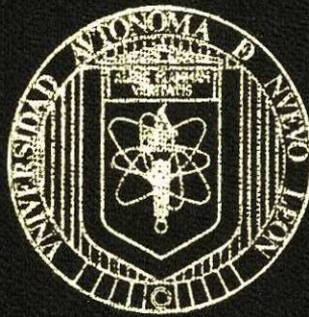


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

SEMINARIO (OPCION III-PROMEDIO)
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTA:
EDGAR MICELI MENDEZ

MARIN, N. L.

NOVIEMBRE DE 1998

TL

TS156

.8

.M5

1998

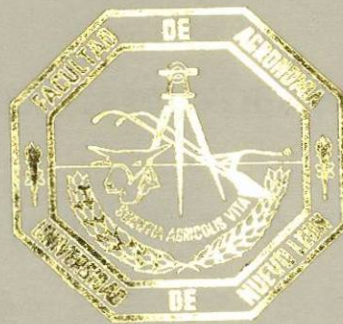
c.1



1080110905

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA



CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

SEMINARIO (OPCION III-PROMEDIO)
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTA:
EDGAR MICELI MENDEZ

MARIN, N. L.

NOVIEMBRE DE 1998



TL
TS156
.8
M5
1998



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

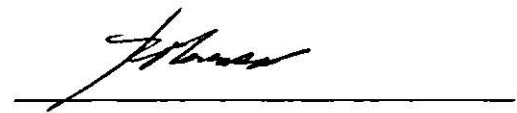
SEMINARIO (OPCION III-PROMEDIO)

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTA:
EDGAR MICELI MENDEZ**

COMISION REVISORA


M. C. Ma. de la Luz González López


Ing. Rómulo Flores de la Peña

Ing. Roberto Villarreal Chapa

MARIN, N.L.

NOVIEMBRE DE 1998

DEDICATORIAS

A DIOS

Gracias señor por concederme el milagro de la vida e iluminar el camino que me ha llevado hasta este punto.

A MIS PADRES

Sr. Wilfrido Miceli López
Sra. Alicia Méndez Zorilla

Gracias por haberme puesto sobre la faz de la tierra, por su gran amor, por la gran confianza que en todo momento me han brindado y por ayudarme siempre a hacer mis sueños realidad. Los quiero mucho.

A MIS HERMANOS

Biol. Clara Luz Miceli Méndez
I.Q. Wilfrido Miceli Méndez

Por su gran amor, por todo el apoyo que siempre me han brindado y por sus sabios consejos. Son mi mejor ejemplo.

A MIS ABUELITOS, MIS TIOS Y MIS PRIMOS

Por estar siempre conmigo, aún a través de la distancia. Los extraño en todo momento.

A MIS AMIGOS

Son tantos que por temor a omitir algún nombre no los menciono, pero gracias a todos por los buenos momentos compartidos y por soportarme estos cinco años y hacer de mi estancia un verdadero placer. Los recordaré siempre.

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

Mi *alma mater*, por el cúmulo de conocimientos adquiridos y el cobijo que me brindo durante mi estancia en ella.

A LA FACULTAD DE AGRONOMIA

Por todo el apoyo recibido en mi formación profesional y humana. Mi humilde reconocimiento por ser una forjadora de hombres verdaderos.

A MIS MAESTROS

Gracias por compartir sus sabidurías dentro y fuera del aula de clase. Gracias por ser más que maestros unos verdaderos amigos...

Edgar Miceli Méndez

Orgullosamente universitario...

CONTENIDO

	Página
INTRODUCCION	1
LA ESTADISTICA COMO INSTRUMENTO DE CONTROL	4
Clasificación de la variación de los procesos	4
LA EVOLUCION DE LA CALIDAD:	6
Detección	6
Prevención	7
OBTENCION DE DATOS DE CALIDAD	9
Recolección de datos	10
FUNDAMENTOS ESTADISTICOS	10
Medidas de tendencia central	11
Medidas de dispersión	12
PLANES DE MUESTREO	14
Introducción al muestreo.	14
Muestreo sistemático al azar	14
GRAFICAS DE CONTROL	16
Introducción a las gráficas de control	16
Gráficas de control por variables y por atributos	16
Gráficas de control por variables X-R	17
Recopilación de datos	17
Cálculo de rangos	17
Cálculo de promedios	18
Cálculo del rango promedio y del promedio de promedios	19
Calculo de los límites de control	19
Graficación	20
Criterio empírico para seleccionar escalas	21
INTERPRETACION DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL	22
Series: corridas y tendencias.	23
Tendencias:	23
Corridas:	23
Reglas para identificar causas especiales de Variación en gráficas de control	24
ESTRATEGIA DE IMPLANTACION	25

Planeación estratégica.	25
Grupos pilotos.	25
Comité de implantación.	26
Planes de acción	26
Auditoría y control	27
Hoja de plan de control	27
Hojas de auditoría a los procesos	27
Formato de hoja de auditoria a los procesos	29
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	30

INTRODUCCION

En los últimos años, el tema de control estadístico de los procesos, como parte de un sistema de calidad ha ido recibiendo más atención por parte del mundo empresarial, especialmente en los nuevos desempeños de calidad total, con la finalidad de ser los líderes en el suministro de productos o servicios que cumplan o superen las expectativas de sus clientes.

En este desafío hacia la calidad, como factor de competitividad que los nuevos mercados imponen a las empresas, las obliga a enfrentarlo a través del establecimiento de un sistema de administración de la calidad. Este sistema debe considerar un enfoque global de la calidad que incluya todas las fases del proceso productivo, lo que exige la participación de todos los sectores que forman una organización.

La incorporación de modernos sistemas de organización y administración de empresas, junto con el uso de adecuadas herramientas técnicas, como la que analizaremos en el presente escrito, permiten sin grandes inversiones, mejoramientos sustanciales de la calidad y aumentos de productividad. Estos factores son fuentes de perspectivas de crecimiento que deben ser aprovechadas por las empresas.

Pero ¿Qué es calidad? La calidad siempre ha sido muy importante. De hecho muchos expertos aseguran que históricamente, de los niveles de calidad de los productos y servicios depende en gran medida el desarrollo económico de las comunidades, ya que les permite obtener beneficios de manera sostenible.

Calidad es mucho más que belleza. En realidad, bajo el termino calidad se engloban conocimientos especializados de disciplinas tan diversas como matemáticas, administración, psicología, derecho e ingeniería.

Un concepto básico para entender el verdadero sentido de la calidad es el cliente. Cliente es todo aquel que obtiene un beneficio de nuestro trabajo. Esta definición implica que nuestros clientes pueden estar dentro o fuera de la empresa y desde una perspectiva más general, la sociedad y la humanidad misma son nuestros clientes.

Podríamos definir entonces, que calidad es, satisfacer las necesidades de todos nuestros clientes al menor costo posible, es decir, cumplir con lo que nos están pidiendo, pero buscando siempre la optimización de recursos, esto implica un gran conocimiento sobre lo que el cliente espera del producto. Además de la búsqueda continua de reducir el desperdicio, que a su vez se traducirá en una reducción de costos, es necesario entregar el producto a tiempo, en el lugar indicado y en la cantidad precisa. Pero esto no es todo, el cliente espera además un servicio amable y una rápida respuesta a sus quejas y requerimientos de información. Así pues, podemos decir que la calidad tiene diferentes dimensiones y que debemos cumplir con todas para seguir siendo competitivos.

Para poder aumentar la calidad de nuestros productos y servicios, es necesario entender claramente cuáles son las necesidades del cliente que se están satisfaciendo y cuáles son sus expectativas. Sólo aquello que se mide se puede controlar. Sólo aquello que se controla se puede mejorar. Sin embargo, nos hemos acostumbrado a trabajar sin indicadores. Así, muchas de las veces no sabemos con certeza qué es lo que estamos haciendo. El costo de esta incertidumbre es invaluable.

No podemos darnos el lujo de pretender adivinar que es lo que nuestros clientes quieren. Y una vez que sabemos con hechos y cifras qué es lo que se necesita tenemos que asegurarnos que nuestros procesos efectivamente sean capaces de cumplir con lo que nos están pidiendo. Y si no lo son, tenemos que cambiarlos si pretendemos seguir en el mercado.

Debido a que las necesidades de nuestros clientes cambian constantemente y a que nuestros procesos estarán siempre sujetos a cierto grado de variabilidad, es necesario contar con sistemas que permitan saber en todo momento si nuestros procesos están siendo efectivos.

La evolución del concepto de calidad adoptado en las empresas de Manufactura de Clase Mundial se traduce en prácticas que representan una disciplina totalmente diferente a las prácticas tradicionales. Esta evolución se da en Japón, y ha contribuido de forma determinante a lograr los altos índices de eficiencia en las prácticas de manufactura.

Esto se tradujo en la generación de utilidades que impulsaron en forma impresionante al sector manufacturero y a la economía de este país. Una de

las características más importantes de este enfoque es que las prácticas de calidad han sido consideradas como un factor de éxito para el logro de altos índices de eficiencia en los costos de manufactura. Efectivamente, durante los últimos años los administradores, ingenieros y empleados de las plantas japonesas han trabajado tenazmente para adoptar una mentalidad de calidad más lúcida y aplicar métodos de calidad más técnicos.

Aunque los métodos estadísticos alrededor del mundo son uniformes, éstos han sido aplicados en forma muy diferente en el Este y el Oeste. Esta diferencia representa en sí misma un cambio de paradigma entre la forma tradicional de aplicar los métodos estadísticos y las prácticas de Clase Mundial.

El concepto tradicional de calidad se esconde muchas veces en las plantas de manufactura detrás de una serie de slogans que difunden mensajes del siguiente tipo:

- “Nuestro compromiso: calidad de producto”
- “Hacerlo bien la primera vez”
- “Cero defectos”

Estos letreros no tienen nada de malos por sí mismos, el verdadero problema es que están fundamentados sobre principios errados, porque tradicionalmente la calidad o cero defectos se ha entendido como lograr que el 100% de los productos estén dentro de los límites de especificación.

El nuevo enfoque de calidad debe llevarnos a entender que cualquier desviación con respecto al valor nominal reduce la confiabilidad e incrementa los costos en forma de:

- Pérdidas para la empresa
- Pérdidas para el cliente
- Pérdidas para la sociedad

LA ESTADISTICA COMO INSTRUMENTO DE CONTROL

Podemos definir la estadística como la ciencia que trata con la recolección, análisis y obtención de conclusiones a partir de datos. De acuerdo con William Mendenhall, el objetivo de la estadística es hacer inferencias con respecto a una población a partir de la información contenida en una muestra y proporcionar una medida de la bondad de la inferencia.

La estadística se presenta entonces como el instrumento a partir del cual podemos interpretar la variabilidad de los procesos. La estadística cumple con dos funciones vitales para la mejora continua en las empresas:

Proporcionar un lenguaje común, al hablar con hechos y cifras, no con suposiciones.

Pronosticar el comportamiento de los procesos, ya que se mide, compara y analiza.

Clasificación de la variación de los procesos

Como ya se ha mencionado, todos los procesos, ya sean naturales o diseñados por el hombre, están sujetos a cierto grado de variabilidad. No existen dos piezas exactamente idénticas. Del mismo modo, no existen dos árboles idénticos y ni siquiera los gemelos son iguales. *La variación está siempre presente y es inevitable.*

Por otra parte, la variación no es del todo impredecible. Podemos esperar que un manzano nos dé manzanas dentro de un cierto grado de peso, pero no que nos dé manzanas de 20 kilos ni tampoco que dé peras. Todo proceso tiene una variación esperada. Si de pronto nuestro árbol de manzanas diera manzanas de 20 kilos, podríamos estar seguros de que algo anormal ocurrió con nuestro árbol.

De igual forma, el control estadístico del proceso nos ayudará a identificar cuándo la variación de un proceso es la esperada y cuándo es una variación extraña. Hasta donde, en condiciones normales, podemos esperar que varíen nuestros procesos.

La variación de los procesos está provocada por dos tipos diferentes de causas: causas comunes y causas especiales.

Las causas comunes son las causas de variación propias del proceso y que no cambiarán a menos que cambiemos el proceso. Si una persona va a diario a su trabajo, no todos los días llegará a la misma hora, ya que el tráfico, la hora a la que sale de su casa, las condiciones del camino y otros factores serán causas comunes de variación en su recorrido. Estas están presentes todos los días.

Dentro de las causas comunes, existe la variación sistemática, provocada por cambios sistemáticos a cíclicos del proceso.

Las causas especiales son las causas de variación que no pertenecen al proceso y que se presentan de vez en cuando solamente. Si una persona que va al trabajo se accidenta (lo cual afortunadamente no ocurre todos los días) es probable que llegue fuera del rango de variación con el que llega todos los días. Este accidente no es la parte de la variación “normal” en su recorrido.

Dentro de las causas especiales, es importante mencionar el entrometimiento, provocado por los ajustes causados por intentar compensar las causas comunes de variación.

Debido a que la variación es inevitable, los seres humanos nos hemos dado a la tarea de fijar límites y tolerancias. 60 kilómetros máxima velocidad, 18 años edad mínima para votar, se solicita personal entre 25 y 35 años de edad son límites y tolerancias. Una tolerancia es la variación máxima y mínima que estamos dispuestos a aceptar. Si sólo tenemos un máximo o un mínimo, la tolerancia se llama límite.

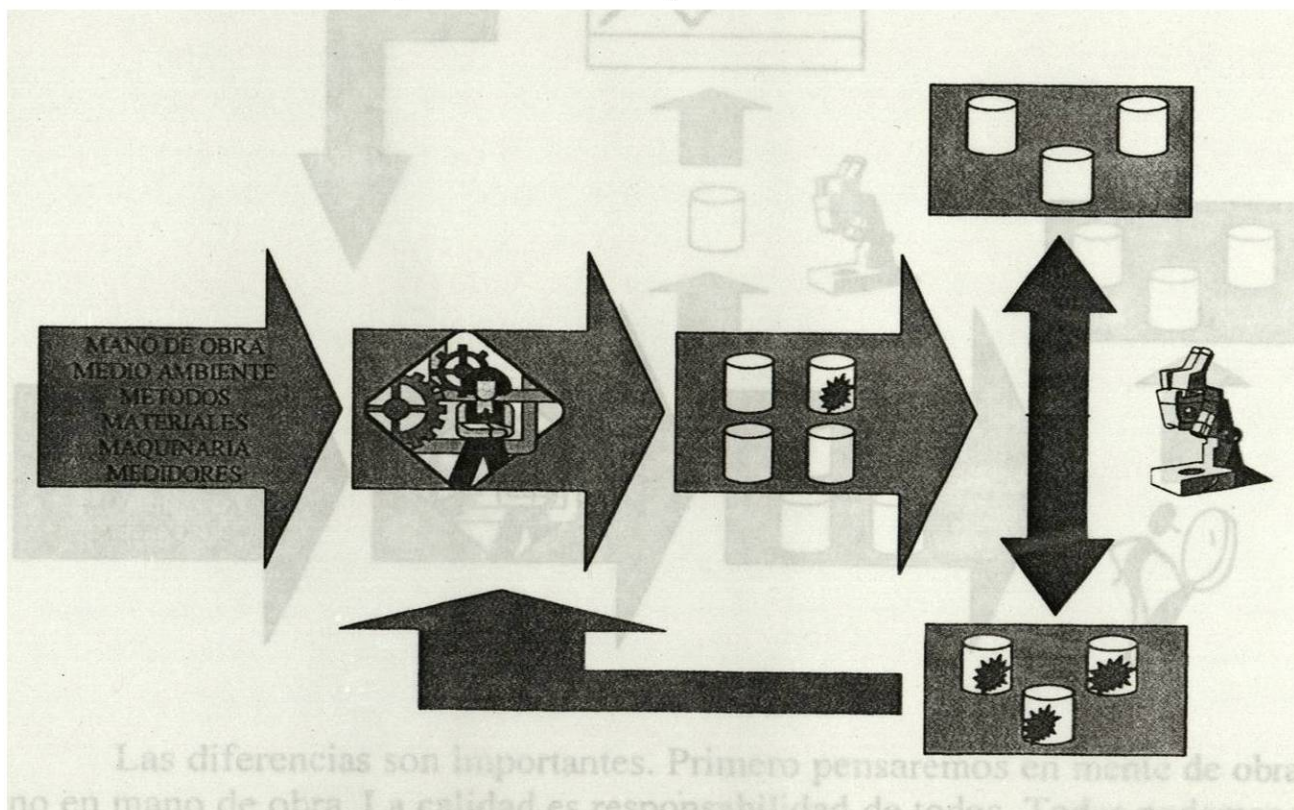
Es necesario que nos demos a la tarea de determinar tolerancias que minimicen la suma de los costos de manufactura y de calidad. Es por eso que tenemos que estar seguros de que la variabilidad natural de nuestros procesos esté controlada y dentro de especificación.

Si nuestros procesos no son capaces de cumplir en condiciones normales con las especificaciones, entonces estaremos entregando constantemente productos con costos por arriba del óptimo. El Control Estadístico del Proceso nos ayuda a calificar qué tan eficientes son nuestros procesos.

LA EVOLUCION DE LA CALIDAD: PREVENCION CONTRA DETECCION

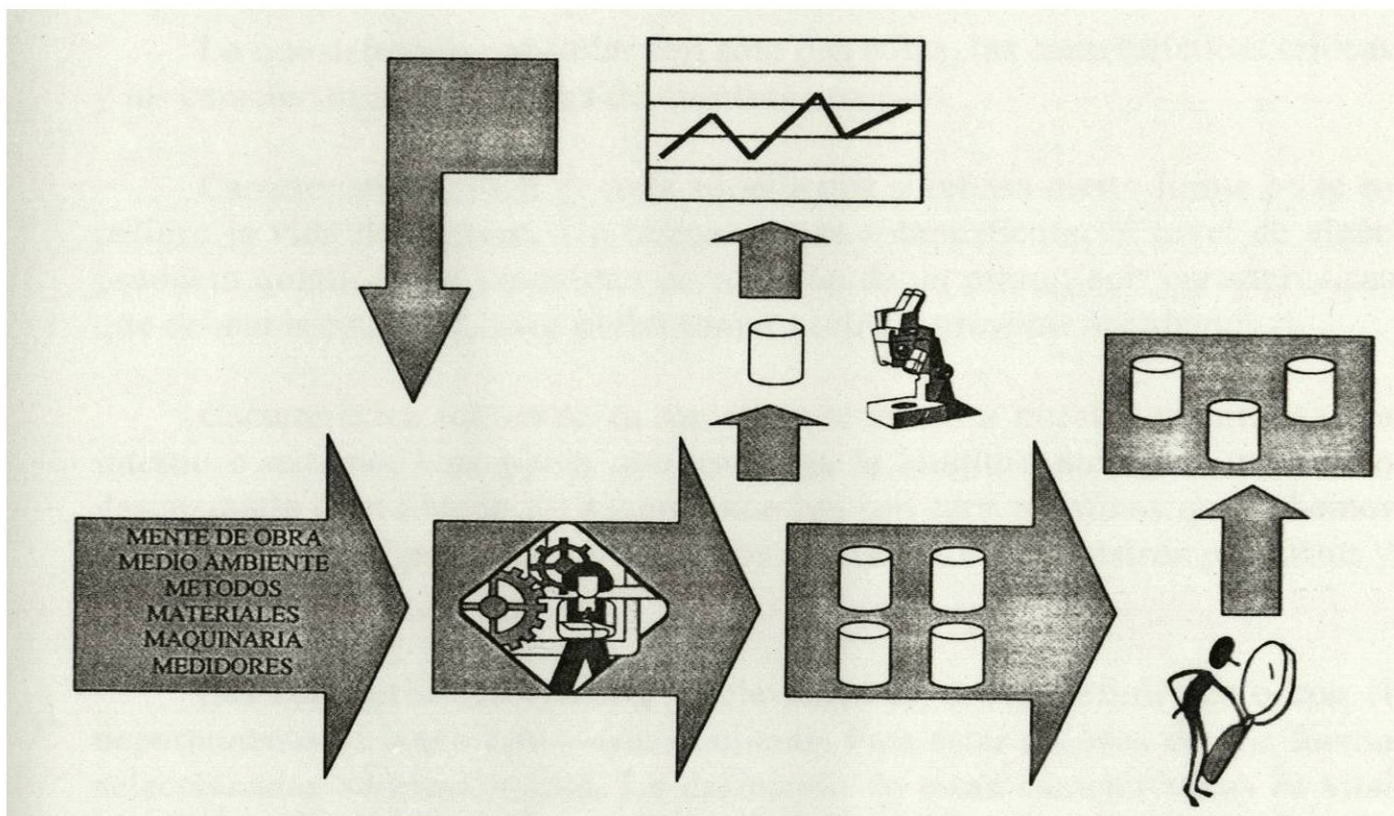
Existen dos formas de evitar que nuestros clientes reciban productos fuera de especificación, la detección y la prevención. La detección es un proceso en el cual se inspecciona todo lo que se hace para separar el trabajo bien realizado de lo mal realizado.

Esto tiene un diagrama como el que se muestra a continuación:



Sin embargo cuando inspeccionamos no hacemos nada por corregir. Algo puede estar fallando en el proceso y nadie se va a dar cuenta. Y lo que es peor, estamos gastando en pagarle a las personas por hacer mal su trabajo y a otras más para que revisen y corrijan lo que otros están haciendo mal. Además de todo, para poder asegurar que este sistema funcione, se tienen que revisar todas las piezas, pieza por pieza. Esta no siempre es la mejor forma de trabajar, ya que la inspección puede fallar.

Por otra parte, la prevención busca evitar que ocurran los defectos. En vez de actuar sobre los productos y buscar los defectuosos. El diagrama de la prevención tiene la siguiente forma:



Las diferencias son importantes. Primero pensaremos en mente de obra, no en mano de obra. La calidad es responsabilidad de todos. Todos podemos y debemos participar para lograrla y ¿quién conoce mejor su proceso que aquél encargado de hacerlo? Tenemos que usar la capacidad y el talento de cada persona que forme parte de nuestra empresa.

Empezaremos a medir todo aquello que sea útil. Los números nos dirán que está pasando y qué podemos esperar que pase en un futuro cercano.

En vez de revisar todos los productos, revisaremos sólo algunos. Tenemos que conocer tan a la perfección como se comportan todos nuestros procesos que con sólo una muestra podamos decir si nuestro proceso se está comportando como esperamos o no. Si nuestros procesos se están comportando como esperamos, no hay ningún problema. Sin embargo, si algo

extraño está ocurriendo en nuestros procesos, nos daremos cuenta a través de nuestra muestra. En ese momento, nos detendremos a investigar que es lo que está afectando a nuestros procesos y a realizar los cambios o ajustes que sean necesarios.

OBTENCION DE DATOS DE CALIDAD

Una vez que decidimos que el control estadístico de los procesos nos puede ayudar a incrementar la calidad de nuestros productos, la siguiente pregunta es ¿qué es lo que debemos controlar?

Lo que debemos controlar son sólo dos cosas, las características críticas y las características relevantes de nuestros procesos.

Característica crítica es toda aquella que si rebasa cierto limite pone en peligro la vida de alguien. Un horno que se sobrecaliente, el nivel de algún producto químico y la velocidad de rotación de un motor, son características que debemos controlar, para poder tomar acción y prevenir accidentes.

Característica relevante es aquella que afecta a nuestro cliente, ya sea interno o externo. Una pieza que no tenga la longitud indicada, un cuadro descuadrado o un tiempo de espera excesivo son características que debemos controlar, para así poder eliminar costos innecesarios en nuestros productos y servicios.

Las características críticas y relevantes se deben definir junto con el departamento de ingeniería y con el cliente. Para estar seguros de que fueron seleccionadas adecuadamente. La definición de estas características es vital para un buen programa de control estadístico del proceso, ya no debemos tener tantas gráficas que sean incontrolables, ni descuidar características importantes de nuestros procesos.

Las características críticas y relevantes se pueden dividir a su vez, en variables continuas y variables discretas.

Las variables continuas son aquellas que pueden tomar cualquier valor dentro de un intervalo. Un ejemplo es el largo de un tubo (1.71, 1.73).

Las variables discretas, en contraste, sólo pueden tomar valores específicos. El numero de defectos en un lote es un ejemplo (1, 2, 5).

Thomas Pyzdek nos presenta la siguiente guía para la selección de características de calidad:

Deben estar fuertemente relacionadas con calidad o costo.
Deben tener un impacto económico medible y significativo.
Deben presentar variabilidad medible con nuestros sistemas.
Deben brindar información útil para la toma de decisiones.

Recolección de datos

Una vez definidas las características críticas y relevantes, debemos empezar a obtener datos acerca de su comportamiento. Para nuestros fines, un dato se puede definir como un valor numérico. 2,5,6,3 son datos, pero por sí mismos no dicen nada, no dan información. La información es un conjunto de datos que permiten la toma de decisiones. Para que los datos sean valiosos, estos deben proporcionar información. Para que la información sea útil, ésta debe ser verdadera y oportuna.

Para que la recolección de datos sea buena, es recomendable:

- Saber que información y que decisiones se pretenden obtener
- Tener el instrumento adecuado para poder efectuar las mediciones
- Asegurar que la muestra sea aleatoria
- Ser ordenado y puntual en la recolección de datos
- Usar ilustraciones/ayudas visuales siempre que sea posible (y útil)
- Buscar que los datos sean verdaderos
- Tener un formato en dónde anotar los datos
- Nunca usar los datos para buscar responsables
- Siempre buscar el óptimo económico

Si tenemos cuidado con todos estos factores, estaremos garantizando que la calidad de la información que obtengamos de los datos será buena.

FUNDAMENTOS ESTADISTICOS

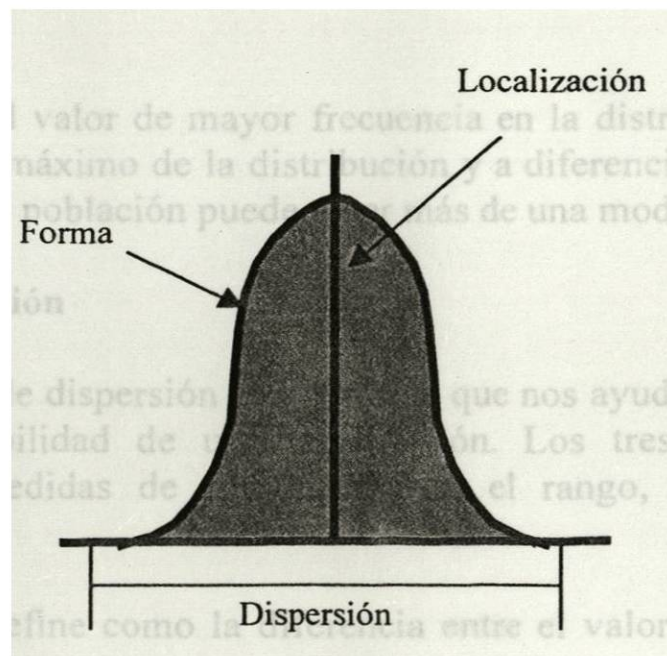
Es necesario entender claramente algunos conceptos estadísticos que nos permitirán participar de manera activa en el control de los procesos y en la reducción de la variabilidad.

Definiremos una población como el agregado de elementos sobre el que se quiere tener algún tipo de información. Nótese que no queremos obtener información sobre los elementos individuales, sino sobre el conjunto.

Una muestra, por otra parte, es una colección de objetos obtenidos de la población a través de un criterio. Es un subconjunto de la población que, con cierto margen de error la representa.

Otro concepto fundamental para el control estadístico del proceso es el de distribución. La distribución es una característica que representa a la población y en general, todo fenómeno medible que tenga variación, tendrá una distribución asociada.

Una distribución tiene tres propiedades básicas asociadas: localización, dispersión y forma. Una distribución se puede caracterizar por estos tres parámetros, es decir, dos distribuciones son iguales si y sólo si estos tres parámetros son iguales.



Medidas de tendencia central

Las medidas de distribución central se utilizan para describir la localización de una distribución. Esto es, el valor típico o esperado de la

distribución. Son tres las medidas de tendencia central más comunes, media, mediana y moda.

La media o media aritmética, es el valor promedio de los datos y se obtiene sumando todos los valores y dividiendo entre el total de valores. Su representación matemática es la siguiente:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \text{Donde } x_i \text{ es cada uno de los datos}$$

La mediana es el valor que divide en dos partes iguales a la distribución, o el valor central. El cálculo de la mediana se hace de la siguiente forma:

- 1.- Se ordenan los datos de menor a mayor, incluyendo los repetidos.
- 2.- Si el número total de datos es non, entonces el valor central es la mediana.
- 3.- Si es par, entonces el promedio de los dos valores centrales es la mediana.

La moda es el valor de mayor frecuencia en la distribución. Se puede considerar como el máximo de la distribución y a diferencia de la media y la mediana, una misma población puede tener más de una moda.

Medidas de dispersión

Las medidas de dispersión son aquellas que nos ayudan a determinar la dispersión o variabilidad de una distribución. Los tres parámetros más utilizados como medidas de dispersión son el rango, la varianza y la desviación estándar.

El rango se define como la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de los datos.

La varianza es una medida de dispersión que compara los datos con el promedio. Está dada por la siguiente formula:

$$s^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

La desviación estándar es simplemente la raíz cuadrada de la varianza.

$$S = \sqrt{s^2}$$

PLANES DE MUESTREO

Introducción al muestreo.

Como cualquier persona que haga una inspección masiva sabe, el riesgo de cometer errores cuando se inspecciona la calidad del total de los productos de una línea es muy alto.

Además, es un proceso en el cual se desperdician muchos recursos. Desafortunadamente, todavía hay ocasiones en que la inspección es necesaria.

Existen técnicas estadísticas que nos van a permitir, con cierto grado de error, determinar al inspeccionar algunos de los elementos de la población, las características que esta tiene.

Muestreo sistemático al azar

Este método de muestreo es el más utilizado para el control estadístico del proceso.

Supongamos que N unidades de la población se numeran de 1 a N en algún orden. Para seleccionar una muestra de n unidades, tomamos una unidad al azar de las primeras k unidades y de ahí en adelante cada k -ésima unidad. Por ejemplo si k es 15 y la primera unidad tomada es la número 13, las unidades subsiguientes serán los números 28, 43, 58, etc. La selección de la primera unidad determina la muestra completa. Este tipo se llama muestra sistemática de cada k -ésima unidad.

Las ventajas de usar este método de muestreo son las siguientes:

- 1.- Es más fácil obtener la muestra y a menudo más fácil de ejecutarlo sin cometer errores.
- 2.- Intuitivamente el muestreo sistemático aparece como más preciso que el muestreo simple aleatorio. En efecto estratifica la población en n estratos, los cuales consisten en las primeras k unidades, las segundas k unidades, etc.

3.- La muestra sistemática está distribuida más uniformemente sobre la población y esto ha hecho el muestreo sistemático considerablemente más preciso que el muestreo al azar estratificado.

GRAFICAS DE CONTROL

Introducción a las gráficas de control

La necesidad de producir artículos de buena calidad, a bajo precio y en el menor tiempo posible, ha llevado a las personas a desarrollar herramientas y sistemas que permitan cumplir con tales objetivos.

En 1924, el Dr. Walter Shewhart desarrolló una herramienta muy útil para el control de los procesos. A esta herramienta se le llama gráficas de control y está basada en la variación natural de los procesos y en la teoría de las distribuciones normales. Tiempo después el Dr. William Edwards Deming, encontró que junto con otras herramientas, las gráficas de control pueden llevar a las empresas a un proceso continuo de mejora y las incluyó como parte muy importante de sus estrategias de calidad y productividad.

Las gráficas de control nos van a permitir tener un termómetro instalado en los procesos. Esto quiere decir que si algo en nuestro proceso está cambiando, rápidamente nos podremos dar cuenta de ello.

La elaboración de gráficas de control es sencilla, lo que nos permite colocarlas en la planta y no perder mucho tiempo elaborándolas. Por otra parte, nos ayudarán a conocer mejor nuestros procesos y qué podemos hacer para mejorarlos.

Otra característica importante es el hecho de que a través de las gráficas de control la gente que está en contacto directo con los procesos podrá tomar decisiones sobre las causas especiales que afectan a los mismos.

Gráficas de control por variables y por atributos

Las gráficas de control se dividen en dos familias principales de acuerdo con el tipo de datos que estemos controlando. Estas familias son gráficas por variables y gráficas por atributos.

Las gráficas por variables controlan datos que son el resultado de una medición. Longitudes, temperaturas y resistencias son variables continuas que se controlan con una gráfica por variables.

Las gráficas por atributos controlan datos que son el resultado de una verificación contra un estándar. El número de unidades defectuosas y el número de manchas en una superficie son variables discretas que se controlan con una gráfica por atributos.

Gráficas de control por variables X-R

Las gráficas de control X-R son las más usadas de las gráficas por variables y nos servirán de base para entender la mecánica de otras gráficas. El proceso para elaborarlas es el siguiente:

Recopilación de datos

Debemos obtener los datos de acuerdo a un plan previamente establecido. El formato de la gráfica de control nos debe servir como referencia para identificar y documentar la gráfica correctamente.

A menos que las condiciones específicas lo impidan, en un inicio se recomienda tomar cinco lecturas cada hora. Estas lecturas nos darán base para poder hacer un plan de control que cumpla mejor con las características de cada proceso. Una vez que se tomen 125 muestras, se recomienda ajustar el plan en caso que sea necesario.

Cálculo de rangos

Una vez que se tienen ya las lecturas, se va a calcular el rango para cada uno de los subgrupos. Un subgrupo es una muestra de varias lecturas o mediciones hechas al mismo tiempo. Veamos un ejemplo:

FECHA	17/01	17/01	17/01	17/01
HORA	7:00	8:00	9:00	10:00
1	20	17	23	19
2	23	21	18	21
3	31	23	21	20
4	18	19	22	21
5	25	32	19	22
Suma				
Promedio				
Rango				

Tenemos los datos de cuatro primeros subgrupos que se tomaron a partir de las 7:00 a las 10:00 cada hora del día 17 de enero. En el primer subgrupo el dato mayor es 31 y el menor 18. Esto quiere decir que:

$$R = (\text{valor mayor} - \text{valor menor}) = (31 - 18) = 13$$

Se deben calcular los rangos para toda la gráfica y anotar su valor en el espacio donde dice rango para cada subgrupo:

Suma				
Promedio				
Rango	13	15	5	3

Cálculo de promedios

El cálculo de promedios, al igual que el de rangos, se debe hacer para todos los subgrupos y se hace en dos partes.

Primero se suman todos los datos del subgrupo y se anotan donde dice suma. Para los primeros dos subgrupos:

$$\text{Suma} = (20+23+31+18+25) = 117$$

$$\text{Suma} = (17+21+23+19+32) = 112$$

FECHA	17/01	17/01	17/01	17/01
HORA	7:00	8:00	9:00	10:00
1	20	17	23	19
2	23	21	18	21
3	31	23	21	20
4	18	19	22	21
5	25	32	19	22
Suma	117	112	103	103
Promedio				
Rango	13	15	5	3

Segundo se calcula el promedio, dividiendo la suma entre el número de lecturas que se hicieron en el subgrupo.

En nuestro primer subgrupo se hicieron 5 lecturas, entonces

$$\text{Promedio} = (\text{suma}) / 5 = (117) / 5 = 23.4$$

El promedio de los siguientes subgrupos será

Promedio	23.4	22.4	20.6	20.6
----------	------	------	------	------

Estos resultados se anotan en el renglón de promedios

Cálculo del rango promedio y del promedio de promedios

El promedio de promedios se refiere a sacar el promedio de los datos que obtuvimos en el paso anterior. Vamos a sumar todos los promedios y los vamos a dividir entre el número de subgrupos que tengamos.

El rango promedio se calcula sumando todos los promedios de los rangos y dividiéndolos entre el número de subgrupos que tengamos.

Calculo de los límites de control

Los límites de control nos dicen, en condiciones normales, hasta donde podemos esperar que un proceso varíe. Es decir, marcan los límites de variación normal de los procesos.

- Los promedios nos dicen en donde está localizado nuestro proceso.
- Los rangos nos dicen cuánta variación existe en nuestros subgrupos.

Como ambos valores son extremadamente importantes, se calculan límites de control tanto para promedios como para rangos.

Las fórmulas para calcular los límites de control para promedios son:

$$\text{Límites de control promedios} = \text{Promedio de promedios} \pm (\bar{R} \times A_2)$$

$$\text{LSC}_X = \bar{X} + (A_2 \times \bar{R})$$

$$LIC_X = \bar{X} - (A_2 \times \bar{R})$$

Para rangos:

$$LSC_R = \bar{R} \times D_4$$

$$LIC_R = \bar{R} \times D_3$$

Donde A_2 , D_3 , y D_4 son constantes de ajuste que tomaremos de la tabla de constantes, de acuerdo con el tamaño de nuestra muestra:

TABLA DE CONSTANTES

N	A_2	MA_2	A_3	B_3	B_4	D_3	D_4	E_2	d_2
2	1.88	1.88	2.66	*	3.27	*	3.27	2.66	1.13
3	1.02	1.19	1.95	*	2.57	*	2.57	1.77	1.69
4	0.73	0.80	1.63	*	2.28	*	2.28	1.46	2.06
5	0.58	0.69	1.43	*	2.11	*	2.11	1.29	2.33
6	0.48	0.55	1.29	0.03	2.00	*	2.00	1.18	2.53
7	0.42	0.51	1.18	0.12	1.92	0.08	1.92	1.11	2.70
8	0.37	0.43	1.10	0.19	1.86	0.14	1.86	1.05	2.85
9	0.34	0.41	1.03	0.24	1.82	0.18	1.82	1.01	2.97
10	0.31	0.36	0.98	0.28	1.77	0.22	1.77	1.98	3.08

Para tamaños de muestra superiores a diez, se recomienda usar una gráfica de desviación estándar. Si el tamaño de muestra es de sólo uno, se debe usar una gráfica de rango móvil.

Si el tamaño de la muestra en los subgrupos es menor a siete, el límite inferior de control para rangos no existe y no se grafica.

Graficación

Una vez calculados los valores anteriores, se deben graficar todos los datos que ya tenemos. Esto nos permitirá tener una mayor cantidad de

información al mismo tiempo y obtener conclusiones sobre el comportamiento de nuestros procesos.

Para poder graficar de manera óptima es necesario escoger una escala de graficación adecuada.

Criterio empírico para seleccionar escalas

Gracias a la experiencia operativa, se han determinado junto con el personal algunos criterios útiles para seleccionar escalas.

Existen muchas formas diferentes de seleccionar escalas, ya que cada usuario debe escoger una que se adapte a sus necesidades específicas (y a las necesidades específicas del proceso que se esté graficando).

Una forma sencilla de seleccionar para gráfica de promedios:

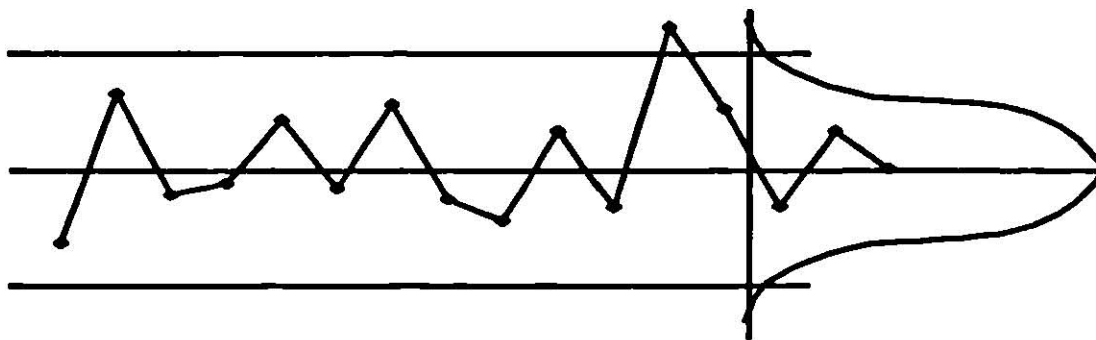
- 1.- Asignar a la línea central de la gráfica el valor entero más cercano al promedio de promedios. (22.56 será 23)
- 2.- Las otras líneas deben ser múltiplos de 1,2 ó 5.

¿Cuál escala debemos escoger? Aquella que nos facilite más el graficado de los puntos y que además permita que los límites de control se presenten con un espacio suficiente hacia arriba y hacia abajo. Para la gráfica de rangos empleamos el mismo criterio, con la diferencia que para los casos en que n sea menor a 7, se debe asignar el cero a la parte inferior de la gráfica de rangos. Estos son criterios un tanto informales y sólo la prueba y error junto con la experiencia en piso nos dirán cual es la escala adecuada.

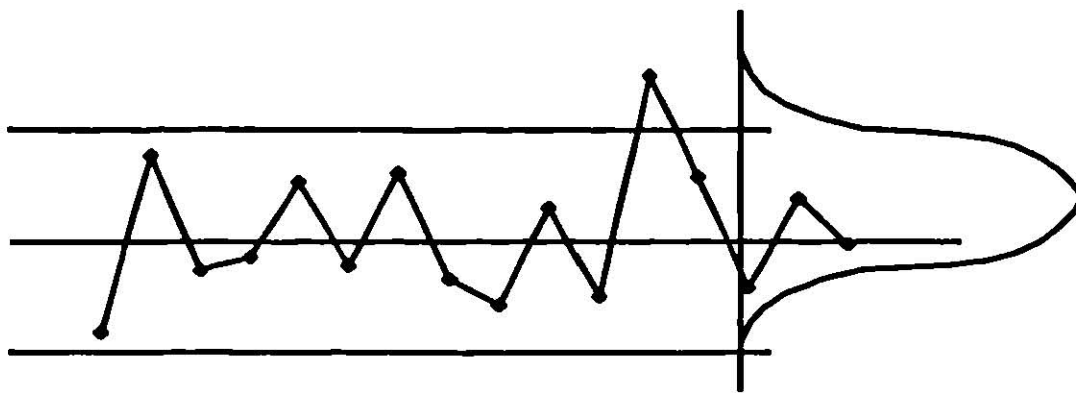
INTERPRETACION DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

Una vez hecha la gráfica, debemos poder interpretar la información que ésta nos presenta. Básicamente consideraremos tres criterios:

Puntos fuera de los límites de control (PFLC): son puntos que se encuentran por arriba del límite superior de control o por debajo del límite inferior de control. Por lo general nos dan evidencia de que existe alguna situación anormal en nuestro proceso. Debemos tratar de identificar cuales son las causas que lo ocasionaron para evitar que se sigan presentando en el futuro y documentarlas. Siempre que se presente un PFLC se recomienda revisar los cálculos antes de tomar acciones correctivas y algo muy importante, no sobre-reaccionar.



PUNTO FORTUITO FUERA DE CONTROL ($p=0.135\%$)



CAMBIO DE LOCALIZACION DEL PROCESO

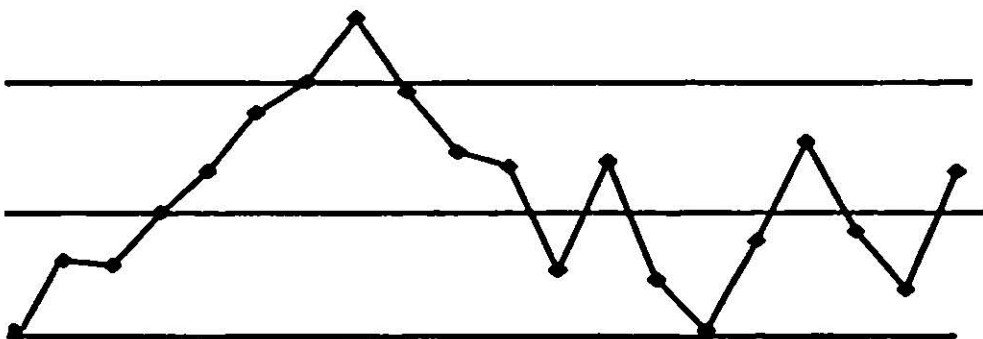
Series: corridas y tendencias.

Una serie es un grupo de 7 ó más datos que presentan cierto patrón común.

Tendencias:

7 ó más datos consecutivos que tienen una dirección hacia arriba o hacia abajo.

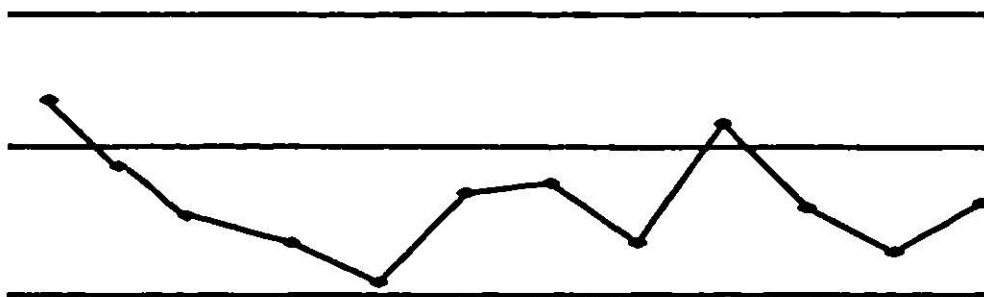
Las tendencias nos dan evidencia suficiente para concluir que el próximo dato seguirá la misma dirección que los anteriores.



Corridas:

7 ó más datos consecutivos que están por arriba o por debajo de la línea del promedio.

Las corridas nos dan evidencia de que la localización del proceso sufrió algún cambio (subió o bajó).



REGLAS PARA IDENTIFICAR CAUSAS ESPECIALES DE VARIACIÓN EN GRÁFICAS DE CONTROL.

Regla	Descripción
Regla 1	Un punto está sobre el límite superior de control. $B > \mu_B + 3\sigma_B$
Regla 2	De tres puntos consecutivos, dos con más de dos desviaciones estándar sobre la línea central. De tres valores consecutivos de B, dos satisfacen $B > \mu_B + 2\sigma_B$
Regla 2'	Dos puntos consecutivos con más de dos desviaciones estándar sobre la línea central. Para dos valores consecutivos de B, $B > \mu_B + 2\sigma_B$
Regla 3	De cinco puntos consecutivos, cuatro con más de una desviación estándar sobre la línea central. De cinco valores consecutivos de B, cuatro satisfacen $B > \mu_B + 1\sigma_B$
Regla 3'	Cuatro puntos consecutivos con más de una desviación estándar sobre la línea central Para cuatro valores consecutivos de B, $B > \mu_B + 1\sigma_B$
Regla 4	Siete puntos consecutivos están sobre la línea central. Para siete valores consecutivos de B, $B > \mu_B$
Regla 5	Seis puntos consecutivos están en un patrón de incremento monótono (contando el primer y último punto en el patrón). $B_i < B_{i+1} < B_{i+2} < B_{i+3} < B_{i+4} < B_{i+5}$
Regla 6	De diez valores consecutivos de B, hay un subgrupo de 8 (leyendo de izquierda a derecha) que esta en un patrón de incremento monótono (contando el primer y último número del patrón).
Regla 7	Dados dos puntos consecutivos, el segundo está por lo menos 4 desviaciones estándar sobre el primero. $B_{i-1} \geq B_i + 4\sigma_B$

ESTRATEGIA DE IMPLANTACION

Una vez que ya hemos conocido la parte técnica del Control Estadístico del Proceso nos falta conocer la parte más importante: El Factor Humano.

Para que el CEP funcione, lo mejor es que sea desde un principio la alta gerencia quien esté detrás de este programa. Esto puede hacerse a través de un comité de implantación. Las actividades de la alta gerencia deberán incluir:

Capacitación del grupo gerencial en los conceptos de reducción de la variabilidad, conocimiento profundo de los procesos, involucramiento del personal en la toma de decisiones, filosofía de calidad y herramientas básicas del Control Estadístico del Proceso.

Desarrollo de una planeación estratégica para el proceso de implantación.

Monitorear y apoyar las actividades y resultados del grupo piloto.

Apoyar la implantación global del Control Estadístico de los Procesos y dar seguimiento a los resultados.

Es también recomendable la existencia de un grupo piloto, formado por supervisores y operarios de una misma área y donde se ponga en práctica un sistema de CEP.

Planeación estratégica.

Es vital que se desarrolle un plan estratégico para la implantación del CEP. En este plan deberá describirse cómo encaja la planeación estratégica de la calidad en el plan estratégico del negocio. Se deberán metas a corto, mediano y largo plazo. Además de las metas deberán especificarse las estrategias principales para lograrlas.

Grupos pilotos.

La alta gerencia debe ver al grupo piloto como un laboratorio, como el esfuerzo para crear una nueva organización, a pequeña escala. Si aprendemos

cómo mejorar significativamente la Calidad y la Productividad en un área piloto, será más fácil crear un modelo organizacional. El estudio de las diferencias entre el área del grupo piloto y las demás áreas nos dará evidencia de que es necesario hacer para que el programa funcione en todas las áreas. Por cuestiones de tamaño, en algunas empresas es conveniente tener más de un grupo piloto.

Comité de implantación.

En el comité de implantación recae la responsabilidad operativa de la implantación del CEP. Este comité deberá estar formado por personas capaces de aplicar el CEP a través de los procesos. Esta capacidad incluye la motivación, los conocimientos y los recursos suficientes. El comité de implantación estará estrechamente relacionado con el grupo piloto e integrará los equipos de CEP posteriores. El comité de implantación deberá capacitarse por lo menos en los siguientes tópicos:

- Análisis y solución de problemas
- Trabajo en equipo y filosofía de calidad
- Control estadístico del proceso
- Administración de proyectos

Otros tópicos como diseño de experimentos, control visual y reducción de costos también son recomendables, pero no indispensables en la primera fase.

Planes de acción

La primera actividad del equipo de implantación debe ser la creación de un plan de acción. En este plan de acción se deben contemplar las siguientes actividades:

- Capacitación al personal encargado de los procesos
- Definición de características críticas y relevantes
- Diseño de tolerancias
- Diseño y documentación de sistemas de recopilación de datos
- Diseño y documentación de sistemas de inspección
- Selección e implementación de planes de control y gráficas de control
- Diseño y documentación del programa de calibración

Desarrollo de estrategias para el involucramiento de proveedores Diseño de auditorías al sistema

Auditoría y control

Una vez que ya se tiene un sistema de control formalizado, es necesario que se revise periódicamente la información relacionada con el CEP.

Se presentan dos documentos que son de vital importancia para este fin, las hojas de plan de control y las hojas de auditoría. Estos documentos podrán ser modificados de acuerdo a las necesidades específicas de cada empresa, pero cuando se utilizan adecuadamente, pueden servir para detectar carencias y debilidades de nuestros programas de reducción de la variabilidad.

Hoja de plan de control

En el plan de control se documenta el tipo de control que se tiene que llevar sobre cierta característica de un proceso. Dependiendo de la complejidad de las tareas, será necesario documentar más o menos el tipo de control. Sin embargo, no se deberán tener gráficas.

Hojas de auditoría a los procesos

Se debe determinar un plan de acción para revisar periódicamente la documentación de las gráficas de control. Se recomienda, sobre todo en la fase inicial del programa, que aquella persona responsable de la revisión sea también capaz de ayudar a resolver el problema.

La frecuencia con la que se debe realizar esto depende de las características del proceso, pero se recomienda que se inicie haciéndola cada 2 días. La forma de llenar esta hoja es con sí o no. Cuando un punto tiene una M, quiere decir que ese punto es mayor o de extremo cuidado, por lo que si no se cumple es necesario que se tome acción inmediata.

HOJA DE PLAN DE CONTROL

EMPRESA/FABRICA	PRODUCTO/PROCESO	CODIGO: FECHA INICIAL REVISION
OPERACIÓN	FACTOR	PUNTO DE CONTROL
TAREA DE CONTROL		RESPONSABLE
RAZON PARA CONTROLAR		
ESTANDAR DE PROCESO		
INSTRUMENTO DE MEDICION	METODO DE MEDICION (HERR. ESTADISTICA)	REPORTAR A.
FRECUENCIA DE MEDICION		PROCEDIMIENTO OPERATIVO (ANEXO)
ACCION CORRECTIVA		
REPORTAR A	PROCEDIMIENTO DE SUPERVISOR	
AUTORIZACIONES		

HOJA DE AUDITORIA A LOS PROCESOS

CRITERIOS PARA REVISION DE CARTAS DE CONTROL				
DESCRIPCION		Fecha	Fecha	Fecha
1- Cartas en atriles y protegidas	M			
2. Cartas accesibles a los procesos				
3. Encabezado llenado correctamente				
4. Especificaciones de ingeniería				
5. Fecha inicio de los limites de control				
6. Datos de acuerdo con hoja de plan de control	M			
7. Limites históricos señalados correctamente				
8. Escala correcta				
9. Datos actualizados	M			
10. Datos disponibles para todos los turnos				
11. Localización gráfica de los puntos correcta				
12. Limites de control en gráfica	M			
13. Limites de control simétricos	M			
14. Proceso estable				
15. Eventos del proceso en bitácora	M			
16. Señales de puntos fuera de control	M			
17. Reacción documentada a fuera de control				
18. Cp y Cpk en cartas				
CRITERIOS PARA REVISION DE HABILIDAD DE LOS PROCESOS				
1. Diagramas de flujo				
2. Planes de control	M			
3. Evaluación carta control (ver arriba)	M			
4. Cartas de los últimos 3 meses				
5. Dispositivos de medición				
6. Verificación de normalidad	M			
7. Acuerdos con el cliente	M			
8. Personal de piso capacitado	M			
9. Planes de reacción	M			
10. Herramienta que apoya la toma de decisiones				
ZONA				
CARACTERÍSTICA				
FECHA				
EVALUADOR				

BIBLIOGRAFIA

- Arrona, Felipe de J. (1988): "Aseguramiento De La Calidad Y Control Estadístico De Procesos", Instituto Calidad S.A. de C.V. Monterrey, N.L. 1988.
- Centro De Sistemas Integrados De Manufactura. (1996): "Diplomado En Ingeniería De La Producción. Modulo IV, Control Estadístico Del Proceso", ITESM Campus Monterrey
- Cochran, William G. (1976): "Técnicas De Muestreo", Compañía Editorial Continental, S.A.; México, D.F.
- Evans, James R. y Lindsay, William M. (1995): "Administración Y Control De Calidad", Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México, D.F.
- Feigenbaum, Armand V. (1986): "Control Total De La Calidad", Editorial CECSA, México, D.F.
- Freud, John E. et al (1990): "Estadística Para La Administración", Editorial Prentice Hall, México, D.F.
- Gerencia Corporativa De Calidad Total (1998): "Los Elementos De ISO 9001", Grupo Industrial Bimbo. México, D.F.
- Gitlow, Howard et al. (1989): "Tools and methods for the improvement of quality", ASQC quality press.
- Hines, William W. y Montgomery, Douglas C. (1997): "Probabilidad Y Estadística Para Ingeniería Y Administración", Editorial CECSA, México, D.F.
- Hoyer, Robert W. and Ellis, Wayne C. (1996): "A Graphical Exploration Of SPC", Quality Progress, junio de 1996, pp 57-64.
- Ishikawua, Kaoru (1993): "¿Qué es el control total de la calidad?", Grupo Editorial Norma, México, D.F.

- Palm, Andrew C. (1990): "Tables Of Run Length Percentiles For Determining The Sensitivity Of Shewart Charts For Averages With Supplementary Runs Rules", *Journal Of Quality Technology*, vol. 22, No.4.
- Ryan, Thomas P. (1989): "Statistical Methods For Quality Improvement", John Wiley and Sons Ed; New York, NY, pp. 102-104.
- Woodward, William H. (1988): "Performance Of The Control Chart Trend Rule Under Linear Shift", *Journal Of Quality Technology*, vol. 20, No. 4, October 1988.

