



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Control de Calidad en la Producción Industrial

Saúl Cabezón Gutiérrez



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

Grado en Ingeniería de Organización Industrial

Control de Calidad en la Producción Industrial

Autor:

Cabezón Gutiérrez, Saúl

Tutor:

De Blas Zurro, José Ignacio

**Departamento de Matemática
Aplicada**

Valladolid, Agosto de 2014

RESUMEN

La *calidad* es un factor imprescindible de las empresas en los mercados cada vez más competitivos. En el concepto de calidad, se incluye la satisfacción del cliente y se aplica tanto al producto como a la organización.

El control de calidad como proceso moderno, conlleva la participación activa de todos los trabajadores de una empresa en la mejora del desarrollo, diseño y fabricación del producto.

Dichos procesos consisten en la implantación de programas, mecanismos, herramientas y/o técnicas en la empresa para la mejora en la calidad de sus productos.

La toma de decisiones en este ámbito se basa en el método científico, más concretamente en la Estadística, utilizada para la planificación de recogida y análisis de datos.

Este trabajo estudia: Aspectos generales de la calidad, fundamentos estadísticos del control de calidad, herramientas y técnicas de control del proceso para atributos y para variables, capacidad de procesos, muestreo y sus planes.

PALABRAS CLAVE

CALIDAD

CAPACIDAD

CONTROL

ESTADÍSTICA

PROCESO

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| RESUMEN | I |
| PALABRAS CLAVE | I |
| OBJETIVOS DEL TFG..... | 1 |
| 1. ASPECTOS GENERALES DE LA CALIDAD | 5 |
| 1.1 ENFOQUE HISTÓRICO..... | 5 |
| 1.2 MANTENIMIENTO, MEJORA E INNOVACIÓN EN LA CALIDAD | 11 |
| 1.2.1 EL CICLO PDCA..... | 13 |
| 1.2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD TOTAL..... | 15 |
| 2. ESTADÍSTICA EN EL CONTROL DE LA CALIDAD..... | 21 |
| 2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA..... | 22 |
| 2.1.1 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS..... | 24 |
| 2.1.2 DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS DE PROBABILIDAD | 26 |
| 2.1.3 TEOREMA CENTRAL DEL LÍMITE | 30 |
| 3. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS BÁSICAS PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD | 33 |
| 3.1 PLANTILLAS PARA LA RECOGIDA DE DATOS..... | 34 |
| 3.2 HISTOGRAMAS..... | 35 |
| 3.3 DIAGRAMAS DE PARETO | 40 |
| 3.4 DIAGRAMAS CAUSA-EFECTO | 43 |
| 3.5 DIAGRAMAS BIVARIANTES | 45 |
| 3.6 ESTRATIFICACIÓN | 49 |
| 4. CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO..... | 53 |
| 4.1 GRÁFICOS DE CONTROL | 56 |
| 4.1.1 GRÁFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS | 58 |
| 4.1.2 GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLES | 66 |
| 4.1.2.1 GRÁFICOS DE CONTROL MEDIA/RECORRIDO | 66 |
| 4.1.2.2 GRÁFICOS DE CONTROL DE MEDIA/DESVIACIÓN TÍPICA..... | 75 |
| 4.1.2.3 GRÁFICOS DE CONTROL DE MEDIANA/RANGOS (USANDO LA MEDIANA DEL RANGO)..... | 77 |
| 4.1.2.4 GRÁFICOS DE CONTROL DE DATOS INDIVIDUALES Y RANGOS MÓVILES..... | 77 |
| 4.1.2.5 INTERPRETACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL..... | 82 |
| 4.1.2.6 OTROS GRÁFICOS DE CONTROL | 90 |

| | |
|--|-----|
| 5. ESTUDIOS DE CAPACIDAD | 97 |
| 5.1 CAPACIDAD DE LA MÁQUINA A CORTO PLAZO | 97 |
| 5.2 CAPACIDAD DEL PROCESO | 100 |
| 6. PRÁCTICA CONTROL DE CALIDAD | 107 |
| 6.1 OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA | 107 |
| 6.2 DATOS | 107 |
| 6.3 DESARROLLO | 108 |
| 6.3.1 ESTUDIO INICIAL | 108 |
| 6.3.2 ÍNDICES DE CAPACIDAD DEL PROCESO | 117 |
| 6.3.3 CONTROL EN LÍNEA | 119 |
| 7. DISEÑO DE LA GARANTÍA DE CALIDAD | 129 |
| 8. CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y ECONOMÍA | 143 |
| 8.1 COSTES DE CALIDAD | 144 |
| 8.2 ELEMENTOS DEL COSTE DE LA CALIDAD | 146 |
| 8.3 COSTES INTANGIBLES DE LA CALIDAD | 148 |
| 9. MUESTREO DE ACEPTACIÓN | 155 |
| 9.1 CUANDO SE PUEDE USAR EL MUESTREO DE ACEPTACIÓN | 155 |
| 9.2 TIPOS DE MUESTREO DE ACEPTACIÓN | 157 |
| 9.2.1 PLANES POR ATRIBUTOS | 158 |
| 9.2.2 PLANES POR VARIABLES | 160 |
| CONCLUSIONES | 163 |
| BIBLIOGRAFÍA | 167 |
| ANEXO 1 | 171 |
| TABLAS DE CONSTANTES PARA GRÁFICOS DE CONTROL | 171 |
| MEDIA Y RECORRIDO/MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA | 171 |
| MEDIANA Y RECORRIDO | 172 |

OBJETIVOS DEL TFG

Mediante la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado se pretende:

- Poner de manifiesto la importancia de la calidad en el mundo industrial de hoy en día.
- Destacar el papel que juega la estadística en la planificación y elaboración de cualquier producto o servicio.
- Explicar el significado de todos los conceptos básicos que engloban la calidad.
- Recopilación de las herramientas de control existentes con el objetivo de conocer su alcance, limitación y aplicación de cada una de ellas.
- Recoger los principales aspectos conocidos, que están presentes en el Control de Calidad.
- Poner de manifiesto a través de una práctica de control de calidad, realizada con el paquete estadístico Statgraphics de parte del núcleo central del trabajo.
- Conocer la relevancia de los costes de calidad en el funcionamiento de una empresa y las consecuencias que tendría sobre estas una modificación en la calidad del producto.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES DE LA

CALIDAD

1. ASPECTOS GENERALES DE LA CALIDAD

1.1 ENFOQUE HISTÓRICO

Los primeros datos disponibles sobre el control de calidad se remontan a 1924, cuando Walter A. Shewhart, aplicó por primera vez un gráfico estadístico de control de calidad a un producto manufacturado en el trabajo “Control económico de calidad de productos manufacturados”, publicado en 1931, por los laboratorios Bell Telephone. El Doctor W. A. Shewhart en 1933, de los Bell Laboratories, aplicó el concepto de control estadístico de proceso por primera vez con propósitos industriales; su objetivo era mejorar en términos de costo-beneficio.

El Dr. Shewhart utiliza los gráficos de control para identificar los problemas que ocurren durante el proceso, que pueden ser por causas asignables o por causas no asignables; su identificación daba como resultados la reducción de la variabilidad y la mejora del proceso.

Los primeros gráficos de control propuestos por Shewhart, fueron para monitorizar el promedio (\bar{x}) y la variación (R ó S), estos gráficos de control eran aplicables a variables cuantitativas. Posteriormente aparecieron los gráficos c y p para monitorizar variables cualitativas.

Durante los años 40 se empezaron a utilizar tablas de muestreo para inspecciones de aceptación y comenzaron a publicarse las utilizadas por las Fuerzas Armadas “Military Standard”

El ciclo vital de la calidad es: la estimación de la necesidad-proyecto-producción-uso-mantenimiento-funcionamiento del producto.

En 1939, con el estallido de la Segunda Guerra Mundial, los norteamericanos crearon el primer sistema de protección de la calidad vigente en el mundo. El objetivo fundamental de esta creación era, a través de los estándares de calidad, evitar la pérdida de vidas humanas; el gobierno de Estados Unidos y la industria militar fueron los principales interesados en elevar la calidad para evitar que los jóvenes americanos fallecieran porque sus paracaídas no se abrían, en Octubre de 1942 cada 1000 paracaídas fabricados por lo menos un 3,45% no se abrían, a partir de 1943 se intensificó la búsqueda para establecer estándares de calidad. Estas primeras normas de calidad norteamericanas funcionaron precisamente en la industria militar y se llamaron las normas Z1, que cosecharon un gran éxito. Gran Bretaña también aplicó con el apoyo de Estados Unidos, a su industria

militar, una serie de normas de calidad llamadas normas 600 y normas británicas 1008.

El doctor Edwards Deming entre 1940-1943 fue uno de los primeros, trabajó en el Western Electric Company de la ciudad de Chicago, y fue ahí, donde tuvieron lugar los primeros experimentos sobre productividad por Elton Mayor. También, trabajó en la Universidad de Stanford formando a diversas promociones de ingenieros militares en el control estadístico del proceso, donde la calidad era el fundamento esencial, aplicándose el control estadístico para el establecimiento de una mejora de la calidad.

Después de la guerra, Deming fue invitado a Japón donde tomó contacto con ingenieros japoneses impartiendo su primer curso el 19 de Junio de 1950, convirtiéndose en el padre de la calidad japonesa y diremos que entre Enero de 1951 y Julio del mismo año los japoneses aplicaron los conceptos de Deming en 45 plantas que permitieron elevar la calidad y por ello los japoneses en reconocimiento a su trabajo crearon el Premio Nacional de Calidad denominado Premio Deming a la Calidad, que se entrega a aquellas empresas o instituciones que han mejorado sus sistemas administrativos o productivos.

Para satisfacer la demanda de los mercados de esta nueva era, la de la calidad, con el nacimiento de Asia y Japón como nuevos poderes globales, se está diseñando una nueva estrategia de competir, entender las necesidades del cliente y satisfacer adecuadamente la demanda de los mercados, es en este momento cuando se crean y elevan los estándares de calidad, creando ISO.

No solamente fueron los japoneses los que elevaron la calidad, Alemania convirtió la calidad en algo fundamental, así como Estados Unidos. Joseph Juran fue la persona clave para su desarrollo, además debemos recordar a Phillip Crosby en los 60 en USA y a Armand V. Feigenbaum, quien creó el concepto de gestión de la calidad e introdujo un programa de calidad en General Electric que aplicó por primera vez: el Total Quality Control en Estados Unidos, y aparece en 1951 su libro "Total Quality Control". Así mismo, es nombrado director de todas las unidades de producción de General Electric en el mundo difundiendo sus conocimientos acerca de la calidad.

Podemos asegurar que la calidad se ha globalizado y que actualmente todos los países industrializados están formando especialistas en el conocimiento de la calidad total y entrenando a personas en el manejo de las disciplinas de calidad.

Debemos tener en cuenta a Kaoru Ishikawa y sus discípulos que fueron los que propiciaron los cambios drásticos que hicieron que Japón desarrollara un modelo nacional de calidad.

Juran fue discípulo de Walter Shewhart, matemático que introdujo la estadística como medio de gestión de la calidad. Participó como asesor del ministerio de la guerra para introducir su método estadístico en la fabricación de armamento norteamericano resultando que la guerra dependió en gran medida de la calidad y productividad de dicho sistema. Así, se establecieron las bases para crear un sistema de calidad, bajo el concepto ISO 9000 que busca la gestión de la calidad como objetivo estratégico.

La calidad se convirtió en una revolución en los años 60 en Japón, Estados Unidos, Alemania, Francia e Inglaterra.

De 1960 a 1970 emergió la calidad como estrategia competitiva en las empresas, Phillip B. Crosby en Octubre de 1961 lanza su concepto “cero defectos” y a partir de 1970 surge el concepto “norma de calidad” globalizándose a todos los países industriales del mundo.

La carrera espacial mostró que los fallos provenían casi exclusivamente de los errores humanos, Martin Marrieta responsabiliza al operario de la calidad de las operaciones en las que interviene, e insta al operario a tomar la máxima “*hacerlo bien a la primera y siempre*” ITT adopta este lema y estos conceptos con unos resultados positivos.

En 1976, una filial de ITT en Francia; la Abal Filial Grand Trust ITT, impulsa su programa de cero defectos llamado ZD y dirigido por los investigadores Borel y Perigerd, con gran éxito siendo el origen de otros programas de iguales características produciéndose su popularización mundial.

Como consecuencia de la crisis del petróleo a partir de 1975, se impulsa la calidad y la competitividad ya que existe un nueva competencia en los mercados mundiales proveniente del Pacífico, (Corea, Taiwán, Singapur y Hong Kong) desplazando Japón a Estados Unidos como primer productor mundial de automóviles, los japoneses haciendo uso de la estrategia de Círculos de Control de Calidad y Total Quality Control se convierten en los amos de la tecnología y de la calidad de los últimos años del siglo XX.

En los años 90 se incrementó la calidad y la productividad, los países que aplicaron las normas de calidad y sistemas de certificación como la ISO 9000 son los que se han incorporado en una mejor posición al siglo XXI. Solo las naciones que tengan la mejor calidad podrán ofertar en el mercado mundial totalmente globalizado demostrando a través de la certificación que

los productos fabricados en un determinado país pueden entrar en el mercado globalizado y cumplir con los estándares internacionales.

A partir del año 2000, la ISO 9000 es la que regula los sistemas de comercio mundial en occidente y la calidad es la razón fundamental que permite a las empresas sobrevivir en este mundo competitivo.

ISO 9000

Añadiendo a lo que acabamos de citar, definiremos ISO 9000 como un conjunto de normas sobre calidad y gestión de la calidad, que han sido implantadas por la ISO (*Organización Internacional de Normalización*), que está formada por los organismos de normalización de prácticamente todos los países del mundo.

Estas normas, están enfocadas a cualquier sistema de producción de bienes o servicios, ya sea: un banco, un fabricante de coches, una empresa agropecuaria, etc.

En la actualidad, la familia de la norma ISO 9000, se compone de tres normas, más otra (9001:2015), que hasta el momento es un borrador. Por lo tanto se compone de:

- 9000:2005: “Sistemas de gestión de la calidad. Principios y vocabulario”.
- 9001:2008: “Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos”.
- 9004:2009: “Gestión para el éxito sostenido de una organización. Enfoque de gestión de la calidad”.

La norma 9001:2015 antes citada, entrará en vigor en septiembre de 2015 y todo contenido de su borrador puede verse alterado o modificado hasta su publicación.

CONTROL DE LA CALIDAD Y SUS TIPOS

“Como la buena gerencia, el control de calidad nunca se pasa de moda”

Según la National Symposium on Reability and Quality de 1959: “Garantía de calidad es una denominación amplia que abarca tanto el control de calidad como la ingeniería de control de calidad” aunque el concepto de

garantía de calidad es más amplio que la propia definición y comprende todos los métodos encaminados a garantizar la calidad.

La palabra calidad nos transmite la satisfacción de un producto bien acabado y nos denota que se han superado adecuadamente todas las etapas intermedias de su fabricación.

Los diferentes departamentos de ingeniería, proyecto, producción, compras, personal, deben llevar a cabo las tareas encaminadas a la realización del producto que nos demanda el consumidor hasta acabar el proceso en el inspector de calidad que prueba y evalúa el producto que será presentado al consumidor que determinará las modificaciones que considere necesario hasta hacerlo satisfactorio.

El control de calidad es el conjunto de técnicas y procedimientos del que se sirve la dirección para la obtención de un producto de la calidad deseada, a su vez es una inversión que debe producir rendimientos adecuados y en el cual deben estar involucrados todos los miembros de una empresa.

En los años 80 del siglo pasado, Japón era el ideal de gran calidad y bajo coste, por eso en el resto de países se incrementaron los esfuerzos en el área de control de calidad, con el objetivo de mejorar la productividad y reducción de costes.

La Calidad de Proyecto de un producto está relacionada con el rigor de las especificaciones para la fabricación del mismo, es decir un componente con una tolerancia $\pm 0,0001$ se considerará de mejor calidad que otro con una tolerancia $\pm 0,01$.

La Calidad de Concordancia en el proyecto es el grado en el que un producto manufacturado concuerda con las exigencias del proyecto original.

La Calidad de Funcionamiento es la disposición necesaria de un sistema de confirmación que funcione ininterrumpidamente y proporcione información sobre la calidad del producto. *Ver tabla 1.1.*

| Alta dirección | Control de calidad | Contabilidad | Investigación | Ventas y marketing |
|--|--|--|---|--|
| Apoyo desde el nivel más alto y estímulos al esfuerzo para lograr calidad. | Garantía de calidad, más promoción, coordinación y control del esfuerzo total para lograr calidad. | Medida de los costos de calidad y del esfuerzo dedicado a lograr la calidad. | Calidad de investigación-proyecto adecuado y análisis de datos experimentales. | Venta de un producto de calidad y suministro de información sobre el funcionamiento sobre el terreno. |
| Ingeniería del proyecto | Ingeniería de utillaje | Ingeniería de producción | Compras | Fabricación |
| Proyectar un producto de calidad y cambiar el proyecto para lograr condiciones óptimas de calidad. | Proporcionar herramientas, plantillas y accesorios de calidad. | Proporcionar un proceso para la producción de calidad. | Calidad de concordancia de los productos adquiridos: realimentación de información sobre calidad. | Concordancia de calidad en la fabricación, productos terminados y semiterminados; realimentación de información sobre calidad. |

Tabla 1.1. Funciones de la empresa y sus responsabilidades en el campo de la calidad

1.2 MANTENIMIENTO, MEJORA E INNOVACIÓN EN LA CALIDAD

Dentro de la calidad es necesario diferenciar tres tipos de actividades diferentes:

- Mantenimiento
- Mejora continua
- Innovación

MANTENIMIENTO

Se entiende por actividades de mantenimiento, todas las actividades que tienden a preservar los estándares tecnológicos, de gestión y de operación actuales.

Mantenimiento = estandarizar + control

Es lógico pensar que una empresa, antes de comenzar cualquier programa de mejora de la calidad, estandarice el cómo operar y se cerciore de que todo el personal trabaje según dichos estándares. Para su cumplimiento, los estándares, deben estar redactados de forma clara y deben ser expuestos al personal para su comprensión y conseguir de esta forma un trabajo correcto y eficiente. La propia empresa se debe encargar activamente del cumplimiento de estos estándares.

MEJORA CONTINUA

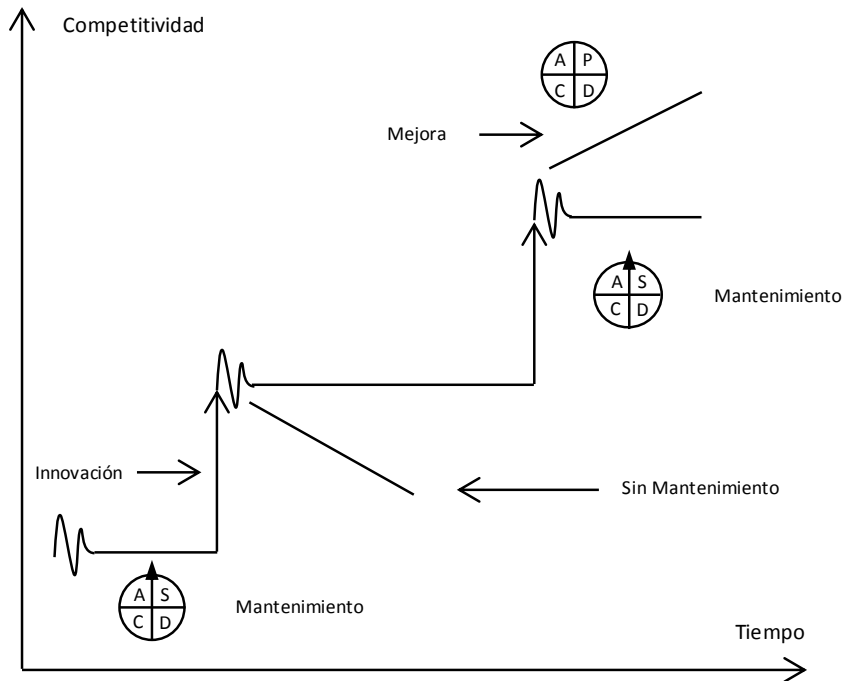
Son todas aquellas actividades y actuaciones dirigidas a buscar una mejora constante de los estándares actuales. Se le denomina *Kaizen* en Japón.

Existe una frase que dice: todo proceso u operación además de producto físico, genera información suficiente para mejorarlo. Esta afirmación tiene una validez muy importante, ya que si en una empresa un estándar está en vigor más de seis meses sin haber sufrido cambios, quiere decir que el estándar no es seguido por nadie dentro de la organización de dicha compañía.

Estas actividades de mejora constante se realizan mediante la herramienta del ciclo (Plan, Do, Check, Action), cuyo significado es: planificar

la mejora, implementarla, comprobar y verificar sus efectos y por último actuar según los resultados de la verificación.

Es importante recalcar que cualquier mejora en los estándares operativos, debe sufrir actividades de mantenimiento, porque de lo contrario, los efectos beneficiosos de la mejora desaparecerían rápidamente. Esto que se acaba de explicar, se puede ver en la siguiente figura, en la que también aparece la innovación.



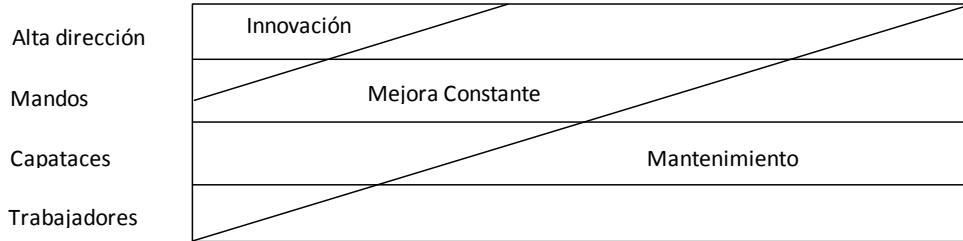
INNOVACIÓN

Son aquellas actividades sistemáticas que tienden a la creación de productos y servicios con funciones, operatividad, coste, etc., que nunca se han experimentado antes.

Toda empresa, debería incrementar los activos intangibles que están constituidos por metodologías y herramientas, que permiten utilizar la creatividad y los conocimientos de todo el personal para poder crear nuevos productos que logren satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes potenciales.

Todas estas actividades de las que acabamos de hablar, requieren distinto nivel de conocimiento y de responsabilidad por parte del personal que

la realiza. Por eso varios expertos consideran que la distribución del tiempo de los distintos niveles jerárquicos de responsabilidad en las diferentes actividades se distribuyen en Japón según el gráfico que viene a continuación.



De este gráfico hay que destacar el poco tiempo invertido a las actividades de mantenimiento, por parte de la dirección y el tiempo que emplean capataces y trabajadores de mejora continua, que es escaso.

1.2.1 EL CICLO PDCA

Desde su visita a Japón en 1950, como antes citamos en el enfoque histórico, William Edwards Deming, estadístico estadounidense, transmitió a los ejecutivos e ingenieros que presenciaban sus sesiones de consulta, la importancia que tenía la interacción entre I+D, diseño, fabricación y servicio postventa. Este conocimiento se generalizó en lo que diversos autores como *Ishikawa* o *Imai* han llamado el volante de Deming, que también se conoce por el nombre de ciclo PDCA (*Plan, Do, Check, Action*). Según Ishikawa el ciclo PDCA tenía esta composición.



Este ciclo sirve para diversas actividades como la planificación estratégica de una empresa, o la mejora del proceso de distribución del correo interno en la misma. Se podría resumir la definición de este ciclo PDCA como: la estrategia que se debe seguir en cualquier actividad de mejora constante en una organización de los estándares existentes.

Según el ciclo PDCA, en primer lugar debe *planificarse (plan)* la mejora. Esta etapa está compuesta por varias actividades:

- a) Definición de los objetivos que se pretenden alcanzar.
- b) Definición de las medidas que posibiliten conocer en un momento determinado el nivel de cumplimiento de sus objetivos.
- c) Definición del equipo que se encargará de la mejora.
- d) Definición de los recursos o medios necesarios para lograr los objetivos establecidos.

En segundo lugar, está la *ejecución (Do)* de las tareas que se necesitan para lograr la implementación de la mejora. Durante esta etapa es importante meditar sobre la necesidad de enseñar y entrenar al personal encargado de la implantación de la mejora. En esta etapa también se necesita la puesta en práctica de los cambios del producto o del proceso, que el equipo de trabajo ha considerado oportuno.

En tercer lugar, aparece la etapa de *evaluación (Check)*. Esta fase tiene una grandísima importancia ya que en ella se trata de verificar los resultados de la implementación de la mejora contratándolos con los objetivos iniciales. Una aclaración importante en esta etapa es que no suele ser suficiente evaluar los resultados finales.

Por último, en cuarto, lugar se encuentra la etapa de *actuación (Action)*. De esta fase se debe sacar la necesidad de actuar sobre el proceso para solucionar los aspectos cuyo resultado en la verificación haya sido negativo. La actuación puede suponer mejorar el propio plan fijando nuevos objetivos o mejorando el proceso de educación del personal, o cambiando la asignación de recursos para el proyecto de mejora.

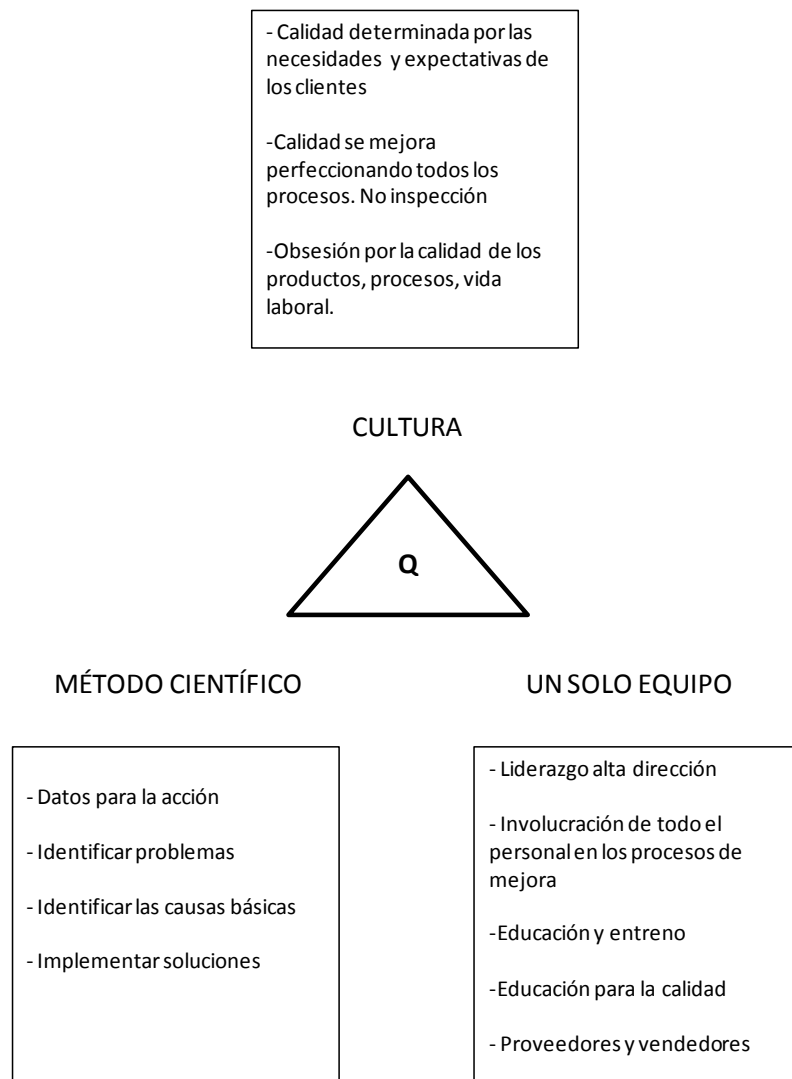
Cuando el ciclo se ha acabado, es importante seguir dando vueltas al ciclo PDCA, repitiendo las cuatro etapas en un nuevo proceso de mejora. Solo si se persevera, la empresa puede mejorar todos los procesos y en consecuencia como es lógico, la calidad de sus productos y servicios.

1.2.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA GESTIÓN DE LA CALIDAD TOTAL

No nos vamos a adentrar en el detalle de las distintas teorías existentes acerca de la gestión de la calidad total. Pero si vamos a hablar de las características que tienen en común las teorías de los distintos pensadores de la calidad total como Deming, Ishikawa etc.

Lo que tienen en común estas teorías es que se apoyan sobre tres pilares fundamentales: cultura de la calidad, sistemas y recursos humanos y utilización de la estadística. Si en cualquier organización no funciona uno de los tres pilares, sería imposible introducir la gestión de la calidad total.

En la figura que se ve a continuación viene resumido lo que el consultor norteamericano Brian Joiner denomina la teoría Q y en la que se vería el funcionamiento de los tres pilares anteriormente citados.



Como vemos en la figura, la cultura de la empresa es un pilar esencial. En las empresas de hoy en día es difícil encontrar dentro de su organización, directivos que digan que la calidad no es lo más importante. Para lograr estas afirmaciones se deben involucrar en la introducción de esta cultura de la calidad, tanto los propietarios como la alta dirección de sus propias empresas.

El primer paso de esta cultura de la empresa es reconocer que la calidad viene determinada por las necesidades y expectativas del cliente y no por apreciaciones internas de los departamentos de la empresa. La idea básica es complacer lo que exige el cliente e incluso sorprenderle con prestaciones que ni siquiera se habría imaginado. Esta es la calidad "excitante" que según *Noriaki Kano* puede captar nuevos usuarios y permite ampliar la cuota de mercado de las organizaciones que consigan elaborar este tipo de productos.

Cuando hablamos de cliente, nos referimos, tanto al cliente externo, que es el destinatario final de nuestros servicios, como al interno. Por lo tanto, todo proceso debe satisfacer las expectativas del proceso que le sigue, el cual en este caso, sería el cliente interno e intentar no crearle inconvenientes ni problemas.

Otra idea básica del aspecto cultural de las organizaciones es que la calidad solo se puede mejorar, mejorando todos los procesos de la organización, por eso hay que involucrar a todo el personal en la mejora continua de la calidad.

A pesar de la cantidad de componentes que tiene el producto final, muchos de ellos provenientes de proveedores, el cliente asociará dicho producto a la empresa que lo ha puesto en el mercado. Por eso se considera cada día más importante asociar a los proveedores la responsabilidad de la mejora continua de la calidad. La idea de Deming sobre esta relación fue que debía ser mediante colaboración entre proveedor y comprador buscando un beneficio mutuo y en convenios a largo o medio plazo. Hay veces que este enfoque no se aplica, lo que puede llevar a grandes tensiones entre las partes involucradas.

Los distribuidores nos pueden dar información acerca de cómo se comportan los productos una vez estén en las manos del cliente, lo que supone conocer información de las necesidades y expectativas del mercado.

El último pilar es la utilización masiva del método científico, más en concreto de la estadística. No solo una parte del personal debería utilizar dichos métodos estadísticos, sino toda la organización, además de usar siempre datos fiables para la toma de decisiones.

Según Bill Hunter, la importancia de este tercer pilar viene dada por:

- Si una organización pretende mejorar sus niveles de calidad y productividad, debe tomar decisiones.
- La toma de decisiones se realizará siempre disponiendo de buena información.
- La estadística es la disciplina especializada en transformar los datos en información.

En resumen es necesario que cualquier organización que pretenda situar a la calidad en el centro de sus actividades y que busque mejorar la productividad y sus costes, disponga de los tres pilares que se han citado. Por ejemplo, de nada serviría el uso de gráficos de control en una organización en la que no existiera la cultura necesaria, o se intentase solucionar los problemas de la calidad sin la implicación de la alta dirección, o incluso sin utilizar las herramientas básicas necesarias para resolver estos problemas.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTOS ESTADÍSTICOS

2. ESTADÍSTICA EN EL CONTROL DE LA CALIDAD

El ser humano en su evolución ha considerado necesario disponer de productos de alta calidad, *“a mejores productos mejores resultados”*. Actualmente el mercado nos exige productos de calidad y para ello la industria se ha ido actualizando en los métodos para la superación.

En un principio, la **inspección**, era el método en el que se basaba la calidad, desechando los productos defectuosos antes de ser enviados al mercado, pero es bien conocido que este procedimiento a pesar de ser exhaustivo, no cumple totalmente con el objetivo, debido principalmente a la fatiga del verificador, con resultados de hasta un 15% de productos aceptados o rechazados incorrectamente, asimismo debemos añadir que el producto rechazado como defectuoso ha consumido recursos de la empresa, mano de obra, materia prima, energía, etc., con un incremento efectivo en el coste final del producto.

Debido a los trabajos de W. Shewhart (1931) la calidad se traslada a la fabricación de los productos a través del **Control Estadístico de Procesos (C.E.P.)**, que fundamentalmente consistía en recortar la producción de unidades defectuosas reduciendo el tiempo entre la ocurrencia y la detección e identificación de algún desorden, en la fabricación a fin de evitar su repetición.

Ya que la inspección y el C.E.P. son mecanismos de la organización, y aunque todos los controles funcionasen a la perfección, se introdujo la **Calidad en la etapa de diseño** ya que se hizo necesario conocer los problemas que provocan los productos acabados cuando son utilizados por los clientes, o porque tienen más demanda en el mercado otros productos similares de la competencia, etc. Por ello podemos decir que la calidad está globalizada ya que incluye: no solo todos los procesos y departamentos de la empresa, sino también a proveedores y distribuidores.

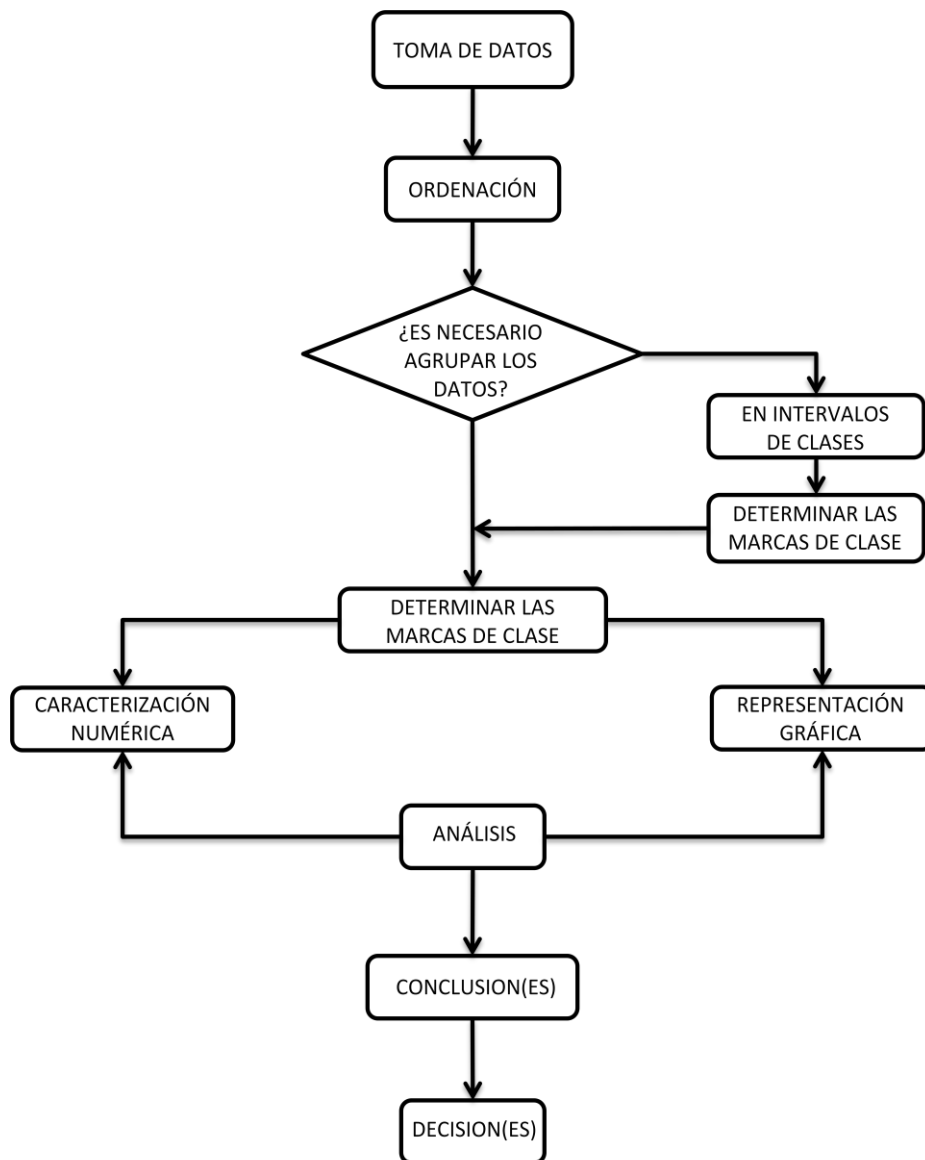
Para la obtención de productos de calidad se comienza a utilizar la **ESTADÍSTICA**, que según definición de Murria R. Spiegel (1991) es *“la ciencia que estudia los métodos científicos para recoger, organizar, resumir y analizar datos, así como para sacar conclusiones válidas y tomar decisiones razonables basadas en su análisis”*, y que nos aporta procedimientos sencillos, rápidos y económicos a través de los cuales obtenemos resultados fiables que nos acercan a un mayor control de la calidad, convirtiéndose en la

herramienta imprescindible y necesaria que debemos saber “Cuándo, Cómo y Por qué utilizarla”.

2.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

Dentro de la estadística nos encontramos la rama de la estadística descriptiva que hace uso de distintos procesos gráficos y de la aritmética elemental con el objetivo principal de describir de una manera detallada y apropiada las características del conjunto de datos recolectados.

¿Cómo trata la información la estadística descriptiva?



Para poder comprender mejor el concepto de estadística descriptiva y el funcionamiento de este diagrama de flujo, hay que definir ciertos conceptos:

POBLACIÓN

Se conoce por el total de sujetos o unidades de interés dentro del estudio. Otra definición sería:

"Una población es un conjunto de elementos que presentan una característica común".

Cadenas (1974).

La población se compone por distintos elementos a los que llamamos *individuos* y cuya suma se suele representar con la letra N .

MUESTRA

Hace referencia a cualquier subconjunto de las unidades de análisis de la población en la cual se recolectarán los datos.

Otra definición para comprenderlo mejor:

"Se llama muestra a una parte de la población a estudiar, que sirve para representarla"

Murria R. Spiegel (1991).

FRECUENCIA

- Absoluta (n_i)
Es el número de veces que aparece un determinado valor en un estudio estadístico
- Relativa (f_i)
Es el cociente entre la frecuencia absoluta y el número total de datos.

$$f_i = \frac{n_i}{N}$$

CLASE

Llamamos intervalo o clase a cada uno de los grupos en los que dividimos el conjunto de los datos ordenados, para tratar de simplificar su estudio. Han de tener la misma amplitud y a cada clase se le asigna una frecuencia correspondiente.

El número de clases (NC) se determina de la siguiente manera:

$$NC = \text{Número entero más cercano a } 1 + \frac{10}{3} \log_{10} N. \quad (5 \leq NC \leq 20)$$

$$\text{Fórmula de Sturges: } 1 + \frac{10}{3} \log_{10} N$$

LÍMITES DE CLASE

Son cada uno de los dos extremos por los que está delimitada cada clase. Son el *límite superior* y el *límite inferior*.

AMPLITUD DE CLASE

Es la diferencia entre el límite superior de clase y el límite inferior.

MARCA DE CLASE

Es el punto medio de cada intervalo y el que representa a dicho conjunto de datos a la hora del cálculo de algunos parámetros.

2.1.1 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

Son consecuencia del objetivo principal de la estadística, que consiste en crear un modelo de la realidad.

Lo definimos como un número que se obtiene a partir de los datos de una distribución estadística y que se usa para sintetizar la información dada por una tabla o una gráfica. Son de tres tipos:

- De centralización
- De posición
- De dispersión

DE CENTRALIZACIÓN

Son los que se usan para indicar en torno a que valor se distribuyen los datos.

1. Media (\bar{x}): indica el valor alrededor del cual se agrupan todos los demás.

| |
|--|
| $\text{Media } (\bar{x}) = \frac{\text{suma de resultados}}{\text{dividido entre el número de valores}}$ |
|--|

2. Mediana: es el valor que divide en dos partes iguales al conjunto total, dejando en la parte superior el mismo número de valores que en la parte inferior.
3. Moda: es el valor que más se repite en una distribución.

DE POSICIÓN

Dividen un conjunto de datos en grupos en los cuales el número de individuos es el mismo. Cuando queremos obtener las medidas de posición es necesario que los datos estén ordenados de menor a mayor. Se diferencian en:

1. Cuartiles: dividen el conjunto de datos en cuatro partes iguales.
2. Deciles: dividen el conjunto de datos en diez partes iguales.
3. Percentiles: dividen el conjunto de datos en cien partes iguales.

DE DISPERSIÓN

Nos dan información sobre la concentración o variabilidad de los valores de la distribución.

1. Rango (R): es la diferencia entre los dos valores extremos de la distribución.

$$\text{Rango (R)} = \text{Valor máximo} - \text{Valor mínimo}$$

2. Varianza (S)²: se encarga de medir la distancia media entre los valores individuales y la media de la población.

$$\text{Varianza (S)}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}$$

3. Desviación típica (S): es la raíz cuadrada de la varianza y mide la dispersión existente en la población, teniendo en cuenta todos los datos de la muestra.

$$\text{Desviación típica (S)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N-1}}$$

2.1.2 DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS DE PROBABILIDAD

A la hora de hablar de distribuciones de probabilidad, hay que conocer con anterioridad lo que es una variable aleatoria que, de manera intuitiva, se define como cualquier característica medible que adopta diferentes valores con probabilidades determinadas. Cada una de estas variables posee una distribución de probabilidad en la que se describe su comportamiento.

Cuando la variable es discreta, es decir que toma valores aislados dentro de un intervalo, su distribución describe todos los valores posibles de dicha variable, además de la probabilidad de que suceda cada uno de ellos. Cuando es continua, que se refiere a cuando una variable puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo, se permite determinar la probabilidad que corresponde a los distintos subintervalos de valores.

Las distribuciones concuerdan con modelos conocidos y el conocimiento de los mismos nos permite realizar pronósticos o estimaciones en base a las muestras obtenidas del conjunto. Pese a todo esto, se ha observado experimentalmente que el comportamiento habitual de los procesos naturales y tecnológicos se puede asociar a la que llamamos “*Curva Normal*” o “*Campana de Gauss*”. Es la distribución continua más importante, debido a que muchas de las variables, en la práctica se acercan a la normalidad. En el control de la calidad muchas de las distribuciones halladas se aproximan a la curva normal.

LEY NORMAL

Las distribuciones normales se presentan gráficamente en forma de una curva suave, acampanada y simétrica, y como ya indicamos anteriormente, también recibe el nombre de campana o curva de Gauss, en honor a su creador **Carl Friedrich Gauss**.

El matemático Gauss a principios del siglo XIX, percibió que muchos de los fenómenos naturales seguían una distribución que se caracterizaba por:

- La probabilidad de ocurrencia aumentaba a medida que la variable se acercaba a su valor medio y disminuía cuando se alejaba a dicho punto.
- La ocurrencia por encima y por debajo de la media tienen la misma probabilidad.

- La mayoría de las desviaciones de la media son reducidas, aunque es posible, en casos extraños, que dichas desviaciones sean bastante grandes.

Tras observar todos estos fenómenos y tras varias conclusiones, Gauss mostró la fórmula matemática que explicaba todo lo anteriormente estudiado y cuya forma era:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

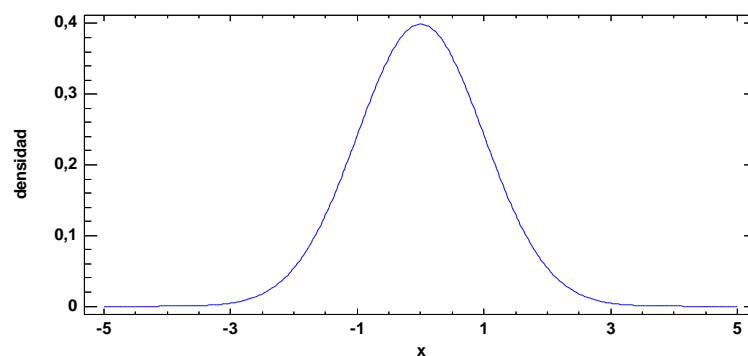
Donde:

- μ es la media poblacional y determina el centro de la distribución.
- σ es la desviación estándar o típica y define la “esbeltez de la curva.
- x Cualquier valor de la variable.
- e base de los logaritmos neperianos con valor igual a 2,71828.
- π relación entre la circunferencia y el diámetro cuyo valor es 3,14159...

Los parámetros (σ y μ) bastan para definir la ley normal. La representación gráfica tendrá forma simétrica respecto a la media y además de un punto de inflexión que pertenece al valor $x = \sigma$.

Existe un caso especial en el que la media vale 0 y la desviación vale 1, en la cual la fórmula queda así:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}$$

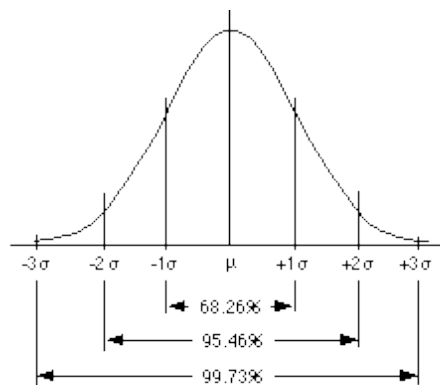


Esta representación gráfica recibe el nombre de curva normal estándar.

En esta clase exacta de gráficos pueden definirse los porcentajes de área correspondientes a cada zona.

Se empieza la partición desde la media, que coincidirá con el cero. Siguiendo hacia la derecha, en la abscisa correspondiente al punto de inflexión se sitúa el $+1\sigma$. Tendrán signo positivo las unidades situadas a la derecha de la media y negativo las que se sitúen en la izquierda.

Si fijamos el valor 1 al área bajo la curva, podremos interpretar los porcentajes como valores de la probabilidad de ocurrencia de una observación determinada. Aquí vemos la distribución tanto de los porcentajes como de la desviación:



En los estudios de control de calidad, la distribución normal se utiliza de tres formas distintas, que son:

- Cuando se quieren medir ciertas características de calidad de un producto.
- A veces se usa por aproximación, suficientemente útil a las distribuciones binomial, Poisson e hipergeométrica.
- Por último y no menos importante y frecuente es el hecho de que se puede demostrar que la distribución de los valores característicos medios en muestras grandes tiende a asemejarse a la distribución normal independientemente de la distribución de los datos originales de las muestras.

LEY BINOMIAL

La distribución binomial se asocia con este tipo de experimentos:

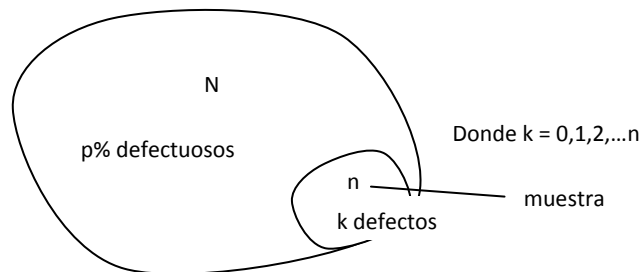
- Realizar n veces un experimento en el cual solo tenemos en cuenta la posibilidad de éxito o fracaso.

- Que se obtenga éxito o fracaso en cada ocasión es independiente del éxito o fracaso obtenido en el resto de ocasiones.
- La probabilidad de obtener éxito o fracaso siempre es la misma en todas las ocasiones.

Para una población con N individuos con un 100% , de defectuosos, de la cual tomamos una muestra que tiene un tamaño $n < N/10$, existe una probabilidad de encontrar k individuos defectuosos de:

$$\Pr(k) = \frac{n!}{k!(n-k)!} p^k (1-p)^{n-k}$$

Podríamos ilustrar este concepto de esta manera:



Las características numéricas de esta distribución son:

- Media = np
- Varianza = $np(1-p)$
- Desviación típica = $\sqrt{np(1-p)}$

LEY DE POISSON

El interés que tiene un proceso de Poisson radica en saber cuántos sucesos se producen en un intervalo de tiempo t .

Una variable que sigue la ley de Poisson, puede tomar cualquier valor entero del intervalo $[0, \infty)$ siendo la probabilidad de obtener uno de estos valores:

$$\Pr(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!}$$

Las características numéricas de esta distribución son:

- Media = λ
- Varianza = λ
- Desviación típica = $\sqrt{\lambda}$

En el momento que la distribución Binomial tiene un n grande, una p muy pequeña, es decir que sea un suceso raro, y que se dé el caso que $np < 5$, dicha distribución Binomial se aproximará mucho a la de Poisson con $\lambda = np$

También cuando $\lambda > 18$ se podrá usar con un error casi inexistente la ley normal con media λ y una desviación típica de $\sqrt{\lambda}$.

2.1.3 TEOREMA CENTRAL DEL LÍMITE

El teorema central del límite no se considera un único teorema, sino que se trata de un conjunto de resultados sobre el comportamiento de las distribuciones suma o promedio de variables aleatorias.

Lo podemos definir como un teorema en el cual se afirma que la distribución de la suma de un número suficientemente grande de variables aleatorias se acerca a una distribución normal.

Para explicarlo mejor y más específicamente, este teorema se basa en que si a una población cualquiera con media μ y desviación típica σ se le extraen muestras con tamaño n en una cantidad tal que no cause ningún efecto a la composición de la población (esto sucede cuando la población se considera infinita), las medias de dichas muestras se distribuyen normalmente con una media y una desviación típica dadas por: μ y $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Este teorema es válido independientemente de la distribución de los valores individuales, para muestras con un tamaño mayor o igual a 4, siempre que la distribución de la que proceden los datos no sea muy anormal. Si no se conociera la desviación σ de estos valores individuales, sino solo la estimación s , hay que obtener por estimación s_x , que es la desviación tipo de la distribución de las medias, siendo $s_x = \frac{s}{\sqrt{n}}$.

CAPITULO 3

HERRAMIENTAS

ESTADÍSTICAS BÁSICAS

PARA LA MEJORA DE LA

CALIDAD

3. HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS BÁSICAS PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD

En las empresas actuales, se fijan unos objetivos en ventas, producción, stocks o beneficios, que periódicamente se irán comprobando si coinciden con las previsiones realizadas, y así emprender acciones correctoras en caso que fuese necesario.

A diferencia de los parámetros anteriores, en la mejora de la calidad, las acciones, se toman basándose en impresiones o sensaciones, pero no en el análisis científico de datos objetivos.

Cada vez coge más fuerza la idea de que los problemas de calidad se deben solucionar mediante métodos científicos de recogida y análisis de datos, es decir, a través de la estadística. Esta práctica debe ser usada por todo el personal y no solo por un grupo restringido de personas o “expertos en calidad”.

Muchas técnicas deberían ser conocidas por el personal, aunque hay otras que pueden que no lo sean por su nivel de complejidad y necesidad de especialización.

Las técnicas que si deben ser conocidas por todo el personal, reciben el nombre de “Las siete herramientas básicas de Ishikawa”. Reciben este nombre en honor al ingeniero japonés que promocionó su uso, primero en Japón con un gran éxito y después en el resto del mundo.

Según los expertos más reconocidos en temas de calidad, el buen uso de estas sencillas herramientas, por parte de todo el personal, conseguiría reducir en un 90% los problemas de calidad existentes. Estas herramientas de las que hablamos son:

- Plantillas para la recogida de datos.
- Histogramas.
- Diagramas de Pareto.
- Diagramas causa-efecto.
- Diagramas bivariantes.
- Estratificación.
- Gráficos de control.

Explicaremos los seis primeros. Los gráficos de control serán estudiados más adelante dentro del control estadístico de procesos.

3.1 PLANTILLAS PARA LA RECOGIDA DE DATOS

En cualquier proceso de mejora de la calidad, se necesitan datos. Muchas veces se obtienen de forma mal documentada o desordenada, lo que supone que su análisis posterior se convierte en tarea imposible. Hay otras veces que los datos son erróneos porque se han tomado de forma diferente a la que se preveía, por lo tanto las conclusiones que se obtengan a partir de estos datos, carecerán de sentido.

Por tanto, la recogida de datos debe efectuarse de manera exacta, cuidadosa y para lograrlo, el uso de plantillas especialmente diseñadas para cada caso, se convierten en una herramienta muy efectiva.

Las plantillas tienen como objetivo:

- Facilitar las tareas de recogida de la información,
- Tratar de evitar la posibilidad de malos entendidos o errores,
- Permitir el análisis rápido de los datos.

Las plantillas tienen distintas finalidades: control de una variable de un proceso, control de los productos defectuosos, estudio de la localización de defectos en un producto, etc.

La primera figura que viene a continuación sería un ejemplo de plantilla para el control de productos defectuosos. La segunda es un esquema de plantilla de inspección para estudiar las causas que ocasionan defectos.

| CONTROL DE BIELA | | | | | | | | |
|----------------------|--|--|--|--|-----------|--|--|-------|
| Identificación | | | | | | | | |
| Tipo: | | | | | Fecha: | | | |
| Lote: | | | | | Línea: | | | |
| Hoja de ruta: | | | | | Operario: | | | |
| Total revisado: | | | | | | | | |
| Defectos: | | | | | | | | |
| Tipo | | | | | | | | Total |
| Soldadura | | | | | | | | |
| Poros | | | | | | | | |
| Deformado | | | | | | | | |
| Incompleto | | | | | | | | |
| Otros | | | | | | | | |
| Notas e incidencias: | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

| INSPECCIÓN FINAL - ACCESORIOS METÁLICOS | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|------|---|------|---|----------------|---|------|---|------|---|-------|---|
| Semana: | | Año: | | | | Realizado por: | | | | | | | |
| Maqui. | Opera | Lun. | | Mar. | | Mie. | | Jue. | | Vie. | | Total | |
| | | M | T | M | T | M | T | M | T | M | T | M | T |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| o Golpe - Raya + Grieta Δ Rebaba * Otros | | | | | | | | | | | | | |
| Comentarios: | | | | | | | | | | | | | |

3.2 HISTOGRAMAS

Podemos definir Histograma como un resumen gráfico de los valores producidos por las variaciones de una determinada característica, representando la frecuencia con que se presentan distintas categorías dentro de dicho conjunto.

Se utilizan los histogramas en aquellos estudios en los que se analiza la pauta de comportamiento de un determinado fenómeno en función de su frecuencia de aparición.

Son beneficiosos para todos aquellos procesos en los que se pretenda una mejora de la calidad y si los datos han sido tomados de una forma correcta, las conclusiones que se pueden obtener son inmediatas.

Sus principales características son:

- *Síntesis*, resumiendo grandes cantidades de datos.
- *Análisis*, analizando datos y mostrándonos esquemas de comportamiento y pautas de variaciones que no se captan fácilmente en las tablas numéricas.
- *Capacidad de comunicación*, transmitiéndonos información de forma clara y sencilla sobre situaciones complejas.

Por lo tanto, cuando se trata de analizar la dispersión que presentan unos datos, el histograma es la representación gráfica más adecuada.

CONSTRUCCIÓN

Para la realización de un histograma, su base se sitúa sobre un eje horizontal, se marcan una serie de intervalos y sobre cada uno de ellos se coloca un rectángulo de altura que corresponderá a la frecuencia de la clase representada.

En cuanto a su construcción los pasos serían:

1. Preparación de los datos, deben estar basados en hechos, ser exactos, que recojan toda la información relevante y representativa del proceso.
2. Determinar los valores extremos de los datos y el recorrido, identificar en la tabla de datos originales el valor máximo, el valor mínimo y el recorrido ($R = V_{max} - V_{min}$).
3. Definir las “clases” que contendrá el Histograma o los intervalos en que se divide la característica sobre la que se han tomado los datos.
El mínimo para un histograma son 40 datos, aunque puede ser menor si el histograma original ha sido estratificado.
El número recomendado de clases en un histograma, según la siguiente tabla, es:

| Número de Datos | Número de clases recomendado |
|-----------------|------------------------------|
| 20 - 50 | 6 |
| 51 - 100 | 7 |
| 101 - 200 | 8 |
| 201 - 500 | 9 |
| 501 - 1000 | 10 |
| Más de 1000 | 11 - 20 |

4. Construir las clases anotando los límites de cada una de ellas, siendo los límites de la primera clase el valor mínimo de los datos.
5. Calcular la frecuencia de la clase, determinando el número de datos que están incluidos en cada una de las clases (frecuencia de clase).
6. Dibujar y rotular los ejes, siendo el eje vertical las frecuencias y en él se rotularan números naturales, dependiendo del número de datos que se han tomado. El eje horizontal representa la magnitud de la característica medida de los datos, dividiendo este eje en tantos segmentos iguales como clases se hayan definido. Se deben rotular los límites de los intervalos de clase, así como, el eje con la característica representada y las unidades de medida empleadas.

7. Dibujar el histograma.
8. Rotular el grafico, poniendo título, condiciones de recogida de datos, límites de tolerancia, etc. Estas notas nos ayudarán a interpretar el grafico y sirven de recordatorio de la fuente de datos.

INTERPRETACIÓN

Mediante el análisis e interpretación de un Histograma se pretende identificar y clasificar la pauta de variación del conjunto de los datos recabados y elaborar una explicación admisible y relevante para dicha pauta.

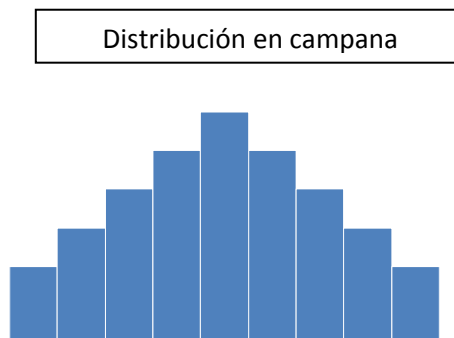
Para la utilización de esta herramienta de forma eficaz, los equipos de trabajo deben tener el mayor conocimiento posible del proceso, ya que su experiencia y habilidad en la interpretación son fundamentales dado que no existen reglas fijas que expliquen de manera precisa las pautas de variación en cualquier situación.

Para la clasificación de Histogramas, a continuación, presentaremos pautas típicas y explicaciones a las mismas:

Distribución en forma de campana

Se la denomina Distribución Normal ya que para gran cantidad de procesos es la distribución natural.

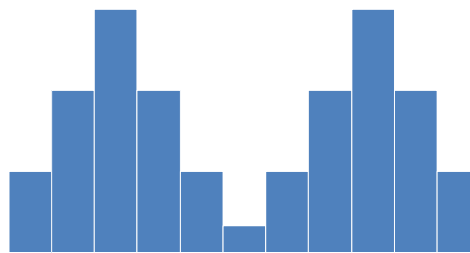
La desviación a esta forma puede indicar la existencia de problemas o influencias externas al proceso.



Distribución con doble campana o con doble pico

Esta forma suele ser la combinación de dos distribuciones y sugiere dos procesos distintos. Se representa mediante un marcado valle en el centro de la distribución con picos a ambos lados.

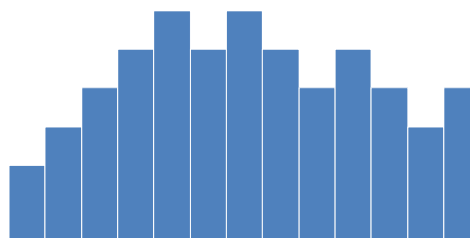
Distribución con doble pico



Distribución plana

Esta forma suele ser varias distribuciones en forma de campana con sus centros distribuidos uniformemente a lo largo del recorrido. Se deben identificar los diferentes procesos que intervienen dentro del proceso básico.

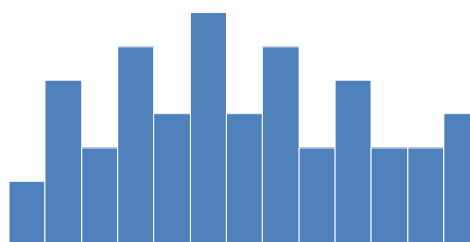
Distribución plana



Distribución en peine.

Ésta, nos indica errores de medición, errores en el reagrupamiento de datos en la construcción del Histograma o sesgos de redondeo y en su representación alternan valores altos y bajos de forma regular.

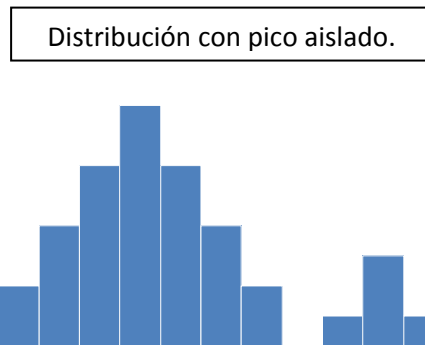
Distribución en peine



Distribución con un pico aislado.

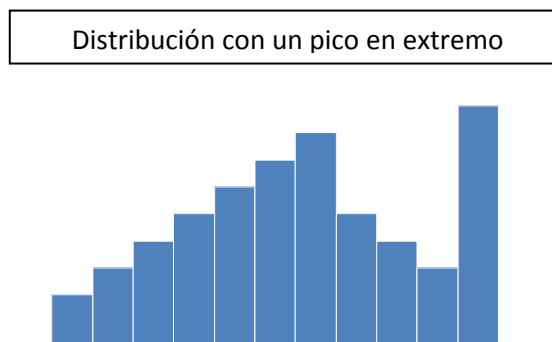
El proceso que nos muestra el pico pequeño puede indicarnos una anomalía que no sucede regularmente, se deben analizar los datos que nos muestra este pico.

Estos picos denotan una falta de eficacia en la eliminación de elementos defectuosos; así como, en el caso de la distribución de dos picos, nos está mostrando la existencia de dos procesos.



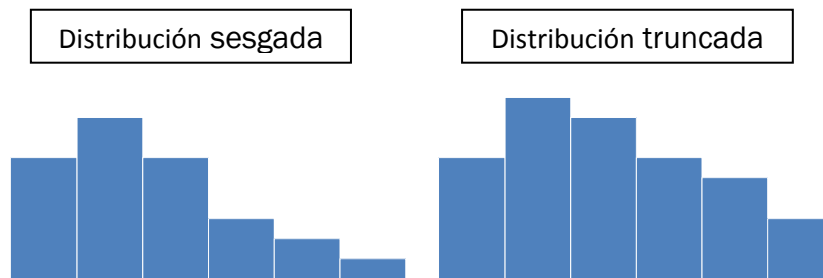
Distribución con un pico en el extremo.

Esta forma nos muestra, cuando el final de una distribución normal se ha cortado y acumulado en una sola categoría en el extremo, mostrándose como un pico al final de la distribución normal, indicándonos un mal registro de los datos.



Distribución sesgada o truncada.

Es normal en los procesos con límites prácticos a un lado del valor nominal o a datos parciales. Su perfil es asimétrico, y los extremos descienden bruscamente en un lado y suavemente en el otro.



3.3 DIAGRAMAS DE PARETO

El diagrama de Pareto es una herramienta de análisis que nos ayuda en la toma de decisiones para la mejora de la calidad, identificando y eliminando de forma crítica las causas, se basa en el principio formulado por Vilfredo Pareto que dice:

“El 80% de los problemas se pueden solucionar, si se eliminan el 20% de las causas que los originan”

Mediante el estudio y análisis de este diagrama se observa que, en general son pocas causas las que originan el problema, *causas fundamentales*, y el resto que son muchas, pero son las que ocasionan una mínima parte del problema, y se denominan “*causas triviales*”

El diagrama de Pareto se utiliza básicamente para:

- Determinar los factores más importantes del problema.
- Establecer las causas raíz del problema.
- Tomar decisiones para la mejora y elementos a mejorar.
- Comprobar que se ha conseguido el efecto deseado.

El diagrama de Pareto es un gráfico que se construye anotando las causas de un problema en el eje horizontal, colocando de izquierda a derecha las de mayor incidencia en el problema, de tal forma que vayan disminuyendo en orden decreciente y dos ejes verticales, en el del lado izquierdo se

representa la magnitud del efecto provocado por las causas y en el lado derecho con una escala porcentual de efecto de las causas, comenzando por las de mayor tamaño.

Para realizar correctamente un diagrama de Pareto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Plantear qué clase de problema se desea investigar. Los datos necesarios han de ser objetivos, consistentes, representativos y verosímiles y determinar el periodo de tiempo.
2. Ordenar los elementos incluidos en el análisis, calculando las contribuciones totales y parciales.
3. Efectuar para cada elemento de la lista el cálculo del porcentaje y el porcentaje acumulado.
4. Diseñar la tabla, trazando y rotulando los ejes del diagrama. El eje vertical izquierdo representa la magnitud del efecto analizado, marcándose desde 0 hasta el total general y el eje vertical derecho representa los porcentajes acumulados del efecto analizado, se marca de 0 al 100 %. El eje horizontal lo dividiremos en tantas partes igual al número de categorías clasificadas.
5. Realizar el diagrama de barras. La altura de cada barra será igual al número de observaciones que corresponden a cada causa en el eje vertical izquierdo, como en porcentaje el eje vertical derecho.
6. Trazar la curva acumulada (curva de Pareto), marcando los valores acumulados (porcentaje acumulado) en la parte superior, a la derecha de los intervalos de cada categoría y conectar los puntos con una línea continua.
7. Separar el diagrama en dos partes mediante una línea vertical, en la cual podamos visualizar las pocas causas fundamentales y las muchas causas triviales.
8. Anotar en el diagrama la información necesaria para el mejor entendimiento del diagrama de Pareto.

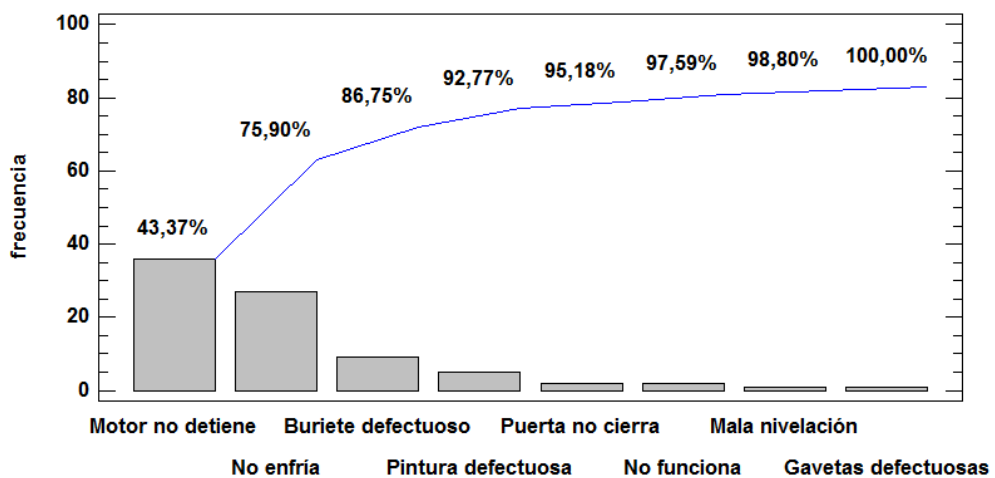
EJEMPLO RESUELTO

Un fabricante de frigoríficos desea estudiar cuáles son los defectos más frecuentes que aparecen en las unidades producidas.

Pasos a seguir para su construcción.

1. ¿Problemas a investigar? Defectos en los frigoríficos.
2. ¿Datos necesarios y su clasificación? Defectos por tipo (listado de defectos)
3. Método y periodo de la recogida de los datos. El departamento de calidad registrará los datos durante un mes
4. Diseñar la tabla para el recuento de datos.

| Tipo de defecto | Cantidad |
|---------------------|-----------|
| Motor no se detiene | 36 |
| No enfría | 27 |
| Buriete defectuoso | 9 |
| Pintura defectuosa | 5 |
| Puerta no cierra | 2 |
| No funciona | 2 |
| Mala nivelación | 1 |
| Gavetas defectuosas | 1 |
| TOTAL | 83 |



3.4 DIAGRAMAS CAUSA-EFECTO

El diagrama causa-efecto, (ISHIKAWA) es la representación gráfica, “*espina de pescado*” que muestra con claridad la relación entre los problemas y sus causas y sirve para que conozcamos con mayor profundidad el proceso.

Ishikawa, en su libro “¿Qué es el control total de la calidad?”, nos dice que si intentamos evitar el efecto del problema, sin eliminar su causa, y si la causa permanece, el efecto vuelve a manifestarse de forma aun más perjudicial.

Para la solución del problema se deben analizar sus causas y eliminarlas, por lo tanto podemos concluir diciendo **“debemos atacar las causas, no los efectos”**.

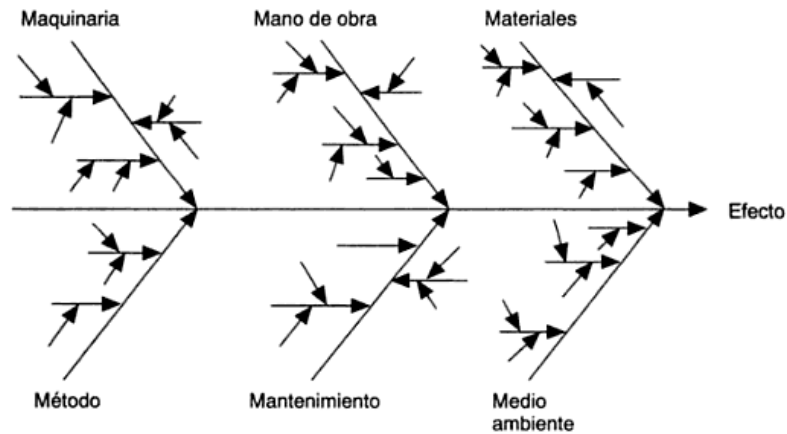
Podemos decir que las características principales de esta herramienta son:

- Impacto visual, al mostrarnos de forma ordenada, clara, precisa y de un solo golpe de vista la relación entre un efecto y sus posibles causas.
- Capacidad de comunicación, al permitirnos una mejor comprensión de la relación causa-efecto en estudio, incluso en situaciones complejas.

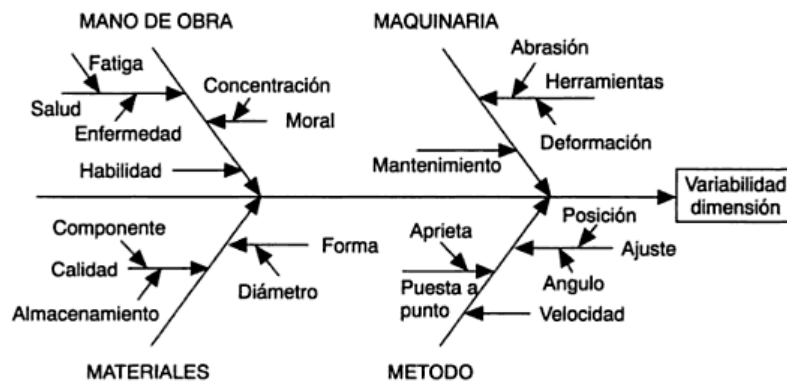
Para construir el diagrama causa-efecto y descubrir el entramado de posibles causas que provocan un efecto, debemos seguir una metodología y seguir unos pasos que a continuación describimos:

1. Identificar el problema a analizar.
2. Reunir un grupo de personas que puedan aportar ideas sobre el problema y realizar una serie de ideas para identificar las causas.
3. Seleccionar las causas en categorías que deben aparecer en el diagrama.
4. Añadir subcausas, a las causas principales.
5. Construir el diagrama.

De la construcción del diagrama se debe encargar una sola persona, que conozca estas tareas y con conocimientos suficientes del problema estudiado.



Las “*causas primarias*” se presentaran agrupadas y jerarquizadas en grupos de cuatro o seis, que son las conocidas como las seis M; mano de obra, maquinaria, materiales, método, medio ambiente y mantenimiento.



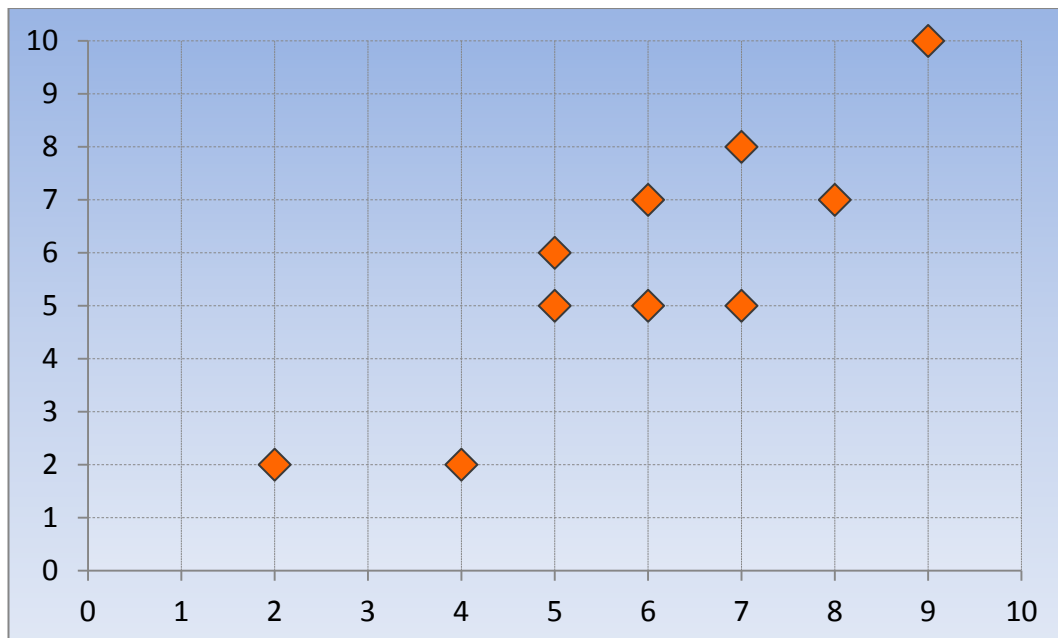
Debemos tener en cuenta que en el diagrama anotamos las causas potenciales, por lo tanto, tendremos que confirmar que la relación causa-efecto realmente existe. A medida que se van adquiriendo más conocimientos sobre el problema analizado y se van plasmando en el diagrama, este va cambiando con lo que podemos decir que es un diagrama vivo. En el transcurso del análisis pueden aparecer nuevas causas que inicialmente no se habían tenido en cuenta. También, algunas causas se han eliminado o se ha detectado que no influyen en el proceso, entonces no debemos borrarlas del grafico, sino tacharlas, para tener en cuenta que estas causas ya han sido estudiadas.

3.5 DIAGRAMAS BIVARIANTES

Cuando con frecuencia dos variables están relacionadas de tal forma que a cada valor de una de ellas le correspondan varios valores de la otra, se hace necesario analizar el grado de correlación existente entre ambas.

El diagrama de bivariantes es la herramienta que nos permite comprobar si existe relación entre una característica de calidad y un factor que puede afectarle, así podemos decir que este diagrama representa, la relación entre dos variables que tienen relación (causa-efecto).

La forma de representar una distribución bivariante es señalar los pares de valores en el plano cartesiano, al gráfico así obtenido se le denomina diagrama de dispersión. A continuación aparece un ejemplo:



El diagrama de dispersión es la representación gráfica de la relación entre dos variables y como características destacables podemos señalar que, el hallazgo de las auténticas relaciones causa-efecto es la clave para la solución eficaz de un problema, que la relación causa-efecto continuamente nos está mostrando variaciones y que por lo tanto nos es más fácil y de un vistazo, comprobar la existencia de relación entre dos variables en el diagrama, que en una tabla de números.

Construcción

Para la construcción de diagrama seguiremos los siguientes pasos:

1. Elaborar una teoría entre dos variables que sea admisible y relevante.
2. Reunir los pares de datos de las variables a analizar.
 - En cantidad suficiente, son necesarios al menos 40 pares de datos.
 - Los datos han de estar correctamente emparejados,
 - Los datos han de ser exactos, ya que su inexactitud nos alterará su apariencia visual.
 - Datos que sean representativos del proceso.
 - Información donde figuren las condiciones de la obtención de los datos.
3. Determinar los valores máximos y mínimos de cada una de las variables.
4. Trazar los ejes, ya que su aspecto afectará a la interpretación del diagrama, mediante valores fácilmente legibles, decidir las escalas a utilizar para que los ejes sean proporcionales y los valores crecientes se representarán de abajo a arriba y de izquierda a derecha en los ejes vertical y horizontal.
5. Situar sobre el diagrama los pares de datos, si dos o más puntos coinciden, se traza marcando un círculo concéntrico.
6. Incorporar al gráfico toda aquella información necesaria para su correcta interpretación.

Interpretación

Podemos afirmar que este diagrama expresa la relación entre dos variables, lo cual no significa que una es la causa de la otra.

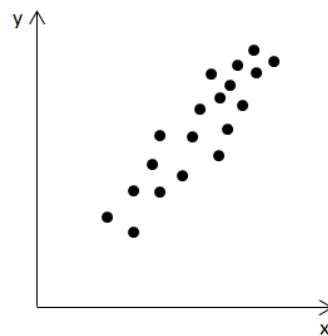
Para su interpretación seguiremos cuatro pasos:

1. Elaborar la teoría sobre la relación entre las dos variables.
2. Recoger datos y construir el diagrama.
3. Identificar y clasificar las pautas de correlación.
4. Discutir la teoría original y razonar otras explicaciones.

Pautas típicas de correlación:

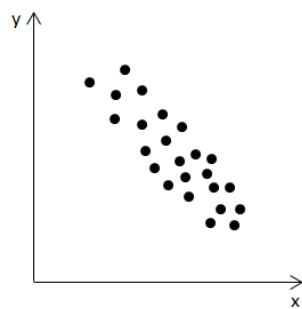
Correlación fuerte, es aquella en la que los puntos están agrupados alrededor de una línea ficticia que pasa por el centro de puntos, esto nos indica que el control de una variable nos lleva al control de la otra.

Correlación Fuerte, Positiva



Correlación Fuerte, Positiva: el valor de la variable **Y** aumenta con el valor de la variable **X**.

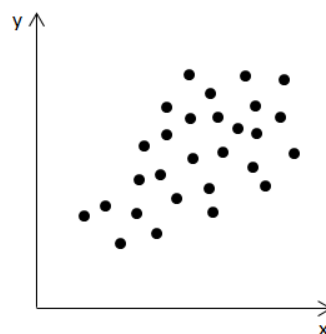
Correlación Fuerte, Negativa



En la Correlación Fuerte, Negativa: el valor de **Y** disminuye cuando **X** aumenta.

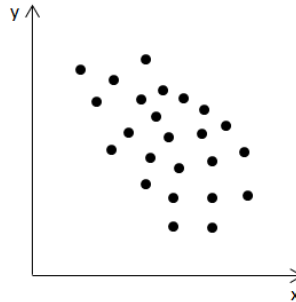
Correlación Débil, es aquella en la que los puntos no están suficientemente agrupados, y su observación nos indica que no existe relación entre ellas y por lo tanto el control de una variable, no producirá el control de la otra.

Posible correlación positiva



En la Correlacion Debil, Positiva: el valor de la variable Y tiende a aumentar cuando aumenta el valor de la variable X.

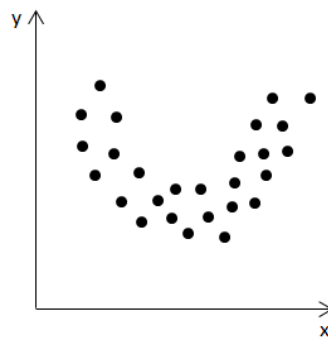
Possible correlación negativa



En el grafico de Correlación Débil, negativa: el valor de Y tiende a disminuir cuando aumenta el valor X.

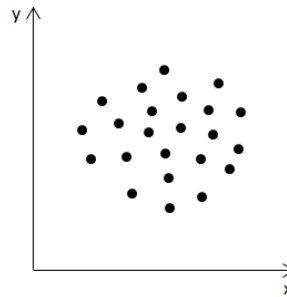
Correlación no lineal, El valor de la variable Y parece estar relacionado con el de la variable X, pero esta relación no es simple o lineal.

Relación no lineal



Sin relación, para cualquier valor de la variable X, Y puede tener cualquier valor.

Sin relación



3.6 ESTRATIFICACIÓN

Es una de las siete herramientas básicas de Ishikawa. Es una metodología que interesa incorporar a cada una de las herramientas que ya hemos estudiado.

Por ejemplo, las plantillas deben estar pensadas para que después se pueda realizar el análisis dividiendo los datos según su origen. En los histogramas, diagramas de Pareto o diagramas bivariantes, una adecuada estratificación supone obtener una información muy importante, que si no se estratificase, no se pondría de manifiesto.

CAPÍTULO 4

CONTROL ESTADÍSTICO DEL

PROCESO

4. CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO

El objetivo es detectar precozmente la presencia de causas especiales de variabilidad, con el fin de eliminarlas si son desfavorables, o fijarlas permanentemente si son beneficiosas.

La **Gestión de la Calidad**, durante todos los procesos de fabricación es una de las actividades más importantes de la empresa, apoyada en la estadística y los gráficos de control.

La combinación de personas, máquinas y materiales están presentes en los sistemas de dirección y producción hasta la obtención de un producto de calidad, existiendo en cada uno de ellos una *variabilidad inherente o natural* cuyas causas no se pueden individualizar, contrariamente a la *variabilidad no natural* que si se puede controlar hasta alcanzar un mínimo.

Respecto a la **variabilidad del material**, diremos que las causas pueden ser múltiples; materiales inadecuados, malas especificaciones, premura en la adquisición prescindiendo de su calidad, consideraciones de su precio de compra más bajo, etc.

De la **variabilidad de la maquinaria**, indicaremos que todos los procesos funcionan dentro de un intervalo de capacidad, los límites del intervalo se conocen como *límites naturales* del proceso y este intervalo de variabilidad se denomina *capacidad del proceso o de la maquinaria*.

Se intenta controlar el proceso de fabricación hasta dejar una variable menor que la natural, pero si el proceso no funciona de modo aceptable dentro de los límites del proyecto, caben tres alternativas:

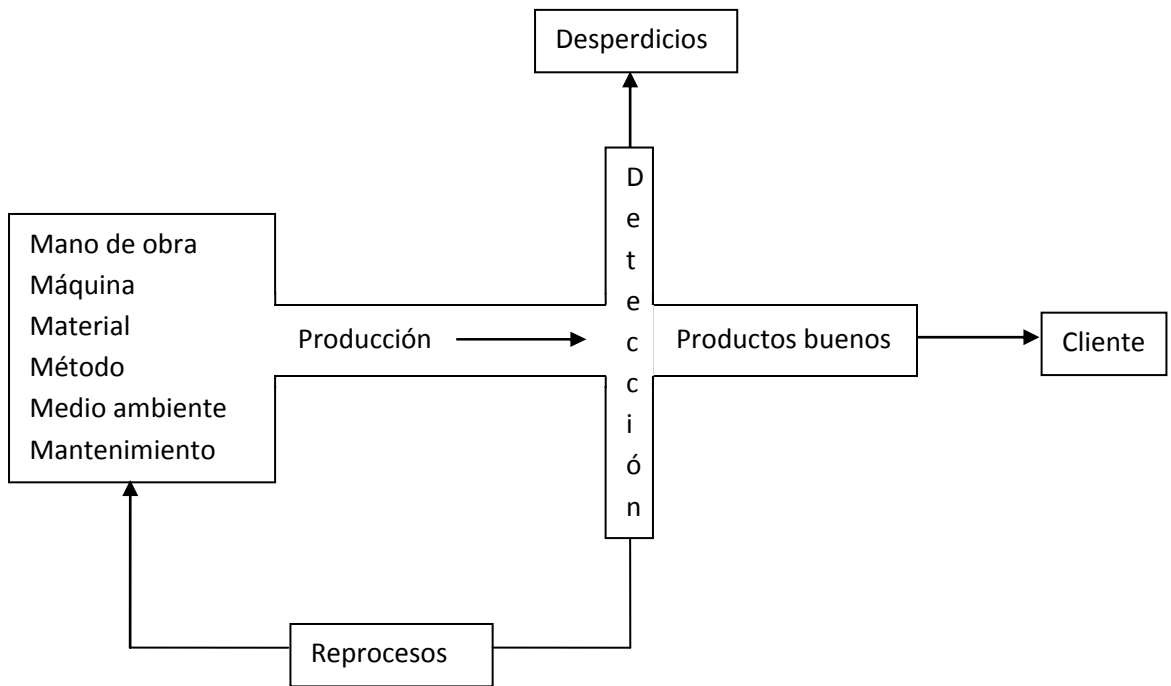
- Eliminar los productos que no satisfagan las especificaciones.
- Utilizar un proceso más preciso.
- Cambiar el proyecto del producto.

La tercera causa de **variabilidad es la humana**, que es sin duda el elemento más variable de todos, afectando tanto las decisiones como las acciones humanas, de forma directa en las otras dos variables: materiales y máquinas.

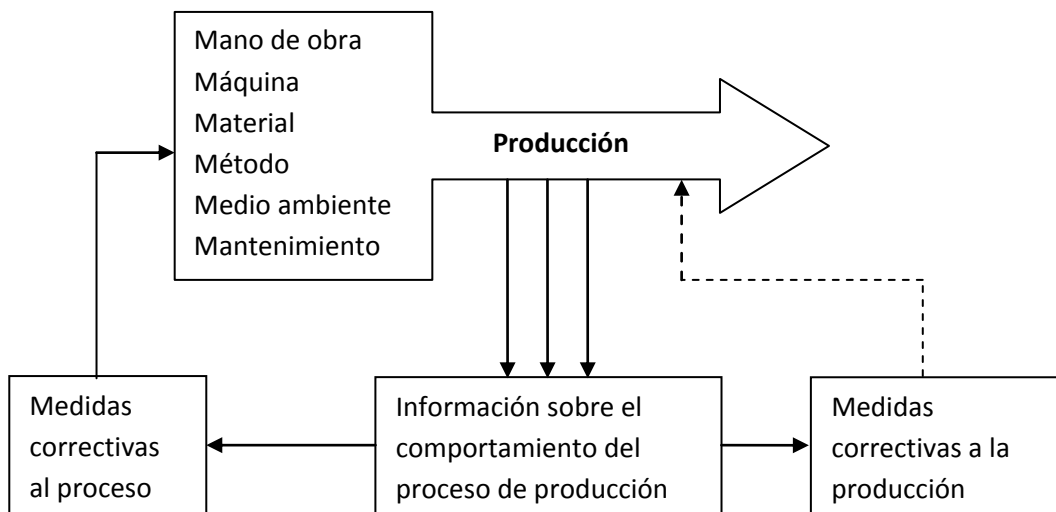
PREVENCIÓN ANTES QUE DETECCIÓN

El sistema de detección se basa en “detectar”, separar y eliminar aquellos productos defectuosos durante el proceso de fabricación, convirtiéndose estos en desperdicios.

Se considera este sistema de poca fiabilidad, ya que se nos puede pasar algún producto defectuoso, es antieconómico al generar desperdicios y la información que nos facilita no es rápida, con lo que se pueden seguir fabricando productos “malos” durante un espacio de tiempo no definido, no permitiendo tomar decisiones en el menor tiempo posible para corregir y modificar la producción.



En la actualidad la filosofía de empresa pasa por el control preventivo, ante el control por detección utilizado en el pasado, evitando el desperdicio y siendo más fiable y económico, por ello la empresa en este momento diseña el proceso productivo y de su desarrollo dependen la calidad y la productividad.



Mediante el control preventivo, se pretende eliminar la producción defectuosa y para ello utilizaremos medidas correctivas para modificar el proceso: cambio en las operaciones, de materiales, ajustes de equipos, formación y diseño de nuevo producto, etc.

Como la información fluye rápida se pueden aplicar las acciones correctivas en un plazo corto de tiempo, creándose un ciclo que se inicia con la recogida de información, continuando con su análisis e interpretación y aplicación de las medidas correctivas al proceso.

Estos ciclos continuados se plasman en una mejora, que nos vuelve a situar en el punto de inicio pero con un proceso ya mejorado, por eso se le conoce como ciclo de mejora continua.

Cada uno de los datos que nos ha ido aportando el proceso, identificando las *causas comunes* como, holguras de máquinas, variaciones en materias primas o productos, diferencias en la aplicación de los métodos, etc. y *las causas especiales* o causas asignables que no son estables en el tiempo haciéndolas imprevisibles, estas variaciones quedan en manos del operario para aplicar las medidas correctivas, requiriendo en algunos casos la participación de estamentos superiores.

Eliminando y corrigiendo las causas especiales, obtendremos un proceso en el cual solamente estará afectado por las causas comunes de variación, haciendo el proceso previsible y cuantificable mediante *el control estadístico del proceso* (C.E.P.), para minimizar los fallos de producción.

En el C.E.P. los operarios que conocen las maquinas y conocen los procesos, son fundamentales para identificar las causas de variación y aplicar las medidas correctoras.

Por todo ello, podemos decir que el control estadístico es la herramienta que nos llevará a la mejora de la calidad.

4.1 GRÁFICOS DE CONTROL

Un gráfico de control es un dibujo para determinar si el modelo de probabilidad es estable o cambia en el tiempo, considerándose la herramienta básica para el seguimiento del Control Estadístico del Proceso “C.E.P.”, aplicando los parámetros del proceso a las características del producto.

Para que el proceso sea predecible se necesita que la variabilidad del producto sea debido únicamente a causas aleatorias, identificando y eliminando previamente las causas especiales de variación.

Podemos definir **el Gráfico de Control**, como *“la comparación gráfica y cronológica de las características de calidad de muestras seleccionadas y medidas del producto o del proceso, con unos límites basados en la experiencia pasada”*

Se emplean para la vigilancia de procesos, generalmente los de producción y por ello los gráficos deben satisfacer dos exigencias contrarias:

1. Si el proceso está fuera de control, el gráfico debe señalarlo tan pronto como sea posible, para evitar la producción de unidades defectuosas.
2. Si está bajo control, cualquier señal que lance el gráfico será una señal falsa. Por lo tanto, el gráfico de control debe permitir que un proceso bajo control opere durante largo tiempo sin producir señales falsas.

TIPOS DE GRÁFICOS DE CONTROL

Existen diversos tipos de gráficos para diferentes casos de control, según distintas pautas de variabilidad, todos ellos con características comunes e interpretándose de la misma manera, considerándose el gráfico de control como la prueba de una hipótesis.

Los controles en el proceso industrial para la elaboración de los gráficos de control, de forma general, son dos, correspondiendo estos a sendos tipos de gráficos:

- Gráficos de atributos, en los cuales no se controlan las medidas sino la fracción o porcentaje defectuoso producido.
- Gráficos de dimensiones o variables.

Por todo ello, para el ajuste de un gráfico de control es necesario:

- Seleccionar las características de calidad a ser controladas.

- Anotar los datos tomados de las sucesivas muestras del producto en los distintos procesos de producción.
- Determinar los límites de control.
- Dibujar los límites en el gráfico.
- Marcar en el gráfico los puntos representativos de las muestras.
- Emplear las medidas correctoras adecuadas cuando los puntos representados de las muestras estén fuera de los límites de control.

Siempre utilizaremos los valores medios de las muestras extraídas ya que son mucho más sensibles ante variaciones del proceso, que los valores individuales.

Podemos decir que el gráfico de control, es una auténtica pieza de prevención, disponiendo los responsables de los procesos de una visualización en el tiempo real del rendimiento de su proceso, recibiendo la información de retorno, permitiendo adaptar su comportamiento y mejorar de modo continuo la calidad del producto.

4.1.1 GRÁFICOS DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Los gráficos de control por atributos son la herramienta utilizada para el control de las características de calidad en dos únicas situaciones, conforme/disconforme, pasa/no pasa, presente/ausente, funciona/no funciona, defectuoso/no defectuoso, etc., o bien para características que se pueden contar, como número de manchas, ralladuras, golpes, etc.

Debemos tener en cuenta que los gráficos por atributos nos ofrecen una menor información que los gráficos por variables, ya que la medición numérica nos aporta más información que la clasificación de una unidad en conforme/no conforme, pero podemos considerar los gráficos de control por atributos útiles sobre todo en el sector servicios y en todos aquellos procesos fuera de la fabricación en los que se pretende una mejora de la calidad.

El gráfico de atributos representa un estadístico T del proceso, número de defectos, frente al número de la muestra y el tiempo.

En cuanto a su diseño diremos que las especificaciones de los límites de control son decisiones fundamentales, porque una vez establecidos los límites, la línea central nos dará el valor medio o esperado del estadístico.

Respecto a su interpretación; si uno o más puntos del gráfico están fuera de los límites de control, podemos interpretar que el proceso se encuentra fuera de control y por consiguiente conviene analizar el mismo, pero aún estando todos los puntos entre los límites de control siempre y cuando se comporten de una manera sistemática o no aleatoria, también evidencian que el proceso se encuentra fuera de control.

En el uso de estos gráficos de control encontramos las siguientes limitaciones:

- Son necesarias muestras de un mayor tamaño, para la obtención de información significativa.
- Se aplican a procesos con cantidades considerables de defectos o unidades defectuosas.
- No nos muestran los cambios adversos en el parámetro que queremos controlar, hasta que se han registrado un mayor número de defectos o unidades defectuosas.
- Nos pueden inducir a interpretaciones erróneas, ya sea por la toma errónea de datos, los cálculos utilizados o por la subjetividad de las personas que evalúan la muestra, haciendo necesario establecer criterios que minimicen las variaciones de juicio en la característica observada.

Las ventajas de la utilización de estos gráficos de control son:

- Se pueden aplicar a cualquier característica.
- La recogida de información es rápida y poco costosa.
- Nos muestran varios aspectos de la calidad del producto; si es aceptable o no.
- Son fáciles de interpretar, facilitándonos la identificación de las causas de variación que afectan al proceso.

Los gráficos de control se utilizan frecuentemente en:

- El control de calidad cuyo tipo es conforme/no conforme o aquellas costosas de medir numéricamente.
- Para detectar todas aquellas operaciones que provocan más defectos.
- En la mejora de todos aquellos procesos que producen un elevado número de unidades defectuosas.

Los gráficos de control por atributos podemos agruparlos en dos grupos:

a) Por piezas defectuosas:

- Gráfico para porcentajes defectuosos (p)
- Gráfico de número de unidades defectuosas (np)

b) Por defectos en pieza:

- Gráfico de número de defectos por unidad inspeccionada (c).
- Gráfico de número de defectos (u).

En los gráficos " p " y " u " se trabaja con muestras de tamaños diferentes, mientras que con los gráficos " np " y " c " se trabaja con muestras de tamaño constante.

A la hora de elegir uno de los gráficos anteriores, podemos utilizar el siguiente cuadro resumen:

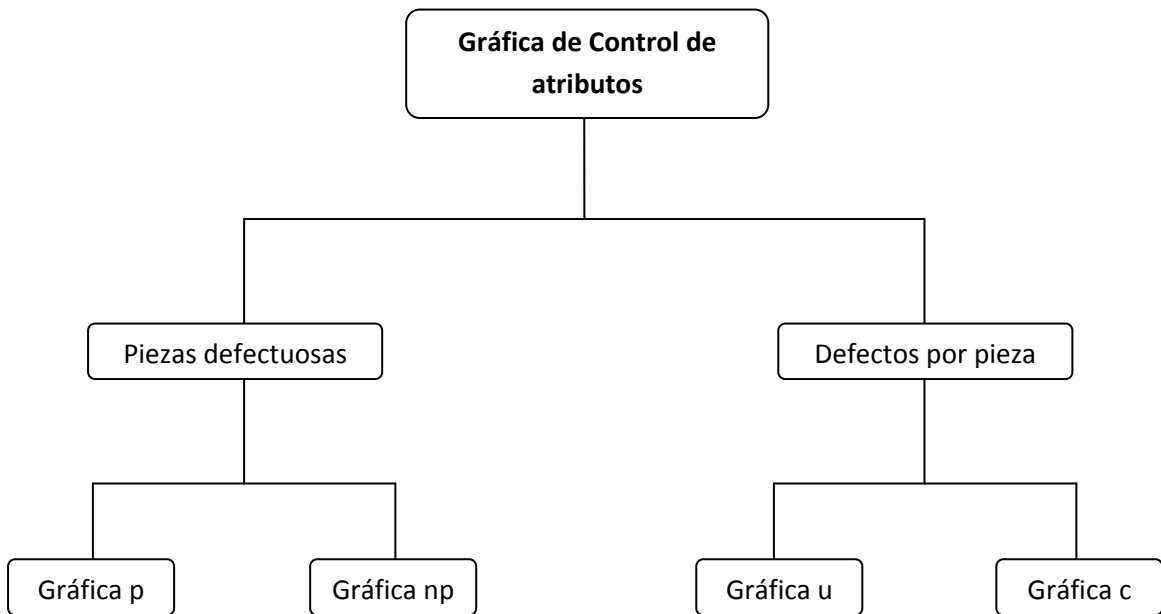


GRÁFICO “p”

El grafico p es un gráfico de control de porcentaje o fracción de unidades defectuosas, utilizado cuando los individuos de un proceso se clasifican en defectuosos/no defectuosos, dentro/fuera de tolerancias, conforme/disconforme, etc., y lo que se desea es controlar la proporción p de individuos en uno de estos grupos.

Este tipo de gráficos se basa en la evaluación del número de unidades defectuosas en *muestras de tamaño variable*, aunque también se puede aplicar a muestras de igual tamaño, tomadas a intervalos fijos de tiempo.

El tamaño de la muestra ha de ser grande y suficiente para que en cada muestra aparezcan varias unidades defectuosas, de tal forma que puedan evidenciarse cambios significativos favorables, como la aparición de muestras con cero unidades defectuosas.

Los principios estadísticos para los cálculos del diagrama de control p están basados en la distribución binomial. Así diremos que cada unidad producida tiene cierta probabilidad p de ser defectuosa o de no estar dentro de los requisitos exigidos; la variable aleatoria:

$X = n^o$ de piezas defectuosas de n producidas, seguirá una distribución binomial.

Para la construcción del grafico “ p ” seguiremos los siguientes pasos:

- Seleccionaremos $n_i = \text{tamaño de la muestra}$, permitiendo que aparezcan al menos cuatro individuos defectuosos de media en una muestra. Tomar k (al menos 20) muestras de tamaño n_i de forma consecutiva y a intervalos de tiempo iguales.
- Calcular la fracción de individuos defectuosos para cada muestra.

$$p_i = \frac{\text{n}^\circ \text{ defectuosos en muestra } i}{n_i} \quad i = 1, \dots, k$$

- Calcular la estimación de p a través del total de individuos defectuosos encontrados.

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i p_i}{\sum_{i=1}^k n_i} = \left(\frac{\text{Total defectuosos}}{\text{Total muestreado}} \right) \quad \bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{k}$$

Construiremos el gráfico de control basándonos en los siguientes límites:

$$\text{Límite de Control Superior} = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} \quad (L.S.)$$

$$\text{Límite de Control Central} = \bar{p} \quad (L.C.)$$

$$\text{Límite de Control Inferior} = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} \quad (L.I.)$$

GRÁFICO “np”

Este tipo de gráfico se aplica cuando queremos controlar la producción de unidades defectuosas en la muestra, para ello se toman de forma sistemática a intervalos fijos de tiempo y manteniendo el *tamaño de la muestra constante*, permitiéndonos analizar el número de artículos defectuosos en la muestra y detectar la existencia de causas especiales en el proceso productivo.

Ponemos como ejemplo:

En una cadena de fabricación de bombillas, en el proceso de control, podemos establecer como posibles defectos:

1. No luce.
2. Falta estañado.
3. Unión casquillo / ampolla suelta.

Consideramos unidad defectuosa cualquiera que tenga algún defecto de los anteriores o una combinación de los mismos.

Como observamos, este proceso nos permite el control de más de un tipo de defecto al mismo tiempo, contabilizando el número de unidades defectuosas en cada muestra.

Igual que con el gráfico “p”, los principios estadísticos que sirven de base al gráfico “np” están basados en la ley Binomial.

Construiremos el gráfico de control basándonos en los siguientes límites:

$$\text{Límite de Control Superior} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (L. S.)$$

$$\text{Límite de Control Central} = n\bar{p} \quad (L. C.)$$

$$\text{Límite de Control Inferior} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1 - \bar{p})} \quad (L. I.)$$

siendo: $\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k np_i}{nk}$ y $p_i = \frac{n^{\circ} \text{ defectuosos en muestra } i}{n} \quad i = 1, \dots, k$

GRÁFICO “c”

El gráfico “c” estudia el comportamiento de un proceso considerando el número de defectos encontrados al inspeccionar una unidad de producción, en k muestras de tamaño constante tomadas en intervalos fijos de tiempo, podemos decir que este gráfico está basado en el número total de defectos en la producción.

Como principales objetivos podemos señalar:

- La reducción del coste relativo al proceso.
- Determinar qué tipo de defectos no son permitidos en el producto.

Para obtener los límites de control, se calcula la estimación de $c = \text{número medio de defectos en las } k \text{ muestras}$:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i}{k}, \quad c_i = n^{\circ} \text{ de defectos en la muestra } i$$

Los principios estadísticos que sirven de base al gráfico “c” se basan en la distribución de Poisson.

$$\begin{aligned} \text{Límite de Control Superior} &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} && (L.S.) \\ \text{Límite de Control Central} &= \bar{c} && (L.C.) \\ \text{Límite de Control Inferior} &= \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} && (L.I.) \end{aligned}$$

GRÁFICO “u”

Mide el número de defectos por unidad controlada, en muestras tomadas en intervalos fijos de tiempo, al trabajar en defectos por unidad nos permite trabajar tanto con muestra de tamaño fijo como variable, aunque principalmente se utiliza en sustitución de la grafica “c”, cuando no se puede mantener constante el tamaño de la muestra.

$$u_i = \frac{c_i}{n_i} \quad \text{para } i = 1, \dots, k$$

donde c_i es el número de defectos encontrados en la muestra i

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^k c_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \left(\frac{\text{Total defectos}}{\text{Total muestreado}} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{Límite de Control Superior} &= \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} && (L.S.) \\ \text{Límite de Control Central} &= \bar{u} && (L.C.) \\ \text{Límite de Control Inferior} &= \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}} && (L.I.) \end{aligned}$$

$$\text{con } \bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{k}$$

CONCLUSIÓN

Los gráficos de control son una poderosa herramienta para las empresas, de su desarrollo se puede observar el enorme potencial que posee la utilización del Control Estadístico de la calidad como instrumento y herramienta destinada a un mejor control, una forma más eficaz en la toma de decisiones para la mejora de los procesos de producción, un método más eficiente en la fijación de objetivos y un valioso medio para comprobar el funcionamiento de los procesos, además de facilitarnos mediante su estudio, la reducción de costes. Pero también puede convertirse en un arma de doble filo si desconocemos sus propiedades y cualidades haciendo una utilización incorrecta.

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS GRÁFICOS

Sobre la interpretación de los gráficos de control podemos decir: si el proceso está en estado de control, los gráficos deben mostrar un comportamiento aleatorio dentro de los límites de control; por tanto una evolución de los gráficos que tenga un patrón no aleatorio o/y fuera de los límites será indicio de existencia de causas asignables.

Respecto a los gráficos de control por atributos debemos tener en cuenta lo siguiente:

- Puntos fuera de los límites de control:

Si uno o más puntos de un gráfico de control esta fuera de los límites es indicio de que el proceso se ha desajustado y conviene analizar el proceso para encontrar la causa. Un punto fuera de los límites puede ser debido a alguno de los siguientes motivos:

- El punto ha sido mal calculado.
- Los límites han sido mal calculados o el gráfico mal dibujado.
- Hay variaciones en el sistema de medición del dato.
- Una variación de la media pero no en la variabilidad puede venir provocada por un desajuste en la maquinaria.
- Un aumento de la variabilidad pero no de la media puede venir provocada por envejecimiento de alguno de los componentes del proceso o por variaciones en la calidad de la materia prima.
- Una disminución de la variabilidad **por debajo del límite inferior**, implica una mejora del sistema, por lo que debe investigarse la causa para introducir mejoras permanentes.

- Tendencias o tramos:

Cuando un conjunto de puntos consecutivos presenta una **tendencia creciente o decreciente** durante 7 puntos (regla del 7) es que algo está ocurriendo en el proceso, ya que la probabilidad de que muchos puntos formen una tendencia por azar, es prácticamente nula. Por lo tanto ha de investigarse la presencia de una causa asignable incluso si dichos puntos están dentro de los límites.

- Tendencias ascendentes o tramos por indicio que algo está ocurriendo en el proceso encima de la media.

- El proceso ha empeorado y puede continuar empeorando.
 - Los criterios de aceptación han sido modificados.
- Tendencias descendentes o tramos por debajo de la media.
 - El proceso ha mejorado y puede continuar mejorando.
 - El criterio de aceptación se modificó.
- Distribución de los puntos en el área de control.
 - Más del 90% de los puntos están cerca de la media.
 - Errores de cálculo o trazado.
 - Muestreo estratificado.
 - Datos modificados.
 - Menos del 40% de los puntos están cerca de la media.
 - Errores de cálculo o trazado.
 - Las muestras contienen medidas de dos o más fuentes.

4.1.2 GRÁFICOS DE CONTROL POR VARIABLES

Los gráficos de control por variables permiten estudiar la calidad de las características numéricas, proporcionando más información que los gráficos de control por atributos, sobre el rendimiento de proceso y permiten procedimientos de control más eficaces.

El nombre de variable se aplica a todas aquellas características mensurables como longitud, diámetro, peso, volumen, etc.

Se obtiene más información sobre las causas que producen una situación fuera de control y detectan mejor pequeñas variaciones del proceso, siendo menores los tamaños de las muestras requeridos para un nivel de protección del proceso.

Este tipo de gráficos están muy implantados en la empresa, proporcionando al responsable una herramienta de seguimiento en tiempo real del proceso, que permite aplicar con carácter inmediato las tareas necesarias para la prevención y con unas reglas de decisión más sencillas.

Los gráficos de control por variables hacen uso de estadísticas obtenidas a partir de datos tales como la longitud o grosor de un elemento o cuando ajustamos su rendimiento a través de la velocidad, temperatura, presión, etc.

Para identificar las variables más significativas de un proceso, se realizan análisis previos con ayuda de diferentes técnicas, como los planes de experiencia y diseños de *Taguchi*.

4.1.2.1 GRÁFICOS DE CONTROL MEDIA/RECORRIDO

Cuando agrupamos los datos en pequeñas muestras, en vez de hacerlo uno a uno, y obtenemos la media de cada una de ellas y las representamos en un diagrama lineal, a su representación se le conoce como gráfico de medias.

Este gráfico es mucho más sensible a los cambios que el gráfico por individuos, ya que la desviación de una distribución de medias es menor que la que corresponde a los individuos de la misma población.

Así, diremos que la probabilidad de detección de un cambio en el proceso es mayor utilizando medias de pequeñas muestras que utilizando valores individuales.

Como desventaja, diremos que, al utilizar las medias pudiera pasar que algún valor individual estuviera fuera de los límites permitidos y que resultan compensados en el cálculo de la media y que está encubriendo pieza o piezas defectuosas si hubieran sido analizadas individualmente.

Pero, si además del gráfico anterior, utilizamos otro gráfico que nos permita controlar la variabilidad para cada muestra, estaremos minorando la desventaja anterior.

Utilizando el gráfico de medias y recorridos (\bar{x}/R) eliminamos la desventaja anterior.

Este gráfico es especialmente útil para procesos en los que la máquina predomine como elemento operativo. Está dividido en dos partes:

- Los valores medios de las muestras extraídas (medidas de tendencias) se representan en la parte superior o gráfico \bar{X} .
- Los recorridos de las diferentes muestras, diferencia entre los valores máximo y mínimo de la muestra, se representan en la parte inferior o gráfico R .

A continuación, aparece la tabla que se usa para la toma de datos y para la representación de este tipo de gráficos de control.

Objetivos del gráfico de medias y recorridos

Podemos establecer como objetivos al utilizar el gráfico de medias y recorridos, los siguientes:

- Afinar el análisis del proceso para:
 - Obtener una información fiable para adaptar especificaciones al proceso o a las exigencias del cliente.
 - Disponer de información para evolucionar el proceso o modificar la fabricación
 - Garantizar la calidad de la información antes de modificar o establecer procedimientos de inspección o de aceptación de productos.

- Aportar información fiable:

Que nos aporte una información fiable sobre el desarrollo del proceso con el fin de tomar las decisiones necesarias, respecto al momento de intervenir para corregir una variación.

El gráfico de control lo utilizaremos como herramienta para evitar comportamientos de sobreajustes al diferenciar las causas asignables a las causas aleatorias.

- Permitir la toma de decisiones:

Decidir la aceptación o el rechazo de los productos ya sean fabricados o adquiridos, permitiendo con ello la reducción de los costes de control.

- La formación de los operarios:

Ya que estos gráficos son sencillos de implantar, es fácil su interpretación y permiten identificar causas asignables sin dificultad, daremos la oportunidad a que los operarios se familiaricen con los gráficos, así facilitaremos la introducción de esta herramienta de control estadístico en la producción y con ello impulsaremos una política de mejora continua de la calidad.

Elección de las variables

En el gráfico de control de media y recorrido las variables deben expresarse mediante un valor numérico y por lo tanto han de ser mensurables, peso, dureza, temperatura, dimensión, etc. Si una característica es difícil de medir, debemos buscar otra relacionada matemáticamente con ella, para que sea más fácilmente medible.

La implantación en la población debe ser normal, respetando los imperativos teóricos que rigen la carta \bar{X} y R .

Debe primar en la decisión, la reducción de coste de no calidad. Así cuando una causa es medible, provoca un alto porcentaje de rechazo o de modificaciones, debemos utilizar en nuestro provecho la utilización del control estadístico mediante un gráfico de control.

Elección del tamaño y la frecuencia de la muestra

Mediante el gráfico de control por variables se pretende detectar con la mayor rapidez posible cualquier variación en el rendimiento del proceso, ya sea por un desplazamiento de la posición o por un aumento/disminución de la dispersión.

Para ello, es necesario que cada muestra nos indique una representación instantánea del momento en la producción, así tendremos el mayor número de oportunidades de descubrir cualquier variación entre toma y toma. Las muestras estarán formadas por piezas producidas en el mismo momento o en el mínimo periodo posible.

El tamaño de la muestra es un compromiso entre dos imperativos, el primero la mayor homogeneidad posible de la muestra y por otra parte debemos tener en cuenta las reglas de convergencia estadística, cuyo teorema se aplica en el caso del tamaño de muestras superiores o iguales a cuatro, según la cual la distribución de las medias es normal incluso cuando la distribución de los valores individuales no lo es.

El tamaño de la muestra es el número de individuos de cada muestra y se representa por la letra n . La frecuencia del muestreo debe ser aquella que nos permita recoger todas las causas de la variación y se define en función de consideraciones económicas o para respetar el proceso.

Durante la implantación de los gráficos de control, la frecuencia de las tomas de muestras es elevada, para permitir reaccionar con rapidez a las

variaciones producidas lo cual motiva agradablemente a los operarios, que ven así que su control redundará en una mejora del proceso.

En las siguientes fases las tomas de muestras se van espaciando en el tiempo, ya que a medida que se van identificando las causas asignables se van eliminando.

El número de muestras para establecer los límites de control, debe ser tal que se recojan todas las causas importantes de variación, representándose con la letra k .

Tomando un mínimo de 20 muestras y de forma que el número total de valores no sea inferior a 100.

$$\text{Tomamos: } \left. \begin{array}{l} 2 \leq n \leq 10 \\ k \geq 20 \end{array} \right\} \Rightarrow k \cdot n \geq 100$$

LÍMITES DE CONTROL DEL GRÁFICO DE MEDIA Y RECORRIDO

Los límites de control una vez conseguido el estado de control estadístico, nos dicen lo que es el proceso y que es lo que hará en el futuro.

El proceso esencial para situar los límites de control en los gráficos de variables es similar al cálculo de los límites de $\pm 3\sigma$ en las distribuciones de frecuencia.

La diferencia radica en que los límites de control para los gráficos de variables se establecen para medidas de tendencia central y dispersión con muestras de tamaño relativamente pequeño.

Hemos de distinguir tres tipos de límites:

1.- Límites de especificación

Establecen la variación aceptable para las piezas individuales producidas.

Estos límites se establecen por el servicio de calidad para cada una de las características importantes del producto fabricado. Conocidos como límites de tolerancia, superior/inferior, de la característica a valorar.

2.- Límites del proceso

Derivan directamente de la fabricación obtenida y los valores están a $\pm 3\sigma$ de la tendencia central del proceso. Al comparar estos límites con las

especificaciones nos muestran claramente si el proceso se ajusta o no a conseguir las tolerancias.

El proceso es capaz, cuando los límites del proceso están dentro de las tolerancias, en caso contrario nos indica su incapacidad.

3.- Límites de control

Estos límites corresponden a los valores $\pm 3 \sigma_{\bar{x}}$ colocados a ambos lados de la tendencia central. Si se extraen sucesivas muestras de tamaño n consecutivamente de una producción, cada una de las mismas tendrá una media \bar{x}_i . Si extraemos k muestras, la tendencia central será:

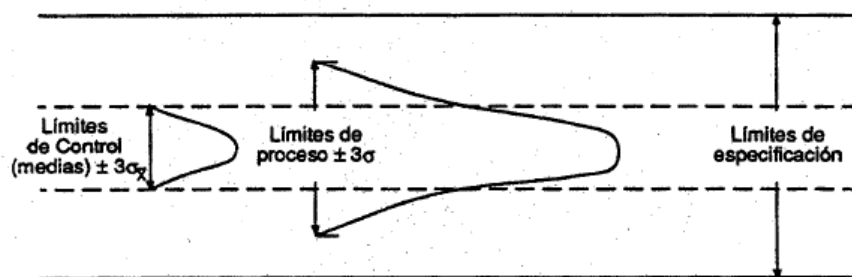
$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}$$

Si a un lado y a otro del valor $\bar{\bar{X}}$ colocamos:

$$3\sigma_{\bar{x}} = \frac{3\sigma}{\sqrt{n}}$$

obtendremos los límites de control del gráfico de variables, siendo σ la desviación típica de los valores individuales de producción.

La figura nos muestra la relación entre los diferentes tipos de límites.



Una vez conseguido un control estadístico bueno, los límites de control nos muestran la actuación del proceso y el comportamiento que tendrá en el tiempo.

Así, diremos que la distribución de una característica de calidad, que esté en control estadístico, es estable y predecible en el tiempo, así como la producción y los costes.

CÁLCULO DE LOS LÍMITES DEL GRÁFICO DE MEDIA Y RECORRIDO

En primer lugar elegiremos la variable a controlar que defina las características de calidad del producto fabricado, teniendo en cuenta la cota nominal y la tolerancia superior/inferior, que establecen los límites de especificación.

En cuanto a los cálculos de los límites, el control del proceso se realiza bajo muestras tomadas en un mínimo de 20 tramos o periodos distintos de fabricación. Los k tramos ($k \geq 20$) son elegidos de tal manera que todos los factores de variación intervengan en cada una de las muestras y a lo largo del periodo.

Gráfico de control \bar{X} / R

Bajo hipótesis de normalidad, puede calcularse la distribución del rango muestral:

$R_i = \text{máx } X_i - \text{mín } X_i$ En particular: $E(R_i) = d_2\sigma$, d_2 es una constante que depende del tamaño muestral n y que está tabulada.

Para construir los gráficos de control para la media se puede realizar una estimación de la varianza a través del rango puesto que: $\frac{R_i}{d_2}$ es un estimador insesgado de σ y por tanto, su media también lo será.

Definiendo $\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k}$ se tiene que podemos estimar σ mediante: $\frac{\bar{R}}{d_2}$ y construir los límites de control de los gráficos de medias.

$$\begin{cases} L.C.S_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}} \\ L.C.C_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} \\ L.C.I_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}} \end{cases}$$

Como tenemos que: $\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}}$ y $\hat{\sigma}_X = \frac{\bar{R}}{d_2}$ resulta:

$$\hat{\sigma}_{\bar{X}} = \frac{\hat{\sigma}_X}{\sqrt{n}} = \frac{\frac{\bar{R}}{d_2}}{\sqrt{n}} = \frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$$

Un estimador de la media de la distribución de medias es: $\hat{\mu}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^m \bar{X}_i}{k}$ supuesto que tenemos k subgrupos o muestras.

Por tanto:

$$\begin{cases} L.C.S_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ L.C_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \\ L.C.I_{\bar{X}} = \mu_{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{cases}$$

siendo, por supuesto: $A_2 = \frac{3}{d_2\sqrt{n}}$ (constante que se encuentra tabulada)

Por tanto, las ecuaciones para el cálculo de los límites de control de medias son:

$$\begin{cases} L.C.S_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ L.C_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \\ L.C.I_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{cases}$$

Límites de control del gráfico de rangos:

$$\begin{cases} L.C.S_R = \mu_R + 3\sigma_R \\ L.C_R = \mu_R \\ L.C.I_R = \mu_R - 3\sigma_R \end{cases}$$

Un estimador para la media de la distribución de rangos es: $\widehat{\mu}_R = \bar{R}$

Se tiene la siguiente relación: $\sigma_R = d_3\sigma_X$, d_3 es una constante que depende del tamaño muestral n y que está tabulada.

Por tanto: $\hat{\sigma}_R = d_3\hat{\sigma}_X = d_3\frac{\bar{R}}{d_2}$ luego:

$$\begin{cases} L.C.S_R = \mu_R + 3\sigma_R = \bar{R} + 3d_3\frac{\bar{R}}{d_2} = \left(1 + \frac{3d_3}{d_2}\right)\bar{R} = D_4\bar{R} \\ L.C_R = \mu_R = \bar{R} \\ L.C.I_R = \mu_R - 3\sigma_R = \bar{R} - 3d_3\frac{\bar{R}}{d_2} = \left(1 - \frac{3d_3}{d_2}\right)\bar{R} = D_3\bar{R} \end{cases}$$

siendo, por supuesto: $D_3 = \left(1 - \frac{3d_3}{d_2}\right)$ y $D_4 = \left(1 + \frac{3d_3}{d_2}\right)$ (constantes que se encuentran tabuladas)

Luego las ecuaciones para los límites de control del gráfico de rangos nos quedan:

$$\begin{cases} L. C. S_R = D_4 \bar{R} \\ L. C_R = \mu_R = \bar{R} \\ L. C. I_R = D_3 \bar{R} \end{cases}$$

4.1.2.2 GRÁFICOS DE CONTROL DE MEDIA/DESVIACIÓN TÍPICA

LÍMITES DE CONTROL DEL GRÁFICO DE MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA

Gráfico de control \bar{X} / S

La media es el valor que resulta de compensar unos datos con otros, hasta obtener que todos los datos sean iguales o que sea el valor que resulta de repartir por igual el total entre todos. Así, desde el punto de vista gráfico, la media aritmética coincide con el punto de equilibrio, encontrando la media en la proyección de su centro de gravedad sobre el eje horizontal.

Por otra parte la desviación típica nos muestra información sobre la distribución de los datos alrededor de la media; alejados/dispersos que estén de la misma. El gráfico nos permitirá hacernos una idea aproximada de la desviación típica de la distribución que representa.

Si para el control de la dispersión, el rango aportaba como gran ventaja la sencillez de cálculo, la desviación típica tiene unas mejores características que se basan en un mejor aprovechamiento de la información, ya que hace uso de todos los datos disponibles de la muestra.

Esta ventaja en favor de la desviación típica es más evidente, lógicamente, en tamaños de muestras grandes. Con los tamaños empleados en control de calidad para variables (en torno a 5 unidades), la ventaja aún no es decisiva y pesa más la indudable complejidad del cálculo de s , haciendo que el rango sea más empleado.

Pero la situación se revierte en dos casos fundamentalmente, cuando:

- El tamaño de la muestra es grande (por encima de 10 unidades)
- Cuando el control se lleva por ordenador, con lo que las operaciones complejas no son un problema.

En tales casos se utilizará el control de la dispersión a través de la desviación típica, mientras que la posición puede seguir siendo controlada por la media.

En cuanto a su construcción, determinaremos las desviaciones (S) correspondientes en lugar de los recorridos de cada muestra. La desviación tipo del proceso se determina directamente con las desviaciones tipos de las muestras.

Se tiene que $S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$ es un estimador insesgado de σ^2 pero en cambio S no lo es de σ .

Se cumple que $E(S) = c_4 \sigma$ para una cierta constante c_4 que depende de n y que se encuentra tabulada.

De lo anterior tenemos que un estimador insesgado de σ es: $\hat{\sigma} = \frac{S}{c_4}$

También: $\hat{\sigma} = \frac{\bar{S}}{c_4}$ siendo $\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^m S_i}{m}$

También se cumple que: $\sigma_S = \sigma \sqrt{1 - c_4^2}$

Entonces:

$$\begin{cases} L.C.S_S = \bar{S} + 3\sigma_S = \bar{S} + 3\hat{\sigma} \sqrt{1 - c_4^2} = \bar{S} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} = \left(1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}\right) \bar{S} = B_4 \bar{S} \\ L.C.S = \bar{S} \\ L.C.I_S = \bar{S} - 3\sigma_S = \bar{S} - 3\hat{\sigma} \sqrt{1 - c_4^2} = \bar{S} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2} = \left(1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}\right) \bar{S} = B_3 \bar{S} \end{cases}$$

siendo, por supuesto: $B_3 = 1 - \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$ y $B_4 = 1 + \frac{3}{c_4} \sqrt{1 - c_4^2}$
(constantes que se encuentran tabuladas)

Gráfico de control de medias

$$\begin{cases} L.C.S_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 3\sigma_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + 3 \frac{\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S} \\ L.C_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \\ L.C.I_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 3\sigma_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - 3 \frac{\bar{S}}{c_4 \sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S} \end{cases}$$

siendo, por supuesto: $A_3 = \frac{3}{c_4 \sqrt{n}}$ (constante que se encuentra tabulada)

4.1.2.3 GRÁFICOS DE CONTROL DE MEDIANA/RANGOS

(USANDO LA MEDIANA DEL RANGO)

Estos gráficos en cuanto a sus resultados son comparables a los gráficos de medias y recorridos. La mediana requiere que los límites sean más amplios, muestras de tamaño superiores o iguales a 10, por lo tanto la mediana es más variable que la media y como consecuencia se puede llegar a perder el control del proceso, haciendo de esta característica que su empleo sea más limitado.

El proceso para el cálculo de los límites es el mismo que para las cartas de \bar{X} y R , aunque la constante es diferente, pudiéndose resumir en:

$$\text{Mediana promedio: } \bar{\tilde{X}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \tilde{X}_i$$

Fórmulas del gráfico de control de medianas:

$$\begin{cases} L. C. S_{\bar{\tilde{X}}} = \bar{\tilde{X}} + A_9 \tilde{R} \\ L. C_{\bar{\tilde{X}}} = \bar{\tilde{X}} \\ L. C. I_{\bar{\tilde{X}}} = \bar{\tilde{X}} - A_9 \tilde{R} \end{cases}$$

Fórmulas del gráfico de control de rangos:

$$\begin{cases} L. C. S_R = D_6 \tilde{R} \\ L. C_R = \mu_R = \tilde{R} \\ L. C. I_R = D_5 \tilde{R} \end{cases}$$

4.1.2.4 GRÁFICOS DE CONTROL DE DATOS INDIVIDUALES

Y RANGOS MÓVILES

El gráfico de valores individuales o de individuos es el gráfico más sencillo de construir.

Este tipo de gráfico es útil, cuando por el tipo de proceso, sólo puede obtenerse una medida por lote o partida.

La principal ventaja radica en que los valores del gráfico pueden ser comparados directamente con los de la especificación.

Se desarrolla recogiendo los datos de las piezas a estudiar de una en una, anotando la medida de cada pieza siguiendo el mismo orden de

fabricación. Obteniendo parejas de valores (tiempo/medida) que representamos gráficamente en un diagrama.

El gráfico de individuos tiene aplicación cuando disponemos de pocos datos para su estudio, como la fabricación de pequeños lotes.

Este gráfico manifiesta varios inconvenientes de aplicación ya que depende de comportamiento de la distribución de los datos, pudiendo ser irregular en algunos casos, dificultando su análisis posterior y otro inconveniente a añadir es la poca sensibilidad para detectar cambios en el proceso de fabricación.

En ocasiones, por distintas razones, es conveniente tomar muestras de tamaño uno, en ese caso trabajamos con el gráfico de control $\bar{X} - R_m$ de datos individuales y rangos móviles.

Teniendo en cuenta:

$$\hat{\sigma}_X = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad \hat{\mu}_X = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} = \bar{X},$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R_1 = \max\{x_2, x_1\} - \min\{x_2, x_1\} = |x_2 - x_1| \\ R_2 = \max\{x_3, x_2\} - \min\{x_3, x_2\} = |x_3 - x_2| \\ \dots \\ R_i = \max\{x_{i+1}, x_i\} - \min\{x_{i+1}, x_i\} = |x_{i+1} - x_i| \\ \dots \end{array} \right.$$

$$y \quad \overline{Rm} = \frac{\sum_{i=1}^{m-1} R_i}{m-1}$$

se deducen las fórmulas para el gráfico de datos individuales:

$$\left\{ \begin{array}{l} L.C.S_X = \mu_X + 3\sigma_X = \bar{X} + 3 \frac{\overline{Rm}}{d_2} \\ \quad L.C_X = \mu_X = \bar{X} \\ L.C.I_X = \mu_X - 3\sigma_X = \bar{X} - 3 \frac{\overline{Rm}}{d_2} \end{array} \right.$$

Y para el gráfico de rangos móviles:

$$\left\{ \begin{array}{l} L.C.S_{Rm} = D_4 \overline{Rm} \\ L.C_{Rm} = \mu_R = \bar{R} \\ L.C.I_{Rm} = D_3 \overline{Rm} \end{array} \right.$$

PROBLEMAS QUE SE PUEDEN PLANTEAR

En ocasiones, las condiciones que rodean la característica a estudiar requieren adaptación de los gráficos de control para responder estadísticamente a dichas condiciones.

En los estudios estadísticos de características de productos y procesos, el gráfico de medias y recorridos es el que más se utiliza debido a su fácil implantación en los puestos de trabajo, aunque a veces debe adaptarse para responder en situaciones extraordinarias.

De la misma forma, para situaciones específicas, se deben utilizar otros gráficos de control para variables que se adapten al método de muestreo o al entorno en el que se implantan.

Adaptación de los gráficos de media y recorrido

En determinadas circunstancias, debemos ajustar las reglas a un caso concreto, ya que no siempre es aplicable el gráfico de media y recorrido.

1.- Distribución del proceso no normal

La aplicación del gráfico de control para variables \bar{X} / R está basado en la hipótesis de que la distribución de valores individuales es normal. Si no respetamos esta hipótesis el impacto en la carta de medias es escaso, según nos dice el teorema central del límite, la distribución de las medias tiende a la normalidad aunque la distribución de los valores individuales no lo sea. Pero no así en la distribución de los recorridos que se aparta de las exigencias necesarias para la aplicación matemática y la carta de \bar{X} y R tiende a ser más sensible, reaccionando con anterioridad. Produciendo la sensación de que el procedimiento se encuentra fuera de control, cuando en realidad sigue siendo estable (riesgo β).

Una vez conocida esta pauta, podremos:

- Continuar trabajando con los mismos coeficientes en la definición de los límites, conociendo que varían los riesgos α y β .
- Modificar los coeficientes de los gráficos, de manera que se mantenga la misma probabilidad expuesta para los límites de control.

2.- Existencia de causas especiales entre dos tomas

El método de muestreo se basa en la hipótesis de que todas las causas aleatorias de variación se encuentran en cada muestra.

A veces se producen pautas anormales, al definir el modo de muestreo haciendo que una o varias causas aleatorias solo aparezcan entre dos tomas.

Así nos da el resultado de que la dispersión entre dos muestras es mayor que la dispersión en el interior de cada muestra, habiéndose utilizado ésta para los cálculos, produciendo en el gráfico un gran número de puntos fuera de los límites de control, que puede ser interpretada como una falta de análisis previo, y pudiendo tener un impacto negativo sobre la credibilidad de las cartas de control ante el personal de fabricación.

Por eso debemos conocer a fondo el proceso y las causas de variación naturales del mismo, entre las cuales podemos citar:

- Diferentes proveedores de materia prima.
- Diferentes operarios o reglajes.
- Desgastes o tendencias no contemplados.
- Producción conseguida con varias maquinas o una maquina multipuesto.
- Valores mal tomados, etc.

Carta de control de media y recorrido con evolución de la media (desgaste de la herramienta)

Durante el estudio de un proceso nos encontraremos con causas de variación que aunque las cartas de control las identifiquen como causas asignables, son características propias del proceso, como las herramientas cuyo desgaste se permite durante un tiempo sin cambiarlo para optimizar la productividad, o la solución de productos químicos en los que la concentración evoluciona lentamente hasta que se la acaba sustituyendo.

El gráfico lo representa con un gran número fuera de los límites de control, sin que ello implique la eliminación de estos cambios, sino que por el contrario deben ser tenidos en cuenta a la hora de establecer los nuevos límites del gráfico.

En este caso, la carta de control nos muestra:

- El momento en que el proceso debe ser resituado.
- Las causas asignables.

Respecto al momento en que el proceso debe ser resituado, se debe calcular el desplazamiento medio de la media al cabo de un número de ciclos determinado.

1. Se calcula para cada ciclo el movimiento de la media, igual al máximo \bar{X} observado menos el mínimo \bar{X} observado.
2. La evolución media de la media (E.M.M.) como media de estos valores.
3. Los límites de control, que integrarán la deriva natural del proceso.

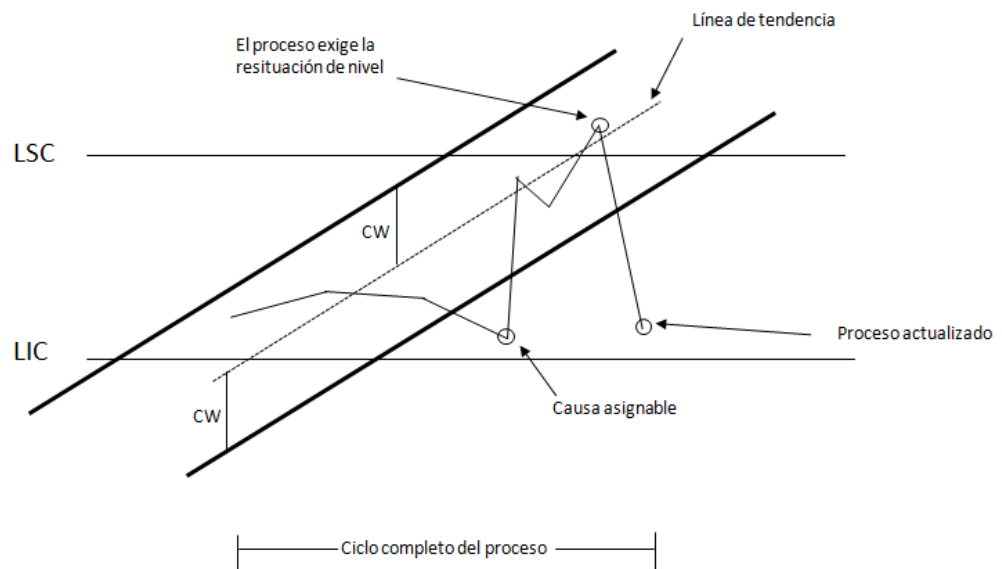
$$LSC = \bar{\bar{X}} + \frac{EMM}{2} + C\bar{R}$$

$$LIC = \bar{\bar{X}} - \frac{EMM}{2} - C\bar{R}$$

En el gráfico de medias se trazan estos límites de control, los cuales nos permiten identificar el momento en el que el proceso debe ser actualizado. Aunque estos límites ya no nos permiten identificar las causas asignables de variación.

Para utilizar la carta \bar{X} como instrumento de mejora del proceso debe añadirse en el gráfico:

- La línea de tendencia.
- Y a ambos lados dos líneas situadas a una distancia vertical $C\bar{R}$ de la tendencia.



4.1.2.5 INTERPRETACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL

Podemos decir que *el objetivo de la interpretación del gráfico de control, consiste fundamentalmente en identificar los cambios en la variación natural del proceso.*

El objetivo perseguido en la interpretación de los gráficos de control es determinar cualquier evidencia de que la tendencia central, (media del proceso) o la variabilidad (recorrido medio) del proceso o ambas simultáneamente no se mantienen a un nivel constante por la actuación sobre el mismo de causas especiales.

Para que de los gráficos de control, podamos extraer conclusiones válidas, debemos poseer la información proporcionada por un mínimo de 20 muestras.

Los gráficos de medias y recorridos se analizan habitualmente por separado, detectando, mediante la comparación de los dos gráficos las causas asignables de variación del proceso.

Debemos observar con especial atención el gráfico de recorridos cuando interpretemos una situación fuera de control en el gráfico de medias.

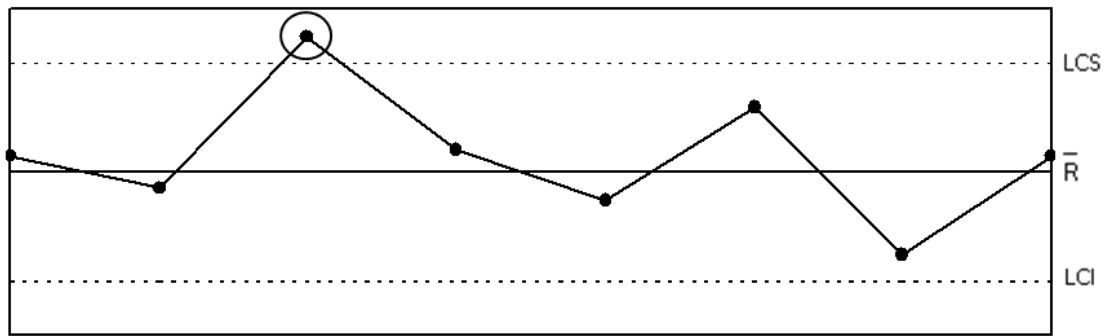
Diremos que si un punto está fuera de los límites de control, el proceso está fuera de control. Aunque todos los puntos se encuentren dentro de los límites de control, no necesariamente el proceso está controlado, pudiendo ser que los puntos no estén distribuidos aleatoriamente entre los límites de control, con lo cual detectamos la presencia de una serie o de un modelo.

ANÁLISIS DEL GRÁFICO DE RECORRIDOS

Estudiaremos tres situaciones e identificaremos las causas que provocan que el proceso esté fuera de control.

1.- Un punto fuera de los límites de control

La existencia de un punto o más fuera de los límites de control nos muestra que en ese punto el proceso está fuera de control y por tanto es necesario realizar un análisis de la operación para localizar dicha causa asignable.



Punto fuera del límite superior de control

Todos los puntos fuera de los límites de control deben señalarse para, con posterioridad, realizar una investigación que determine una acción correctiva desde el punto de inicio de la causa asignable.

Un punto por encima del Límite Superior del Control puede estar producido por una o más de las siguientes causas:

- El límite de control está mal calculado o el punto no está colocado correctamente.
- La variabilidad de las mediciones o la dispersión de la distribución se ha incrementado, ya sea en este punto o como parte de una tendencia.
- El sistema de medición ha variado (cambios de personal o de instrumento)

Un punto por debajo del Límite inferior de Control de Recorridos (para subgrupos mayores a 7) es significativo de las causas siguientes:

- El límite de control o el punto en el gráfico han sido mal calculados o asignado erróneamente.
- La dispersión de la distribución ha disminuido.
- El sistema de medición ha sido modificado.

2.- Una serie en el interior de los límites de control

La presencia de modelos o tendencias inusuales, incluso cuando los rangos se encuentran dentro de los límites de control, puede ser la evidencia de que el proceso se encuentre fuera de control o que se hayan producido cambios en la distribución del mismo durante el tiempo que sucede el modelo o la tendencia.

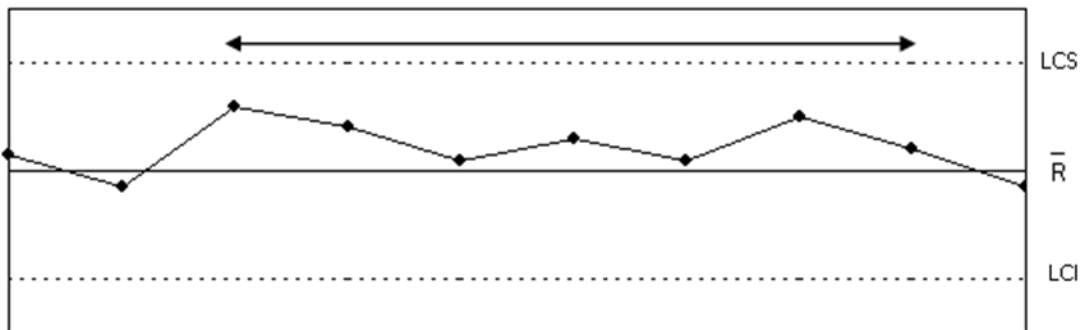
Es necesario que encontremos la causa no asignable ya que esta situación suele ser un primer aviso de que existen condiciones desfavorables que pueden penalizar el proceso y que deben ser corregidas.

Por otra parte, otros modelos o tendencias, pueden significar una mejora del proceso. Se debe identificar la causa para lograr una mejora duradera del proceso. En estas situaciones, comparar los patrones entre las cartas de recorridos y de las medias puede ayudar a una mejor comprensión.

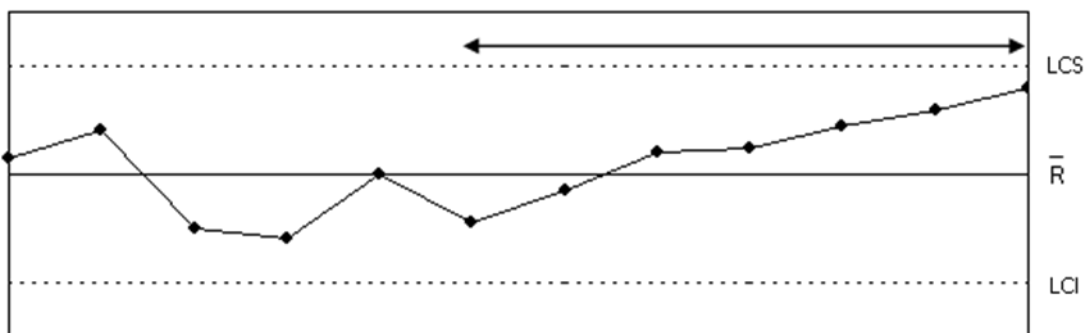
Consideramos que el proceso ha sufrido un corrimiento o se está desarrollando una tendencia cuando:

- 7 puntos seguidos se encuentran a un lado del promedio.
- 7 puntos seguidos se incrementan o decrecen consistentemente.

Una corrida por encima o por debajo del rango promedio, nos indica una dispersión en los valores causados posiblemente por un origen irregular o por un corrimiento en alguno de los elementos del proceso. Una tendencia hacia abajo o hacia arriba, puede significar generalmente una buena condición, que debe estudiarse para su aplicación en la mejora del proceso.



Corrida



Tendencia Creciente

3.- Pautas obvias no fortuitas

Además de los dos puntos anteriores, podemos encontrarnos con otras pautas en los datos que nos den indicios de causas especiales.

Sin embargo, debemos no sobreinterpretar los datos, porque incluso datos fortuitos nos pueden dar la impresión de que no lo son.

Si observamos que más de $\frac{2}{3}$ partes de los puntos marcados se encuentran en el tercio central del intervalo de control, consideraremos que el proceso está fuera de control y debemos estudiar las causas de las variaciones de los valores. En la práctica, se considera fuera de control cuando, sobre 25 tomas, más del 90% se encuentra en esta zona o cuando están situados en ella 15 puntos consecutivos

En tal caso debemos verificar si:

- Los límites de control o puntos marcados han sido calculados correctamente.
- El método de muestreo está estratificado; cada subgrupo contiene mediciones de más de dos fuentes o flujos del proceso que tienen medias muy diferentes.
- Los datos han sido corregidos; se han alterado o suprimido muestras con recorridos que se apartaban mucho de la media.

En la práctica, se concluye que existe una inestabilidad del proceso, cuando sobre 25 tomas consecutivas, el 60% de los puntos se hallan fuera del tercio central.

Detección y corrección de las causas especiales.

Para cada causa especial en la información de recorridos, debemos realizar un análisis de la operación y del proceso para determinar la causa y mejorar el proceso, corregir y prevenir para que no vuelva a ocurrir de nuevo.

El gráfico de control nos ayuda en el análisis del problema, indicándonos cuando comenzó la condición y el tiempo durante en el cual transcurrió.

La aparición de un solo punto fuera de los límites de control, ya es suficiente para iniciar un análisis del proceso. La rapidez de actuación es un factor muy importante en el análisis del problema, ya sea para minimizar la producción de productos no conformes, como en términos de obtención de una evidencia actual al realizar un diagnóstico.

Incidiremos en que la solución del problema es a menudo el camino más difícil, el que más tiempo requiere. La elaboración de las medidas destinadas a mejorar el proceso requiere comprensión, meticulosidad, paciencia y penetración. La información que nos facilita el gráfico de control nos marca el punto de partida apropiado, aunque el uso de otros métodos como el diagrama de Pareto, diagrama Causa-efecto, etc. pueden sernos de utilidad.

Nuevo cálculo de los límites de control

Cuando se lleva a cabo un estudio inicial del proceso o al evaluar la capacidad del mismo, los límites de control deben ser calculados nuevamente a fin de eliminar los efectos de aquellos periodos fuera de control cuyas causas ya han sido detectados y corregidos. Para ello se eliminan todas las muestras afectadas por las causas, y se hace un nuevo cálculo.

ANÁLISIS DEL GRÁFICO DE MEDIAS

Consideramos estable la dispersión del proceso (variación de la muestra) cuando, los recorridos están bajo control estadístico. Entonces, podemos analizar las medias, con el fin de comprobar si la zona central del proceso está cambiando a través del tiempo.

Igual que en el gráfico de recorridos, estudiaremos tres situaciones en la cuales el proceso se encuentra fuera de control y señalaremos a cada una de ellas las causas asignables.

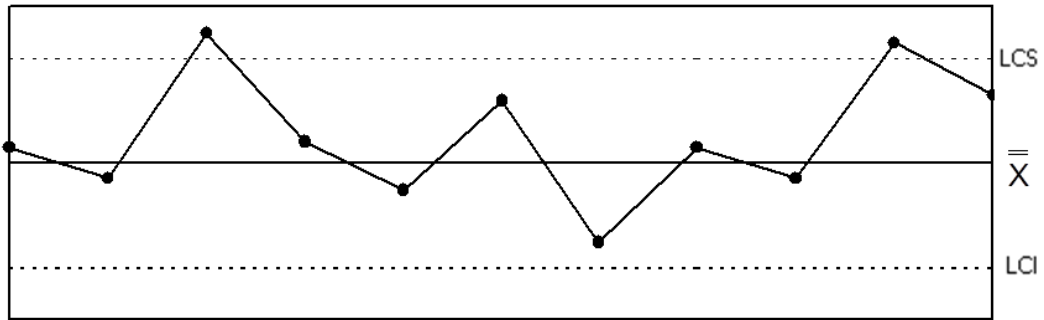
1.- Puntos fuera de los límites de control

La existencia de uno o más puntos fuera de los límites de control, nos indica la presencia de una causa asignable en ese punto.

Un punto fuera de los límites de control nos avisa para iniciar un análisis inmediato de la operación. Estos puntos deben identificarse en el gráfico para realizar la investigación y realizar la acción correctiva en el mismo punto de inicio de la causa asignable.

Un punto fuera de los límites de control es un signo de una o más de las siguientes causas:

- Los límites de control o el punto marcado son incorrectos.
- El proceso ha sufrido un corrimiento en un solo punto (incidente aislado) o como parte de una tendencia.
- El sistema de medición ha cambiado (Ej. Personal o instrumento).



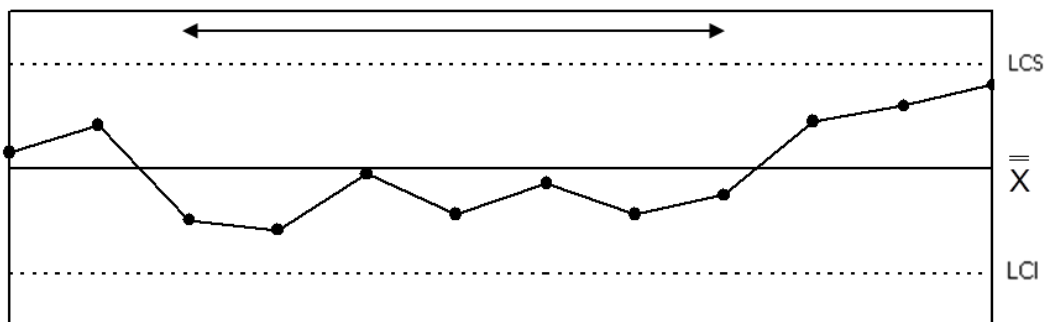
2.- Pautas o tendencias dentro de los límites de control

La presencia de patrones o tendencias inusuales, pueden mostrarnos un proceso fuera de control, durante el periodo en el que sucedió el patrón o la tendencia.

La comparación entre patrones de recorridos y medias nos puede ser de utilidad.

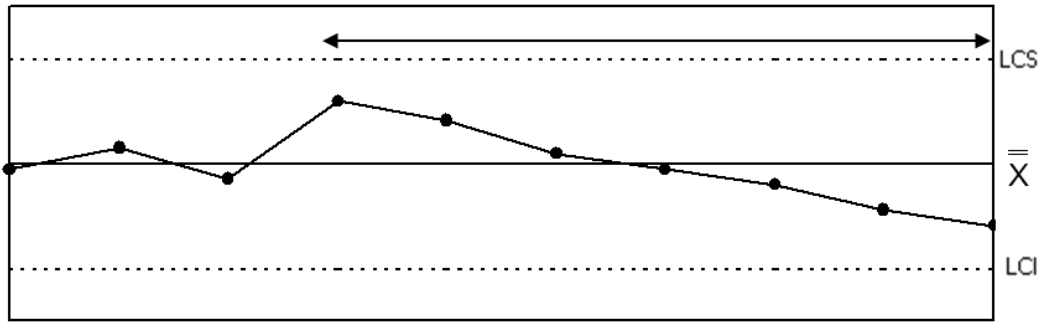
Diremos que el proceso ha sufrido un corrimiento o una tendencia si se cumplen las siguientes pautas:

- 7 puntos consecutivos se encuentran a un mismo lado de la media.
- 7 puntos consecutivos crecientes o decrecientes.



7 puntos sucesivos a un mismo lado de la media

Este cambio de la posición central del proceso se puede asignar a cualquier cambio de una de las siguientes 5 M del proceso: **M**étodo, calidad de la **M**ateria, sistema de **M**edida, **M**áquina o **M**ano de obra.



7 puntos decrecen continuamente

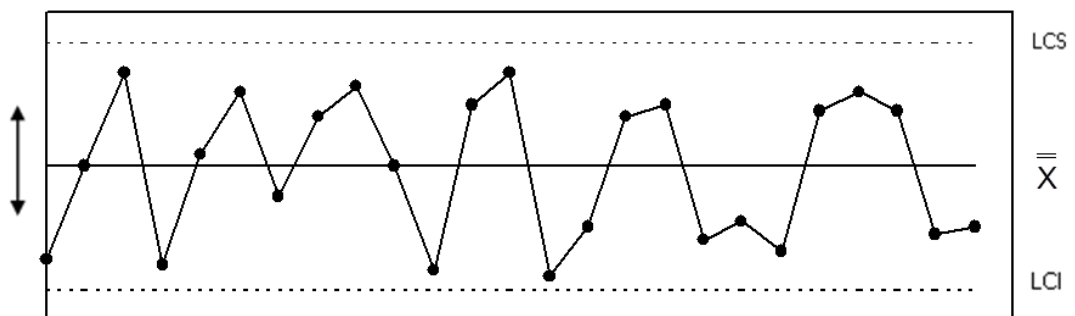
Esta situación es característica del desgaste de una herramienta, aunque también la podemos identificar con causas humanas.

3.- Pautas obvias no fortuitas.

Otros modelos distintos nos pueden indicar la presencia de causas de variación asignables, aunque debemos tener cuidado en no sobreinterpretar los datos.

Ejemplos de modelos no aleatorios pueden ser: las tendencias, los ciclos, la distribución inusual de los límites de control y la relación entre los valores de un subgrupo.

Una prueba para comprobar la distribución inusual de los puntos de los subgrupos es la distancia de los puntos a \bar{X} . Generalmente $\frac{2}{3}$ de los puntos se deben encontrar concentrados en el tercio medio respecto al promedio.



Más del 75% de los puntos localizados cerca de los límites de control.

Podemos considerar el proceso fuera de control cuando, sobre 25 tomas más del 90% se encuentra en esta zona o cuando 15 puntos consecutivos están situados en ella. En este caso debemos verificar si:

- Los límites de control o puntos del gráfico han sido correctamente calculados y debidamente marcados.
- El proceso de recogida de muestras está estratificado, cada subgrupo contiene mediciones de dos o más fuentes del proceso que tienen medidas diferentes.
- Los datos han sido corregidos o se ha eliminado las piezas que no se ajustaban al objetivo.
- Los operadores efectúan una regulación de la máquina antes de cada toma.

Detección y corrección de las causas no asignables

Debemos realizar un análisis de la operación del proceso para determinar las causas no asignables, por cada indicación de condición fuera de control en la información de medias, para corregir la situación y prevenir que se repita.

Utilizaremos el gráfico como guía para analizar el problema; cuando empezó la situación y durante cuánto tiempo se produjo. Para la solución del problema podemos apoyarnos en otras técnicas como el análisis de Pareto y los diagramas en espina de pescado.

Cuando adoptemos medidas correctoras deben aparecer reflejadas en la carta y ser descritas en el diario del proceso.

Nuevo cálculo de los límites de control

Cuando se está llevando a cabo un estudio inicial del proceso o una evaluación de la capacidad del mismo, debemos calcular los límites nuevamente.

La finalidad perseguida con las medidas expuestas es impedir que reaparezcan las causas asignables y la mejora del rendimiento del proceso.

Debemos tener en cuenta que aunque analicemos todas las causas expuestas como posibles evidencias de causas especiales, señalaremos que estas pueden ser causadas por el sistema sin existir ningún problema local en el proceso. Aún cuando no encontremos una evidencia clara del problema en el proceso, la aplicación de medidas correctoras puede aumentar, más que reducir, la variabilidad de la producción del proceso.

Indicar que para el análisis del gráfico de desviación típica se puede establecer un conjunto de reglas similares a las establecidas para el gráfico de rangos.

4.1.2.6 OTROS GRÁFICOS DE CONTROL

El gráfico \bar{X} normal utiliza información de una sola muestra cada vez. Cuando se marca en el gráfico un valor de \bar{X} de una muestra, toda la información de las observaciones de la muestra anterior se pierde, haciendo la operación simple, pero menos eficaz para descubrir los cambios que se produzcan en la media μ del proceso. Existen cuatro métodos para el tratamiento de la información incluida en las anteriores observaciones:

1. No usar datos anteriores.
2. Usar todos los datos anteriores.
3. Usar solo una cantidad pequeña, pero constante, de las observaciones anteriores.
4. Usar solo la última secuencia de observaciones que puedan indicar un cambio de μ .

Los gráficos de control convencionales o de Shewhart, se basan en la opción 1, siendo el procedimiento sencillo, pero menos eficaz.

La opción 2 también se manifiesta como un procedimiento menos eficiente al combinar los datos recientes con los datos anteriores, cuando el procedimiento se encontraba bajo control. Esta opción no se usa en ningún gráfico de control, ya que unos datos recientes fuera de control, pueden resultar encubiertos por la secuencia de datos bajo control, impidiendo detectar el cambio de la media μ del proceso.

En cambio la opción 3, basada en el uso de las observaciones r de la muestra más reciente, se usa en los *gráficos de medias móviles*, siendo eficiente en la detección de cambios en la media del proceso.

La opción 4 es la base de los *gráficos CUSUM* y EWMA siendo r un número no determinado, sino que es un número aleatorio basado en los valores de las observaciones más recientes.

Los denominados gráficos de sumas acumuladas (CUSUM) y gráficos de promedios móviles exponencialmente ponderados (EWMA) fueron introducidos, el primero por E.S. Page (1954) y el segundo por S.W. Roberts (1959). La novedad de estos gráficos radica en el uso de la información obtenida de las muestras anteriores y de esta manera poder detectar de forma más rápida pequeños cambios en el proceso, por esta razón se les denomina también gráficos de memoria, aunque también es verdad que son más lentos a la hora de detectar cambios grandes.

GRÁFICOS CUSUM.

El objetivo de este gráfico es controlar la evolución de una variable de calidad de interés, X con distribución normal. Supongamos que en estado de control:

$$X \rightarrow N(\mu_0, \sigma)$$

Para poderse aplicar se requiere que la desviación típica del proceso sea muy estable y que se tenga una estimación buena de la misma.

El llamado CUSUM algorítmico, calcula las desviaciones de cada valor respecto del valor objetivo o nominal μ_0 : $x_i - \mu_0$ y se construye el siguiente estadístico C_i para acumular la información:

$$C_i = \sum_{j=1}^i (x_j - \mu_0) = C_{i-1} + (x_i - \mu_0)$$

En general, C_i si el proceso está bajo control evolucionará alrededor del cero de manera aleatoria.

Si el proceso se desajusta y la media pasa al valor: $\mu_0 + k$, entonces: $E(C_i) = ik$, con lo cual aparece una tendencia lineal creciente si $k > 0$ o una tendencia central decreciente si $k < 0$. Luego si el proceso se desajusta, C_i evoluciona de forma aleatoria alrededor de una pendiente.

Se monitoriza la evolución de los siguientes estadísticos:

$$C_i^+ = \text{máx} \{0, C_{i-1}^+ + (x_i - \mu_0) - K\}$$

$$C_i^- = \text{mín} \{0, C_{i-1}^- - (x_i - \mu_0) - K\}$$

El valor de K se elegirá en función de la desviación que se quiera detectar.

Los valores de las sumas acumuladas se han de comparar con el valor máximo admisible. Este valor, denominado valor de decisión H suele ser $H = h\sigma$, donde se recomienda que $h = 5$ y por tanto $H = 5\sigma$. Los valores $\pm H$ son los límites de control de este gráfico.

Los valores K y H quedan al criterio del analista.

GRÁFICOS EWMA

La salida de un proceso bajo supervisión puede analizarse mediante la filosofía de las series temporales, pues en el fondo cuando se hacen los correspondientes gráficos de las muestras en distintos periodos de tiempo, estas constituyen una serie temporal. En este sentido, los gráficos EWMA se pueden englobar en ello.

En este tipo de gráficos normalmente se trabaja con datos individuales.

El gráfico EWMA representa la evolución del estadístico:

$Y_i = \lambda X_i + (1 - \lambda)Y_{i-1}$ siendo: $Y_0 = \mu_0$ y $\lambda / 0 < \lambda \leq 1$ (λ factor de ponderación para la observación actual, lo decide el analista)

Con la hipótesis de independencia y estabilidad sobre los X_i se tiene:

$$E(Y_i) = \mu_0 \text{ y } Var(Y_i) = \sigma^2 \frac{\lambda[1-(1-\lambda)^{2i}]}{2-\lambda}$$

Si vamos sustituyendo sucesivamente, obtenemos:

$$Y_i = \lambda(1 - \lambda)^0 X_i + \lambda(1 - \lambda)^1 X_{i-1} + \lambda(1 - \lambda)^2 X_{i-2} + \lambda(1 - \lambda)^3 X_{i-3} + \dots$$

Se puede ver que la suma de los pesos del sumatorio anterior es uno con lo cual se tiene que Y_i es un promedio de los valores: $X_i, X_{i-1}, X_{i-2}, \dots$

Si λ es próximo a uno los pesos decaen muy rápidamente con lo que podemos decir que el pasado tiene poco valor, la memoria es corta.

Si λ es próximo a cero los pesos decaen muy despacio con lo que podemos decir que el pasado tiene mucho valor, la memoria es larga.

Si queremos detectar un desajuste pequeño, necesitaremos acumular la información de muchos periodos para que el desajuste pueda apreciarse, con lo cual deberíamos tomar un valor de λ pequeño, usualmente se toma:

$$\lambda / 0.05 \leq \lambda \leq 0.25$$

Si queremos detectar un desajuste grande bastará con una información inmediatamente posterior al desajuste, no debemos esperar a acumular mucha información, tomaremos λ grande.

Límites del gráfico de control EWMA:

$$\begin{cases} L.C.S. = E(Y_i) + 3\sigma_{Y_i} = \mu_0 + 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda[1 - (1 - \lambda)^{2i}]}{2 - \lambda}} \\ L.C. = E(Y_i) = \mu_0 \\ L.C.I. = E(Y_i) - 3\sigma_{Y_i} = \mu_0 - 3\sigma \sqrt{\frac{\lambda[1 - (1 - \lambda)^{2i}]}{2 - \lambda}} \end{cases}$$

Evidentemente, necesitamos una estimación de σ para lo cual podríamos utilizar un gráfico de recorridos y estimar σ por $\frac{\bar{R}}{d_2\sqrt{n}}$

Reiterar finalmente, que los gráficos CUSUM y EWMA son más efectivos que el gráfico de medias para detectar pequeños cambios en la media; sin embargo ambos gráficos funcionan peor que el gráfico de medias para grandes cambios.

GRÁFICOS DE MEDIAS MÓVILES

Sea X la variable de interés. El gráfico de medias móviles representa la evolución del estadístico: $Y_i = \frac{X_i + X_{i-1} + \dots + X_{i-r+1}}{r}$ *r se fija*

Gráfico de medias móviles:

$$\begin{cases} L.C.S. = \mu_0 + 3\frac{\sigma}{\sqrt{i}} \\ L.C. = \mu_0 \\ L.C.I. = \mu_0 - 3\frac{\sigma}{\sqrt{i}} \end{cases} \text{ para } i < r \quad \begin{cases} L.C.S. = \mu_0 + 3\frac{\sigma}{\sqrt{r}} \\ L.C. = \mu_0 \\ L.C.I. = \mu_0 - 3\frac{\sigma}{\sqrt{r}} \end{cases} \text{ para } i \geq r$$

Evidentemente, σ debería ser estimada si no es conocida.

CAPÍTULO 5
ESTUDIOS DE CAPACIDAD

5. ESTUDIOS DE CAPACIDAD

Para comenzar los estudios de capacidad hemos de saber que:

Un proceso puede estar en control estadístico y a pesar de ello producir artículos defectuosos. Cuando se alcanza un proceso estable, comienza un trabajo arduo de cualquier empresa para tratar de mejorar su capacidad, así como la economía de la producción.

También se debe conocer la diferencia que existe entre máquinas y procesos. Para los efectos del análisis estadístico, las máquinas se consideran que realizan operaciones discretas, con una variabilidad propia. Los procesos, al contrario que en las máquinas se considera que tienen una combinación de las 5 M (*máquina, material, medio, mano de obra y método*), tal y como existen en una cadena de producción, que participan en su variación natural.

5.1 CAPACIDAD DE LA MÁQUINA A CORTO PLAZO

Es importante tener en cuenta que la dispersión del proceso puede reducirse si se rebaja la variación de cada uno de los factores que le afectan. Como estamos hablando de un espacio de tiempo pequeño, al estudiar la variación del proceso, la cual será instantánea, se podrá reducir al mínimo la influencia:

- Del medio, evitando variaciones de temperatura o de intensidad eléctrica.
- De los métodos, aclarando con anterioridad los procedimientos de conducción del proceso.
- De la mano de obra, sugiriendo al conductor que no realice ningún ajuste a su máquina durante el intervalo de estudio.
- De la materia, utilizando siempre que sea posible un lote lo más homogéneo posible.

La influencia de la máquina es superior a todas las variables que acabamos de citar. Por esto, la capacidad de la máquina es una medida de influencias a corto plazo que dicha máquina sola ejerce sobre la variabilidad del producto.

Para realizar el estudio correspondiente, existen varios requisitos:

- Determinar las características de estudio y sus especificaciones.
- Programar unas 50 piezas consecutivas, que sean fabricadas por el mismo operador.
- Comprobar que las piezas o materiales, estén de acuerdo con las especificaciones hasta la operación a estudiar.
- Disponer de un instrumento de medida calibrado, con al menos 1/10 de tolerancia de precisión.
- Verificar la normalidad de los datos.
- Estimar la media y la desviación típica.

ÍNDICES DE CAPACIDAD DE LA MÁQUINA

El índice de capacidad de la máquina, cuya notación es C_m , permite comparar la variación intrínseca de la máquina con la variación máxima permitida. Su expresión viene dada por:

$$C_m = \frac{IT}{6\sigma} = \frac{LES-LEI}{6\sigma} \quad \text{donde:}$$

- IT : Es el intervalo de tolerancia.
- LSE : Es el límite superior de especificación.
- LIE : Es el límite inferior de especificación.
- σ : Es la desviación estimada a través de S .

Una máquina será capaz, es decir que tendrá la aptitud de producir artículos de acuerdo a sus especificaciones cuando:

$$C_m \geq 1,33$$



$$IT \geq 1,33 \cdot 6\sigma = 8\sigma$$

Cuando sea una ley normal, la probabilidad asociada a un intervalo de 8σ es de 99,994%. Esto quiere decir que si el proceso está bien centrado en el punto medio del intervalo de tolerancia y la máquina es capaz, en las mejores condiciones de producción, el proceso tendrá la capacidad de cumplir las exigencias con la probabilidad del 99,994%.

Si existiese un problema de centrado en el proceso, la influencia de esta desviación sobre el índice de capacidad puede ser examinada con la ayuda de un índice complementario, que se encarga de tener en cuenta la

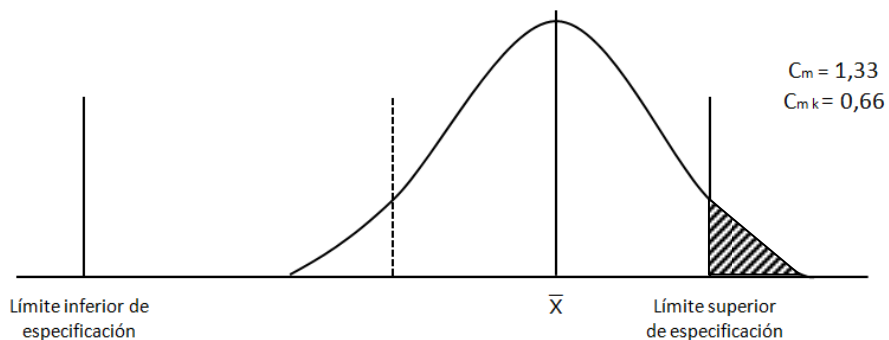
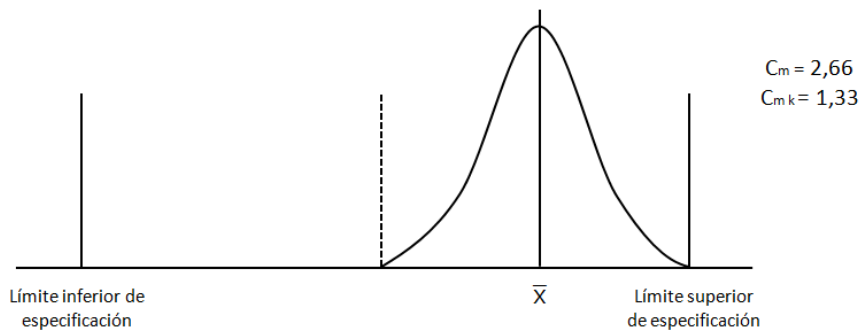
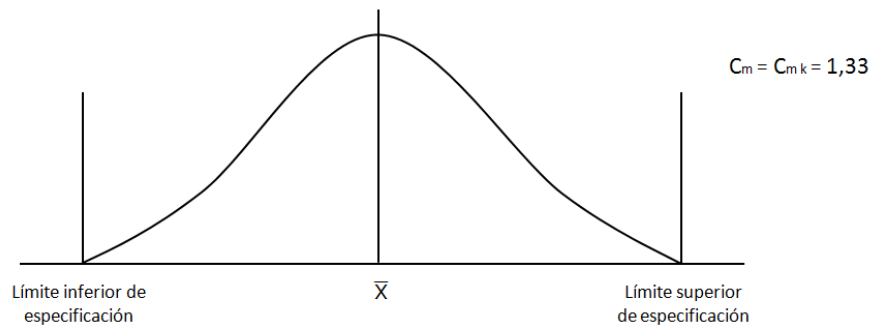
posición central del proceso con respecto al intervalo de tolerancia. Su notación es C_{mk} y se define por:

$$C_{mk} = \min \left[\frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}, \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma} \right]$$

El proceso será capaz igual que para el índice C_m si:

$$C_{m,k} \geq 1,33$$

A continuación vamos a ver los tres ejemplos de cómo varían los índices C_m y C_{mk} según el grado de centrado del proceso:



El estudio de la capacidad de la máquina es sin duda una de las etapas más importantes del estudio previo de los procesos antes de ponerlo bajo control estadístico.

5.2 CAPACIDAD DEL PROCESO

El estudio de capacidad del proceso sirve para comparar la variabilidad permitida en el diseño de una pieza y la variabilidad resultante en la fabricación de dicha pieza. La variabilidad que se permite en el diseño se plasma en las especificaciones y tolerancias que tiene la pieza. La variabilidad resultante de la fabricación se determina con el estudio estadístico de un grupo de piezas fabricadas.

La capacidad se encarga de medir el nivel en el cual un proceso satisface las necesidades del cliente. Podríamos definir capacidad, como la amplitud del intervalo en el que tiene una probabilidad muy elevada de hallarse la mayoría de la población.

Hay muchas veces en las que se confunde la tolerancia del proceso con la capacidad del mismo. Sin embargo son cantidades de distinta naturaleza: la primera se definiría en el momento que se concibe el producto; la segunda es el reflejo del funcionamiento real del proceso y se evalúa a través de su dispersión natural.

Los usos principales del estudio de la capacidad del proceso son:

- Ayudar a los diseñadores del producto a modificar o seleccionar un proceso.
- Medir como de bueno es el proceso para intentar producir productos que se sitúen dentro de las especificaciones.
- Especificar los requisitos para el funcionamiento de los nuevos equipos.
- Poder elegir entre diferentes proveedores.
- Tratar de establecer un intervalo entre muestreo y controles de procesos.
- Reducir la variabilidad en un proceso de manufactura.

La conclusión que sacamos de todos estos puntos es que el análisis de la capacidad de procesos se considera una técnica con aplicaciones en muchas etapas del proceso, en las que se incluirían, el diseño del producto y del proceso, la búsqueda de proveedores, planeamiento de la producción y por último la propia manufactura.

EXIGENCIAS PREVIAS

Al igual que en el estudio de capacidad de una máquina, existen unos requisitos antes de comenzar el estudio para evaluar la aptitud del proceso y que este satisfaga las exigencias del cliente de forma permanente. Estas condiciones son:

- Las exigencias del cliente, deben estar perfectamente definidas.
- El proceso debe estar bajo control estadístico.
- El muestreo debe ser correcto.
- La distribución de la producción es normal, o al menos esté modelizada.

La capacidad del proceso debe mostrar las fluctuaciones del mismo que son debidas a causas aleatorias, con el objetivo de que los responsables puedan definir las medidas que son necesarias para una mejora de la capacidad. Previamente a cualquier evaluación de la capacidad, se necesita identificar, analizar y eliminar las causas asignables.

Se podría considerar al control estadístico, como un estado con variación aleatoria, estable en el sentido de que los límites de variación son predecibles. Como hemos dicho al comienzo del apartado, un proceso que se encuentra en control estadístico, puede producir artículos defectuosos y existen veces en que dicha proporción es muy elevada. En el momento que se establece el control estadístico, se comienza a trabajar de forma incesante para lograr una mejora de la calidad y de la economía de la producción.

El cliente, ya sea interno o externo, es el que se encarga de establecer dos niveles de exigencia con respecto a la producción:

- Respetar por obligación las características medibles del producto, diciendo cuales son las especificaciones o tolerancias, a través de los límites LES (Límite superior de especificación) y el LEI (Límite inferior de especificación), definiendo con ellos el Intervalo de tolerancias que es igual a $IT = LSE - LIE$
- El riesgo que el cliente está dispuesto a correr, que debe ser igual al número de piezas no conformes aceptadas. También se puede definir la probabilidad que tiene cada pieza de estar dentro de los límites. Esta probabilidad se usa con respecto a la población normal. Así hablaríamos de especificación 95% ó 2σ y de 99% ó de 3σ .

La mayoría de las veces se toma como referencia un intervalo de tolerancia de 3σ , que significa que un 99,73% de las piezas que se producen, respetan las especificaciones de la característica que se está considerando.

Las seis desviaciones o 6σ se usan en el estudio de la capacidad apoyadas en la hipótesis de la normalidad de la distribución característica. Si la distribución no fuese normal, habría que definir la longitud del intervalo que estuviese asociado a una probabilidad del 99,73%.

Como ya se ha visto anteriormente, la desviación de la distribución se calcula con la ayuda de la media de las amplitudes \bar{R} , pero este valor está en función del plan de muestreo que ha sido determinado para vigilar la característica. Si se aumentase el tiempo que separa dos medidas dentro de una muestra, hay muchas posibilidades de que se aumente la dispersión en la misma lo que supone un incremento también de $\hat{\sigma}$, lo que hará reducir la capacidad. Hay otros casos en los que se aumentaría artificialmente la capacidad debido a la toma de piezas consecutivas, lo que supone una mala representación de la dispersión natural del proceso.

Como conclusión, sacamos que es preciso definir un plan de muestreo de modo que cada muestra sea lo más homogénea posible y represente todas las causas aleatorias que se ubican en el origen de la variación del proceso.

ÍNDICES DE CAPACIDAD DEL PROCESO

El índice de capacidad del proceso al igual que en el caso de capacidad a corto plazo, se define como la relación entre el intervalo de tolerancia y la variabilidad natural del proceso 6σ .

En este caso la notación del índice de dispersión es, C_p y C_{pk} para el índice de centrado. Sus definiciones matemáticas son:

$$C_p = \frac{IT}{6\hat{\sigma}}$$

$$C_{pk} = \min \left[\frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right]$$

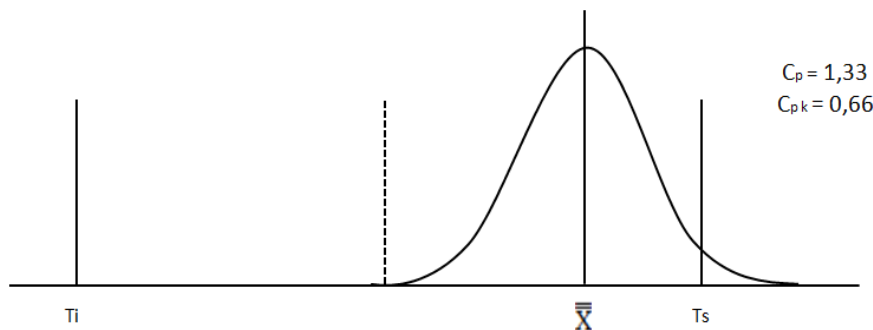
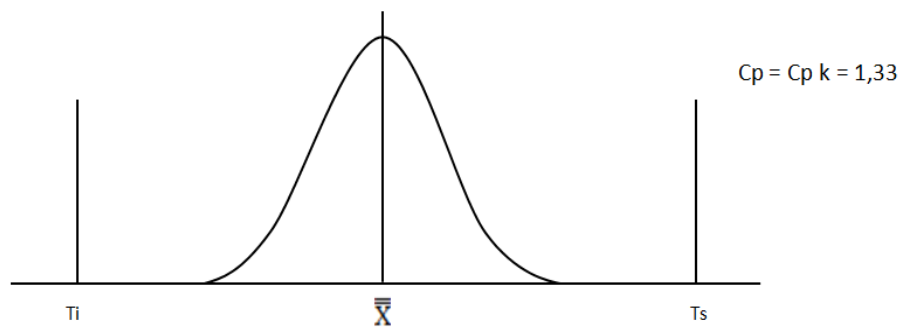
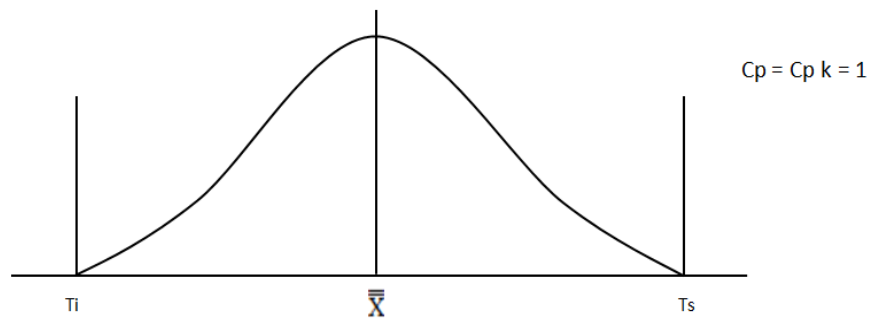
En este caso el proceso considerará capaz cuando:

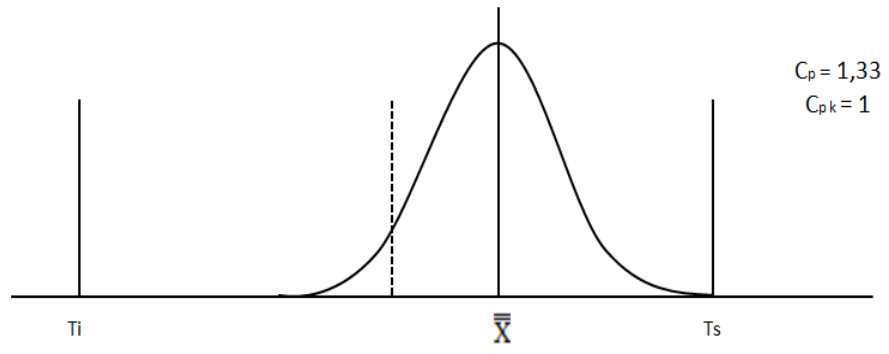
$$C_p > 1.$$

Existen casos en los que el proceso no es satisfactorio debido a un problema de centrado. En este caso los índices son:

$$C_p \geq 1 \quad \text{y} \quad C_{pk} \leq 1$$

A continuación veremos algunos ejemplos según el valor de los índices:





CAPÍTULO 6
PRÁCTICA CONTROL DE
CALIDAD

CONTROL DE CALIDAD SOBRE
EL LLENADO DE ENVASES

RESUELTO EN STATGRAPHICS

6. PRÁCTICA CONTROL DE CALIDAD

6.1 OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

Utilización de diversas herramientas estadísticas para el Control de Procesos. Sobre todo se realizara:

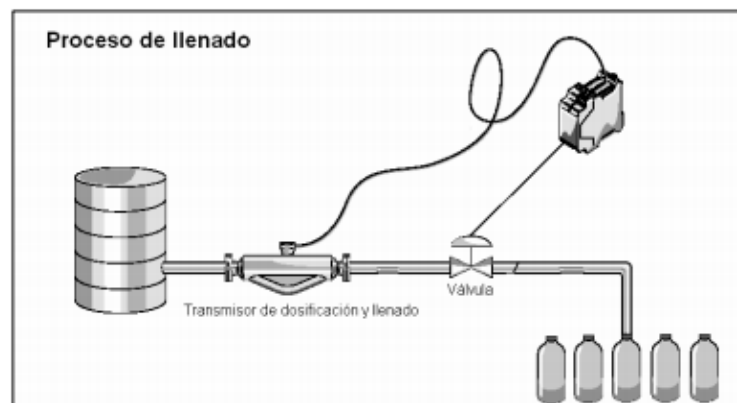
1. Estudio Inicial del proceso. Uso de gráficos de control por variables para intentar evaluar los parámetros del proceso en el momento que este, está bajo control.
2. Determinación de índices de capacidad del proceso. Estos nos permitirían analizar la variabilidad del proceso con relación a las especificaciones como estudiamos anteriormente.
3. Control del proceso en línea. Intentar detectar cambios en el proceso mediante la utilización de los gráficos de control.

6.2 DATOS

Se tiene un proceso de llenado de envases, en el cual es importante tener un control sobre el nivel de llenado, ya que la ley obliga a respetar los contenidos mínimos además de que el sobrellenado es causa de altos costes que causan pérdidas y pueden comprometer la rentabilidad económica de la producción.

Los procesos de llenado están automatizados. Se coloca un transmisor de dosificación que envía la señal a una válvula para que esta se abra y cierre de manera automática.

Los datos de llenado de las botellas, corresponden a botellas de 100cl.



6.3 DESARROLLO

6.3.1 ESTUDIO INICIAL

Consiste en estimar los parámetros del proceso “bajo control”. Para lograrlo vamos a tomar K muestras del proceso y a través de un procedimiento iterativo, del cual luego citaremos los pasos, se eliminarán las muestras que son extrañas de haber sido obtenidas en el momento en el cual el proceso estaba “fuera de control”

El procedimiento iterativo se compone de estos pasos:

1. Extraer K muestras.
2. Estimar parámetros.
3. Representar las muestras mediante los gráficos de control.
4. Eliminar las muestras fuera de los gráficos.
5. Volver al segundo paso.

Todo este procedimiento iterativo se puede llevar a cabo con el programa *Statgraphics* de forma automática.

Las consideraciones del problema son:

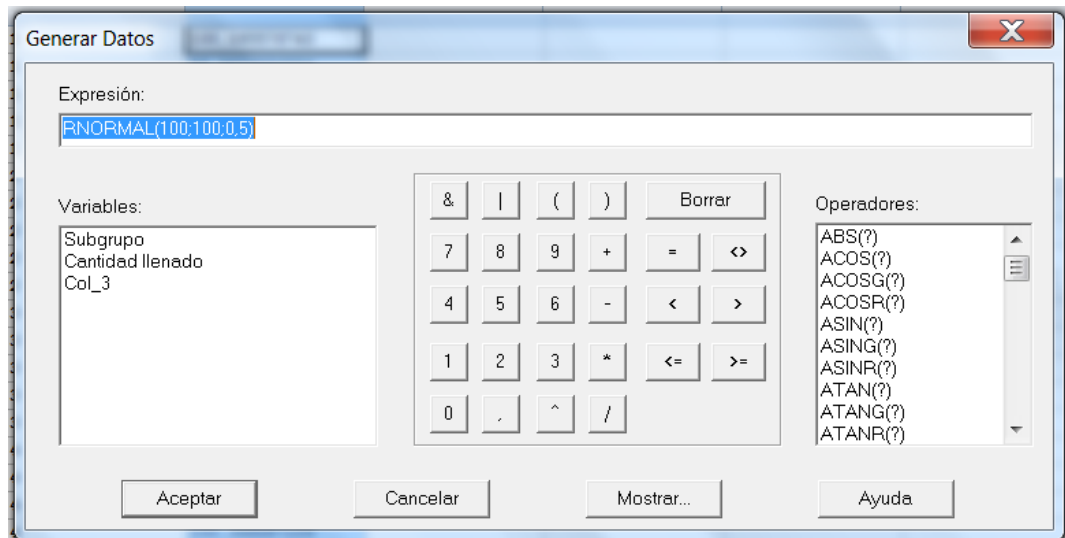
- El proceso de llenado produce 5000 botellas por hora.
- En el estudio inicial se toman 20 muestras de 5 botellas cada una.
- Las muestras se suponen tomadas en distintos turnos y en distintos días para mostrar toda la variabilidad del proceso.

PASO 1. INTRODUCCIÓN DE DATOS

Crearemos dos columnas, en las cuales se almacenarán los distintos datos del problema. En la primera, “subgrupo” se indicará a que muestra pertenecerá (1-20) y en la segunda, “Cantidad llenado”, se mostrará el número de mililitros que contiene cada botella de la muestra correspondiente.

Como no disponemos de los datos, nos tocará estimarlos a través de las distintas funciones de las que dispone el programa. El llenado de botellas, tendrá una distribución normal, que es la más lógica para este problema. Para lograr los datos que queremos, sobre la columna “Cantidad llenado”, clickamos en *Generar datos* y saldrá una ventana. Dentro de ella en la barra *Expresión* introducimos la función *RNORMAL*. Esta expresión cuenta con tres parámetros. El primero es el número de datos que se pretende obtener, que en nuestro caso son 100. El segundo es la media que como dice el enunciado

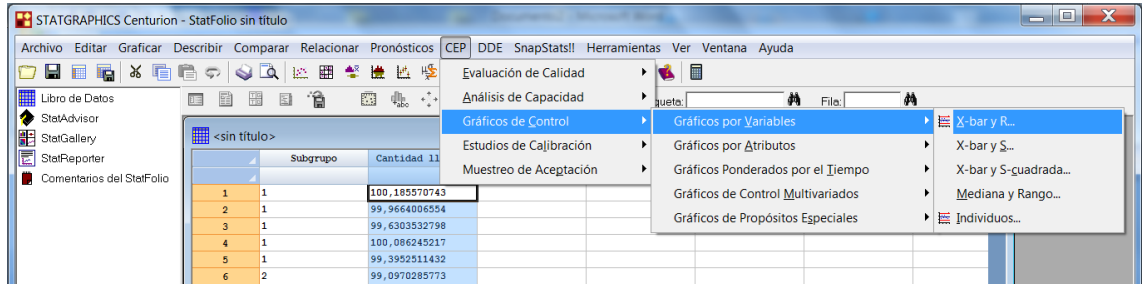
son 100ml. El último la desviación típica que consideramos 0,5, ya que sería la más acertada para un proceso de llenado de botellas.



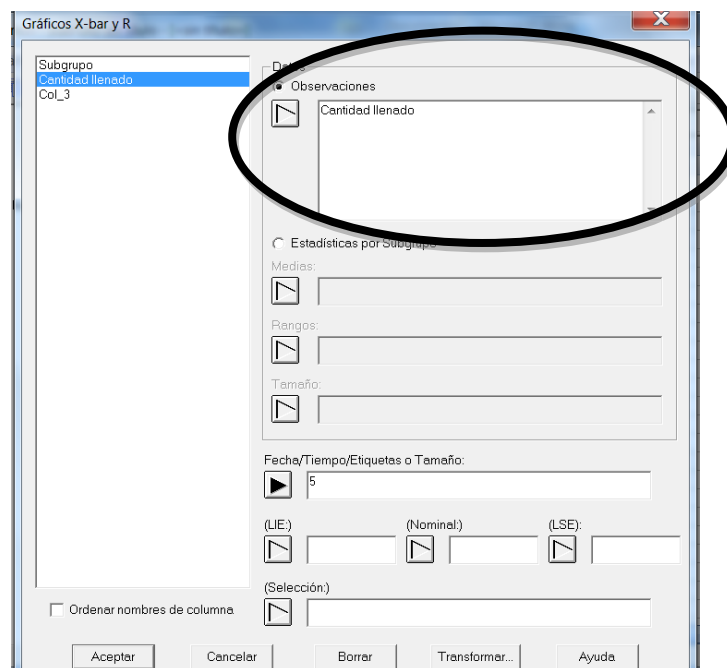
Una vez dado a aceptar tras haber completado la función, la tabla nos quedará de la siguiente manera ya con las dos columnas rellenas.

| | Subgrupo | Cantidad llenado |
|----|----------|------------------|
| 1 | 1 | 100,185570743 |
| 2 | 1 | 99,9664006554 |
| 3 | 1 | 99,6303532798 |
| 4 | 1 | 100,086245217 |
| 5 | 1 | 99,3952511432 |
| 6 | 2 | 99,0970285773 |
| 7 | 2 | 99,3495456438 |
| 8 | 2 | 99,240784453 |
| 9 | 2 | 98,7936413293 |
| 10 | 2 | 99,0085036912 |
| 11 | 3 | 100,047228759 |
| 12 | 3 | 100,051309378 |
| 13 | 3 | 99,2149029685 |
| 14 | 3 | 100,19976918 |
| 15 | 3 | 99,4922954493 |
| 16 | 4 | 100,20106088 |
| 17 | 4 | 100,341295772 |
| 18 | 4 | 100,398620023 |
| 19 | 4 | 100,368087159 |
| 20 | 4 | 99,727055337 |
| 21 | 5 | 100,953762138 |
| 22 | 5 | 100,069555006 |
| 23 | 5 | 99,4703692749 |
| 24 | 5 | 99,2786185379 |

Lo siguiente que vamos a realizar es la obtención de los gráficos de control, de los cuales vamos a seleccionar solo los de Medias y Rangos. Para poder obtenerlos, en el menú principal seleccionaremos *CEP/Gráficos de control/Gráficos por variables/X-bar y R*. Este paso se muestra en la siguiente imagen.



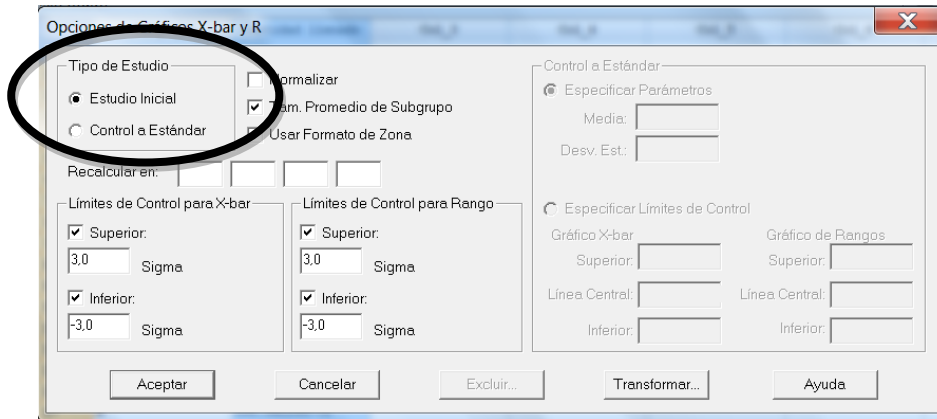
Una vez realizada la selección, nos aparecerá una ventana distinta.



En esta ventana, en el lugar indicado por la elipse introducimos la columna que contenga los datos de llenado de las botellas. En nuestro caso será “Cantidad llenado”. A continuación, como el problema nos pide que cada muestra contenga 5 botellas, en la barra *Fecha/Tiempo/Etiquetas o Tamaño* introducimos el número 5.

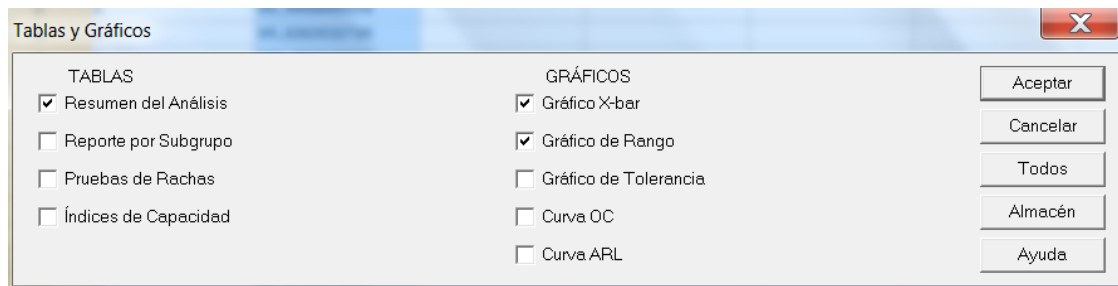
PASO 2. SELECCIÓN DE ESTUDIO INICIAL

Este paso simplemente consiste en seleccionar la opción de Estudio Inicial en la ventana que nos aparece después de haber dado a OK en la anterior.

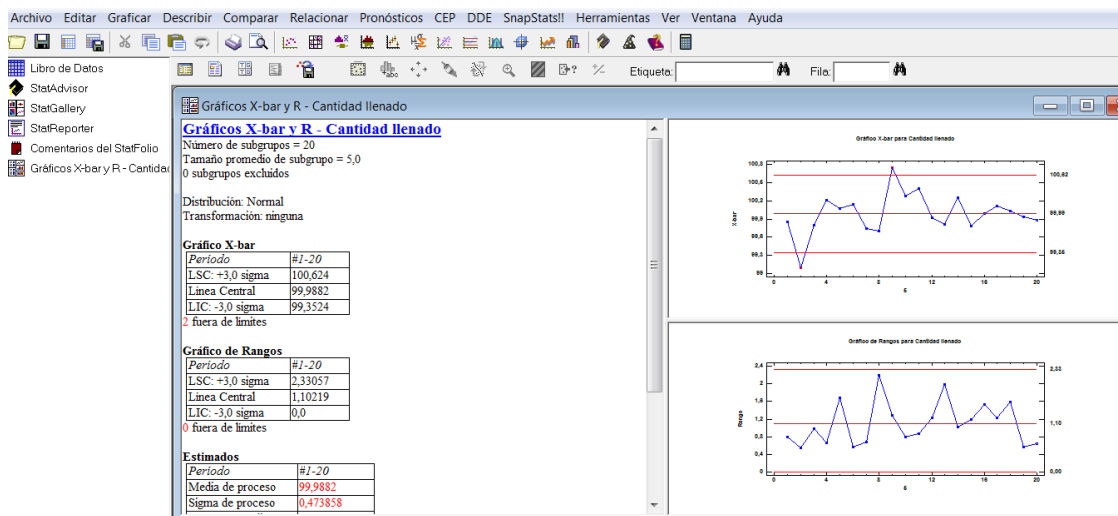


PASO 3. CONSTRUCCIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL

Tras seleccionar lo que se nos indicaba en el anterior paso, nos aparecerá en pantalla la siguiente ventana.



Aceptamos y obtendremos lo siguiente.



La parte izquierda de lo que obtenemos serían los resultados numéricos y que aparecen debido a que hemos seleccionado la opción *Resumen del Análisis* en la ventana de Tablas y Gráficos.

Ampliamos y vemos que aparece la siguiente información.

Gráficos X-bar y R - Cantidad llenado

Número de subgrupos = 20
 Tamaño promedio de subgrupo = 5,0
 0 subgrupos excluidos

Distribución: Normal
 Transformación: ninguna

Gráfico X-bar

| | |
|-----------------|---------|
| Periodo | #1-20 |
| LSC: +3,0 sigma | 100,624 |
| Línea Central | 99,9882 |
| LIC: -3,0 sigma | 99,3524 |

2 fuera de límites

← Límites de control del gráfico de medias

Gráfico de Rangos

| | |
|-----------------|---------|
| Periodo | #1-20 |
| LSC: +3,0 sigma | 2,33057 |
| Línea Central | 1,10219 |
| LIC: -3,0 sigma | 0,0 |

0 fuera de límites

← Límites de control del gráfico de rangos

Estimados

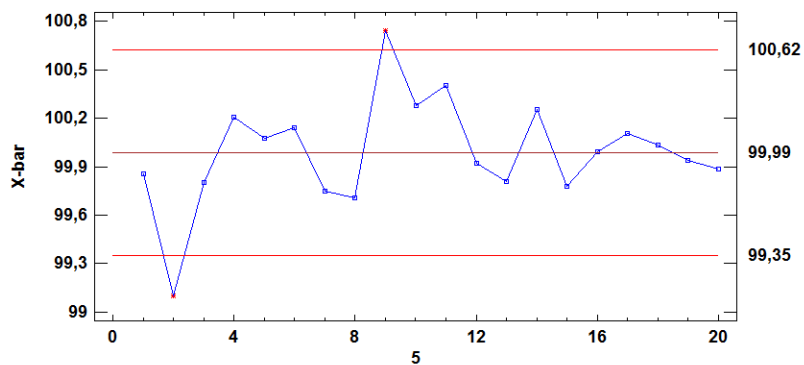
| | |
|------------------|----------|
| Periodo | #1-20 |
| Media de proceso | 99,9882 |
| Sigma de proceso | 0,473858 |
| Rango promedio | 1,10219 |

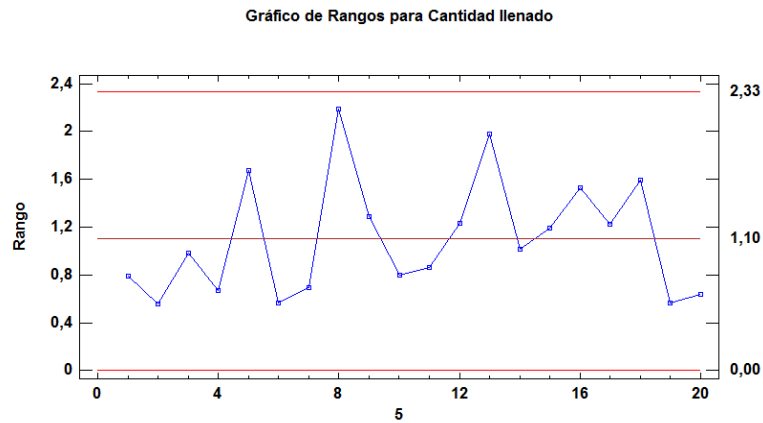
Sigma estimada a partir del rango medio

← Estimación de parámetros:
 - Estimación de μ
 - Estimación de σ

En la parte de la derecha, nos aparecen dos gráficos, debido a que hemos seleccionado *Gráfico de X-bar* y *Grafico de Rango*. El primero es el gráfico de control para la media y el segundo el gráfico para el Rango.

Gráfico X-bar para Cantidad llenado

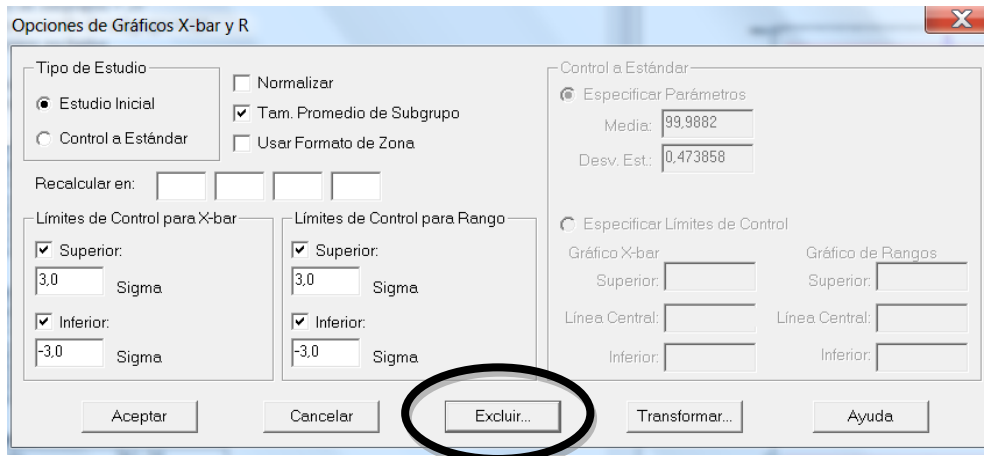




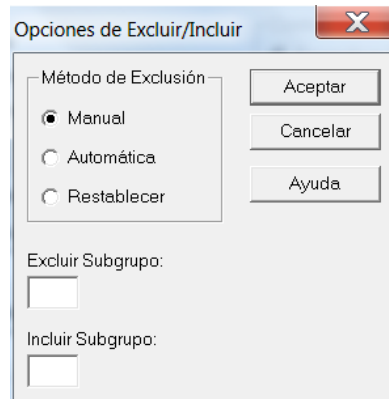
PASO 4. ELIMINACIÓN DE LAS MUESTRAS FUERA DE CONTROL

Como queremos obtener los parámetros del proceso “Bajo control”, tenemos que eliminar las muestras que han sido tomadas “Fuera de control”. Cada vez que eliminemos una muestra se deben recalcular los gráficos y estimar los parámetros y si se repitiese la situación en la que alguna muestra está fuera de los límites, repetir el proceso anterior, hasta que todas las muestras estén dentro de los gráficos.

Pulsando el botón derecho y clickando sobre *Opciones de Análisis* volvemos a la ventana siguiente.

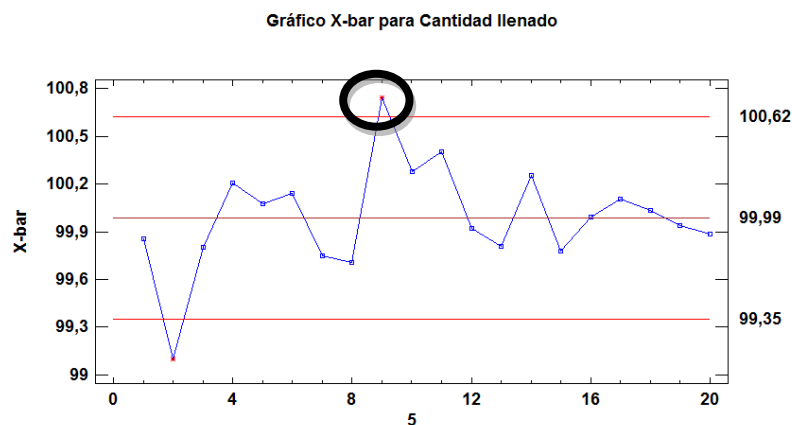


En ella pulsamos el botón *Excluir* y nos aparecerá el siguiente menú.



Aparecen tres opciones:

- Automática: El programa lleva a cabo la operación de eliminación y recalcuro de los límites una vez tras otra, hasta que todas las observaciones están dentro de los límites de control. El mismo programa actualizará los parámetros y los gráficos. Los subgrupos eliminados, aparecerán señalados para poderlos identificar.
- Manual: Se utiliza para que nosotros mismos eliminemos de forma manual las muestras que se encuentran fuera de control.
 - Abrimos el gráfico y pulsamos sobre el primer punto que esta fuera de los límites de control.




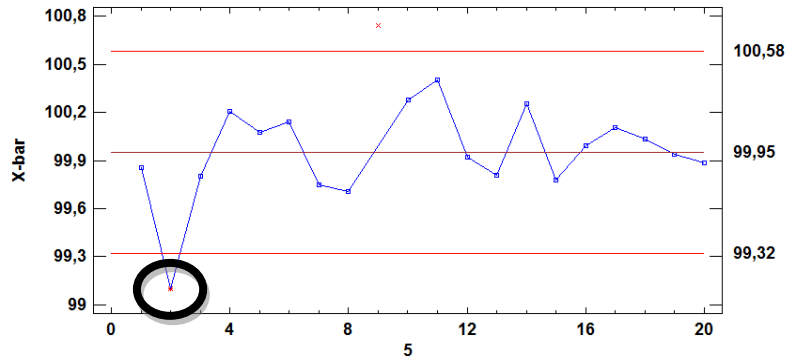
- A continuación con el botón  eliminamos la muestra

Gráfico X-bar para Cantidad llenado



- Tras eliminar la primera muestra, eliminamos el resto, que en nuestro caso es solo una como se indica en el gráfico anterior.
- Reset: Lo utilizaríamos para incluir todos los grupos. Solo sería útil si hubiéramos eliminado alguno.

PASO 5. RESULTADOS

Una vez eliminadas todas las muestras que estaban fuera de los límites de control tanto del de medias como el de rangos, obtenemos la siguiente información que nos proporciona el programa:

- Numéricamente:

Gráficos X-bar y R - Cantidad llenado

Número de subgrupos = 18
Tamaño promedio de subgrupo = 5,0
2 subgrupos excluidos

Número de muestras
Tamaño de las muestras
Número de grupos excluidos

Distribución: Normal
Transformación: ninguna

Gráfico X-bar

| Periodo | #1-20 |
|-----------------|---------|
| LSC: +3,0 sigma | 100,643 |
| Línea Central | 99,9957 |
| LIC: -3,0 sigma | 99,3485 |

Límites de control del gráfico de medias

0 fuera de límites

Gráfico de Rangos

| Periodo | #1-20 |
|-----------------|---------|
| LSC: +3,0 sigma | 2,3725 |
| Línea Central | 1,12202 |
| LIC: -3,0 sigma | 0,0 |

Límites de control del gráfico de rangos

0 fuera de límites

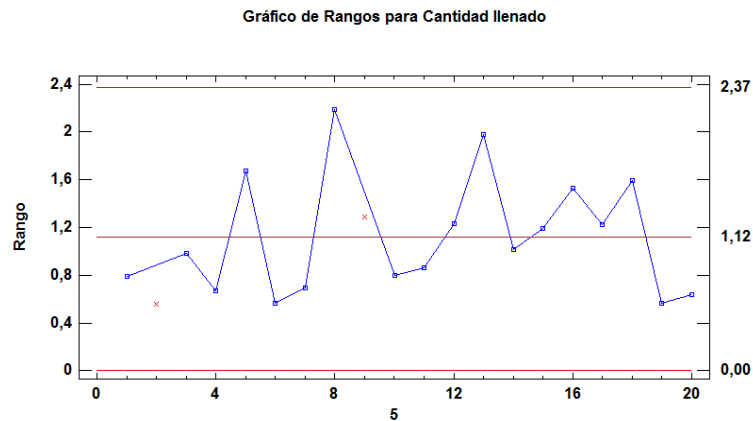
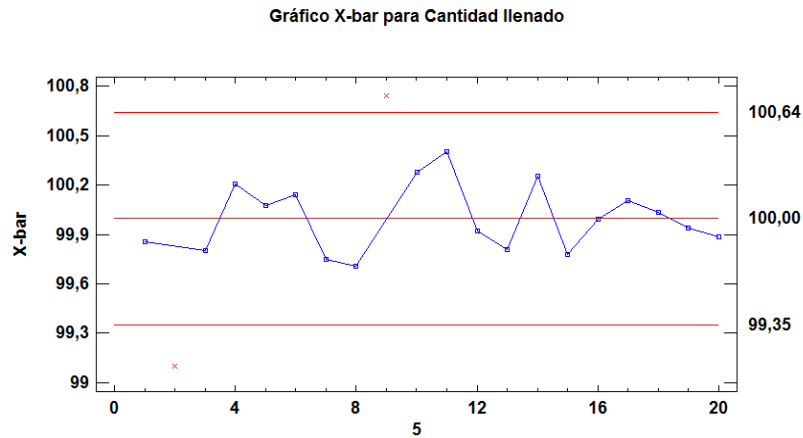
Estimados

| Periodo | #1-20 |
|------------------|----------|
| Media de proceso | 99,9957 |
| Sigma de proceso | 0,482383 |
| Rango promedio | 1,12202 |

Sigma estimada a partir del rango medio

Estimación de parámetros:
- Estimación de μ
- Estimación de σ

- Gráficamente



PASO 6. CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO INICIAL

De las 20 muestras que teníamos al comienzo, 2 han sido eliminadas al creer que habían sido tomadas en un momento en el que el proceso estaba fuera de control. Con las 18 que no han sido eliminadas estimamos:

- La media estimada, del proceso bajo control, es 99,9957
- La desviación típica estimada, del proceso bajo control, es 0,482383

Por lo tanto podemos obtener la capacidad del proceso, cuando está bajo control, ya que se define por 6σ :

$$6 * \hat{\sigma} = 6 * 0,482383 = 2,894298$$

6.3.2 ÍNDICES DE CAPACIDAD DEL PROCESO

Como ya sabemos, estos índices nos permiten analizar la variabilidad del proceso en relación con las especificaciones o requisitos establecidos.

Ya sabemos que la capacidad del proceso 6σ corresponde a una medida de la dispersión natural de la variable calidad del producto. Bajo una situación de normalidad, el intervalo $\mu \pm 3\sigma$ recoge el 99,7% de la población, por lo tanto bajo normalidad, la capacidad del proceso, sí es una medida representativa. Sin embargo no dice nada de si la calidad se adapta o no a las especificaciones.

Dicha especificación se define a través de un Intervalo de Tolerancia (IT) ($\mu \pm$ Error permitido). Su notación como describimos anteriormente es:

- LSE: Límite superior de especificación
- LIE: Límite inferior de especificación

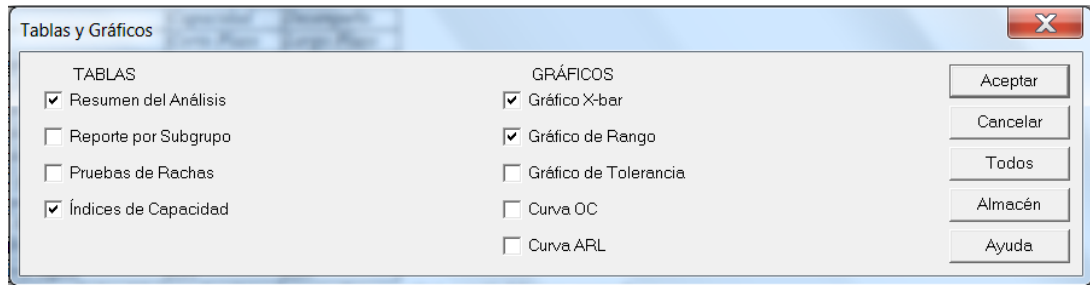
Los índices de capacidad más habituales son:

| Índice | Notación | Fórmula | Significado |
|--------------------------------|----------|--|---|
| Índice de capacidad | C_p | $\frac{IT}{6\hat{\sigma}}$ | Compara el IT con la capacidad natural del proceso. Si $C_p > 1$ el proceso es capaz |
| Índice de capacidad unilateral | C_{pk} | $\min \left[\frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right]$ | Se utiliza cuando el proceso no está centrado. |


Antes de comenzar a calcular con el programa *Statgraphics*, que nos los dará automáticamente, se deben suponer unos requisitos o especificaciones del nivel de llenado de las botellas. Supongamos que los límites son:

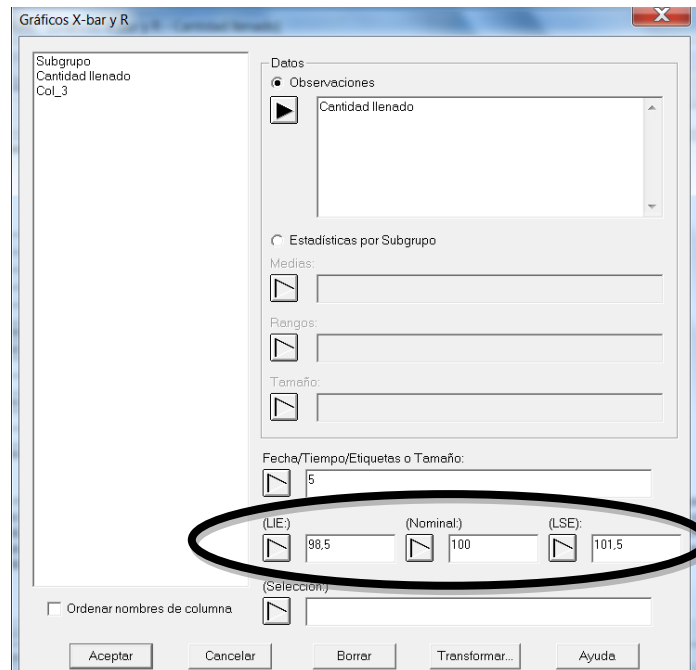
- Superior: 101,5 ml
- Inferior: 98,5 ml

Comenzamos abriendo la ventana de *Tablas y Gráficos*.



En esta ventana a diferencia de la vez anterior seleccionamos la opción en la columna de la izquierda de *Índices de Capacidad*.

Una vez aceptado, en la nueva pantalla que nos aparezca, clickaremos sobre el símbolo , el cual nos aparecerá en la barra de opciones. Tras esto nos saldrá en pantalla la ventana de *Gráficos X-bar y R*.



En ella introduciremos los requisitos especificados para el llenado de botellas en la zona indicada. En el LIE introducimos 98,5, en el nominal 100 y por último en el LSE 101,5. Aceptamos y saldrá en pantalla una tabla con:

Índices de Capacidad para Cantidad llenado

Especificaciones

LSE = 101,5

Nom = 100,0

LIE = 98,5

| | <i>Capacidad</i> | <i>Desempeño</i> |
|-------------------|--------------------|--------------------|
| | <i>Corto Plazo</i> | <i>Largo Plazo</i> |
| Sigma | 0,482383 | 0,495348 |
| Cp/Pp | 1,03652 | 1,00939 |
| Cpk/Ppk | 1,03354 | 1,00648 |
| % fuera de specs. | 0,187455 | 0,246142 |

En esta tabla, aparecen en primer lugar la desviación típica estimada tanto a corto como a largo plazo. Después aparecen los índices que buscábamos, el de capacidad y el de capacidad unilateral, de nuevo a corto y largo plazo. Y por último a modo de dato, hemos obtenido el porcentaje de muestras que se encuentran fuera de las especificaciones que en ningún caso llega al 0,25%.

Como conclusión propia y del programa, se puede decir que es un proceso capaz ya que el C_p es mayor que 1 y además aunque pequeña diferencia entre el C_p y el C_{pk} , estaríamos ante un proceso descentrado.

6.3.3 CONTROL EN LÍNEA

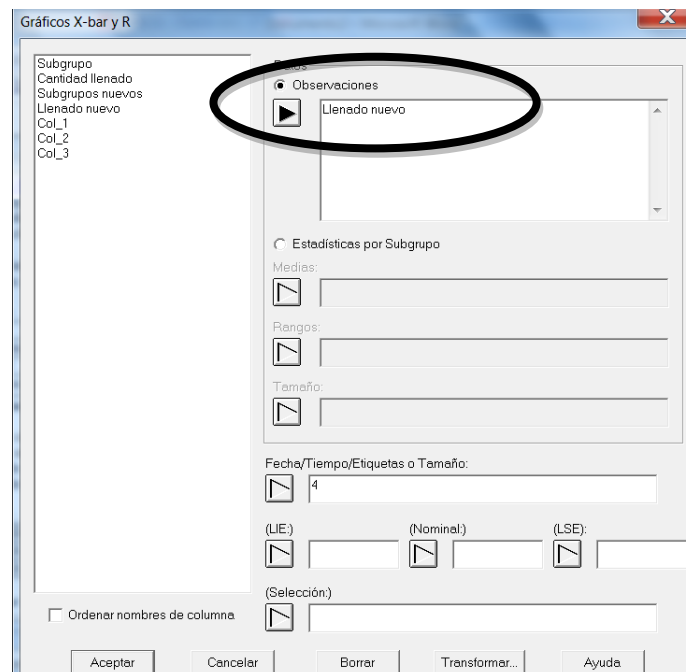
Con el objetivo de manter un control sobre el proceso de llenado y de esta manera encontrar rápidamente la presencia de causas asignables en el proceso, decidimos establecer un control estadístico del proceso. Para lograrlo tomamos una muestra de tamaño 4 cada 20 minutos y representamos los gráficos de control de medias y rangos.

Ante la ausencia de datos como en el estudio inicial, estimamos de la misma manera los datos. Esta vez estimamos 200 datos, para obtener 50 muestras de 4 botellas cada una. El número de subgrupo aparecerá en la columna "Subgrupos nuevos" y los datos, estimados mediante una distribución normal de media 100 y desviación típica de 0,5, aparecerán en la columna "Llenado nuevo". Este es el resultado.

CONTROL DE CALIDAD EN LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

| Subgrupos nuevos | Llenado nuevo |
|------------------|---------------|
| 1 | 100,023859162 |
| 1 | 100,176832297 |
| 1 | 99,5749907364 |
| 1 | 100,290240949 |
| 2 | 99,9282974935 |
| 2 | 100,091224534 |
| 2 | 100,455050543 |
| 2 | 100,371744419 |
| 3 | 99,2220064876 |
| 3 | 99,8121874205 |
| 3 | 99,4559175835 |
| 3 | 99,6167065734 |
| 4 | 101,141326984 |
| 4 | 99,5029972808 |
| 4 | 99,8499022333 |
| 4 | 99,8557274068 |
| 5 | 100,693459169 |
| 5 | 100,21978963 |
| 5 | 99,9117301057 |
| 5 | 100,074672352 |
| 6 | 99,4691030673 |
| 6 | 100,690902622 |
| 6 | 100,034783315 |

Una vez que ya tenemos los datos estimados en sus respectivas columnas, en el menú seleccionamos al igual que antes: *CEP/Gráficos de control/Gráficos por variables/X-bar y R*.



Esta vez rellenamos con la columna “Llenado nuevo”, el lugar señalado por la elipse y en el espacio de *Fecha/Tiempo/Etiquetas* o *Tamaño* introducimos el número 4 debido a que esta vez cada muestra, esta formada por 4 botellas.

Tras aceptar el paso anterior, aparece la tabla de *Opciones de Gráficos X-bar y R*. Esta vez no seleccionamos *Estudio Inicial* sino *Control a Estándar*.

Opciones de Gráficos X-bar y R

Tipo de Estudio

Estudio Inicial

Control a Estándar

Normalizar

Tam. Promedio de Subgrupo

Usar Formato de Zona

Recalcular en: [] [] [] []

Límites de Control para X-bar

Superior: 3.0 Sigma

Inferior: -3.0 Sigma

Límites de Control para Rango

Superior: 3.0 Sigma

Inferior: -3.0 Sigma

Control a Estándar

Especificar Parámetros

Media: 99,9957

Desv. Est.: 0,482383

Especificar Límites de Control

Gráfico X-bar

Superior: []

Línea Central: []

Inferior: []

Gráfico de Rangos

Superior: []

Línea Central: []

Inferior: []

Aceptar Cancelar Excluir... Transformar... Ayuda

Al seleccionar *Control a Estándar*, en la columna derecha seleccionamos *Especificar Parámetros* e insertamos los valores de los parámetros del proceso bajo control que hemos obtenido al final del estudio inicial:

Media estimada = 99,9957

Desviación típica estimada = 0,482383

Una vez introducidos estos datos y haber aceptado, aparecerán en pantalla, los gráficos de control de Medias y de Rangos.

Gráfico X-bar para Llenado nuevo

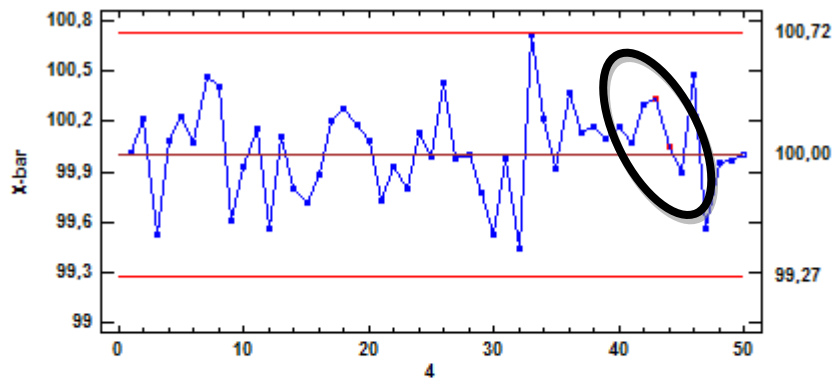
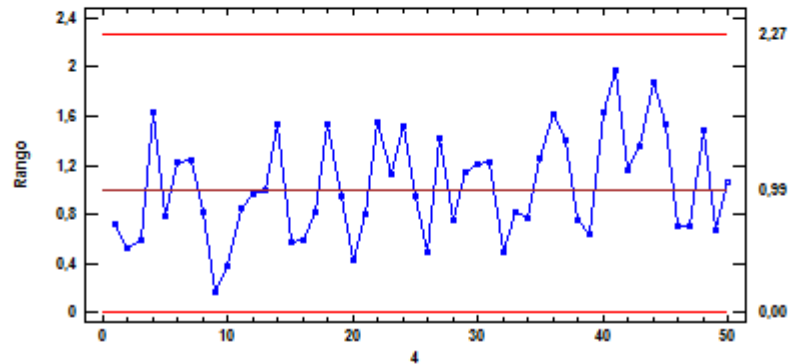
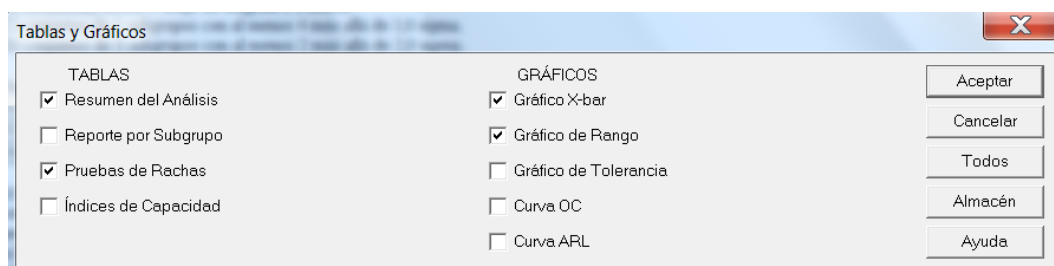


Gráfico de Rangos para Llenado nuevo



Observamos que no hay ningún punto fuera de los límites de control, pero existen dos puntos que nos avisan que el proceso está fuera de control. Son comportamientos poco aleatorios, que en nuestro caso son las muestras 43 y 44.

Para obtener la razón de porque estas muestras se encuentran en situación de fuera de control, en la ventana de *Tablas y Gráficos*, en las opciones de la columna de la izquierda seleccionamos la opción *Pruebas de Rachas*.



Y obtenemos:

Pruebas de Rachas

Reglas

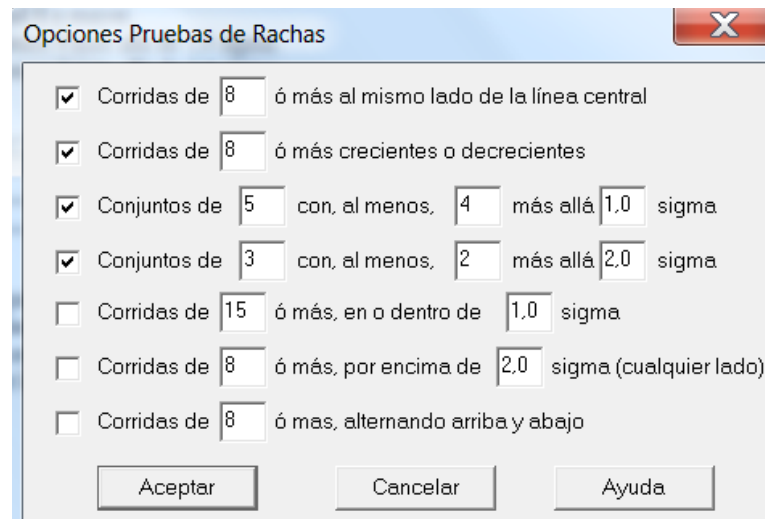
- (A) secuencias arriba o abajo de la línea central con longitud 8 o mayor.
- (B) secuencias arriba o abajo de longitud 8 o mayor.
- (C) conjuntos de 5 subgrupos con al menos 4 más allá de 1,0 sigma.
- (D) conjuntos de 3 subgrupos con al menos 2 más allá de 2,0 sigma.

Violaciones

| Subgrupo | Gráfico <i>X-bar</i> | Gráfico de Rangos |
|----------|----------------------|-------------------|
| 43,0 | A | |
| 44,0 | A | |

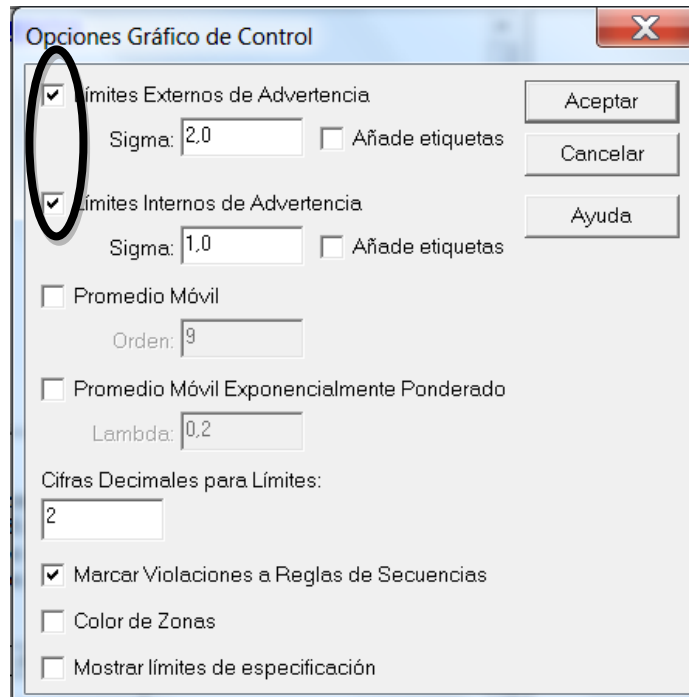
Donde aparece la regla que se ha aplicado a cada uno de los dos puntos que se encuentran en situación de fuera de control. Nuestras muestras 43 y 44 por lo tanto son la octava y novena muestra de un conjunto que supera la línea central de manera consecutiva.

Si pretendemos cambiar esas reglas, se puede hacer desde la ventana que se selecciona clickando el botón derecho *Opciones de Ventana*. Aparece la siguiente pantalla, en la cual se pueden modificar los test de aleatoriedad o de rachas a nuestro antojo.



Nosotros decidimos dejarlo igual para no alterar el ejercicio.

También se puede ver gráficamente el incumplimiento de las distintas reglas en los gráficos de control si dibujamos no solo las líneas de 3σ , sino también las de 1 y 2 sigma. Sobre el gráfico, clickamos el botón derecho del ratón y pulsamos *Opciones de Ventana*. Aparecerá la siguiente pantalla.



Seleccionamos las dos opciones de los límites de 1σ y 2σ y nos aparecerán en pantalla los gráficos de control definitivos.

CAPÍTULO 6: PRÁCTICA CONTROL DE CALIDAD
CONTROL DE CALIDAD SOBRE EL LLENADO DE ENVASES

Gráfico X-bar para Llenado nuevo

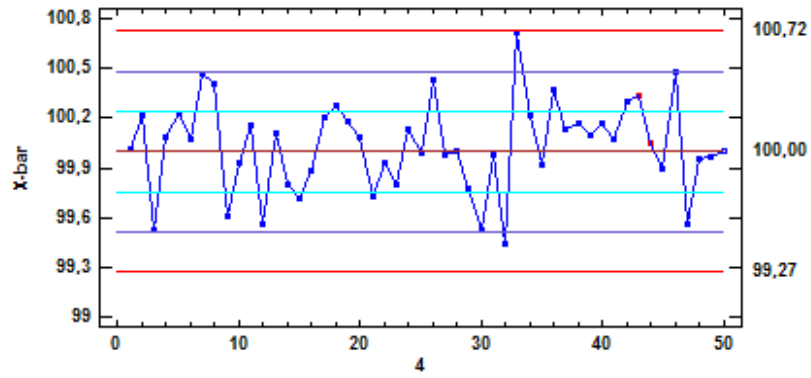
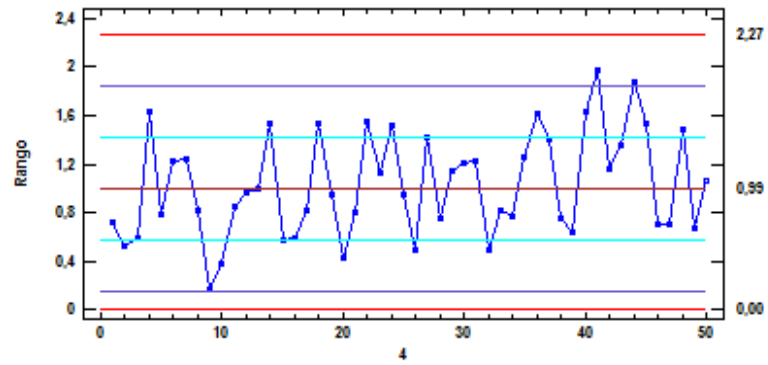


Gráfico de Rangos para Llenado nuevo



CAPÍTULO 7

DISEÑO DE LA GARANTÍA DE

LA CALIDAD

7. DISEÑO DE LA GARANTÍA DE CALIDAD

INGENIERÍA DE CALIDAD

Si buscamos en el diccionario la definición de ingeniería encontramos que es el *arte o ciencia de la aplicación práctica de la ciencia pura*. Si consideramos que las ciencias puras son la teoría y principios de la economía, probabilidades y estadística, además de la química, biología y la física; la Ingeniería de Garantía de Calidad se definiría como la aplicación conjunta de estas ciencias para obtener tanto la garantía como el control de la calidad.

A La persona encargada del diseño de los planes, los procedimientos y los métodos adecuados para lograr la garantía de calidad que se desea, se le llama ingeniero de garantía de calidad o también ingeniero de control de calidad. Dicha persona puede tener el título de ingeniero o no, pero si realiza las funciones citadas, recibirá dicho nombre.

Cualquier función que consista en evaluar o planificar, estaría dentro de la competencia del ingeniero de calidad. Todo esto significa que, fuera de sus competencias caen la obtención rutinaria de datos y la realización física de las medidas y pruebas. Además las actividades de gerencia con respecto a la calidad también estarían fuera de sus competencias.

Por lo tanto existen dos funciones principales del ingeniero de calidad, divididas en diversas subfunciones:

1. Planificación para lograr calidad y fiabilidad.
2. Evaluación de diversos factores.

La palabra *fiabilidad* se utiliza para dar definición a la calidad de funcionamiento o de resultados obtenidos por cierto producto, durante un periodo de tiempo concreto, diferenciándola así de la calidad de concordancia, durante y el transcurso de la producción y a posteriori.

Ahora pasaremos al estudio detallado de las dos principales funciones del ingeniero de calidad así como de sus subfunciones.

PLANIFICACIÓN DE CALIDAD Y FIABILIDAD

El control de la calidad comienza con el proyecto del producto. Las innovaciones se suceden paso a paso a través de cambios de dicho proyecto. Todo comienza en la etapa piloto en la cual se desarrolla un nuevo proyecto y

se prueba; tras esto, se lanza al mercado para su consumo, después se modifica por razones de coste, funcionamiento, aspecto externo y otras razones que puedan afectar a su consumo.

El ingeniero de calidad es de gran utilidad durante esta etapa. La posesión de gran cantidad de información por parte de dicha figura, permite al ingeniero de proyecto un mejor trabajo de ingeniería de proyecto.

Esta gran cantidad de información se podría resumir en el acceso que tiene el ingeniero de calidad a datos históricos de calidad de proveedores y departamentos dentro de la propia empresa, que indican las eficiencias y deficiencias que no son necesarias ni económicas. A todo, esto hay que añadir su conocimiento en trabajos mal realizados y que se han vuelto a repetir además de quejas de obra. Como controla el presupuesto para la garantía de la calidad del producto, puede relacionar el dinero gastado en calidad con el necesario para obtenerla. Si en algún momento el costo destinado a obtener la calidad se eleva a porcentajes elevados con relación al costo total del producto, es recomendable el consultar al ingeniero de calidad durante la etapa de nuevo proyecto, ya que él puede aconsejar sobre las herramientas que se podrían usar para garantizar la calidad de este nuevo proyecto, además de cuándo deben utilizarse.

ENCUESTA DE CALIDAD PREVIA A LA ADJUDICACIÓN

Otro papel importante que puede desempeñar el ingeniero de calidad antes de iniciar la producción de un artículo determinado, es el de realizar encuestas de las instalaciones productivas de los ofertantes previas a la adjudicación. Un estudio de los medios de producción de tales ofertas, nos dará una información muy importante sobre las posibilidades de qué se pueda fabricar un producto de calidad.

Hay veces que dichas encuestas no son necesarias, debido a que el ofertante es un antiguo proveedor del cual sabemos que sus estándares de calidad son correctos y adecuados para el producto. En este caso, si se cree conveniente realizar la encuesta, se proporcionará una hoja de comprobación de encuesta de calidad preadjudicación, que puede valer para valorar la eficiencia en términos de calidad de la empresa. Esta hoja sigue un método de evaluación con clasificaciones de los factores que influyen en la calidad y ahora citamos:

1. *Previsiones sobre adquisición y mantenimiento de herramientas, calibres y equipo de pruebas.* Como es sabido, con el paso del tiempo, dicho equipo se va desgastando y deteriorando, por lo que el ofertante debe garantizar la presencia de una cantidad de recursos necesarios para mantener un sistema idóneo de control de herramientas y calibres. Se

realizará un plan de inspecciones continuo para comprobar su aptitud a la hora de fabricar productos de calidad.

2. *Previsiones para el control de materiales y componentes subcontratados.* Es lógico pensar que la calidad de los materiales y componentes, determinará la del producto final, por eso se realizan diversas preguntas en este apartado como: ¿Evalúa nuestro ofertante en un momento anterior a la compra la calidad de los productos que recibe de sus subcontratistas? ¿Clasifica de algún modo a sus proveedores? ¿Existen cláusulas sobre el cumplimiento de la calidad? ¿Qué política sigue sobre materiales defectuosos?

3. *Normas y procedimientos de garantía de calidad.* Si se pretende tener un programa efectivo de calidad, se necesita contar con normas y procedimientos previamente definidos. ¿Se clasifican las características de calidad del producto de acuerdo con su importancia? ¿Existen normas escritas de cómo deben inspeccionarse las características que definen la calidad?

4. *Controles de calidad durante el proceso.* ¿Se realizan los controles adecuados? ¿Se utilizan los distintos controles de calidad por muestreo del proceso? ¿Se conocen y se observan las capacidades de los procesos?

5. *Conservación de datos e informes sobre calidad.* Los datos sobre pruebas e inspecciones de calidad, son buenos indicadores de dicho control aunque no concluyen que dicha calidad se halle totalmente controlada. Un sistema a pleno rendimiento con evaluaciones al 100 por 100 y pruebas realizadas al azar es preferible a la posibilidad de que un proveedor simplemente aparente estar de acuerdo con nuestros requisitos de calidad mediante diseño de procesos o gráficos atractivos de datos que no tienen ningún significado real, que ciertos encuestadores demasiado crédulos, darían por válido. Sin embargo, es necesario recibir informes sobre calidad. Estos informes sobre la calidad serán comunicados a la gerencia general, para que conozcan la situación de la calidad.

6. *Control de modificaciones en planos y especificaciones.* Produce grandes efectos sobre la calidad del producto, aunque el control de los cambios sobre los planos y especificaciones, no sea una de las responsabilidades de la organización que dirige la calidad. El sistema de control de cambios debe proporcionar medios eficientes para borrar la información que ya no tiene uso de planos y especificaciones.

7. *Control de procesos especiales y de ensayos no destructivos.* Si se produce el subcontrato, la única forma de evaluar la calidad del producto final, mediante ensayos normalmente caros y no destructivos. Como ejemplo principal de estos ensayos se podría señalar el análisis radiológico.

8. *Control de materiales por debajo del estándar.* Resulta totalmente necesario el tener un programa de control de los materiales que no se ajustan a la norma, para garantizar la calidad. Dicho programa debe disponer de los medios que garanticen que no se produzca por debajo del estándar pactado, resaltando ciertos pasos que se han de darse para producir acciones correctoras.

9. *Situación de aceptabilidad.* Todos los materiales que hayan sido inspeccionados, deberán ser identificados de acuerdo a sus situaciones. Dicha identificación se realizará tanto en unidades como en lotes, cuya unidad se tiene que mantener mientras se pueda y habrá que rechazar los materiales rechazados de los que han sido validados.

10. *Control de preservación, embalajes y procesos de embalaje.* Un embalaje mal realizado, puede causar graves daños a un producto e incluso deteriorarlo hasta un punto que dicho producto resulte inútil o por debajo de su estándar. Para evitar todo esto debemos realizar un control exhaustivo sobre los materiales utilizados para el embalaje, los elementos de limpieza, conservantes además de sobre la propia acción de embalaje, identificación y marketing.

En resumen, todos los atributos que busca el ingeniero responsable de la calidad mediante las encuestas, son los que busca con gran esfuerzo en su propio sistema de control de calidad.

OTRAS RESPONSABILIDADES DE PLANIFICACIÓN

A parte de todas las funciones del ingeniero de calidad que hemos visto anteriormente, hay que añadir diversas funciones como la instauración de métodos de control de la calidad en la inspección de entrada, durante varios puntos del proceso de fabricación, en la inspección de productos terminados y en el momento del envío. Mediante los controles, se trata de supervisar las características críticas de calidad y las clasifica de acuerdo con la gravedad de un defecto. También es responsabilidad del ingeniero de calidad la elaboración de manuales que garanticen la calidad.

Se encarga también de especificar los equipos de inspección que se usarán para la evaluación de la calidad durante todas las etapas de la fabricación y cuando el producto está finalizado. Se puede encargar de la

elaboración de métodos de prueba que sean nuevos y mejorados. Garantiza mediante programas de supervisión el correcto funcionamiento de los equipos de inspección y comprueba que estén bien calibrados.

Bajo su responsabilidad está la realización de estudios sobre la calidad, como encuestas, análisis de capacidad de procesos o verificaciones. Debe hacer estudios económicos sobre los costes de calidad con la idea de poner un coste mínimo total. Para resumir se podría decir que actúa como ingeniero director del departamento de control de calidad.

Para que el programa de garantía o control de la calidad sea efectivo hay que desarrollar un programa de educación sobre la calidad que complazca las necesidades de cada nivel de trabajadores. En dicho programa se debe mostrar el tipo de formación la cantidad de conocimientos y se deberá actualizar constantemente. Esta sería otra de las competencias del ingeniero que se encarga de la calidad.

EVALUCIÓN DE CALIDAD Y FIABILIDAD

La mayoría de las veces el ingeniero responsable de la calidad deberá evaluar los resultados de las medidas finalizadas en la fase de la planificación. Tras esto comparará los resultados de calidad de los proveedores a través de una escala estándar, para así obtener a los proveedores que con mucha probabilidad suministrarán materiales y productos de calidad. Los estudios especializados de calidad, que son sobre capacidad de procesos, tolerancias, costos, etc., requieren de conocimientos especializados en análisis e interpretación de datos.

ENCUESTA DE CALIDAD

El término “garantía de calidad” lo utilizó por primera vez Bell Telephone Laboratories. Esta empresa (BTL) creyó que la encuesta de calidad era el elemento más importante de la calidad. La encuesta de calidad de BTL era especial ya que usaba un equipo encargado de elaborar un estudio completo e informar sobre el estado de la calidad. La primera vez que se usó con éxito en el desarrollo de un programa de control de calidad para el misil Nike. Los resultados fueron muy complacientes y hoy en día los resultados obtenidos los practica el Ministerio de Defensa.

Según BTL:

“La encuesta de Calidad incluye un repaso crítico y total de todos los elementos que puedan influir en la calidad del producto, desde el proyecto hasta la producción y posterior uso. Tiene por objetivo revelar cualquier situación que pueda influir de modo negativo a la calidad y empezar el proceso adecuado para eliminar dicha circunstancia”.

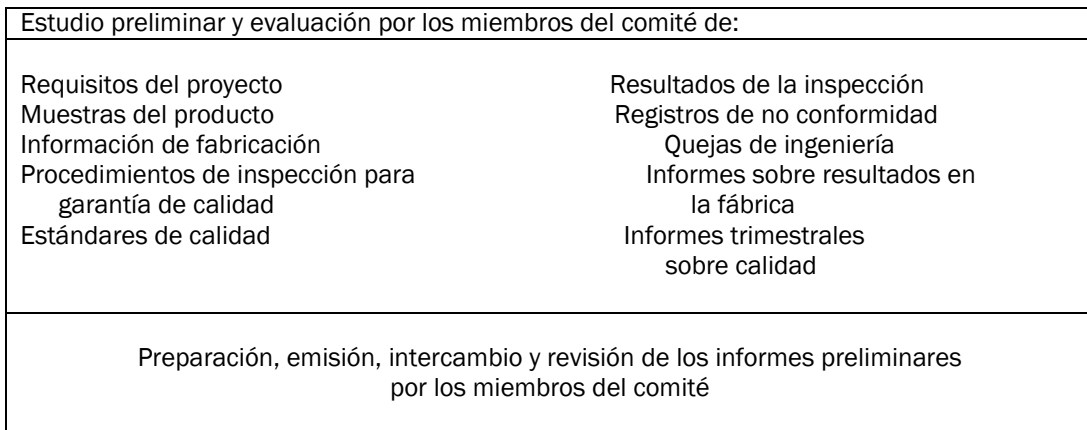
Ahora toca citar de forma escueta la aportación del ingeniero responsable de calidad:

1. *Examen detallado de los requisitos del proyecto.*
2. *Examen de muestras del producto.*
3. *Comparación del diseño con la información de fabricación.*
4. *Revisión de procedimientos de inspección.*
5. *Revisión de los resultados de la inspección.*
6. *Revisar los resultados en la propia fábrica.*
7. *Examen de los procedimientos reales de producción.*
8. *Informe de la encuesta de calidad.*

Cualquier negocio interesado en la calidad de sus productos puede realizar dicha encuesta por medio de un equipo. Por el contrario una pequeña empresa, quizás solo pueda dedicar parte del tiempo de tres personas o incluso de una a estos proyectos. Pese a todo esto, los procedimientos y los principios se dan con independencia del talento o tiempo que se le dedique. Más aun, la empresa tiene en el comité de encuesta una organización flexible y que es capaz de crear beneficios y ventajas que si usaran otras empresas, serían imposibles de obtener; por ejemplo, una verificación continua por parte de las personas que conocen el proyecto, las necesidades de producción y las de garantía de calidad

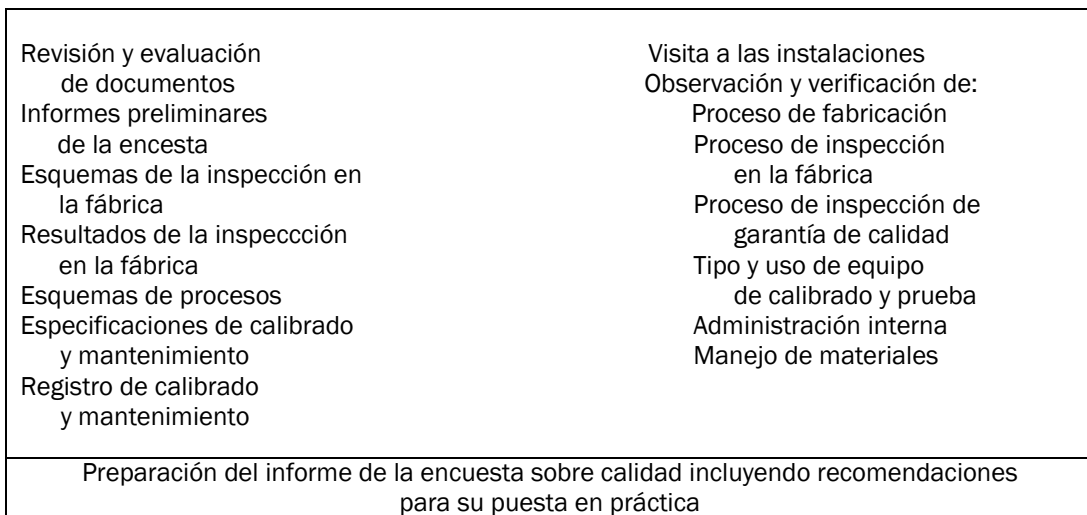
La imagen que viene a continuación, describe el proceso para realizar una encuesta de calidad, a través de un diagrama de fabricación.

PREPARACIÓN



CONFERENCIA SOBRE LA ENCUESTA

(en las instalaciones de fabricación)



IMPLEMENTACIÓN DE RECOMENDACIONES

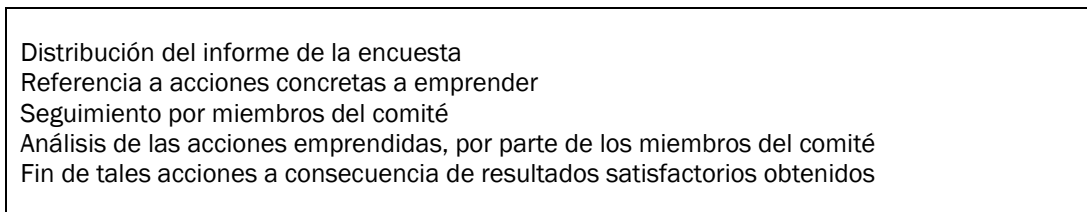


Diagrama de procedimiento para encuesta de calidad (Tomado de E. G. D. Paterson: <<The Role of Quality Assurance in Product Reliability>>, *Industrial Quality Control*)

ELEMENTOS DE UN PROGRAMA DE CONTROL DE HERRAMIENTAS, CALIBRADORES Y EQUIPO DE PRUEBAS

La calidad es obvio que depende de muchos factores, pero en gran medida de la exactitud y fiabilidad de las herramientas, calibradores y de los diversos equipos de prueba usados en la fabricación, inspección y operaciones de prueba. Además de ser los medios físicos para obtener una producción en masa, las herramientas y los calibradores, hacen más fácil la fabricación, inspección y prueba de componentes hasta conseguir el nivel que se exige de uniformidad. Solo si los calibradores y aparatos están bien diseñados y su uso es el adecuado y se controlan asiduamente con el tiempo, se puede garantizar uniformidad duradera e intercambiabilidad dentro de los requisitos establecidos. Debido al deterioro que sufren estos equipos, deben ser revisados en periodos determinados para garantizar su precisión. Todas estas pruebas realizadas deben estar registradas para garantizar que se lleve un correcto control.

Se definen *herramientas y calibradores* de la siguiente forma:

Calibradores y equipo de pruebas: Instrumentos de medición y calibrado, calibres maestros, plantillas, contadores, y todos los aparatos mecánicos, ópticos, eléctricos y electrónicos utilizados para determinar que una parte, componente o conjunto es conforme con los requisitos especificados.

Herramientas: Plantillas, accesorios y otros aparatos utilizados en los procesos de fabricación para garantizar la uniformidad y la posibilidad de intercambio tanto del producto final como de sus componentes.

Herramientas utilizadas como medio para la inspección: Aparatos utilizados en fabricación, proyectos y contruados de forma que establezcan y controlen las características dimensionales del producto sin beneficio de inspección de las partes.

Para seleccionar que calibres y herramientas serán necesitados, se deberá analizar tanto el producto, como los procesos de fabricación, inspección y prueba por los cuales las distintas partes del producto fluyen. Para ello:

1. Revisión de los documentos que dirigen las necesidades establecidas por el departamento de ingeniería para, a posteriori, seleccionar el tipo, la cantidad y las características funcionales de control de las partes y conjuntos.

2. Se deben examinar todas las fases de la técnica instrumental, en la cual se debe incluir la planificación, el procesado, la secuencia operativa y el procedimiento de fabricación, con el objetivo puesto en seleccionar la cantidad de control que se necesita y las clases de herramientas y calibres precisos. Desde este mismo momento el ingeniero responsable del control de calidad, debe conservar una vigilancia periódica y continua para lograr los objetivos.

La identificación de las herramientas y calibres es primordial para lograr un plan de control apto, por ello dicho programa debe mostrar información necesaria como:

- Nombre del equipo
- Tipo
- Tamaño
- Inspección inicial aprobada
- Últimos cambios técnicos

Todos estos datos son básicos para enviar a los aparatos apropiados para trabajos de maquinaria, proyectar el calendario periódico de nuevos controles y clasificación de estos aparatos.

Para controlar la uniformidad en la producción de las herramientas y que los calibres manejan las propiedades dimensionales y funcionales del producto, se necesita probar su aptitud para satisfacer las necesidades. Tanto las herramientas modificadas como las nuevas, han de ser evaluadas con relación al diseño técnico del componente, previamente a que se proceda a usarlas en el trabajo.

Para tratar de mantener en buen estado de tales herramientas y asegurar componentes gratos y funcionamiento correcto, los equipos se deberán examinar periódicamente, para localizar problemas, comportamientos erróneos holguras o cualquier otro defecto visible.

Los elementos fabricados por contratistas, afectan de igual modo a la calidad y por eso, la empresa firma contratos en los que exige que contengan sistemas de control adecuados sobre herramientas y calibres.

Es improbable o casi imposible que un sistema efectivo de control de herramientas y calibres exista sin el correspondiente control de precisión sobre los estándares básicos.

Como se ha citado antes, ha de existir un sistema de inspección y calibrado periódico. Esta frecuencia depende en gran parte de los requisitos sobre la precisión, las dimensiones críticas y características de

intercambiabilidad de los elementos fabricados y grado de uso de cada una de las herramientas o calibres.

Se garantiza que los aparatos y unidades calibradas están en dentro de los límites especificados y que no existe peligro ni problemas en la precisión y requisitos del producto, mediante la adhesión del grupo de control de calidad a una política de uso de herramientas que intuya el cambio o arreglo de aquellas antes de que sufran desgaste o cambios que hagan que se superen los límites determinados para el producto.

Esta política que se acaba de explicar, que es la correcta para calibres de inspección de tipo fijo, no está en contra de un grado razonable de desgaste de los aparatos siempre y cuando se tomen medidas que lo acepten al hacer los proyectos. Esto se logra, permitiendo que un porcentaje pequeño de las tolerancias del producto sea tomado y transmitido en forma de metal al calibre. El ejemplo más ilustrativo sería:

Si un orificio de un producto mide 0,500 pulgadas y tiene una tolerancia mayor de 0,002 pulgadas menos 0,000 pulgadas. Se coge el diez por ciento del total de la tolerancia (0,0002) y se aplican a las 0,500 pulgadas, que es la dimensión básica del calibre, transformándola ahora en 0,5002 pulgadas, (0,0002 de margen de desgaste).

Otro factor que se podría añadir y que no se considera una desviación de la política anterior sería el de establecer un sistema de control tratando de vigilar el desgaste de los calibres en un punto que se sitúa detrás del extremo de entrada, más o menos igual al 25% de la longitud total del calibre. Con esto, si en dicho punto del calibre, además de en el resto del mismo, están dentro de la tolerancia, la variación entre ese punto y el extremo de entrada no debería afectar al correcto control dimensional del producto finalizado.

Si se quiere tener un sistema de control de calidad eficaz, además de los registros de inspección dimensional se necesitarán otros registros o pruebas del cumplimiento de la precisión continuada de los equipos. A parte de indicarnos que se está haciendo un control correcto, sirven de ayuda para bajar el coste de inspección de herramientas y calibres, para estimar las expectativas de vida útil, y precaver la necesidad de repararlos. El registro de calibres debería añadir la información que se cita a continuación:

1. Nombre del lugar donde se hizo la aceptación inicial y el lugar donde se ubica.
2. Número que identifica al calibre.
3. Número de retirada del calibre y fecha revisión.
4. Nombre del producto al que debe aplicarse el calibre.

5. Número y fecha del esquema que muestra el producto.
6. Cualquier letra, número o símbolo que identifique un componente, que esté en el esquema del producto, al que se fije a su precio de coste.
7. Valor del calibre a su precio de coste.
8. El tipo de calibres.
9. La función del calibre.
10. Dimensiones que debe verificar el calibre, tal como se muestran en el esquema del producto.
11. Dimensiones del calibre establecidas por el inspector de los mismos.
12. Información necesaria sobre el lugar de almacenaje de calibres.
13. Nombre del inspector de calibres y la fecha en la cual se inspeccionó dicho calibre.
14. Cualquier otra observación que se estime como necesaria.

En el caso de que la revisión de materiales, las inspecciones o cualquier prueba reflejara defectos en el producto, que se pudiesen asignar a herramientas o calibres defectuosos, se debería añadir normas o acciones correctoras al sistema de control de herramientas y calibres.

Como se tiene el objetivo de mantener la precisión de las herramientas o calibres, se debe realizar un transporte y un manejo adecuado para no poner en peligro sus propiedades dimensionales o funcionales. Existen ciertos procedimientos que se deben seguir:

1. Manejo adecuado cuando van y vienen de la zona de almacenaje correspondiente y durante el tiempo en el que se estén utilizando.
2. No deben entrar en contacto con sustancias extrañas ni entre sí.
3. En el caso de que se produzca un almacenaje indefinido, se debe dar a herramientas y calibres un tratamiento adecuado que logre prevenir su oxidación.

CAPÍTULO 8

CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y

ECONOMÍA

8. CALIDAD, PRODUCTIVIDAD Y ECONOMÍA

Vamos a comenzar este apartado con una definición muy importante, la *productividad*. Los economistas la definen como la relación entre la cantidad de bienes y recursos producidos (salidas) y la cantidad de los recursos que han sido utilizados (insumos).

$$Productividad = \frac{salidas}{insumos}$$

Dentro de los insumos o entradas entrarían:

- Mano de obra
- Materia prima
- Maquinaria
- Energía
- Capital
- Etc.

Y dentro de las salidas estarían todos los productos acabados.

En las máquinas, la productividad viene dada por sus características técnicas, algo que no ocurre en los recursos humanos.

Existe una similitud entre el concepto de *productividad* y el concepto ingenieril de *eficiencia*. La calidad, está estrechamente relacionada con la productividad. Solo se puede conseguir un aumento en la productividad, si se produce una mejora en la calidad, es decir, tienen una relación interdependiente.

Un ejemplo claro e ilustrativo de la importancia de aumentar la calidad es la irrupción de Japón como potencia industrial. Entre el periodo de 1966 y 1980, Japón logró un excepcional aumento de su productividad, lo que unido al estancamiento de la de Estados Unidos, supuso que Japón obtuviese una posición competitiva en los mercados de todo el mundo, que incluía desde productos manufacturados de alta tecnología, hasta otros de corte más conservador como son los automóviles, aceros y astilleros.

El auge japonés, hizo que Estados Unidos y demás potencias en los mercados internacionales, reconocieran con cierto retraso que el incremento de la productividad y la mejora de la calidad para asegurar la supervivencia en los mercados mundiales cada vez más competitivos. Para combatir el desafío japonés, los norteamericanos se centraron en aprender y adoptar las

innovaciones más importantes en materia de dirección y en concentrar los esfuerzos en los objetivos gemelos de aumento de la productividad y la mejora de la calidad.

8.1 COSTES DE CALIDAD

Para el correcto funcionamiento de cualquier empresa, es necesario un control sobre todos los costes de todas las funciones que realiza: marketing, diseño fabricación, personal....

Dentro de estos costes a vigilar, están los costes de calidad. Se definen como todo lo que le cuesta a la empresa llevar a cabo la función de calidad. Explicándolo de otra forma, sería todo lo que se gasta en producir y fabricar con calidad, es decir, en prevenir los fallos, identificarlos, inspeccionarlos y también lo que cuestan estos fallos que se han producido.

TIPOS DE COSTES

Desde los años 60 se viene utilizando una clasificación de los costes de calidad que es:

- Costes de prevención
- Costes de estimación o evaluación
- Costes de fallos

Costes de prevención

Son los costes de las actividades que tienen por objetivo principal, evitar la mala calidad en productos o servicios, en otras palabras, son los que sirven para tratar de evitar cometer errores, que desde un punto de vista financiero, se podría considerar una inversión a futuro para evitar costes. Dentro de estos costes están:

- Revisión de nuevos productos
- Planificación de la calidad
- Proyectos de mejora de la calidad
- Formación para la calidad
- Evaluación de la calidad de los proveedores

Costes de evaluación o estimación

Son los que se cometen al medir las características de calidad para poder garantizar conformidad a las normas de calidad. Son los siguientes:

- Inspección en recepción y origen
- Inspección durante el proceso
- Inspección final
- Auditorías de calidad de producto y proceso
- Mantenimiento y calibrado de equipos

Costes de fallos

Son los que surgen debido a que ciertos productos defectuosos no satisfacen las normas de calidad establecidas. Hay dos categorías:

- *Costes de fallos internos*: Son los costes incurridos por fallos que son descubiertos antes de que el producto llegue a las manos del cliente. Dentro de estos podemos citar:
 - Desperdicios debido a fallos, reparaciones y reprocesos.
 - Reinspecciones e inspecciones % por fallos.
 - Reducciones de precio de mala calidad
- *Costes de fallos externos*: Son aquellos que se deben a fallos que han sido descubiertos una vez el producto o servicio llega a las manos del consumidor. Se pueden citar:
 - Gastos por reclamaciones
 - Reducción de precio por mala calidad
 - Gastos por garantía

Por lo tanto, el coste total de la calidad, será la suma de todos los costes anteriormente citados. Esto representa la diferencia entre el coste real de un producto o servicio y el menor que tendría si no existiera la posibilidad de ofrecer un producto inferior, ni fallos en su fabricación. En resumen, el coste total de la calidad se define como la diferencia entre el coste real de un producto o servicio y el coste si la calidad fuese óptima.

A la hora de otorgar importancia a los distintos tipos de costes de la calidad, sin duda serían los costes de los fallos, porque suministran las mayores oportunidades de reducción de costes y de eliminación de causas de insatisfacción de los clientes, que son las que hay que solucionar primero.

Los costes de evaluación serían los siguientes más importantes, sobre todo, si se consiguen eliminar las causas de los fallos, lo que supondría la reducción de la necesidad de las inspecciones.

Sin embargo, y al revés que lo que sucede con los costes de los fallos y los de evaluación, el conocimiento de los costes de prevención es interesante para mostrar al comienzo, la escasa inversión que se dedica a actividades de este tipo, y para intentar poner en conciencia de un aumento necesario de

este tipo de costes con el objetivo de lograr un importante decrecimiento de los de fallos.

Cada una de las tres categorías de costes se subdivide en otros costes más detallados, a los cuales se les llama *elementos del coste de calidad*. Estos, se definen de acuerdo a la organización de cada empresa.

Antes de comentar los distintos elementos del coste, hay que definir dos conceptos que nos pueden ayudar a comprender mejor los costes de la calidad. Esos términos son:

- Coste tangible: Es aquel que solo se puede medir y calcular a través de criterios objetivos.
- Coste intangible: Es aquel coste que raramente se puede medir y que solo se calcula mediante criterios subjetivos. Un ejemplo claro serían los costes que suponen para una empresa la pérdida de imagen debido a una mala calidad en sus productos.

8.2 ELEMENTOS DEL COSTE DE LA CALIDAD

COSTES DE PREVENCIÓN

- Marketing, cliente, usuario
 - Investigación de marketing
 - Encuestas y consultas de la percepción del cliente/usuario
 - Revisión de contratos y documentos
- Diseño y desarrollo del producto o servicio
 - Revisiones de los progresos del diseño de calidad
 - Ensayo de homologación del diseño del producto
 - Pruebas en servicio
- Costes de prevención de compras
 - Revisiones de proveedores
 - Clasificación de proveedores
 - Planificación de la calidad de los proveedores
- Costes de prevención de operaciones
 - Proceso de validación de operaciones
 - Planificación de calidad de operaciones
 - Planificación de calidad para apoyo de operaciones
 - Formación en calidad de los proveedores
- Administración de la calidad
 - Planificación del programa de calidad
 - Formación en calidad
 - Mejora de la calidad

COSTES DE EVALUACIÓN

- Costes de evaluación de compras
 - Inspecciones y ensayos de entrada
 - Homologación del producto del proveedor
- Costes de evaluación de operaciones
 - Inspecciones y ensayos de preparación
 - Medidas de control del proceso
 - Equipos de medida (inspección y ensayo)
- Costes de evaluación externos
 - Evaluaciones especiales de productos
 - Evaluación de existencias en servicios y recambios
- Revisión de los datos de ensayo de inspección

COSTES DE LOS FALLOS INTERNOS

- Costes de fallos del diseño del producto
 - Acción correctora del diseño
 - Reprocesos debidos a cambios del diseño
 - Costes de coordinación de productos
- Costes de fallos de compras
 - Costes de los materiales adquiridos y rechazados
 - Acción correctora del proveedor
 - Pérdidas de materiales incontrolados
- Costes de fallos de operaciones
 - Costes de revisión de material y acción correctora
 - Costes de repetición de inspecciones y ensayos
 - Producto final o servicio degradado

COSTES DE LOS FALLOS EXTERNOS

- Investigación de reclamaciones al cliente/usuario
- Devoluciones
- Costes de retirada
- Penalizaciones
- Pérdida de venta

8.3 COSTES INTANGIBLES DE LA CALIDAD

Aunque sean difícilmente cuantificables, puede ser que cantidades muy elevadas de este tipo de costes, supongan el cierre de algunas empresas.

Un ejemplo sencillo, pero claro, sería el de la pérdida de imagen debido a un producto defectuoso. Por ejemplo, si en una farmacéutica o empresa de alimentación se detectase y se hiciera pública alguna irregularidad en alguno de sus alimentos o fármacos.

El impacto que tiene la mala calidad de un producto sobre el cliente, está relacionado con un coste muy elevado, que no aparece en la contabilidad de la empresa, pero que afecta a la economía del cliente, ya que es el que lo sufre.

Los costes intangibles están asociados con la no conformidad del producto, lo que quiere decir que están relacionados con los costes de fallos internos y externos, que si son altos, es lógico pensar que los intangibles de la calidad también lo serán.

Existen tres tipos:

- Costes de oportunidad perdida
- Costes de insatisfacción del cliente o pérdida de imagen
- Costes por demandas judiciales

Costes de oportunidad perdida

Serían las disposiciones en las que se ha perdido la oportunidad de ganar dinero. Los ejemplos más evidentes serían, los accidentes en el trabajo, las averías de los equipos, los excesos de inventario,..., etc.

Costes de insatisfacción del cliente o pérdida de imagen

Cuando a un cliente un producto no le satisface los requisitos que espera de este, puede incurrir en costes adicionales. Podría reclamar, no volver a comprarlo o incluso la transmisión de su insatisfacción a otras personas. Se pueden agrupar en tres tipos de costes:

- *Costes soportados por el cliente:* No influyen de forma directa sobre el fabricante, pero influye en la satisfacción del cliente. Cada vez es más habitual que el consumidor los intente calcular a la hora de escoger un proveedor.

- *Costes de insatisfacción del cliente:* Se consideran imposibles de medir, aunque es lógico pensar que cuando los fallos externos son elevados, estos costes serán altos.
- *Costes de pérdida de imagen:* Reflejan una actitud negativa del consumidor o cliente hacia la gama de productos de una marca o empresa. Son aun más difíciles de medir que los anteriores.

Cualquiera de estas tres situaciones, tiene como efecto la pérdida del cliente sumado a decrecimiento de las ventas.

Costes por demandas judiciales

Si se produjese una sentencia favorable a la empresa, una causa de responsabilidad civil, tendría un fuerte impacto en costes, que no tienen nada que ver con la responsabilidad como por ejemplo, una pérdida de reputación de la empresa.

Si la sentencia es favorable al cliente, la empresa o la compañía de seguros contratada por ésta, pagaría la indemnización, cuya cantidad total sería incluida en costes de fallos externos. En este tipo de situaciones las primas de seguros contratadas, se encarecerían, lo que supondría un aumento de los costes de la empresa.

¿CÓMO UTILIZAR LOS COSTES INTANGIBLES?

A pesar de su dificultad para calcularlos, se debe tenerlos en cuenta a la hora de tomar cualquier decisión que influya a la calidad de la empresa. Por eso, cuanta más importancia se dé al cliente, más se tendrán en cuenta estos costes.

La primera solución posible y que utilizan algunas empresas, se trata de hacer una estimación de lo que supondrían los costes intangibles y compararlos con los costes de los fallos internos y externos, obteniendo su porcentaje. Nos servirá a la hora de tomar la decisión de la inversión necesaria en prevención, tratando de lograr una reducción en el coste de los fallos. Con este procedimiento también se trata de recordar que la reducción de costes a lograr es muy superior a la de los fallos, debido a que también se mejoran los costes intangibles.

El segundo procedimiento que se podría usar, es estimar el coste que le supondría al cliente nuestros fallos y después obtener el porcentaje de este coste sobre el de los fallos externos. Este porcentaje se utilizará para demostrar de alguna manera que la empresa asume que el error influye sobre el cliente, obteniendo así una forma de medir el grado de satisfacción del consumidor.

Una cosa a evitar, es esperar a que se produzcan las reclamaciones para reaccionar, sino que debe anticipar, tratando de evitar que el consumidor quede insatisfecho, porque podría darse que:

- Aunque se solucione el problema, se pierda al cliente.
- El cliente dejará de comprar dicho producto aunque quede insatisfecho y no reclame, sin habernos otorgado la opción de tomar alguna medida ni reaccionar.

POSIBILIDADES Y LÍMITES DE UN SISTEMA DE COSTE DE CALIDAD

Puede hacerse ajustado para cada organización y puede incurrir en todos los procesos y actividades, tanto auxiliares como productivas. Nunca serán resultados absolutos, ya que serán una estimación además de ser dependientes del diseño del presupuesto para su cálculo.

Es importante añadir que no se garantiza una reducción de los costes a pesar de su conocimiento, por ello debe haber un programa claro para ver las causas de los problemas. Este sistema de medición de costes aportará información acerca de los avances de los programas.

Podríamos considerar a la medición de los costes de calidad, como un indicador del éxito del trabajo elaborado en el ámbito de la calidad, pero no como una herramienta solucionadora de los problemas de calidad.

En resumen, el coste de la calidad es una herramienta muy eficiente si se trata de conseguir una mejora en la relación calidad/precio, pero esta herramienta por sí sola no soluciona nada, sino que son las medidas correctoras las que consiguen las mejoras.

VENTAJAS DE UN SISTEMA DE COSTES DE CALIDAD

- Transforma en términos económicos la importancia de los problemas, los cuales forman el lenguaje que mejor enumera los inconvenientes que se producen, además de ser el medio de comunicación más importante entre la alta dirección y los departamentos técnicos.
- Llama la atención de la dirección sobre los problemas existentes en la calidad, que pasan de ser un aspecto abstracto, a transformarse en una realidad económica.
- Hace que los empleados sean más conscientes de lo que supone económicamente cada error.
- Es una forma de demostrar los problemas financieros de la organización, que muchas veces fracasan debido a que el gasto excesivo en calidad queda muy escondido.

- Refuerza la acción de reducir costes, a través de la identificación de las oportunidades de mejora más importantes. Gracias a la cuantificación económica de las áreas problemáticas, se encuentran los departamentos con más pérdidas para la organización, es decir, los que necesitarán una inmediata acción correctora, que a su vez suponga un máximo rendimiento del esfuerzo de mejora.
- Mide el impacto de las acciones correctoras y todos los cambios producidos en busca de una mejora.
- Se amplía el control presupuestario y de costes. Esto es debido, a que cuando se calcula el coste de calidad, el control financiero se extiende a costes que otras veces se desechan, como son los de mala calidad, que son producidos por distintos departamentos.
- Impulsa el tratar de emprender acciones de mejora, porque muestra mediante datos, las áreas problemáticas.

CAPÍTULO 9

MUESTREO DE ACEPTACIÓN

9. MUESTREO DE ACEPTACIÓN

El control de muestreo de aceptación, es el que se produce cuando se reciben materias primas, servicios administrativos o productos elaborados que van a ser introducidos en un proceso administrativo y/o de fabricación, para cerciorarse de si cumplen las especificaciones de calidad. Estas técnicas usadas, suponen un compromiso de calidad entre el comprador o usuario y el fabricante. El muestreo de aceptación, en otras palabras se podría definir de la siguiente forma:

“Es el proceso de inspección de una muestra de unidades sacadas de un lote con el objetivo de aceptar o rechazar todo el lote”

9.1 CUANDO SE PUEDE USAR EL MUESTREO DE ACEPTACIÓN

Se puede aplicar a cualquier relación que exista entre el cliente y el proveedor, tanto en el interior de una empresa o entre diferentes empresas. Se puede considerar a esta herramienta como una medida defensiva para intentar protegerse de la amenaza de la posible pérdida de calidad.

Un ejemplo típico del muestreo de aceptación podría ser:

Una empresa cualquiera recibe un lote de algún producto, que proviene de un proveedor. Dicho producto puede ser o materia prima o cualquier otro componente que utiliza esta empresa. Se escoge una muestra de ese lote y se inspeccionan una o más características relacionadas con la calidad de todos los productos seleccionados. Se obtendrá una información proveniente de la inspección, con la cual se tomará una decisión: aceptar o rechazar el lote. En el caso de aceptarlos, pasarían directamente a ser usados por la empresa, pero si no se devolverían al proveedor o por ejemplo se podría realizar una inspección del 100% del lote, pagada por el propio proveedor.

A la hora de enjuiciar un lote se tienen tres opciones:

- Cero inspección
- Inspección al 100%
- Muestreo de aceptación (inspección por muestras)

A continuación se explica cuando se produce cada una:

CERO INSPECCIÓN

Se considera apto, cuando el proceso que fabricó el lote, cumple de manera más que suficiente los requisitos de calidad que se habían pactado entre el cliente y el proveedor. También se aplica, cuando la pérdida total que es debida a las unidades defectuosas, es reducida en comparación con el coste total de muestreo.

INSPECCIÓN AL 100%

Se basa en revisar todos los artículos del lote y eliminar los que no cumplen con las especificaciones de calidad acordadas. Los artículos que no cumplieren serían devueltos al proveedor, reprocessados o rechazados.

Se usa cuando los productos son considerados de alto riesgo. Si fuesen defectuosos, podrían causar una gran pérdida económica. Es útil también en el momento en el que la capacidad del proceso fabricante de dicho lote no es adecuada para satisfacer los requisitos.

MUESTREO DE ACEPTACIÓN

Se considera útil, cuando se posee una o varias muestras de las situaciones descritas a continuación:

- Cuando el coste de la inspección al 100% resulta ser demasiado alto comparado con el coste de pasar unidades defectuosas.
- Cuando para llevar a cabo la inspección 100% se requiere mucho tiempo.
- Cuando el lote está formado por gran cantidad de artículos de los cuales habría que inspeccionar y la probabilidad de error en dicha inspección sería bastante alta. Por lo que la inspección 100% quizás dejaría pasar más unidades defectuosas que un plan de muestreo.
- Cuando la inspección se realiza con pruebas destructivas (pruebas de tensión y resistencia), es totalmente necesario la inspección por muestras, sino todos los productos serían eliminados con las pruebas.

Tras hablar de todas las características y como estamos centrados en el muestreo de aceptación, hablaremos de sus ventajas y desventajas respecto a la inspección 100%:

- Ventajas:
 - Menor coste, debido a que se inspecciona menos, a pesar de ciertos costes adicionales que son producidos por la planificación y administración de los planes de muestreo.
 - Necesidad de menos personal en las actividades de inspección, lo que supone una simplificación del trabajo de coordinación y una reducción del coste.
 - Menos daño del producto ya que hay menos manipulación.
 - Reduce el error de inspección y la monotonía.
 - Existe una motivación del fabricante para mejorar su calidad, cuando se rechaza el lote completo, debido a la existencia de artículos defectuosos.

- Desventajas:
 - Existe cierto riesgo de aceptar lotes malos y de rechazar los buenos, aunque todos estos riesgos están previstos en un plan de muestreo.
 - Suministra menos información sobre el proceso de fabricación o de su nivel de calidad del producto. Aunque si se usa bien esta información, puede ser suficiente.
 - Se necesita más tiempo y conocimiento para lograr una planificación y documentación adecuada del muestreo, al contrario que la inspección al 100%. Aunque sea una desventaja también genera cosas positivas como una mayor conciencia de los niveles de calidad que son exigidos por el cliente.

9.2 TIPOS DE MUESTREO DE ACEPTACIÓN

Existen varias clasificaciones para los planes de muestreo. Estas son las siguientes:

- Según la naturaleza de la población base:
 - Lote aislado.
 - Lote a lote (Producción uniforme de lotes)
 - Fabricaciones continuas (Plantas embotelladoras, industria química, etc.)

- Según la naturaleza de la característica inspeccionada:
 - Por atributos: Se considera que la característica es de tipo cualitativo (aceptable o no aceptable)
 - Por variables: La característica es de tipo cuantitativo (Longitud, peso, etc.)

9.2.1 PLANES POR ATRIBUTOS

El plan de muestreo por atributos (n,c), tiene por objetivo inspeccionar un conjunto de muestras aleatorias de n unidades extraídas de lotes de tamaño N y buscar el número de artículos defectuosos d dentro de las muestras. Si este número d , es menor o igual a c , se aceptará el lote, si fuese por el contrario d mayor que c , se rechazaría el lote.

Existen 4 tipos de planes de muestreo por atributos:

- Simple
- Doble
- Múltiple
- Secuencial

SIMPLE

En este tipo de planes, se toma una decisión sobre la aceptación o rechazo de los lotes mediante la información que se obtiene de una muestra de estos. Existen 3 parámetros imprescindibles que definen estos planes de muestreo:

- N : Tamaño del lote
- n : Tamaño de la muestra
- c : Criterio de aceptación-rechazo

Después de contemplar la muestra extraída con un tamaño n , se contabiliza el número de defectos d . Si d es menor que c , se acepta el lote, en el caso contrario se rechazaría.

DOBLE

Existen 4 parámetros sin los cuales este tipo de muestreo, no tendría sentido:

- n_1 : Tamaño de la primera muestra
- c_1 : Número de aceptación de la primera muestra
- n_2 : Tamaño de la segunda muestra
- c_2 : Número de aceptación para ambas muestras combinadas

Se divide en dos fases:

- La primera consiste en inspeccionar una muestra aleatoria con un tamaño n_1 y contar el número de defectuosos. Se pueden dar tres opciones:
 - Aceptar el lote si d_1 , defectuosos de la primera muestra, si fuese menor o igual a c_1 .
 - Rechazar el lote si d_1 , fuese mayor que c_2 .
 - Ninguna de las anteriores, pues se pasa a la segunda fase.
- Si llegamos a esta segunda fase, se extrae una segunda muestra y se observa el número de defectuosos. Ahora si $d_1 + d_2$ fuera menor o igual que c_2 , se aceptaría el lote. Si esta suma de defectuosos fuese mayor que c_2 , se rechazaría.

MÚLTIPLE

Consta de n etapas y se utilizará la información de n muestras para llegar a una decisión. Se consideran los parámetros:

- a_i : Número de aceptación
- r_i : Número de rechazo

Estos dos parámetros se usan en la etapa i , para $i = 1, \dots, n-1$. En la etapa final n , se toma una decisión considerando un único valor de aceptación-rechazo c_n .

La metodología consistiría:

- En la etapa i , para $i = 1, \dots, n-1$, se extrae una muestra de tamaño n_i y observamos el número de defectuosos existentes d_i . Ahora si $\sum_{k=1}^i d_k \leq a_i$, entonces aceptaríamos el lote, sin embargo si $\sum_{k=1}^i d_k \leq r_i$, se rechaza el lote. Si $a_i < \sum_{k=1}^i d_k \leq r_i$, extraemos la muestra $i + 1$. Finalmente en la etapa n , se acepta el lote si:

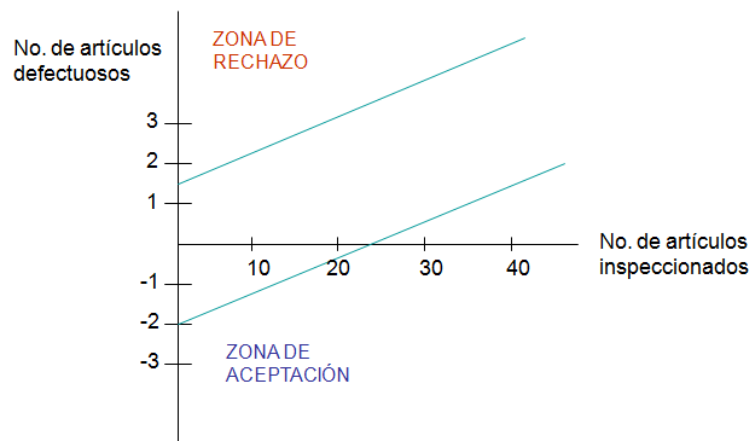
$$\sum_{k=1}^n d_k \leq c_n$$

y se rechazaría en caso contrario.

SECUENCIAL

Tiene su base en la extracción de una secuencia de muestras hasta el momento en el cual los resultados del muestreo indican la parada. Esto sucede cuando el número de unidades defectuosas acumuladas supera los límites definidos por rectas de aceptación y rechazo. La parada en el caso en el que no se cruzan los límites de aceptación y rechazo en ninguna etapa, se produce cuando el número de artículos inspeccionados es igual a tres veces el número de artículos que han sido empleados en el muestreo simple correspondiente.

El funcionamiento de este tipo de plan de muestreo se basaría en la siguiente gráfica.



9.2.2 PLANES POR VARIABLES

En este tipo de planes de muestreo de aceptación, se especifica el número de artículos que hay que muestrear y el criterio que se usa para juzgar a los lotes cuando los datos son obtenidos de las mediciones respecto a la característica de calidad que importa.

Se basan generalmente en la media y la desviación estándar maestras que tiene la característica de calidad. Se pueden diseñar planes de muestreo por variables que contengan riesgos especificados de aceptar y rechazar lotes con una calidad dada si se conociese la distribución de la característica en el proceso o en el lote.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En general, se podría decir que se han logrado con éxito los objetivos principales planteados previamente a la realización del trabajo, en parte gracias a la enorme documentación verídica y contrastada que existe sobre estos temas. A pesar de la complejidad de ciertas partes, he conseguido resolver los inconvenientes y dificultades que se me planteaban, gracias a la dedicación y al empeño en lograr el objetivo final, que es el finalizar satisfactoriamente este trabajo y el Grado en Ingeniería de Organización Industrial a posteriori.

No obstante, comentar un aspecto que no se ha tratado, que es el de los gráficos para trabajar con varias variables de calidad conjuntamente, y que a mi tutor y a mi nos parece que rebasa el planteamiento inicial de este trabajo y por lo tanto se abren las puertas a que en un futuro alguien se dedique a realizar un trabajo de fin de grado sobre dicho tema.

A nivel personal siento una enorme satisfacción de haber podido llevar a cabo este trabajo acerca de un tema que me pareció muy interesante y atractivo desde el primer momento en que supe de su disponibilidad. Hay que añadir que el interés de mi tutor en ayudarme en este tema, el cual él conoce a fondo, me ha hecho aun mas disfrutar de la realización de este trabajo.

Concluyo reconociendo que un trabajo como este habría sido imposible sin el apoyo de mi familia, la cual me ha ayudado a cumplir este sueño personal que empecé hace 4 años.

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

PÁGINAS WEB

<http://ingenieriaindustrialupvmtareasytrabajos.files.wordpress.com/2012/08/cartas-de-control-por-variables.pdf> CARTAS DE CONTROL

<http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CD%20INTERACTIVOS/NOA2002/Control%20Calidad%20Cartas.pdf> CONTROL DE CALIDAD

<http://es.slideshare.net/arturoprieto14/16623-graficosdecontrol?related=2> GRÁFICA DE CONTROL Y PROCESOS ESTADÍSTICOS.

http://gio.uniovi.es/documentos/asignaturas/descargas/Presentacion_Control_de_Calidad.pdf CONTROL Y MEJORA DE UN PROCESO. GRÁFICOS DE CONTROL. CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS SPC.

<http://www.matematicasyoesia.com.es/Estadist/ManualCPE07p7.htm> CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS.

<https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/5692/1/Article04.pdf> EVOLUCIÓN DE LOS GRÁFICOS DE CONTROL.

<http://www.fundibeq.es/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/histograma.pdf> HISTOGRAMAS.

http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/diagrama_de_dispersion.pdf DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN.

[file:///C:/Users/usuario/Downloads/pro008%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/pro008%20(1).pdf) CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS Y PLANES DE MUESTREO.

http://www.ugr.es/~mruiz/temas/Tema_2.pdf PLANES DE MUESTREO.

<http://www.monografias.com/trabajos96/calidad-del-muestreo-aceptacion/calidad-del-muestreo-aceptacion.shtml> PLANES DE MUESTREO.

http://ocw.usal.es/eduCommons/ciencias-sociales-1/control-estadistico-de-la-calidad/contenido/ocw_cabero/01_asignaturaCC/Temario/Tema5.pdf PLANES DE MUESTREO.

http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/estudios_de_capacidad.pdf ESTUDIOS DE CAPACIDAD.

http://www.ugr.es/~mruiz/temas/Tema_7.pdf ESTUDIOS DE CAPACIDAD.

<http://www.educaguia.com/apuntes/apuntes/calidad/costes-calidad-y-no-calidad.pdf> COSTES DE CALIDAD.

LIBROS Y PUBLICACIONES

CONTROL DE CALIDAD, TEORÍA Y APLICACIONES por Bertran L. Hansen y Prabhakar M. Ghare. Ed. Díaz de Santos.

CONTROL DE CALIDAD Y ESTADÍSTICA INDUSTRIAL por Acheson J. Duncan. Ed. Alfaomega.

CONTROL ESTADÍSTICO DE LOS PROCESOS SPC por D. Jose Francisco Vilar Barrio, Enero 2006. Ed. Fundación Confemetal.

ESTADÍSTICA, MODELOS Y MÉTODOS. 1. FUNDAMENTOS por Daniel Peña Sánchez de Rivera. Ed. Alianza Universidad.

INTRODUCCIÓN AL CONTROL DE CALIDAD por Kaoru Ishikawa. Ed. Díaz de Santos.

INTRODUCCIÓN AL CONTROL ESTADÍSTICO DE LA CALIDAD por Douglas C. Montgomery. Ed. Iberoamericana.

MÉTODOS ESTADÍSTICOS – CONTROL Y MEJORA DE LA CALIDAD por D. Albert Prat Bartés, D. Xavier Tort-Martorell Llabrés, D^a. Pere Grima Cintas y D^a. Lourdes Pozuela Fdez. Ed. Edicions UPC.

PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA por Walpole y Myers. Ed. Mcgraw Hill.

TÉCNICAS PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD por D. Pedro Grima Cintas y D. Javier Ortiz-Martorell Llabrés. Ed. Díaz de Santos.

PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS

STATGRAPHICS programa informático para la elaboración de la práctica.

ANEXO 1

ANEXO 1

TABLAS DE CONSTANTES PARA GRÁFICOS DE CONTROL

MEDIA Y RECORRIDO/MEDIA Y DESVIACIÓN TÍPICA

| n | \bar{X} -R | | | | \bar{X} -S | | | |
|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | A ₂ | d ₂ | D ₃ | D ₄ | A ₃ | C ₄ | B ₃ | B ₄ |
| 2 | 1,880 | 1,128 | 0 | 3,267 | 2,659 | 0,7979 | 0 | 3,267 |
| 3 | 1,023 | 1,693 | 0 | 2,574 | 1,954 | 0,8862 | 0 | 2,568 |
| 4 | 0,729 | 2,059 | 0 | 2,282 | 1,628 | 0,9213 | 0 | 2,266 |
| 5 | 0,577 | 2,326 | 0 | 2,115 | 1,427 | 0,9400 | 0 | 2,089 |
| 6 | 0,483 | 2,534 | 0 | 2,004 | 1,287 | 0,9515 | 0,030 | 1,970 |
| 7 | 0,419 | 2,704 | 0,076 | 1,925 | 1,182 | 0,9594 | 0,118 | 1,882 |
| 8 | 0,373 | 2,847 | 0,136 | 1,864 | 1,099 | 0,9650 | 0,185 | 1,815 |
| 9 | 0,337 | 2,970 | 0,184 | 1,816 | 1,032 | 0,9693 | 0,239 | 1,761 |
| 10 | 0,308 | 3,078 | 0,223 | 1,777 | 0,975 | 0,9727 | 0,284 | 1,716 |
| 11 | 0,285 | 3,173 | 0,256 | 1,744 | 0,927 | 0,9754 | 0,321 | 1,679 |
| 12 | 0,266 | 3,258 | 0,284 | 1,716 | 0,886 | 0,9776 | 0,354 | 1,646 |
| 13 | 0,249 | 3,336 | 0,308 | 1,692 | 0,850 | 0,9794 | 0,382 | 1,618 |
| 14 | 0,235 | 3,407 | 0,329 | 1,671 | 0,817 | 0,9810 | 0,406 | 1,594 |
| 15 | 0,223 | 3,472 | 0,348 | 1,652 | 0,789 | 0,9823 | 0,428 | 1,572 |
| 16 | 0,212 | 3,532 | 0,364 | 1,636 | 0,763 | 0,9835 | 0,448 | 1,552 |
| 17 | 0,203 | 3,588 | 0,379 | 1,621 | 0,739 | 0,9845 | 0,466 | 1,534 |
| 18 | 0,194 | 3,640 | 0,392 | 1,608 | 0,718 | 0,9854 | 0,482 | 1,518 |
| 19 | 0,187 | 3,689 | 0,404 | 1,596 | 0,698 | 0,9862 | 0,497 | 1,503 |
| 20 | 0,180 | 3,735 | 0,414 | 1,586 | 0,680 | 0,9869 | 0,510 | 1,490 |
| 21 | 0,173 | 3,778 | 0,425 | 1,575 | 0,663 | 0,9876 | 0,523 | 1,477 |
| 22 | 0,167 | 3,819 | 0,434 | 1,566 | 0,647 | 0,9882 | 0,534 | 1,466 |
| 23 | 0,162 | 3,858 | 0,443 | 1,557 | 0,633 | 0,9887 | 0,545 | 1,455 |
| 24 | 0,157 | 3,895 | 0,452 | 1,548 | 0,619 | 0,9892 | 0,555 | 1,445 |
| 25 | 0,153 | 3,931 | 0,459 | 1,541 | 0,606 | 0,9896 | 0,565 | 1,435 |
| >25 | | | | | | | 1-3/√2n | 1+3/√2n |

MEDIANA Y RECORRIDO

| n | A ₉ | D ₅ | D ₆ |
|----|----------------|----------------|----------------|
| 2 | 2,224 | 0 | 0,954 |
| 3 | 1,265 | 0 | 1,588 |
| 4 | 0,829 | 0 | 1,978 |
| 5 | 0,712 | 0 | 2,257 |
| 6 | 0,562 | 0 | 2,472 |
| 7 | 0,520 | 0,078 | 2,645 |
| 8 | 0,441 | 0,139 | 2,791 |
| 9 | 0,419 | 0,187 | 2,916 |
| 10 | 0,369 | 0,227 | 3,024 |