2014, 11 octubre). *Diagramas de control* [Diapositivas]. SlideShare.

<https://es.slideshare.net/luisdi/diagramas-de-control>

El control estad, O. A. Q. A. N. S. T., De procesos, S., & de calidad se clasifica en:, el C.

(s/f). 3.1. *Introduccion. >Que es el control estadstico de la calidad?* Uji.es.

<https://www3.uji.es/~epifanio/DOCENCIA/etig/t3.pdf>

Evolución histórica | Fundación Pfizer. (s. f.).

<https://www.fundacionpfizer.org/catedra/servicios/lineas-trabajo-calidad/evolucion-historica#:~:text=Concepto,algunas%20normas%20y%20asumir%20responsabilidades>

HiStoRi, A., & LA CoMPetitiVid Ad, E. e. I. P. (s/f). *El CoNCEPto dE Calidad*: Edu.co.

<https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1170&context=ruls>

Izquierdo, C. F. (2018, 6 junio). *Los gráficos de control y el control estadístico de procesos*.

Ingeniería de Automoción.

<https://ingenieriadeautomocion.wordpress.com/2015/06/30/los-graficos-de-control-y-el-control-estadistico-de-procesos/>

Norma japonesa JIS. (2022, 14 octubre). Genially.

<https://view.genial.ly/634464c4a914fc0017a6d10a/presentation-norma-japonesa-jis>

Ortega, C. (2024, 21 mayo). *Métodos de análisis estadísticos: ¿Cuáles utilizar?* QuestionPro.

<https://www.questionpro.com/blog/es/metodos-de-analisis-estadisticos/>



Planesdemuestreododge-romingparedespaoloyvascokevin-231011180911-883aa51e (1).

(2023, diciembre 13). Coursesidekick.com. <https://www.coursesidekick.com/arts-humanities/685331>

TasteAtlas. (2016, 17 enero). Turrón de Alicante | Local Confectionery From Jijona, Spain |

TasteAtlas. <https://www.tasteatlas.com/turron-de-alicante>.

<https://www.tasteatlas.com/turron-de-alicante> (FOTO)

Zambelli, R. (2024, 13 marzo). *¿Qué es el control de calidad estadístico?* Blog | Checklist

Fácil. [https://blog-es.checklistfacil.com/control-calidad-](https://blog-es.checklistfacil.com/control-calidad-estadistico/#:~:text=Definimos%20el%20%E2%80%9CControl%20Estad%C3%ADstico%20de,calidad%20y%20ayudar%20a%20cumplirlas)

[estadistico/#:~:text=Definimos%20el%20%E2%80%9CControl%20Estad%C3%ADstico%20de,calidad%20y%20ayudar%20a%20cumplirlas](https://blog-es.checklistfacil.com/control-calidad-estadistico/#:~:text=Definimos%20el%20%E2%80%9CControl%20Estad%C3%ADstico%20de,calidad%20y%20ayudar%20a%20cumplirlas).

[ico%20de,calidad%20y%20ayudar%20a%20cumplirlas](https://blog-es.checklistfacil.com/control-calidad-estadistico/#:~:text=Definimos%20el%20%E2%80%9CControl%20Estad%C3%ADstico%20de,calidad%20y%20ayudar%20a%20cumplirlas).