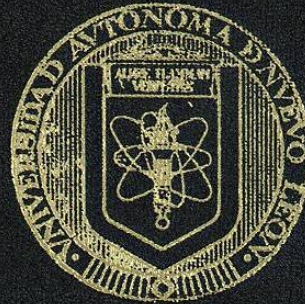


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



EL EMPLEO DE HERRAMIENTAS ESTADISTICAS  
EN EL CONTROL DEL PROCESO

POR

ING. ADAN AVILA CABRERA

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA ADMINISTRACION CON ESPECIALIDAD  
EN PRODUCCION Y CALIDAD

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. DICIEMBRE 1999

AAC

EL EMPLEO DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS  
EN EL CONTROL DEL PROCESO

TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
1999  
A9

ENERO  
2000



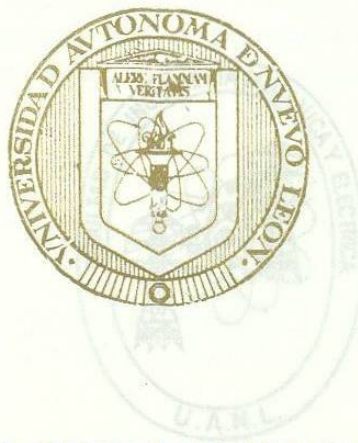
1020129246

0133-4040

MT  
5282F  
CM.  
EMIF  
PPPI  
PA

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO

DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



EL EMPLEO DE HERRAMIENTAS ESTADISTICAS  
EN EL CONTROL DEL PROCESO

EL EMPLEO DE HERRAMIENTAS ESTADISTICAS  
EN EL CONTROL DEL PROCESO

ING. ADAN AVILA CABRERA

TESIS

ING. ADAN AVILA CABRERA

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS  
DE LA ADMINISTRACION CON ESPECIALIDAD  
EN PRODUCCION Y CALIDAD

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
ADMINISTRACION CON ESPECIALIDAD EN PRODUCCION Y CALIDAD

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L. A DICIEMBRE DE  
SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. DICIEMBRE 1999



FONDO  
2121T

TM  
Z5853  
.M2  
FIME  
1999  
A9

013-404 0

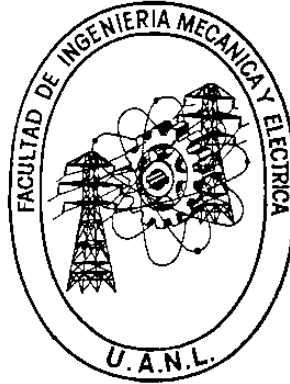


FONDO  
TESIS

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO**



**EL EMPLEO DE HERRAMIENTAS ESTADISTICAS  
EN EL CONTROL DEL PROCESO**

**POR**

**ING. ADAN AVILA CABRERA**

**TESIS**

**EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA  
ADMINISTRACION CON ESPECIALIDAD EN PRODUCCION Y CALIDAD**

**SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L. A DICIEMBRE DE 1999**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

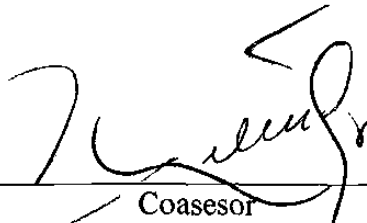
Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis "El empleo de Herramientas Estadísticas en el Control de Proceso" realizada por el alumno Ing. Adán Avila Cabrera, matrícula 604536 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Administración con la especialidad en Producción y Calidad.

El Comité de Tesis



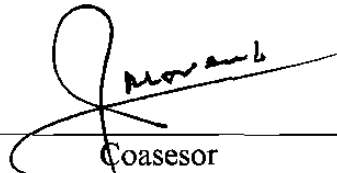
Aasesor

M.C. Alejandro Aguilar Meraz



Coasesor

M.C. Jesús José Meléndez Olivas



Coasesor

M.C. Jesús Moreno López



Vó.Bo.

M.C. Roberto Villarreal Garza  
División de Estudios de Posgrado

San Nicolás de los Garza, N.L. a Noviembre de 1999

# DEDICATORIA

**Quiero dedicar todo este trabajo a:**

**Nancy Cabrera y Felipe Avila, mis padres.**

Gracias por el apoyo y ejemplo que en cada segundo de mi vida me han brindado.

Por sus cuidados, amor y comprensión, por sus sabios consejos que me orientaron por el camino recto de la vida.

Pero GRACIAS por haberme dado la mayor riqueza que se puede poseer como hijo, la herencia de tener buenos padres.



# **AGRADECIMIENTO**

## **A mis hermanos Omar, Nelly e Iván**

Por su apoyo siempre incondicional durante toda la vida, por los grandes momentos que hemos pasado juntos durante todos los años.

## **A mi esposa, Leticia**

Por su cariño e inmensa ayuda durante éstos últimos años.

## **A mis coasesores**

Por ayudarme con su tiempo, paciencia, conocimiento y sabiduría.

## **Al M.C. Cástulo E. Vela Villarreal**

Por el apoyo y todos los consejos que me han sido de gran ayuda. Por su sincera amistad.

## **A mis abuelos**

Delfino, Florencia, Isaura, Antonio ( † ), por los momentos de felicidad que aún recuerdo en mi niñez.

## **A todos mis tíos, primos, amigos.**

Pero sobre todo a Dios que me ha fortalecido siempre que he estado en los momentos más difíciles y que me ha ayudado a obtener mis sueños.

# PROLOGO

Esta tesis fue elaborada por el Ingeniero Adán Avila Cabrera con el objeto de eficientizar cualquier proceso productivo empleado como pieza fundamental las herramientas establecidas en el control de proceso.

Contiene importante información sobre las herramientas estadísticas usadas para el control de proceso y también nos muestra como se emplea en las industrias las herramientas estadísticas para lograr el control y la menor variabilidad en un proceso.

De igual forma un resumen sobre la evolución de la calidad, que fueron iniciados por grandes hombres que se dedicaron a estudiar las diferentes formas de optimizar los recursos para así tener un mejor desempeño en el resultado de la producción. Gracias a esto también tenemos como resultado el aseguramiento de la calidad y se puede apreciar su importancia dentro de las actividades realizadas en las empresas para así poder satisfacer todas las necesidades de aseguramiento de la calidad.

Es importante definir los sistemas de calidad en las empresas para poder mantenerse como tales y ser líderes en su campo.

Para poder lograr esto se necesita saber utilizar diferentes equipo de medición y por lo tanto hablamos de este tema que también tiene una gran importancia. Por lo tanto se describen algunas técnicas para evaluar la capacidad del sistema de medición así como la metodología empleada que debe seguir el proceso.

Al final aplicamos todos los conocimientos adquiridos en una empresa y se pudo comprobar que efectivamente pudimos optimizar los recursos.

También menciono las famosas “Siete Herramientas Estadísticas” utilizadas para obtener una calidad total.

Dentro de la Siete Herramientas explico la forma en la cuál se utilizan los diagramas de pareto conocido también como el principio de “Poco vitales muchos Triviales” este es parecido al diagrama de barras donde se muestra en forma ordenada el grado de importancia que tienen las diferentes causas en un cierto problema tomando en consideración la frecuencia con que ocurre cada una de las causas.

También se muestra la forma de utilizar los histogramas de frecuencia donde este se puede definir como una representación gráfica de la variación en conjunto de datos donde toda variación que se tenga en un proceso tiene determinado comportamiento el cual puede revisarse con un histograma de frecuencias, donde se puede apreciar el numero de observaciones de cierto valor o frecuencia encuadrados en grupos determinados.

En sí como la tesis esta enfocada a la calidad, defino este término así como el impacto que tiene dentro de las industrias haciendo incapie en las diferentes filosofías de los maestros como Juran, Deming, además se analiza algunos sistemas de medición dada la importancia de este en la toma de lectura de los productos. al obtener los datos que son los hechos concretos relativos a un proceso, servicio, producto, personas o máquina y dichos datos se pueden clasificar en atributos y variables.

El atributo se define como la característica acerca de la calidad del producto o proceso y que se puede contar así es que un dato de atributo se considera como dato contable o discreto, pasa o no pasa.

En contraparte los datos variables requieren de mediciones, muestro concretamente como llevar a la práctica el uso de las herramientas estadísticas en el control de proceso, visite una empresa en la que elaboran pan, tomando muestreo, anotando el peso requerido por paquetes para que no excedieran del peso pues tomando en cuenta la cantidad de paquetes realizados en un mes las pérdidas en los paquetes que excedían realmente sería una gran cantidad de dinero y por otra parte que cumpla con el peso especificado utilizare las gráficas de control, histogramas obteniendo el control de la producción.

# INDICE

## Síntesis.

### Capítulo 1. Introducción.

1.1 Descripción del Problema a resolver	1
1.2 Objetivo de la Tesis	1
1.3 Hipótesis	2
1.4 Justificación del Trabajo de tesis	2
1.5 Metodología	2
1.6 Límites del estudio	3
1.7 Revisión Bibliográfica	3

### Capítulo 2. Antecedentes

2.1 Historia.	4
---------------	---

### Capítulo 3. Funcionamiento del Diagrama de Control.

3.1 Gráfica de Control para datos de variables	8
3.2 Construcción de gráficas de control de variables y establecimiento del control estadístico.	9
3.3 Interpretación de patrones en las gráficas de control.	11
3.4. Desplazamiento repentino en el promedio del proceso	14
3.5. Acercamiento a los límites de Control.	20

### Capítulo 4. Métodos estadísticos empleados en el mejoramiento de la calidad.

4.1 Introducción.	31
4.2 Las siete herramientas estadísticas de la calidad total.	35
4.2.1 Diagramas de Pareto.	35
4.2.2 Histograma de frecuencia.	39
4.2.3 La gráfica de control de Shewart.	43

## **Capítulo 5. Filosofías y Principios de la Calidad**

5.1 Definición de la calidad total	47
5.2 Como impactan las filosofías de calidad en ámbito industrial	50
5.2.1 Temas claves y terminologías de la administración por calidad total	51
5.3 Los conceptos de los maestros de la calidad	52
5.3.1 W.Edwards Deming.	52
5.3.1.1. Los pasos del plan de acción de siete puntos de Deming	59
5.3.2. Joseph M. Juran	60
5.3.2.1. La Triología de la Calidad	63

## **Capítulo 6. Análisis de los sistemas de medición.**

6.1 Introducción.	65
6.2 Calibradores e instrumentos de medición.	66
6.2.1 Metrología.	69
6.3 Análisis de sistema de medición.	73

## **Capítulo 7. Procedimientos e instrumentos de la calidad.**

7.1 Concepto de un proceso.	74
7.1.1 Proceso administrativo.	75
7.1.2 Proceso funcional.	75
7.1.3 Proceso transfuncional.	75
7.2 Como manejar los datos de los diferentes procesos.	76
7.3 Control estadístico de proceso.	77
7.3.1 Introducción.	77
7.3.2 Aspectos relevantes en el diseño de una gráfica de control.	80
7.3.3 Metodología empleada para la elaboración y uso de las gráficas de control.	84
7.3.4 Fundamento estadístico de las gráficas de control.	85
7.3.5 Construcción de los gráficos de control.	92
7.3.5.1 Pasos de elaboración.	93

**Capítulo 8. Aplicaciones de herramientas estadísticas a caso práctico seleccionado.**

8.1 Caso práctico seleccionado	100
8.2 Cálculo de $\bar{X}$ y $R$ para cada subgrupo	104
8.3 Cálculos de $\bar{X}$ y $R$	105
8.4 Cálculos de los límites de control para "R"	107
8.5 Cálculos de los límites de control para $\bar{X}$	108
8.6 Gráficas de $\bar{X}$ , $R$ , $LSC(\bar{X})$ , $LIC(\bar{X})$ , $LSC(R)$ , $LIC(R)$ para visualizar el proceso	109
8.7 Recálculo y Establecimiento de nuevos límites de control para $\bar{X}$	111
8.8 Recálculo y Establecimiento de nuevos límites de control para $R$	114
8.9 Gráficas de $\bar{X}$ , $R$ , $LSC(\bar{X})$ , $LIC(\bar{X})$ , $LSC(R)$ , $LIC(R)$ para visualizar el nuevo proceso	115
8.10 Calcular la Desviación estándar del Proceso Bajo Control	117
8.11 Calcular la Habilidad Potencial y Real del Proceso Bajo Control	117
8.12 Elaboración de Histogramas de $\bar{X}$ y $R$	118
<b>Capítulo 9. Conclusiones y Recomendaciones.</b>	121
<b>Bibliografía</b>	123
<b>Listado de Figuras</b>	125
<b>Listado de Tablas</b>	126
<b>Apéndice A . Factores para calcular las líneas de control de las gráficas</b>	127
<b>Glosario</b>	128
<b>Autobiografía</b>	132

# **EL EMPLEO DE HERRAMIENTAS ESTADISTICAS EN EL CONTROL DE PROCESO**

## **SINTESIS**

El efectuar cualquier trabajo con calidad implica la preparación continua de todo el personal que labora en la empresa, a través de la historia han ocurrido cambios muy importantes en las industrias, en un principio no se requería ningún tipo de control en cuánto a la calidad de los productos , esto podría ser porque no se realizaban en serie y eran cantidades de poco tamaño, es decir se realizaban lotes muy pequeños.

Después con el inicio de la segunda guerra mundial empiezan a surgir las necesidades de inspeccionar los diferentes armamentos manufacturados trayendo como consecuencia el uso de herramientas tales como muestreo y gráficas de control.

Con el paso del tiempo y gracias a diversos personajes como Shewart, Ishikawa etc. Lograron adoptar y mejorar el uso de las herramientas estadísticas para mantener y mejorar los procesos de fabricación de diversos productos se obtuvieron mejores resultados en la calidad de estos. Aquí se manejan las diferentes gráficas de control como las de variables.



# 1. INTRODUCCION

## 1.1 Descripción del Problema a resolver.

Se visito una empresa que elabora Pan de diferente tipo, los cuales deben de cumplir con las especificaciones pre-establecidas. Mas sin embargo el prblema radica en que ñps paquetes de pan no cumplen con la masa establecida. Trayendo como consecuencia en el exceso de masa un aumento del costo de producción y en el caso contrario un incumplimiento de la empresa con el consumidor.

## 1.2.Objetivo de la Tesis.

- 1) Este trabajo fue realizado con el propósito de validar en forma practica. El empleo de herramientas estadísticas forma parte de un conjunto de herramientas necesarias en la industria de hoy para poder mantener ventajas competitivas y eficientizar el trabajo con la aplicación de dichas herramientas.
- 2) Implementar un análisis estadístico de una empresa para hacer valer el punto anterior tomando muestras, tiempos y mediciones en el proceso de elaboración de pan.

### **1.3. Hipótesis**

#### **A) Hipótesis Alternativa**

Que los estándares de calidad del proceso que se estudio cumpla con las especificaciones del cliente y que la capacidad del proceso es tal que no hay duda de que se producirá piezas dentro de las especificaciones y que se tendrá la ventaja competitiva.

#### **B) Hipótesis Nula.**

En caso contrario, hacer las recomendaciones pertinentes para que el proceso con el cual se trabajo pueda mejorar y que se mantenga bajo control estadístico.

### **1.4. Justificación del trabajo de Tesis**

Nos pudimos dar cuenta al final en el caso práctico, que las herramientas de control de proceso facilitan considerablemente la detección de las fallas del proceso mediante gráficas de control. Y en base a estas reconsiderar el proceso para eliminar las fallas obtenidas así como una mayor eficiencia y por consiguiente una buena calidad en tu producto final.

### **1.5. Metodología.**

- Se estudiaran a diferentes autores que expliquen sobre las normas de control de calidad, así como empleo de herramientas para eficientizar un proceso.
- Se realizara una investigación sobre las características y controles deseados para el producto en estudio.
- Se realizara muestreos acerca de las especificaciones requeridas por el producto y mercado
- Se evaluara la capacidad del proceso en base a los muestreos obtenidos y las dimensiones críticas permitidas.

- Con todo lo anterior se obtendrá la información necesaria para poder determinar si es posible que el proceso sea estable dentro de las especificaciones requeridas.

### **1.6. Límites del Estudio.**

Hay que hacer énfasis en que únicamente se trabajará con paquetes de panes de 6 piezas, con la masa requerida en los paquetes y el rango de tolerancia permitidas. Conviene subrayar que no se va a tocar otras variables como altura, largo, etc, y únicamente se utilizará las gráficas de X y R junto con los histogramas para visualizar el proceso y lograr obtener los rangos permitidos para tener el proceso dentro de control. Es importante mencionar que se pueden utilizar otros tipos de herramientas estadísticas para poder controlar el proceso. Dentro del cuerpo de la tesis se menciona algunos.

### **1.7 Revisión Bibliográfica.**

Del autor Vicent K. Omachonv y Joel E. Ross, en su libro “Principios de la Calidad Total”, esta tesis obtuvo los antecedentes históricos sobre el concepto de calidad total y la base para el desarrollo del tema “Filosofía y principios de la Calidad”.

Robert T. Amsden , Howard Butler y Davida M. Amsden con su libro “Control estadístico de procesos simplificados”, Philip C. Thomposon en su libro “Círculos de Calidad” dieron la pauta para abordar los temas de “Funcionamiento del diagrama de Control” y “Métodos Estadísticos empleados en el mejoramiento de la calidad”.

Con el apoyo del libro “Probabilidad y estadísticas para Ingenieros” de Irwin Miller se desarrollo el tema “Análisis de los sistemas de medición”.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Antecedentes de la Calidad

La calidad existe en nuestro mundo desde tiempos inmemoriales, nos damos cuenta de que la selección natural es el método que la naturaleza escoge para incrementar la calidad de las especies. Entendemos como selección natural el comprender que solo los mejores sobreviven y por consecuencia natural se mejora la especie.

El hombre aprendió a transformar su medio ambiente para hacerse de ventajas en la competencia por la vida y una vez que empieza a desarrollarse inventa utensilios y se da cuenta de que necesita mejorar la calidad de estos para incrementar su nivel de vida.

Inicia el desarrollo de métodos de aseguramiento de calidad rudimentarios, que estaban basados en el “orgullo”, pero estos métodos, los ejercía de manera indiscriminada y sin sentido tal es el caso de los pequeños talleres artesanales que elaboraban artículos y trataban de hacerlos bien por el “orgullo de la comunidad”. Estos métodos dan paso a sistemas mas formales que se manifiestan en la época de los egipcios en cuyos murales de alrededor del año 1450 A.C. ya muestran actividades de medición e inspección. Los egipcios tuvieron éxito debido a que pudieron desarrollar métodos y procedimientos uniformes, además de que desarrollaron instrumentos de medición. Esto se manifiesta en la construcción de sus pirámides y monumentos que están hechos con tal precisión que se aprecia un ensamble perfecto entre las piezas que las componen.

En esta etapa del crecimiento en el campo de la calidad, el operador era parte inherente de la fabricación y del “sistema de calidad” existente en esa época, en ese sistema un número muy reducido de trabajadores, tenían la responsabilidad de la manufactura completa del producto y por tanto, cada trabajador podía controlar totalmente la calidad de su trabajo. En los principios de siglo XX, se progresó y surgió el supervisor de control de calidad. Durante este período se pudo percibir la gran importancia del arribo del concepto de fabricación moderna, en las que muchos hombres agrupados desempeñan tareas similares en las que pueden ser dirigidos por supervisor, quien entonces asume la responsabilidad por la calidad del trabajo.

Los sistemas de fabricación se hicieron más complicados durante la primera guerra mundial, e incluyó el control de gran número de trabajadores por cada uno de los supervisores de producción. Como resultado aparecieron en escena los primeros inspectores de tiempo completo y se inició el tercer paso que podemos denominar control de la calidad por inspección.

Este paso condujo a las grandes organizaciones de inspección en las décadas de 1920 y 1930, separadas de la producción y suficientemente grandes para ser encabezadas por superintendentes. Este programa permaneció en boga hasta las necesidades de la enorme producción en masa requerida por la segunda Guerra Mundial, obligaron a el surgimiento del cuarto paso de control de calidad. En efecto, esta fase fue una extensión de la inspección y se transformó hasta lograr mayor eficiencia en las grandes organizaciones de inspección. A los inspectores se les proveyó de herramientas estadísticas tales como muestreo y gráficas de control. En un principio había bastante holgura para la equivocación y de esta manera aprendimos, pero conforme creció la sociedad esta holgura se fue haciendo más pequeña. Así es como la lucha del hombre por superarse lo ha llevado a sistemas más complejos, que han generado nuevos retos no solo con la naturaleza sino con el hombre mismo, de tal manera que la historia del hombre es una continua lucha por “ser mejor”.

En los años cincuenta después de la segunda guerra mundial surge el milagro Japonés, Japón perdió la guerra y quedo devastado en su economía y era de vital importancia el empezar a producir bienes de calidad, en el año de 1950 el Dr. Edwards Deming visita el país. y en conjunto con la Unión De Ingenieros Y Científicos Japoneses (JUSE) desarrolla las bases de la Administración de la Calidad teniendo como alumnos a los líderes empresariales y a los ejecutivos de mas alto nivel a quienes les hizo saber que había mucho por hacer en cuanto a la mejora de la calidad. Con esto surge una nueva cultura y lo que hoy conocemos como Control Total de la Calidad.

En los finales de los setenta se empezaron a abrir las fronteras de los países a la entrada de diferentes productos y se empieza a hablar en el nuevo concepto de comercio internacional llamado globalización de mercados, pero algo que causaba problemas de comunicación entre exportadores e importadores era que cada país tenía su propio estándar comercial, y como no había una referencia común entonces no se podía hacer comparación entre la calidad de los diversos bienes producidos. Fue entonces que surge la necesidad de definir una terminología común que pudiera derribar las fronteras de entendimiento entre ellos y tener así una metodología mínima para la administración y el aseguramiento en la calidad de productos, procesos y servicios y es cuando surge el concepto de ISO 9000.

Hoy en día la preocupación de la sociedad se enfoca mas hacia una cultura de mejoramiento del medio ambiente. El cuidado del medio ambiente así como cuidar el balance de los sistemas de convivencia humana ha sido la principal preocupación de nuestra sociedad en los últimos tiempos. Se creo un sistema para producir satisfactores que resulta bastante complejo de administrar y que además requiere del empleo de nuevas tecnologías lo que en ocasiones representa nuevos riesgos para nuestro ecosistema. Es imperativo que nuestro desarrollo sea sostenible y que nuestro progreso eleve la calidad de vida sin comprometer el futuro.

Así como el hombre y la naturaleza están ligados con la calidad, a lo largo de la historia el hombre asume un papel primordial en el resultado y control de la calidad.

## 3.FUNCIONAMIENTO DEL DIAGRAMA DE CONTROL

### 3.1.GRAFICA DE CONTROL PARA DATOS DE VARIABLES

Los datos de variables son los que se miden en una escala continua. Ejemplos de ellos son longitud, peso y distancia. Las gráficas que se usan con más frecuencia para los datos de las variables son la gráfica  $\bar{x}$  (gráfica “x-barra”), y la gráfica R (gráfica de amplitud). La gráfica  $\bar{x}$  se usa para vigilar el centrado del proceso, y la R para vigilar la variación del proceso . estas gráficas se usan juntas para analizar datos de variables . La amplitud se utiliza como medida de la variación, tan solo por comodidad , en especial cuando los trabajadores del piso de fabricación llevan a cabo cálculos a mano de gráficas de control. Para muestras grandes, y cuando se analizan los datos mediante programas de cómputo, es mejor usar la desviación estándar como medida de la variabilidad. En el capítulo siguiente se estudia lo anterior.

Las gráficas de control . tienen tres aplicaciones básicas :

- 1)establecer el estado de control estadístico,
- 2)efectuar el seguimiento de un proceso e indicar cuando se sale de control, y
- 3)determinar la capacidad del proceso.



### 3.2. Construcción de gráficas de control de variables y establecimiento del control estadístico.

El primer paso en la elaboración de las gráficas  $\bar{x}$  y R es recopilar los datos. Por lo general, se reúnen de 25 a 30 muestras. Se usan también generalmente, tamaños de muestras entre 3 y 10; 5 es la más común. Sea  $k$  el número de muestras, y  $n$  el tamaño de la muestra. Para cada muestra,  $i$ , se calcula el promedio, representado por  $\bar{x}_i$  y la amplitud  $R_i$ . Estos valores se anotan a continuación en sus respectivas gráficas de control. Luego se calcula el promedio general y la amplitud general. Estos valores especifican las líneas de centro en las gráficas  $\bar{x}$  y R, respectivamente. La media general es el promedio de los promedios,  $\bar{x}$ , muestrales:

Los límites de control definen el intervalo, o amplitud en el que se espera caigan todos los puntos si el proceso está dentro del control estadístico. Si hay puntos que quedan fuera de los límites de control, o si se observan comportamientos extraños, entonces se podría creer que alguna causa asignable ha afectado el proceso.

Se debería estudiar al proceso para determinar la causa. Si hay causas especiales, entonces no son respectivas del estado verdadero de control estadístico, y se sesgarán los cálculos del eje central y los límites de control. Los puntos correspondientes se deben eliminar, y se deben calcular nuevos valores para  $\bar{x}$ , R y los límites de control. Al determinar si un proceso está bajo control estadístico, siempre se deben analizar primero la gráfica R. Como los límites de control en la gráfica  $\bar{x}$  dependen de la amplitud promedio, podrían haber causas especiales en la gráfica R que produzcan comportamientos raros en la gráfica  $\bar{x}$ , aún cuando el centrado del proceso esté bajo control. Después se presenta un ejemplo. Una vez establecido el control estadístico para la gráfica R, se dirige la atención a la gráfica  $\bar{x}$ .

La figura 3.1 muestra una hoja de trabajo para calcular los límites de control y la información de capacidad del proceso. Se aprecia mejor en el ejemplo la construcción y análisis de las gráficas de control. Se usa esa carta en el siguiente ejemplo

Fig. 3.1. Hoja de Trabajo para cálculos de gráficas de control

LÍMITES DE CONTROL		LÍMITES PARA MEDIDAS INDIVIDUALES																																					
SUBGRUPOS INCLUIDOS		Comparar con límites de especificación o de tolerancia																																					
$\bar{R} = \frac{\Sigma R}{k}$		$\bar{x}$																																					
$\bar{\bar{x}} = \frac{\Sigma \bar{x}}{k}$		$\frac{3}{\sigma_p} \bar{R}$																																					
O BIEN		$U_{I_1} = \bar{x} + \frac{3}{\sigma_p} \bar{R}$																																					
$\bar{x}$ (MEDIANA)		$L_{I_1} = \bar{x} - \frac{3}{\sigma_p} \bar{R}$																																					
$A_2 \bar{R}$		US																																					
$UCL_x = \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R}$		LS																																					
$LCL_x = \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R}$		US - LS																																					
$UCL_r = D_4 \bar{R}$		$\sigma_p = \frac{6}{\sigma_p} \bar{R}$																																					
LÍMITES MODIFICADOS DE CONTROL PARA PROMEDIOS		FACTORES PARA LÍMITES DE CONTROL																																					
BASADO EN LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN Y CAPACIDAD DE PROCESO APLICABLE SÓLO SI: $US - LS > 6\sigma_p$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>n</th> <th><math>A_2</math></th> <th><math>D_4</math></th> <th><math>\sigma_p</math></th> <th><math>\frac{3}{\sigma_p}</math></th> <th><math>A_{14}</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2</td> <td>1.880</td> <td>3.268</td> <td>1.128</td> <td>2.659</td> <td>0.779</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1.023</td> <td>2.574</td> <td>1.693</td> <td>1.772</td> <td>0.749</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>0.729</td> <td>2.282</td> <td>2.059</td> <td>1.457</td> <td>0.726</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>0.577</td> <td>2.114</td> <td>2.326</td> <td>1.290</td> <td>0.713</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>0.483</td> <td>2.004</td> <td>2.534</td> <td>1.184</td> <td>0.701</td> </tr> </tbody> </table>		n	$A_2$	$D_4$	$\sigma_p$	$\frac{3}{\sigma_p}$	$A_{14}$	2	1.880	3.268	1.128	2.659	0.779	3	1.023	2.574	1.693	1.772	0.749	4	0.729	2.282	2.059	1.457	0.726	5	0.577	2.114	2.326	1.290	0.713	6	0.483	2.004	2.534	1.184	0.701
n	$A_2$	$D_4$	$\sigma_p$	$\frac{3}{\sigma_p}$	$A_{14}$																																		
2	1.880	3.268	1.128	2.659	0.779																																		
3	1.023	2.574	1.693	1.772	0.749																																		
4	0.729	2.282	2.059	1.457	0.726																																		
5	0.577	2.114	2.326	1.290	0.713																																		
6	0.483	2.004	2.534	1.184	0.701																																		
US		LS																																					
$A_{14} \bar{R}$		$A_{14} \bar{R}$																																					
$URL_x = US - A_{14} \bar{R}$		$LRL_x = LS + A_{14} \bar{R}$																																					

**EJEMPLO 1** Gráficas de control para la producción de obleas de silicio. El espesor de las obleas de silicio que se usan en la producción de semiconductores se debe controlar con mucho cuidado. La tolerancia de una de ellas se especifica como  $\pm 0.0050$  pulg. En unas instalaciones de producción, se seleccionaron tres obleas cada hora, y se midió su espesor con cuidado con una precisión de una diezmilésima de pulgada.

Los cálculos de la amplitud promedio, media general y límites de control se muestran en la fig. 3.2. La amplitud promedio es la suma de las amplitudes muestrales (676) dividido entre el número de muestras (25); la media o promedio general es la suma de los promedios muestrales (1221), dividido entre el número de muestras (25). Como el tamaño de muestra es 3, los factores que se usan para calcular los límites de control son  $A_2 = 1.023$  y  $D_4 = 2.574$ . (Para tamaño de muestra de 6 o

menos, el factor  $D_3$  es cero; por consiguiente, el limite inferior de control en la gráfica de amplitud es cero).

Fig. 3.2. Cálculos de límites de Control

CALCULATION WORK SHEET			
<b>LÍMITES DE CONTROL</b>		<b>LÍMITES PARA MEDIDAS INDIVIDUALES</b>	
SUBGRUPOS INCLUIDOS	Todos	Comparar con límites de especificación de planos	
$\bar{R} = \frac{\Sigma R}{k} = \frac{676}{25} = 27$		$\bar{X}$	-
$\bar{X} = \frac{\Sigma \bar{X}}{k} = \frac{1221}{25} = 48.8$		$\frac{3}{d_2} \bar{R} =$	x -
O BIEN $\bar{X}$ (MEDIANA)	50	$UL_x = \bar{X} + \frac{3}{d_2} \bar{R}$	-
$A_2 \bar{R} = 1.023 \times 27 = 27.6$	x	$LL_x = \bar{X} - \frac{3}{d_2} \bar{R}$	-
$UCL_x = \bar{X} + A_2 \bar{R} = 76.4$		US	-
$LCL_x = \bar{X} - A_2 \bar{R} = 21.2$		LS	-
$UCL_R = D_4 \bar{R} = 2.574 \times 27 = 69.5$	x	US - LS	-
		$6\sigma = \frac{6}{d_2} \bar{R}$	-
<b>LÍMITES MODIFICADOS DE CONTROL PARA PROMEDIOS</b>		<b>FACTORES PARA LÍMITES DE CONTROL</b>	
BASADO EN LÍMITES DE ESPECIFICACIÓN Y CAPACIDAD DE PROCESO APLICABLE SÓLO SI: $US - LS > 6\sigma$		n	$A_2$ $D_4$ $d_2$ $\frac{3}{d_2}$ $A_{uL}$
US	-	2	1.880    3.268    1.128    2.659    0.779
$A_{uL} \bar{R} =$	x	3	1.023    2.574    1.693    1.772    0.749
$URL_x = US - A_{uL} \bar{R}$	-	4	0.729    2.282    2.059    1.457    0.728
		5	0.577    2.114    2.326    1.290    0.713
		6	0.483    2.004    2.534    1.164    0.701

Cuando se examina primero la gráfica de amplitud, parece que el proceso está bajo control. Todos los puntos quedan dentro de los límites de control, y no se aprecian comportamientos extraños. Sin embargo, en la gráfica  $\bar{X}$  vemos que la muestra 17 está arriba del límite superior de control. Al investigar, encontramos que se usó algo de material defectuoso. Esos datos se deben eliminar de los cálculos de la gráfica de control.

### 3.3. Interpretación de patrones en las gráficas de control

Cuando un proceso se encuentra bajo control estadístico, los puntos en una gráfica de control deben fluctuar aleatoriamente entre los límites de control sin patrón o comportamiento que se pueda identificar.

La siguiente lista de comprobación muestra un conjunto de reglas generales para examinar un proceso y determinar si está bajo control:

1. No hay puntos fuera de los límites de control.
2. El número de puntos arriba y abajo del eje central es aproximadamente igual.
3. Los puntos parecen caer al azar arriba y abajo del eje central.
4. La mayor parte de los puntos, pero no todos, se encuentran cerca del eje central, y solo unos pocos cerca de los límites de control.

La hipótesis que apoya esas reglas es que la distribución de los promedios muestrales es normal. Esto es consecuencia del Teorema del Límite Central de la Estadística, que afirma que la distribución de los promedios muestrales tiende a una distribución normal a medida que aumenta el tamaño de la muestra, independientemente de la distribución original. Naturalmente, para tamaños pequeños de muestra, a la distribución de los datos originales debe ser razonablemente normal para que esa hipótesis sea válida. Se calcula que los límites de control inferior y superior están a tres desviaciones estándar de la media total. Así, la probabilidad de que cualquier promedio muestral salga de los límites de control es muy pequeña. Es la base de la regla 1.

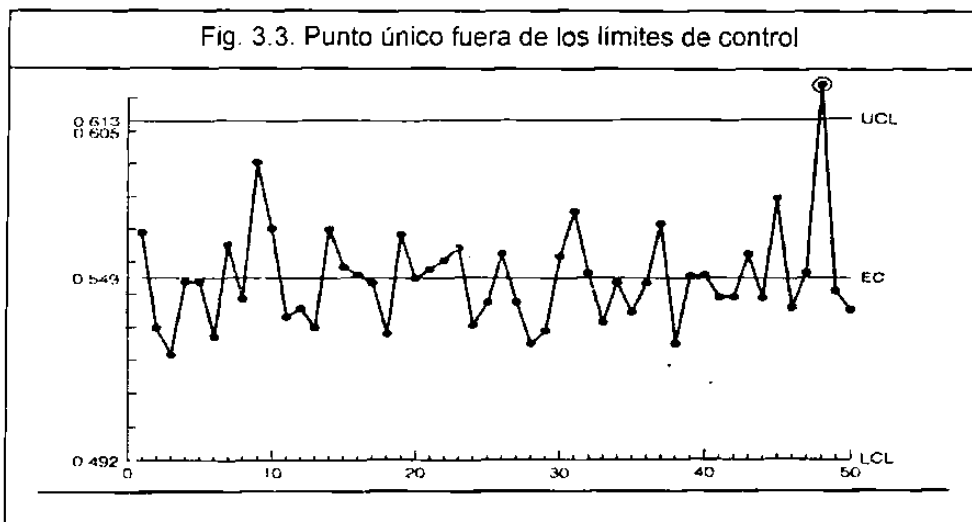
Como la distribución normal es simétrica, debemos encontrar casi el mismo número de puntos arriba y abajo del eje central. Asimismo, como el promedio de la distribución normal es la mediana, debemos encontrar más o menos la mitad de los puntos en cada lado del eje central.

Por último, sabemos que en una distribución normal, aproximadamente el 68 % de las medidas caen dentro de una desviación estándar promedio; así, la mayor parte de los puntos debe quedar cerca del eje central. Estas características son válidas siempre que el promedio y la varianza de los datos originales no hayan cambiado durante el tiempo en que se recopilaban los datos; es decir, el proceso es estable.

Con frecuencia surgen algunos tipos de comportamientos, o patrones, extraños en las gráficas de control. Los revisaremos e indicaremos las causas normales de ellos.

#### Un punto fuera de los límites de control

Un punto único fuera de los límites de control ( véase fig. 3.3., por lo general es producido por una causa especial. Con frecuencia se tiene una indicación análoga en la gráfica R. Sin embargo, se presentan de vez en cuando, son parte normal del proceso y se presentan tan solo al azar.



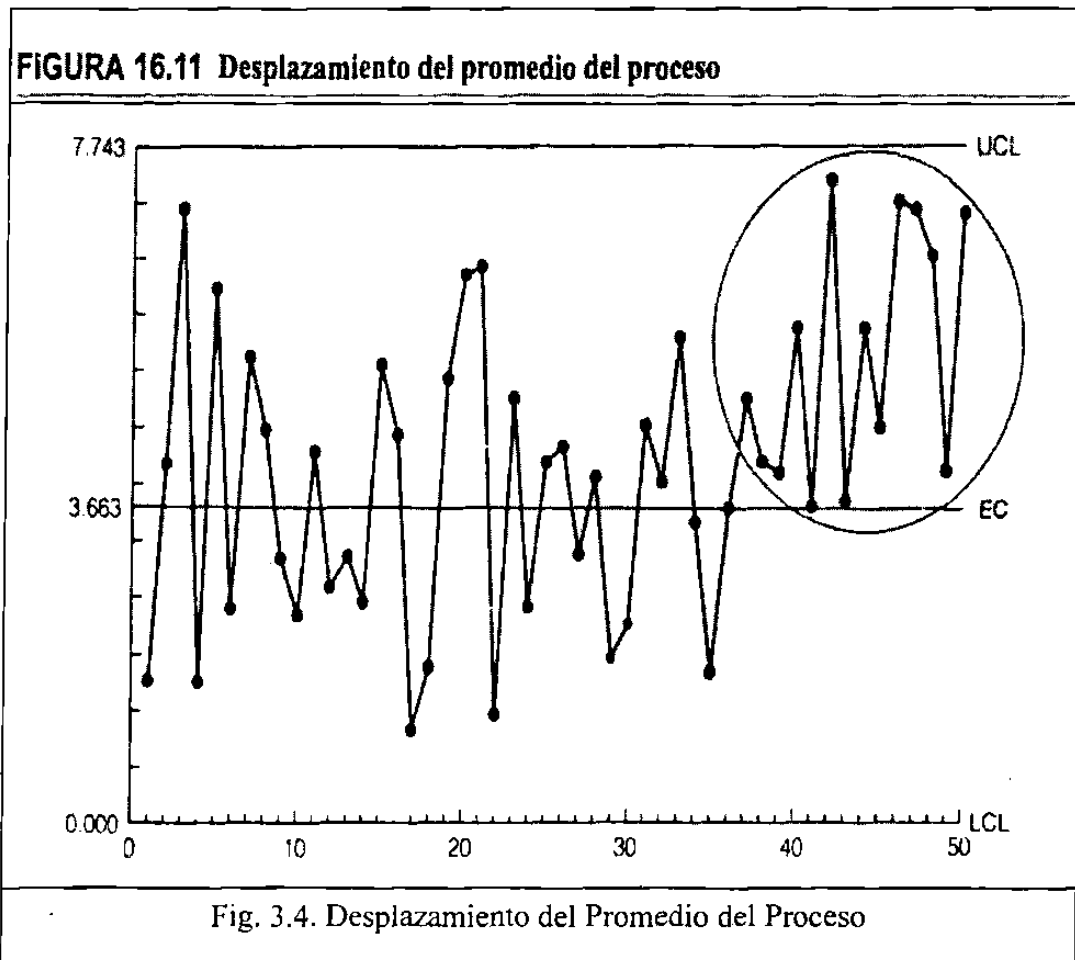
Una razón común de que un punto quede fuera de un límite de control es un error en el cálculo de  $\bar{x}$  o R para la muestra. Usted debe comprobar sus cálculos siempre que esto suceda. Otras causas posibles son una

variación repentina de potencial, una herramienta rota, error de medición, o una operación incompleta u omitida en el proceso.

### 3.4. Desplazamiento repentino en el promedio del proceso

Un número desacomodado de puntos que caen a un lado de eje central es, por lo general, una indicación de que el proceso se ha desplazado de repente. Normalmente, es el resultado de una influencia externa que ha afectado al proceso; sería una causa especial. Tanto en la gráfica  $\bar{x}$  como en la R, las causas posibles podrían ser un operador nuevo, inspector nuevo, ajuste nuevo de máquina, o un cambio en la preparación o el método.

Si el cambio es hacia arriba en la gráfica R, el proceso se ha hecho menos uniforme. Las causas normales son descuido de los operadores, mantenimiento malo o inadecuado o, posiblemente, un accesorio que necesita reparación. Si el desplazamiento es hacia abajo, ha mejorado la uniformidad del proceso. Esto podría ser el resultado de mejor mano de obra, o mejor máquinas o materiales. Como hemos dicho, se debe tratar siempre de determinar el motivo de la mejora y mantenerlo.



Para una detección temprana de desplazamientos de proceso se aplican tres reglas fáciles. Una regla sencilla es que si ocho puntos consecutivos caen a un lado del eje central, se podría llegar a la conclusión de que el promedio sea desplazado. La segunda, es dividir la zona entre el eje central y cada límite de control en tres partes iguales. Entonces, 1) si quedan dos o tres puntos consecutivos en la zona del tercio exterior, entre el eje y uno de los límites de control, o bien, 2) cuatro o cinco puntos consecutivos caen en la región de los dos tercios exteriores también se podría llegar a la conclusión que el proceso se ha salido de control. En la fig. 3.8 se dan ejemplos de lo anterior.

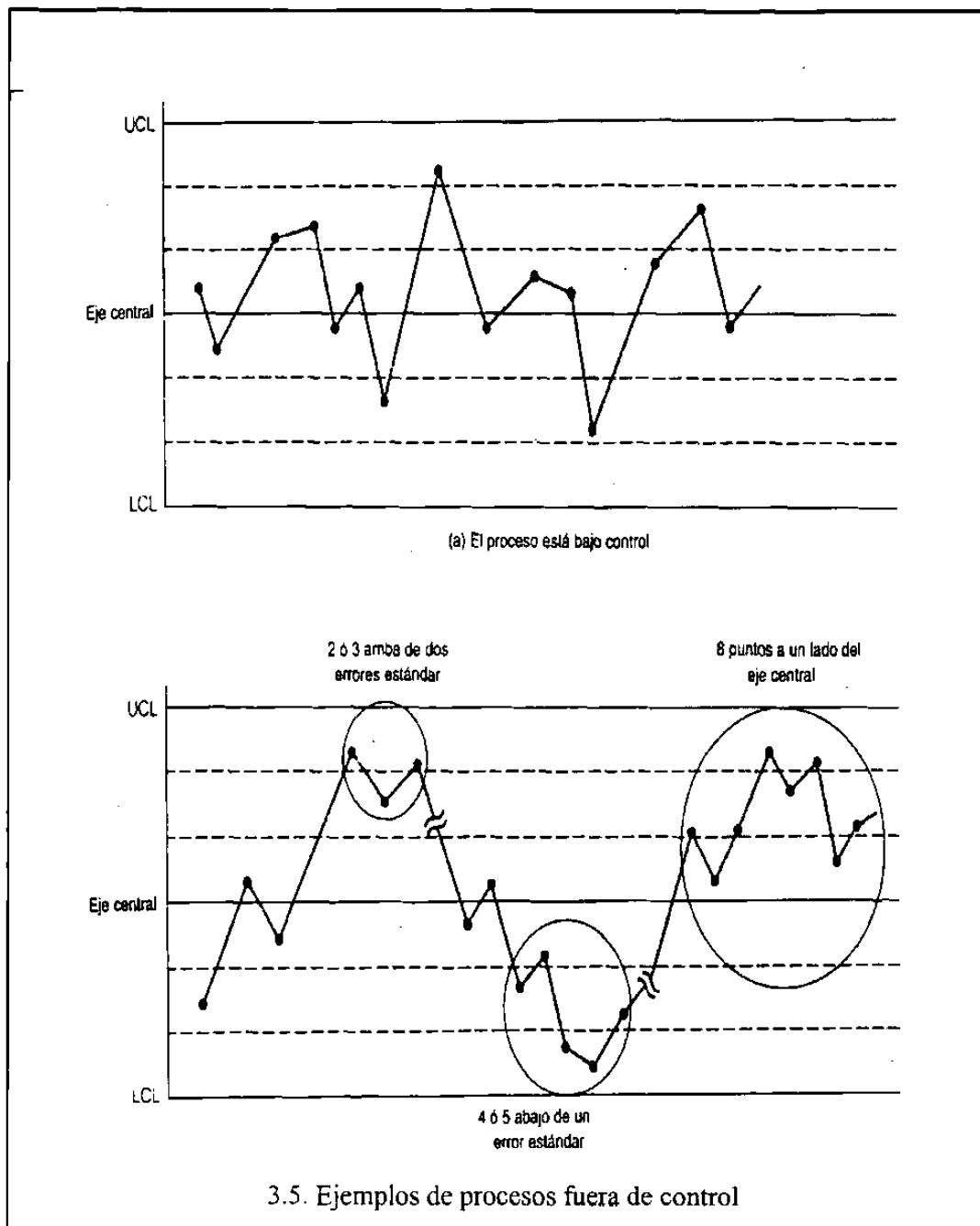
### **Ciclos.**

Los ciclos son secuencias cortas y repetidas en la gráfica, que tienen tipos y valles alternados (véase fig. 3.6). Son el resultado de causas que vienen y se van con regularidad. En la gráfica X, los ciclos pueden ser el resultado de rotación o fatiga del operador, al final de un turno, distintos calibradores que usen distintos inspectores, efectos estacionales, como temperatura o humedad, o diferencias entre turnos diurno y nocturno. En la gráfica R, los ciclos se pueden deber a programas de mantenimiento, rotación de accesorios o calibradores, diferencias entre turnos o fatiga del operador.

### **Tendencias.**

Una tendencia es el resultado de alguna causa que, gradualmente, afecta las características de calidad del producto y hace que los puntos de una gráfica de control se localicen gradualmente hacia arriba o hacia abajo del eje central (véase figura 3.7). Por ejemplo, al adquirir experiencia un nuevo grupo de operadores, o a medida que mejora el mantenimiento del equipo a través del tiempo, se puede presentar una tendencia. En la gráfica X, las tendencias pueden ser el resultado de que ha mejorado la habilidad del operador, se ha acumulado polvo o rebabas en la accesorios, se ha desgastado la herramienta, hay cambios de temperatura o humedad, o ha envejecido en equipo.



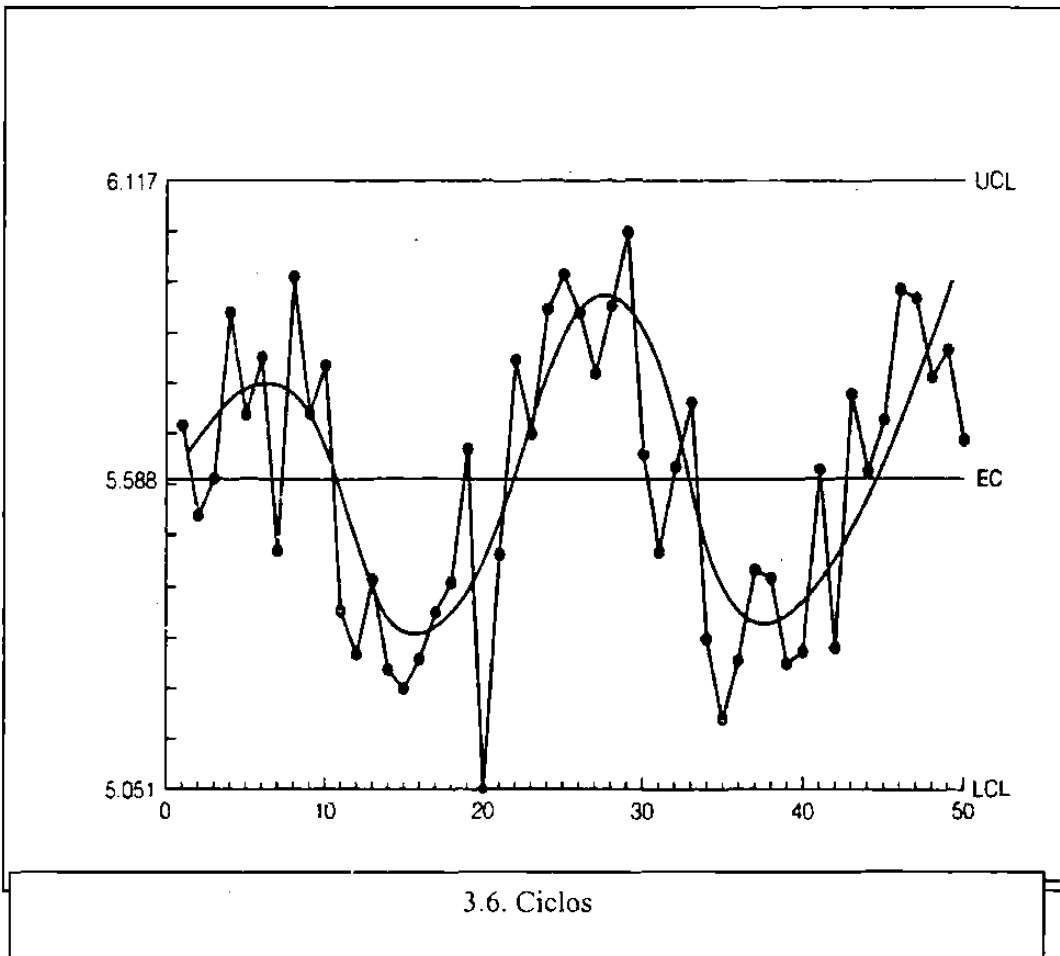


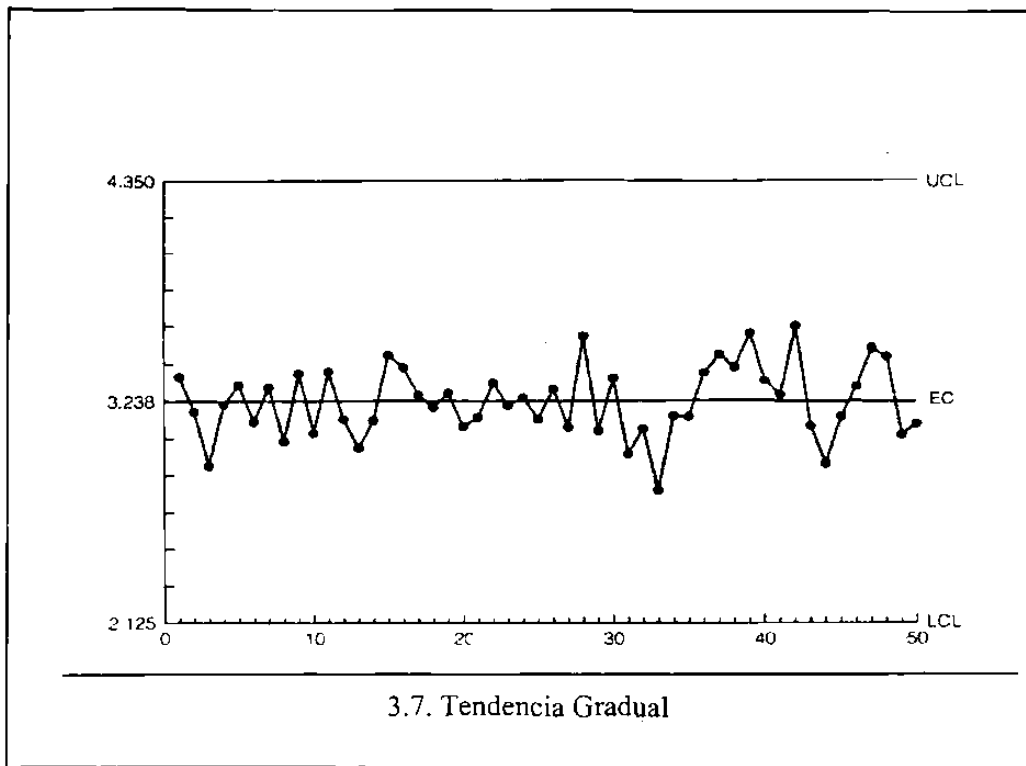
En la gráfica R, una tendencia en aumento se puede deber a un empeoramiento gradual de la calidad del material, fatiga del operador, aflojamiento gradual de un accesorio o una herramienta, o a que se ha desafilado la herramienta. Con frecuencia, una tendencia decreciente es el resultado de mejor habilidad del

operador, mejores métodos de trabajo, mejores materiales o mantenimiento mejor o más frecuente.

### Acercamiento normal.

Esto sucede cuando casi todos los puntos se acercan al eje central . En la gráfica de control, parece que los límites de control son demasiados amplios. Una causa común





### **3.5. Acercamiento a los límites de Control**

Este comportamiento se presenta cuando muchos puntos quedan cerca de los límites de control, y muy pocos en el intermedio (véase figura). Con frecuencia se llama “mezcla” y en realidad, es una combinación de dos comportamientos distintos en la misma gráfica. Una mezcla se puede descomponer en dos patrones separados, como se ve en la gráfica.

#### **INESTABILIDAD**

La inestabilidad se caracteriza por fluctuaciones erráticas y no naturales a ambos lados de la gráfica, durante cierto tiempo (véase figura). Con frecuencia, los puntos quedaran fuera de los límites superior e inferior de control, sin una tendencia consistente. Las causas asignables pueden ser más difíciles de identificar en este caso, que cuando hay comportamientos específicos. Una causa frecuente de inestabilidad es el sobreajuste de una maquina, o las mismas causas que provocan el acercamiento a los límites de control.

Se puede ver una tendencia bastante drástica hacia abajo en la amplitud si se examina la gráfica  $\bar{x}$  se notara que los últimos puntos parecen estar cercando el eje central. A medida que disminuye la variabilidad en el proceso, todas las observaciones muestrales quedaran cerca del promedio de población y por lo tanto su promedio,  $\bar{x}$  no variara mucho de muestra a muestra. Si se puede identificar esta reducción en la variación.

## VIGILANCIA Y CONTROL DEL PROCESO

Después de haber determinado que un proceso está bajo control, se deben usar las gráficas diariamente para hacer un seguimiento de la producción, identificar cualquier causa especial que pueda surgir y llevar a cabo las correcciones necesarias.

Habrán más productividad si los mismos operadores toman las muestras y grafican los datos. De este modo, pueden reaccionar con rapidez a cambios en el proceso, y hacer ajustes inmediatos. Para que lo hagan con eficacia, es esencial capacitarlos. Muchas empresas tienen programas internos de capacitación, para enseñar a operadores y supervisores los métodos elementales del control estadístico de calidad. Con ello no solo se cuenta con los conocimientos matemáticos y técnicos necesarios, sino también se comunica mayor conciencia de la calidad al personal de producción.

No es raro que a la adopción de gráficas de control sigan mejoras en el cumplimiento de especificaciones, en especial cuando el proceso necesita mucha mano de obra. Evidentemente la participación de la administración en el trabajo de los operadores produce, con frecuencia, modificaciones conductuales positivas, como demostraron por primera vez los primeros estudios de Hawthorne. Bajo esas circunstancias, y como buena práctica, se aconseja revisar en forma periódica los límites de control y determinar la nueva capacidad del proceso a medida que se lleven a cabo mejoras.

Las gráficas de control están diseñadas para que las usen los operadores de producción, y no los inspectores o el personal de control de calidad. De acuerdo con el principio del control estadístico del proceso, la carga de las pruebas de calidad descansa en los mismos operadores. El uso de gráficas de control permite que los operadores reaccionen con rapidez a las causas especiales de variación.

Ésta es la razón de usar la amplitud en lugar de la desviación estándar: el personal de manufactura puede efectuar con facilidad los cálculos necesarios para localizar los puntos en una gráfica de control. Solo se necesitan cálculos sencillos.

### Cálculo de la capacidad de un proceso

Después de haber llevado a un proceso a un estado de control estadístico, al eliminar las causas especiales de variación, podemos usar los datos para estimar la capacidad del proceso. Este método no es tan exacto como el que se estudio en el capítulo 13, porque en él se usa la amplitud promedio, y no la desviación estándar estimada de los datos originales. A pesar de todo, es un método rápido y útil, siempre que la distribución de los datos originales sea razonablemente normal.

Según la hipótesis de normalidad, la desviación estándar de los datos

$$\sigma = \frac{R}{d_2}$$

originales se puede estimar como sigue:

Donde  $d_2$  es una constante que depende del tamaño de muestra, y que también se encuentra en el Apéndice B. Entonces, la capacidad del proceso está expresada por  $6\sigma$ . La variación natural de las mediciones individuales es  $\bar{x} \pm 3\sigma$ . El reverso de la gráfica de control de la ASQC tiene una hoja de trabajo para calcular lo anterior. Ejemplificaremos esos cálculos a continuación.

EJEMPLO 2 Estimación de la capacidad del proceso para el espesor de las obleas de silicio. En la figura 16.20 están los cálculos para el ejemplo del *chip* de silicio que se analizo en la sección “Límites para medidas individuales” de la forma. Para un tamaño muestral de 3,  $d_2=1.693$ . En la figura 16.20,  $UL_x$  y  $LL_x$  representa el límite superior e inferior de observaciones individuales, basado en los en los límites  $3\sigma$ . Entonces, se espera que el espesor varia entre  $-1.9$  y  $95.9$ . Como el punto cero de los datos es la especificación inferior, quiere decir que se espera que el espesor varíe de  $0.0019$  menos que la muestra. Esto es especialmente valido cuando es pequeña la fracción verdadera de artículos defectuosos. Si  $p$  es pequeña,  $n$  debe ser lo suficientemente grandes como para tener una gran probabilidad de detectar cuando

menos una pieza defectuosa. Por ejemplo, si  $p = .01$ , entonces, para tener cuando menos una probabilidad de 95% de encontrar cuando menos un artículo defectuoso, el tamaño de muestra debe ser, como mínimo, 300. Otros métodos para determinar los tamaños de muestras para datos de atributos son escoger  $n$  lo suficientemente grande como para tener un 50% de probabilidad de descubrir un desplazamiento del proceso de determinada cantidad especificada, o escoger a  $n$  de tal modo que la gráfica de control tenga un límite inferior de control positivo.

### **Frecuencia de muestreo**

El tercer punto en el diseño es la frecuencia de muestreo. Nos gustaría tener muestras grandes y frecuentes, pero, obviamente, no es económico. No existen reglas establecidas ni invariables para la frecuencia de muestreo. Las muestras deben ser lo suficientemente cercanas entre si para que haya una oportunidad de detectar cambios en las características del proceso, lo más pronto que sea posible, para reducir las probabilidades de producir una gran cantidad de producto que no cumpla con las especificaciones. Sin embargo, no se deben acercar tanto que el costo de muestreo supere los beneficios que se puedan obtener. Esta decisión depende de la aplicación individual y del volumen de producción.

### **Ubicación de los límites de control**

La ubicación de los límites de control se relaciona estrechamente con el riesgo implícito en hacer una evaluación incorrecta del estado de control. Se presenta un error tipo I cuando se llega a la conclusión incorrecta de que se tiene una causa especial, cuando en realidad, no existe. Esto ocasiona el costo de tratar de encontrar un problema inexistente. Se presenta un error tipo II cuando existen causas especiales, pero no se descubren en la gráfica de control, porque los puntos quedan dentro de los límites de control, por casualidad. Como hay mayor probabilidad de que se produzcan artículos que no cumplan las especificaciones se incurriría finalmente

en un costo como resultado de lo anterior. El tamaño de un error tipo I solo depende de los límites de control que se usen; mientras más amplios sean, será menor la probabilidad de que un punto quede fuera de los límites y, en consecuencia, habrá menor oportunidad de incurrir en un error tipo I. Sin embargo, un error tipo II depende de la amplitud de los límites de control, del grado en que el proceso está fuera de control y del tamaño de muestra. Para un tamaño muestral fijo, los límites de control más amplios aumentan el riesgo de incurrir en un error tipo II.

El método tradicional de usar límites 3 sigma presupone, implícitamente, que el costo de un error tipo I es grande, en relación con el de un error tipo II; es decir, esencialmente se reduce al mínimo el error tipo I. Este no siempre es el caso. Se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre el diseño económico de gráficas de control. Los modelos de costos tratan de determinar la mejor combinación de parámetros de diseño (eje central, límites de control,

Tamaño de muestra e intervalo de muestreo) que reduzcan al mínimo el costo esperado, o aumenten al máximo la utilidad esperada.

Hay costos asociados cuando se cometen errores tipo I y II. Un error tipo I ocasiona investigación innecesaria para tratar de encontrar alguna causa asignable. El costo puede comprender el del tiempo muerto de producción, y de pruebas especiales. Un error tipo II puede ser más importante. Si no se identifica cuando un proceso está fuera de control, las piezas defectuosas que se produzcan pueden ocasionar mayores costos de desecho y reproceso de etapas posteriores de producción, o después de que los bienes terminados llegan al consumidor. Desafortunadamente, es casi imposible estimar el costo de un error tipo II, porque depende de la cantidad de productos que no cumplen con las especificaciones, y no se conoce esta cantidad.

Los costos asociados con errores tipo I y tipo II se contraponen cuando se cambia el tamaño de los límites de control. Mientras más estrechos sean esos límites, mayor será la probabilidad de que una muestra indique que el proceso está fuera de control. Por lo tanto, aumenta el costo de un error tipo I a medida que se reducen los límites de control. Por otro lado, los límites de control más estrechos reducirán el



costo de un error tipo II, ya que se identificarán con mayor facilidad los estados fuera de control, y se reducirá la cantidad de productos defectuosos.

Los costos relacionados con el muestreo y la prueba pueden abarcar el tiempo productivo perdido cuando el operador hace mediciones de la muestra, lleva a cabo los cálculos y ubica los puntos en la gráfica de control. Si la prueba es destructiva, también se debe incluir el costo de los artículos perdidos. Así, los tamaños mayores de muestra, y el muestreo más frecuente, ocasionan mayores costos.

El tamaño de la muestra y la frecuencia de muestreo, también afecta los costos de los errores tipo I y tipo II. a medida que aumenta el tamaño de la muestra, o la frecuencia, se reducen los errores tipo I y tipo II, ya que se tiene mejor información para tomar decisiones. En la tabla 3.1 se resume este análisis de la interacción triple de costos. En el diseño económico de gráficas de control, debemos tener en cuenta estos costos en forma simultánea.

**Tabla 3.1 Decisiones económicas para elaborar de la gráfica de control**

Origen de costo	Tamaño muestral	Frecuencia de muestreo	de Limites de control
Error tipo I	Grande	Alta	Amplios
Error tipo II	Grande	Alta	Estrechos
Muestreo y prueba	pequeño	Baja	-----

En la práctica, con frecuencia se aplica el juicio de la naturaleza de la operaciones, y de los costos implícitos en la toma de esas decisiones. Mayer<sup>3</sup> recomienda los siguientes lineamientos:

1. Si es importante el costo de investigar una operación para identificar la causa de un estado evidente fuera de control, el error tipo I es importante, y se deben adoptar límites más amplios de control. A la inversa, si ese costo es bajo, se deben seleccionar límites más estrechos.

2. Si es apreciable el costo de la producción defectuosa generada por una operación, el error tipo II es grave, y se deben aplicar límites más estrechos de control. Si no es así, se deben seleccionar más amplios.

3. Si son importantes los costos de un error tipo I y un error tipo II, a la vez, se deben escoger límites más amplios de control, y se debe tener en cuenta la reducción del riesgo de un error tipo II aumentando el tamaño de la muestra. También, se deben tomar muestras más frecuentes para reducir la duración de cualquier condición fuera de control que se pudiera presentar.

4. Si la experiencia con una operación indica que las condiciones fuera de control se presentan con bastante frecuencia, se deben favorecer límites más estrechos de control, a causa de las frecuentes oportunidades de cometer un error tipo II. En caso de que sea muy pequeña la oportunidad de tener un caso fuera de control, se deben preferir límites más altos.

### **Longitud de la corrida de producción**

Las gráficas de control se aplican más a caso de manufactura en grandes cantidades. En algunas industrias, en especial a medida que aumentan las presiones de alcanzar mayor flexibilidad de manufactura, son comunes corridas cortas de producción. En esos casos, hasta puede no ser factible reunir los datos iniciales suficientes como para calcular los límites de control. Para cuando se han reunido los datos, se puede haber terminado la producción y, con ello, se desvirtúa el objeto de la gráfica.

Un método para superar este problema es cambiar la definición de las mediciones. Por ejemplo, veamos un taladro vertical en el que cada proceso necesita diversa

profundidades de agujero. En lugar de medir los valores de la profundidad real en determinada parte, se puede medir la desviación con respecto al objetivo.

De este modo se eliminan las diferencias entre productos y corridas de producción.

De hecho, este método vigila las características del proceso; mas que las características del producto.

## **ESTABLECIMIENTO DEL CONTROL ESTADÍSTICO DEL PROCESO**

Es relativamente fácil aplicar las gráficas de control, al igual que las demás herramientas básicas del mejoramiento de la calidad. A continuación presentamos un resumen de la metodología para elaborar y usar las gráficas de control:

### **1. Preparación**

- a. Escoger la variable o atributo que se ha de medir.
- b. Determinar la base, tamaño y frecuencia de muestreo.
- c. Establecer la gráfica de control.

### **2. Recopilación de datos**

- a. Anotar los datos
- b. Calcular las medidas estadísticas pertinentes: promedios, amplitudes, proporciones, etcétera.
- c. Anotar los resultados en la gráfica.

### **3. Determinación de límites tentativos de control.**

- a. Calcular los promedios general y de amplitud para las gráficas x y R, o la proporción promedio para las gráficas p.
- b. Trazar el eje central en la gráfica.
- c. Calcular los límites superior e inferior de control.

### **4.- Análisis e interpretación.**

- a. Investigar con la gráfica si hay falta de control.
- b. Eliminar los puntos fuera de control.
- c. Volver a calcular los límites de control, de ser necesario.
- d. Determinar la capacidad del proceso.

### **5.- Usar la gráfica como herramienta para solucionar problemas.**

- a. Continuar la recopilación y graficación de los datos.
- b. Identificar situaciones fuera de control y emprender acciones correctivas.

Las gráficas de control pueden rendir grandes beneficios a una empresa.

Por ejemplo, *Edgewood Tool Manufacturing Company*, en Taylor, Michigan, tenía un problema de piezas mal troqueladas en las bisagras de la capota de los camiones Ford. Una dimensión crítica, la distancia de la orilla de un agujero troquelado a la orilla de la parte se vigilaba con una gráfica de control. Encontraron que la variación aumentaba siempre que el operador cargaba un nuevo rollo de material en la máquina. La solución fue un bloque de calibración, poco costosa, que hizo de la carga y la colocación, una operación más precisa.

Existen varias razones que explican por qué a veces fallan las gráficas de control en las empresas. Puede ser que los operadores no confíen en esa nueva herramienta. Los métodos antiguos, como corregir un proceso sólo si la producción está fuera de especificaciones, o ajustar la máquina después de cada lote, son hábitos difíciles de romper. Otra razón es la falta de un plan de acciones correctivas. El concepto de control requiere que se identifiquen y corrijan las causas asignables. Si no se emprenden acciones cuando la gráfica de control aumenta su variabilidad, se reduce la importancia de esa gráfica, y se socava todo el programa de la calidad.

También se debe tener cuidado en usar la gráfica adecuada. Las gráficas de atributos son más fáciles de utilizar. Sin embargo, usar una gráfica de atributos cuando lo mejor es una gráfica de variables, conduce a pérdida de sensibilidad, pérdida de información para las acciones correctivas, y a que se interprete la calidad en términos de efectos, y no en cuanto a uniformidad con respecto a una meta.

La administración tiene la responsabilidad de mostrar su compromiso, y no tan sólo de dicho. El compromiso se hace evidente en casos en los que el uso de la gráfica de control quiere decir que la acción correctiva demorará un embarque. Si no hay respaldo de la administración, los operadores verán pronto que están perdiendo el tiempo y ya no aplicarán el control estadístico de proceso. Además, la administración debe aceptar el hecho de que las gráficas de control necesitan mantenimiento. Se deben actualizar en forma periódica los límites de control, como elementos del cambio de proceso, y a medida que se eliminen las causas asignables. Es inútil una gráfica obsoleta. La alta administración debe comprometer recursos financieros para instrumentos de medición, calculadoras o computadoras y programas, al igual que capacitación para que los trabajadores aprendan la mecánica del control estadístico de proceso. La administración debe demostrar que el CEP no es una moda que desaparecerá en pocos meses, sino un compromiso dinámico para mejorar la calidad. Integrar el control estadístico de calidad al trabajo cotidiano interrumpirá un poco la producción, y los administradores deben reconocer esto, y estar preparados.

En segundo lugar, los proyectos de control estadístico de proceso necesitan un héroe, es decir, un individuo o empresa que tenga tanto la responsabilidad como la

autoridad para hacerlo funcionar. Cualquier tipo de nueva empresa en los negocios falla, invariablemente, si no hay algún campeón que lo promueva y asegure su éxito.

## **4. METODOS ESTADISTICOS EMPLEADOS EN EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD**

### **4.1 Introducción**

Existen unos principios básicos que sirven para comprender el comportamiento estadístico de los fenómenos que son los siguientes:

**1) No hay dos cosas exactamente iguales.**

Este principio se basa en que jamás existirían dos partes que sean iguales, pero es deseable conservar las diferencias entre esas partes al mínimo.

**2) Las variaciones en un producto o proceso son medibles.**

Todo proceso debe ser monitoreado de manera continua con objeto de visualizar los resultados de cierta operación si es que se está presentando un problema o si hay un comportamiento normal en el mismo.

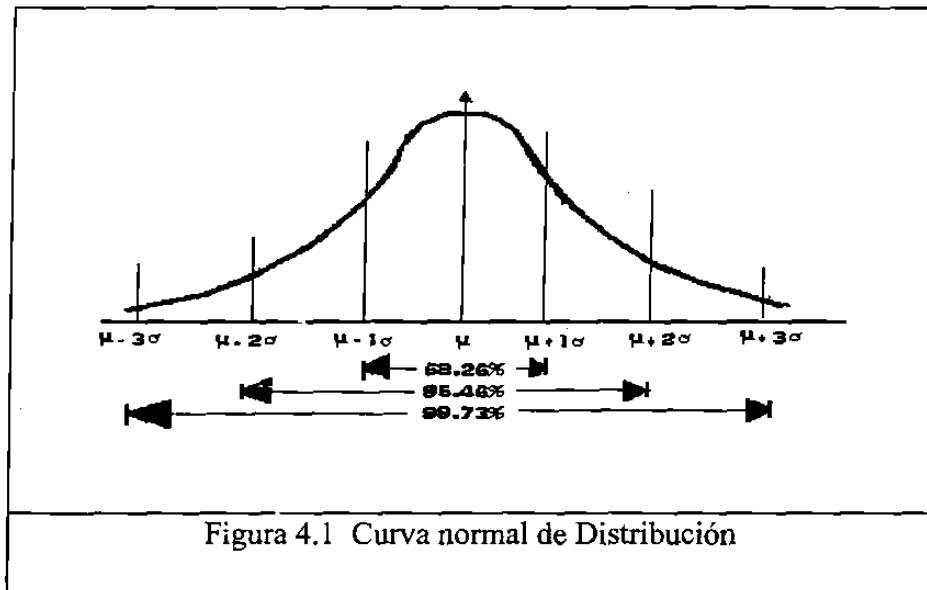
**3) Las cosas varían de acuerdo con un patrón determinado.**

Para que el patrón tome forma se deberá registrar las lecturas de la dimensión de cualquiera de las partes y si se agrupan se observará la formación de un patrón después de haber medido y registrado varias de estas lecturas. Al patrón que se forma se le conoce como distribución de frecuencia la cual queda formada al trazar una línea alrededor de los grupo y en ésta curva se observará que hay más lecturas hacia el centro y menos en los bordes tomando la curva la forma de una campana, y ésta curva de distribución de frecuencia se repetirá tantas veces como se tomen lecturas.

- 4) Cada vez que se miden cosas del mismo tipo, la mayoría de las lecturas tienden a agruparse hacia el centro.

Es posible predecir con bastante exactitud el porcentaje de lecturas en diferentes secciones de la curva como se muestra en la figura 4.1.

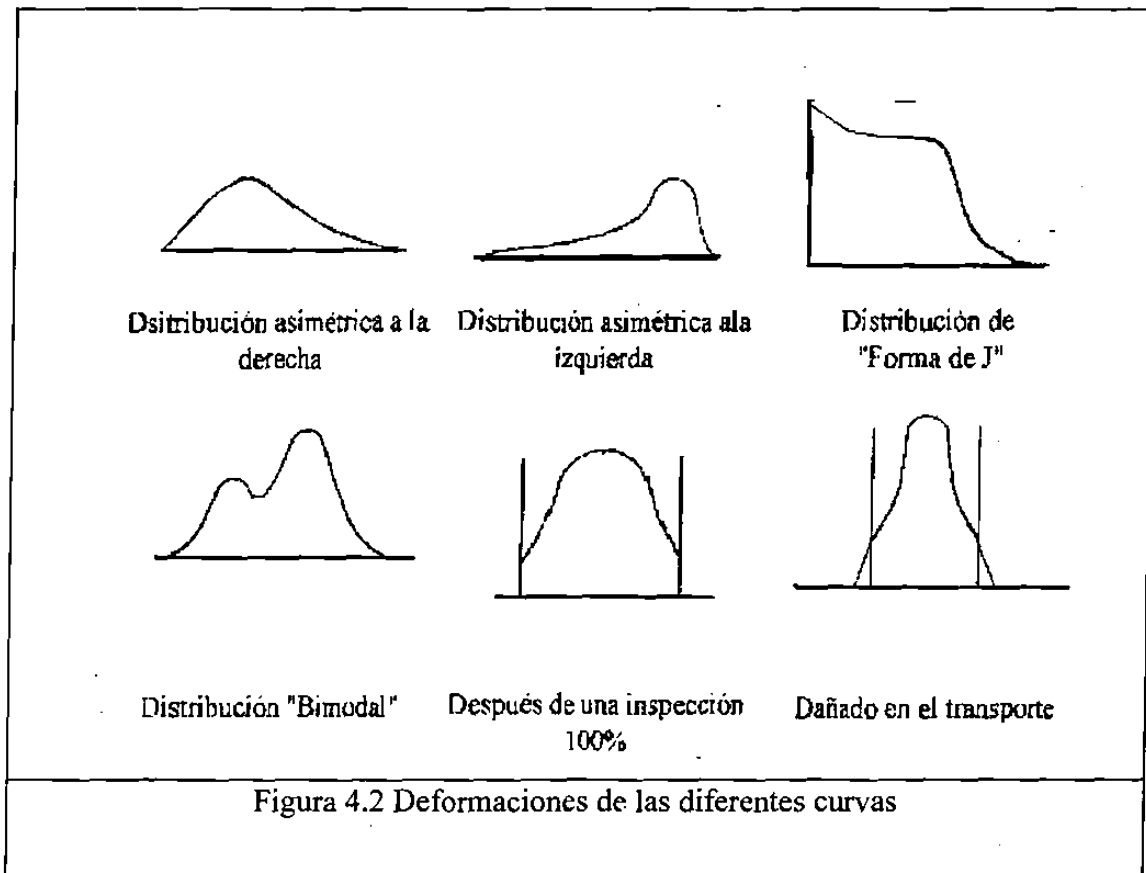
Será conveniente recordar que las lecturas tienden a agruparse hacia el centro como se muestra en la curva de campana la cual recibe el nombre de “Curva Normal de Distribución”.





**(5) Es posible determinar la forma de la curva de distribución para las partes fabricadas por un proceso.**

Si se hace una agrupación o una distribución de frecuencias de las piezas fabricadas en un proceso podemos entonces compararla con las especificaciones para esa dimensión y así se sabrá que es lo que hace el proceso comparado con lo que queremos que haga. Un proceso puede tener su origen de variación en alguna de las siguientes áreas: materiales, máquinas, procedimientos, medio ambiente y operarios. Pero la variación observada cuando medimos piezas en un proceso es resultado de dos tipos de causas a las cuales podemos llamarlas causas fortuitas y causas asignables. En algunos textos le llaman causas de sistema y causas especiales. Las causas fortuitas son aquellas contra las que no se puede hacer algo, éstas están siempre dentro del proceso y forman parte de éste mientras que las causas asignables son aquellas contra las que sí podemos hacer algo ya que pueden detectarse por no estar siempre activas en el proceso. Entonces si las variaciones en un proceso que se deban a las áreas antes mencionadas fueran por causa fortuita entonces el producto varía de manera normal y predecible y podemos decir que éste es proceso estable. Pero si ocurre un cambio poco usual y éste cambio se refleja en la curva normal de distribución y entonces se puede decir que éste es resultado de una causa asignable. De ser así, la curva normal de distribución sufriría una deformación y perderá su forma acampanada. Como puede verse en la figura 4.2



6) **Las variaciones debido a causas asignables tienen a deformar la curva normal de distribución.**

La distribución de frecuencia es una lista de mediciones que muestran cuantas veces incluye cada medida en el grupo. Es de gran ayuda para determinar si las causas fortuitas son las únicas presentes en el proceso o si también hay causas asignables.

En las distribuciones de frecuencias es posible observar los principios anteriormente mencionados.

## **4.2 Las siete herramientas estadísticas de la calidad total**

A continuación se describen las siete herramientas que son indispensables para llevar a cabo un adecuado control de calidad. Estas herramientas son: **diagrama de Pareto, diagrama Causa Efecto, Estratificación, Hoja de verificación, Histograma de frecuencia, diagrama de dispersión, gráfica de control Shewart**. Se considera que un 95% de los problemas de calidad se resuelven con éstas herramientas. Es importante que los miembros de la gerencia, así como los trabajadores de línea estén familiarizados en el manejo de éstas herramientas.

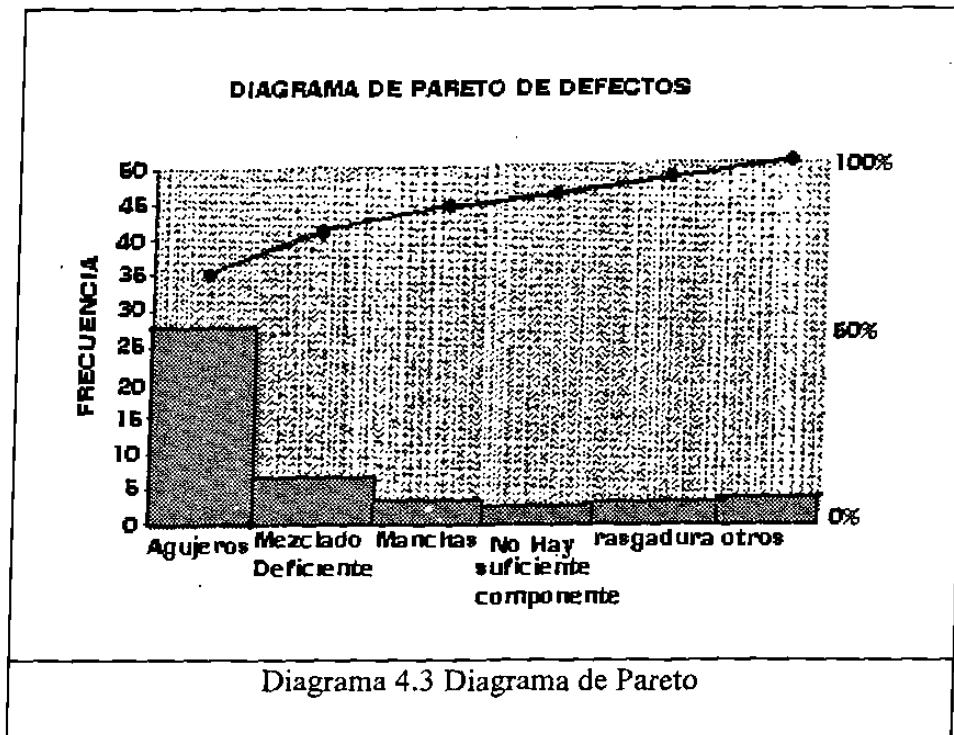
### **4.2.1 Diagrama de Pareto.**

Llamado también el Principio de “**Poco Vitales, Muchos Triviales**”. El diagrama de Pareto es una gráfica parecida al diagrama de barras donde se muestra en forma ordenada el grado de importancia que tienen las diferentes causas en un cierto problema, tomando en consideración la frecuencia con que ocurre cada una de las causas. Osea que prácticamente es un histograma de datos. Este diagrama tomó el apellido de Vilfredo Pareto quién era un economista italiano que observó que cuando se analizan las causas de un problema existen pocas vitales y muchas triviales. Pocos vitales son los factores que representan la parte más grande o el porcentaje más alto de un total, y los muchos triviales son los numerosos factores que están representando la parte restante. Esta herramienta fue popularizada por Joseph Juran y Alan Lakelin éste último formuló la regla 80-20 basándose en los estudios de Pareto, ésta regla enuncia que el 80% de un valor o de un costo se debe al 20% de los elementos causantes de éste. El objetivo del diagrama de Pareto es la identificación de los pocos vitales, o sea el 20%, el diagrama facilita la toma de decisiones ya que se ven agrupados por orden de importancia las causas de un problema. El análisis de Pareto es de bastante utilidad porque nos muestra la necesidad de cambio y mejora y es una ayuda para jerarquizar los problemas que necesitan ser resueltos y así poder decidir que hacer

primero, tomando decisiones basadas en datos. Una aplicación de éste tipo de diagrama es para mostrar los resultados de programas de mejoramiento a través del tiempo. Este tipo de análisis puede aplicarse para analizar los datos que se tienen reunidos en las hojas de verificación. Las características que se observen se deben de ordenar de ordenar desde la mayor frecuencia hasta la menor.

A continuación se muestran los pasos recomendados para la elaboración de un diagrama de Pareto.

- Paso 1.** Se deberá de elaborar una lista de causas posibles del problema.
- Paso 2** Establezca el intervalo de tiempo en que se obtendrán las mediciones.
- Paso 3.** Realice las mediciones y obtenga la frecuencia de ocurrencia de cada causa en el intervalo fijado.
- Paso 4.** Deberá de ordenar las causas o factores que influyen en el problema en orden decreciente pero de acuerdo a su frecuencia.
- Paso 5** Calcule el porcentaje absoluto de defectuosos por cada causa respecto al número total de artículos inspeccionados.
- Paso 6.** Deberá de calcular el % relativo de defectuosos por cada causa con respecto al número total de artículos defectuosos.
- Paso 7.** Calcule el % relativo acumulado.
- Paso 8.** Elabore la gráfica trazando dos ejes verticales y uno horizontal.
- Paso 9.** Graficar las barras de los diferentes factores o causas donde la altura de la barra será la frecuencia con la que se está presentando la causa. Las barras tendrán la misma base y las barras adyacentes tendrán lados comunes.
- Paso 10.** Grafique los puntos que representan el % relativo acumulado considerado el extremo derecho de cada barra. A continuación en la figura 4.3 se puede ver la forma que tomaría el Pareto.



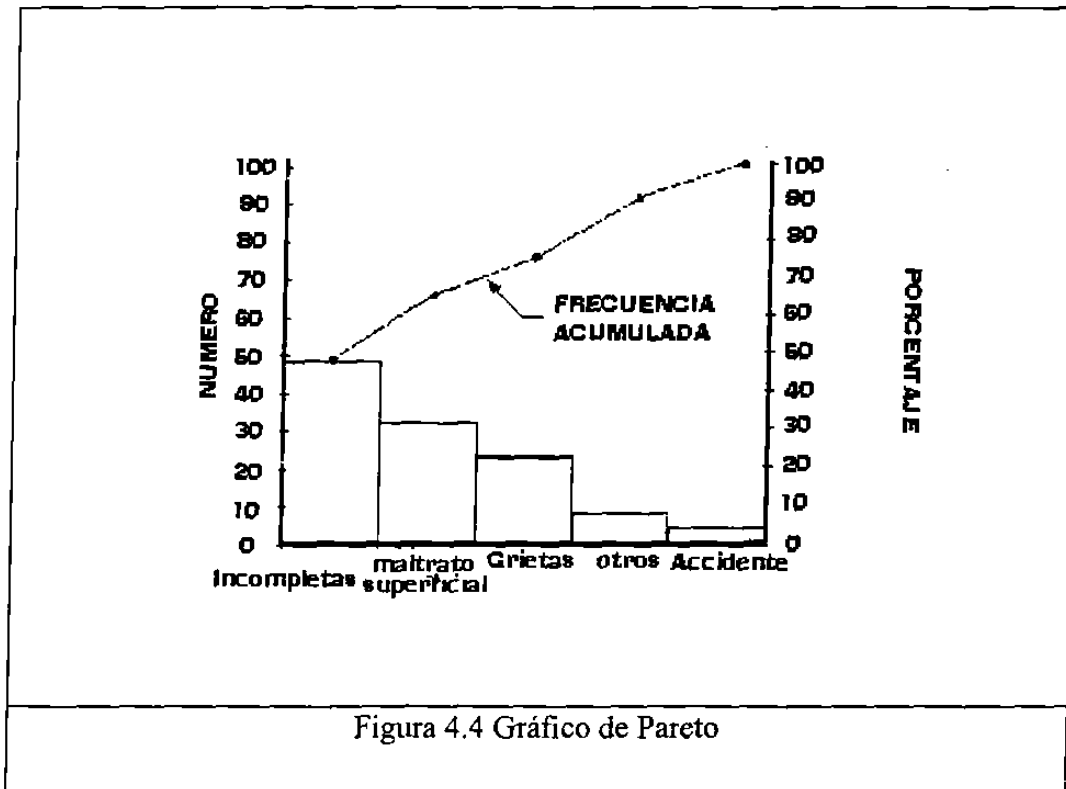
A continuación se hará un análisis de Pareto para artículos defectuosos ordenándose los tipos de defectos de acuerdo a su porcentaje relativo como se muestra en la tabla 4.1

	Número	Porcentaje del total.
Incompletas	48	42
Rayadura superficial	32	28
Roturas	23	20
Otras	8	7
Accidentales	4	3

Tabla 4.1 Ejemplo sobre artículos defectuosos

En ésta tabla se puede apreciar que en cuanto a defectos la incompletas explican el 42% del total y que las tres categorías principales explican el 80% de todos los defectos.

Esto visto en un diagrama de pareto queda como se muestra en la figura 4.4.



Puede apreciarse con facilidad la causa principal de un problema y de ésta manera deberemos enfocar toda nuestra atención para eliminarlo.

Algunas ventajas al utilizar el diagrama de Pareto son las siguientes:

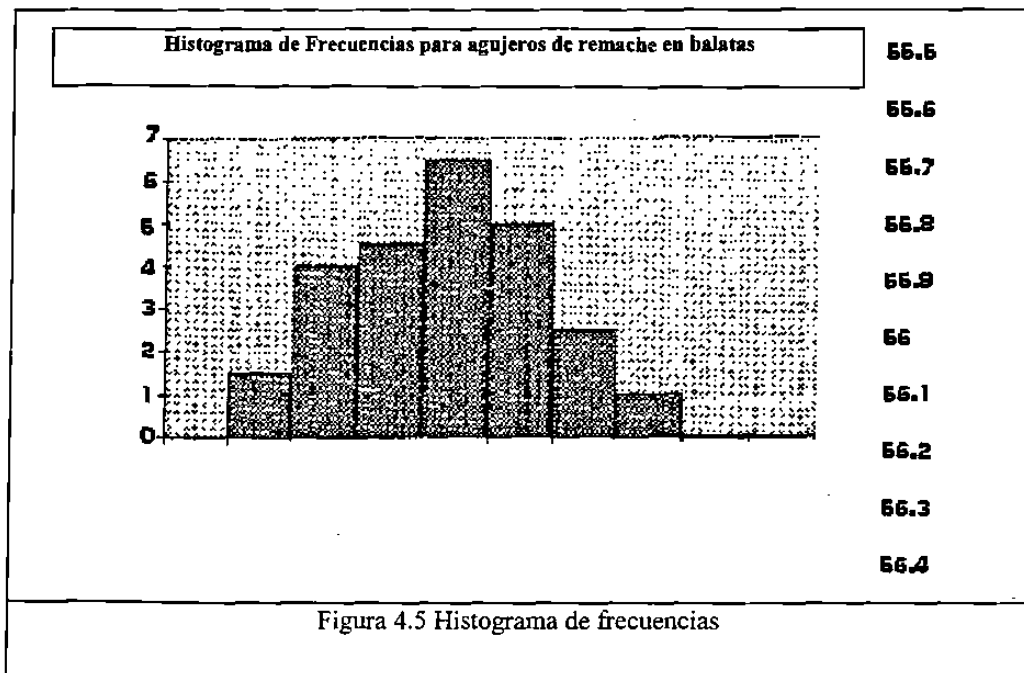
- a) Se puede visualizar rápidamente cuáles son las causas que afectan un proceso o sistema.

- b) Se sabe inmediatamente cuáles son las causas de un problema en las que debe actuarse en forma inmediata.
  
- c) Se puede verificar la eficacia de las acciones correctivas comparando el pareto antes y después que se tomó la acción.
  
- d) Es posible expresar los costos que representa cada tipo de defecto así como la economía lograda después de las modificaciones.

#### **4.2.2 Histograma de Frecuencia.**

Un histograma se puede definir como una representación gráfica de la variación en conjunto de datos. Toda variación que se tenga en un proceso tiene determinado comportamiento el cual puede revisarse con un histograma de frecuencias, donde se podrán apreciar el número de observaciones de cierto valor o frecuencia encuadrados en grupos determinados. En el histograma se puede ver la forma que tiene la distribución y así poder hacer inferencias sobre la población y éstos comportamientos difícilmente se pueden apreciar en una tabla de números.

El histograma de frecuencias es una herramienta que ayuda a seguir con atención las variaciones. En éste tipo de diagrama se puede observar la dispersión de las lecturas así como la cantidad que hay de cada lectura. En la figura 4.5 se puede apreciar la forma de un histograma.



En el histograma mostrado el margen inferior de la gráfica se llama escala horizontal, las medidas se ordenan de izquierda a derecha, cada barra representan un grupo de medidas dentro de cierto rango. En un histograma de frecuencias se pueden ver las dispersión que hay de las lecturas de manera rápida y fácil, sin fórmulas o tablas. Pero los histogramas de frecuencias no dan información exacta sobre la variación, así es que no se podría saber si las variaciones fueron causadas por una sola máquina o por varia y no indica relaciones de tiempo porque no puede proporcionar información en función del tiempo. En resumen, habrá que poner especial énfasis en tres propiedades que pueden observarse fácilmente en un histograma, que son: forma, acumulación o tendencia central y dispersión o variabilidad.

A continuación se describe el procedimiento para formar un histograma de frecuencia:



**Paso 1.** Reunir las lecturas.

Estas pueden estar en los reportes de inspección, de no ser así, tal vez sea necesario compilarlas de varios lugares.

**Paso 2.** Encontrar y marcar la lectura más alta y la más pequeña de cada grupo.**Paso 3.** Encontrar la lectura mayor y la menor de toda la serie.**Paso 4.** Calcular el rango de las medidas.

En este paso, se restará el número más pequeño del más alto de toda la serie, y a la diferencia se le llama rango.

**Paso 5.** Determinación de los intervalos de clase.

Si ya se sabe la dimensión más pequeña y la mayor, ahora se deberá dividir éste intervalo en una serie de intervalos más pequeños de la misma amplitud. Será importante la elección de la cantidad correcta de intervalos para el número de lecturas, si son pocos intervalos, se ocultará información valiosa, y si son muchos probablemente conformen un histograma tan plano que pueda omitir algo importante.

**Paso 6.** Determinación de intervalos, límites y puntos medios.

Primero dividir el rango de los datos entre el número de intervalos deseado.

Redondear este resultado, si es conveniente. Esto indicará la amplitud de cada intervalo.

Posteriormente se deberán establecer límites para cada intervalo. Cada lectura deberá quedar entre dos límites el establecimiento de límites entre los intervalos es para que ninguna lectura quede exactamente sobre estos, una forma de hacerlo es sumar o restar una decimal de cada límite extremo si los datos no tienen decimales. Restar 0.5 a cada intervalo y esto cambiara el límite. Por último se

deberá de establecer un punto medio en el centro de cada intervalo. Al límite inferior se le sumará la mitad de la amplitud de cada barra.

**Paso 7.** Determinación de las frecuencias

Anotar una marca en cada intervalo de clase después de revisar las marcas sumárlas y listar los totales bajo el título de “frecuencia”.

**Paso 8.** Preparación del histograma de frecuencia.

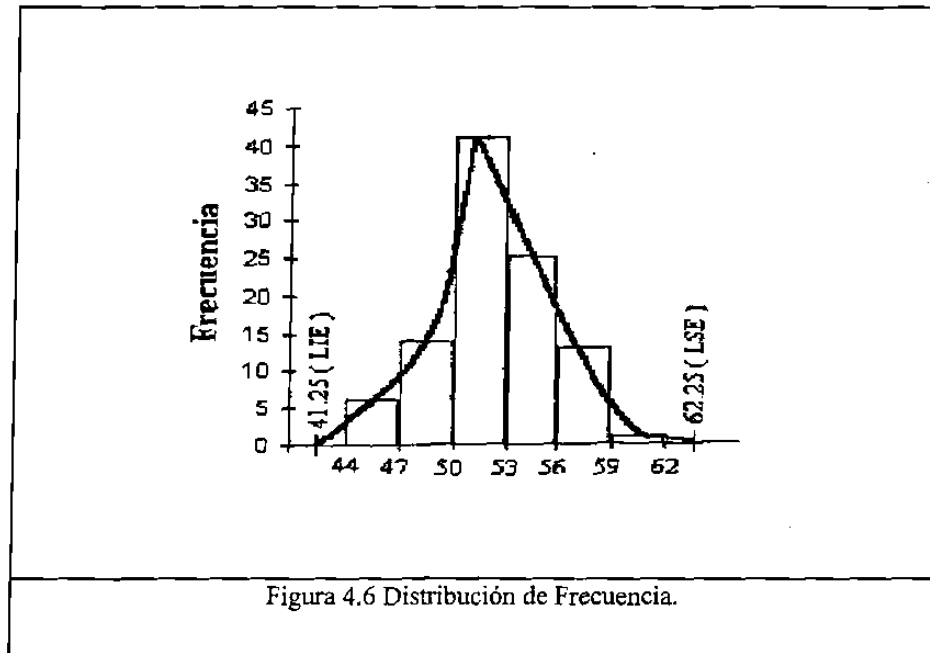
El histograma de frecuencia deberá de decir lo que dicen los datos además debe ser claro y fácil de leer.

Para trazarlo se deberá marcar la escala vertical y darle un título, marcar la escala horizontal y darle un título también así como titular el histograma.

Algunas recomendaciones útiles para elaborar un histograma de frecuencia son las siguientes:

- Usar intervalos del mismo ancho.
- No usar intervalos abiertos.
- No hacer cortes en las escalas horizontal y vertical.
- No poner demasiados intervalos ni muy pocos.
- No poner demasiada información en el histograma.
- Proporcionar lo que sea necesario para identificar la información en forma completa.

La variación de un proceso es completamente normal y el histograma de frecuencias es una herramienta que ayuda a manejar la variación. Es una fotografía del proceso que muestra el rango de lecturas en una muestra en un momento dado e indica cuantas piezas hay en cada medida.



#### 4.2.3 La Gráfica de Control de Shewart.

La gráfica de control es una importante herramienta para mantener un proceso bajo control. Por primera vez Walter Shewart en la década de los años veintes la propuso, después de que se dio cuenta que hay causas comunes y especiales en la variación de un proceso y diseño las gráficas de control con objeto de hacer una separación.

Existen dos causas de variabilidad en un proceso, éstas pueden deberse a lo que son las causas especiales y éstas son aquellas que se deben a circunstancias que no se dan en la mayoría de los casos resulta claro como debe hacerse esto. Por otra parte, están las causas comunes las cuales son debidas en gran parte al azar. La solución de éstas requiere que intervienen en dicho proceso.

Es de vital importancia el empleo de las gráficas de control para hacer un análisis del comportamiento de un proceso, una gráfica de control es un registro continuo del trabajo, y nos informa si el proceso se desarrolla adecuadamente, y además nos dice cuando requiere atención el mismo. Es una buena herramienta que indica si hay problema y también si ya se ha hecho la corrección adecuada.

Existen muy buenas razones para emplear un diagrama de control y son las siguientes:

- a) El diagrama de control mejorará la productividad. El diagrama de control reduce el rechazo y la reelaboración con esto hay un aumento de la productividad, los costos disminuyen y la capacidad de la producción aumenta.
- b) Los diagramas de control son eficaces para evitar defectos. El diagrama de control mantiene bien el proceso bajo control, esto implica que las cosas se hacen bien desde el principio, si no hubiera un control de proceso eficiente, se estaría pagando a la gente por fabricar con defectos.
- c) Los diagramas de control evitan ajustes innecesarios al proceso. Esta diagrama puede distinguir entre el ruido de fondo y una variación normal si los operarios del proceso hacen sus ajustes con base en pruebas no relacionadas con un programa de diagrama de control tomarán demasiado en cuenta el ruido de fondo y harán ajustes innecesarios.
- d) Los diagramas de control proporcionan información para el análisis. A menudo el patrón de los puntos del diagrama de control, contienen información diagnóstica para un operario o ingeniero con experiencia, lo cual facilita hacer un cambio en el proceso que mejore su rendimiento.
- e) Los diagramas de control proporcionan información de la capacidad del proceso. La gráfica de control ofrece información sobre el valor del proceso y de su estabilidad en el tiempo, lo cual permite estimar la capacidad del proceso.

Existen dos gráficas de control que son:

- a) Gráficas de control variables
- b) Gráficas de control de atributo

Entendiéndose por variable a la característica de la calidad medible que puede expresarse mediante un número, mientras que un atributo es la característica de la

calidad que juzga mediante expresiones calificativas como son: pasa o no pasa, aprobado, rechazado, conforme a, no conforme a.

La gráfica de control de variables se usa cuando se mide una dimensión o característica y el resultado es una cifra. Dentro de este tipo de gráficas la que más se emplea es la gráfica de promedio y rango es por esto que a continuación se describe en que consiste:

Esta gráfica en realidad son dos, una es la gráfica de promedio que se utiliza para monitorear la exactitud de la operación en la dimensión especificada y la gráfica de rango para monitorear la dispersión de la dimensión respecto al promedio como puede verse en la figura 4.7

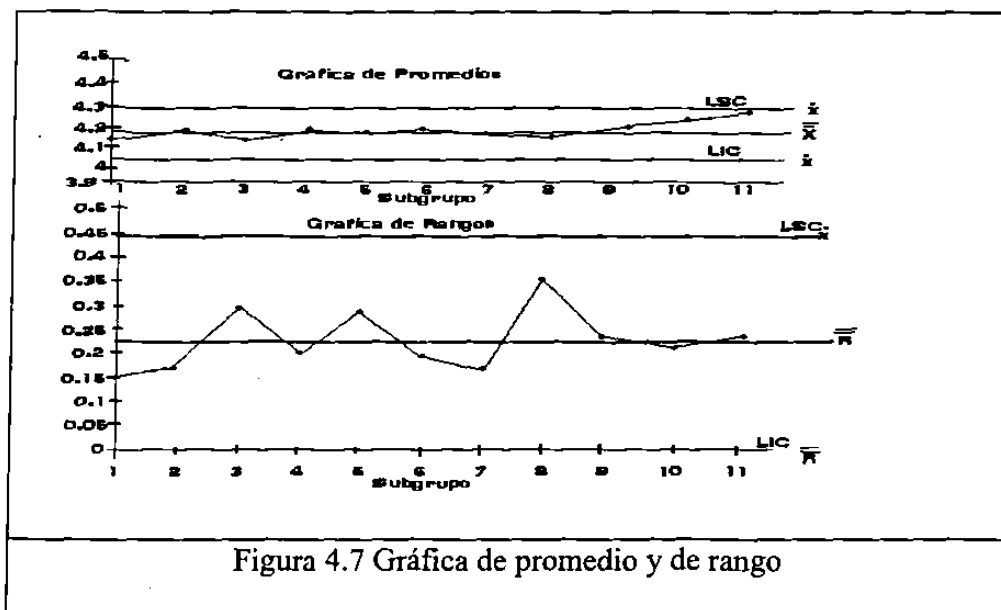
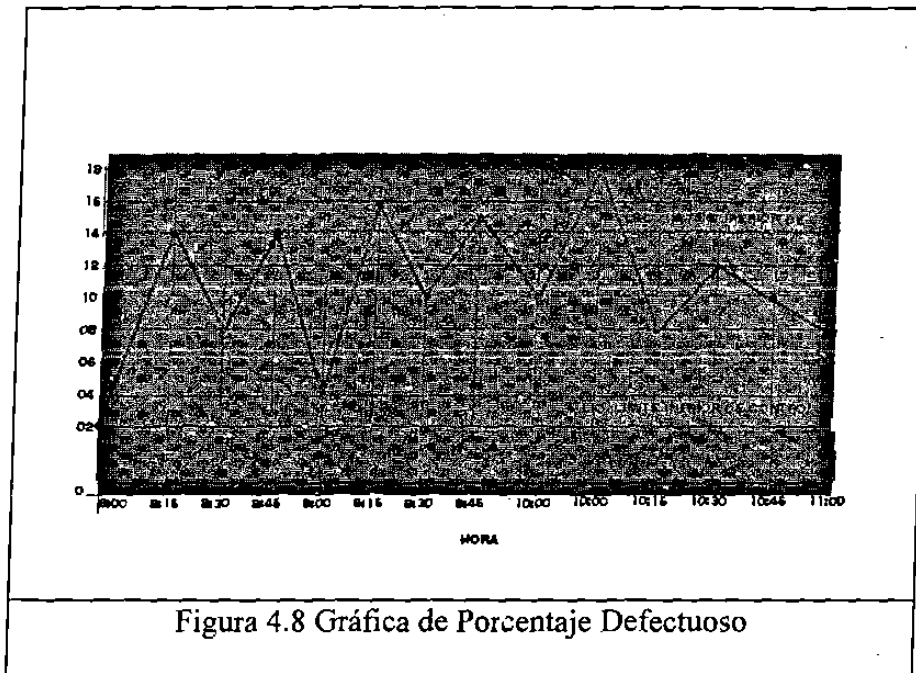


Figura 4.7 Gráfica de promedio y de rango

Gráfica de atributos, después de que se hace una cuidadosa inspección y teniendo resultados como bueno o malo pasa o no pasa se le dan valores a estos resultados para poder graficarlos y de ésta manera con métodos estadísticos y monitorear estos valores.

Por ejemplo si se desea monitorear el diámetro de un eje se podría emplear un medidor de pasa o no pasa este medidor dirá si el eje esta dentro de los límites de

calibración establecidos, pero no proporciona lecturas reales, pero como no se puede utilizar una gráfica de promedio y rango para este tipo de información es que se usa la gráfica de atributo y una variedad de ésta es la gráfica de porcentaje defectuoso que se muestra en la figura 4-8.



Los puntos del gráfico anterior se obtuvieron después de que se revisó una cierta muestra el operador tuvo que contar las piezas que fueron rechazadas por el calibrados por no estar dentro de especificación y calculó el porcentaje defectuoso de la muestra extraída y con esto se pudo trazar la gráfica de porcentaje defectuoso. Y si los puntos graficados quedan dentro de los límites de control todo es satisfactorio y de nos ser así habrá que hacer correcciones.

# 5.FILOSOFIAS Y PRINCIPIOS DE LA CALIDAD

## 5.1 Definición de la calidad total.

El concepto y el vocabulario de la calidad son esquivos. Las distintas personas interpretan la calidad de diferentes maneras. Muy pocos pueden definir la calidad en términos que sea posible medir y traducir en operaciones. Por ejemplo un trabajador de la salud define calidad como: “calidad en la atención médica”; un empleado de un hotel diría: “calidad significa la satisfacción del cliente” el personal de manufactura se expresaría: “la calidad del producto es lo más importante”.

No obstante cuando se les pide una definición más específica del término, muy pocos son capaces de definir la calidad en términos de medición y que además se puedan traducir en operaciones.

La definición básica de administración dice: “Si no lo puedes medir, no lo podrás administrar”. Y lo mismo sucede con la calidad, si el sistema de administración y la ventaja competitiva se van a basar en la calidad, entonces todos y cada uno de los miembros de la organización tendrán que conocer con claridad el concepto, la definición y la medición de la calidad, tal como se habrá de aplicar en su propio trabajo, Es conveniente que la calidad sea definida o percibida en distintas formas dentro de la compañía, según la fase específica del ciclo de vida del producto que se trate.

La gente viaja a los museos más importantes para ver obras de arte como el David de Miguel Angel y todos coinciden en que son obras de arte de calidad, sin embargo la mayoría no puede definir esa “calidad”, simplemente dirá:” No la puedo definir, pero la reconozco en cuanto la veo”. La gente de publicidad es muy afecta a promover productos bajo los mismos términos, “donde comprar es un placer” para supermercados “nos encanta volar y lo demostramos” para las aerolíneas etc. La publicidad esta repleta de estas declaraciones, imposibles de concretar, y en eso reside el problema: la calidad es un concepto difícil de definir

o traducir en operaciones concretas. Por lo tanto éste concepto es un enfoque esquivo cuando se usa como base para tener una ventaja competitiva.

El profesor David Garvin de la Universidad de Harvard enmarca cinco enfoques mas concretos para definir la calidad: el trascendente, el que se apoya en el producto, el que se basa en el usuario, el que se basa en la manufactura y el que se basa en el valor.

El que se basa en la trascendencia es difícil de definir ya que enmarca conceptos de atributo que no se pueden cuantificar pero que son universales tal como es el caso de obras de arte. Aquí la calidad se basa en el gusto o la preferencia individual.

Las definiciones basadas en el producto son diferentes. En ese caso, la calidad se percibe como una característica o atributo que se puede cuantificar o medir. Por ejemplo, la durabilidad o la fiabilidad son susceptibles de medición (ejemplo. El tiempo medio entre una falla y otra, el grado de ajuste etc.) y el ingeniero puede elaborar diseños de acuerdo con ese parámetro de comparación. Por lo tanto la calidad se determina de un modo objetivo. Esta aproximación tiene muchas ventajas, pero también algunas limitaciones. Cuando la calidad se basa en el gusto individual, el parámetro de medición puede ser desorientador.

Las definiciones basadas en el usuario se apoyan en la idea de que la calidad es un asunto individual y que los productos capaces de satisfacer esas preferencias (es decir la calidad percibida) son lo de mas alta calidad. Esto implica dos problemas, primero las preferencias del consumidor varían mucho y es difícil combinarlas para encontrar el producto que sea atractivo para todos los usuarios.

El otro problema consiste en responder a la pregunta: ¿La satisfacción del cliente y la calidad son la misma cosa?. La respuesta es “probablemente no”. Un Rolls Royce es un coche de atributos de calidad reconocidos pero no significa que esté al alcance de todos los usuarios como sería el caso de algún automóvil de mas bajo precio pero que reúne los atributos necesarios para satisfacer la necesidad de algún segmento específico de población (ejemplo clase media).



Las definiciones basadas en la manufactura se refieren sobre todo a las prácticas de ingeniería y fabricación, y parten de la definición universal de calidad como “la conformidad con los requisitos”. Las especificaciones o requisitos se establecen por medio del diseño, y cualquier desviación a éste respecto implica una merma en términos de calidad. Este concepto se aplica tanto a los servicios como a los productos. Así, la excelencia de calidad no se encuentra necesariamente en los ojos de quien la contempla, sino más bien en las normas que ha establecido la organización. Este enfoque también tiene una debilidad. La organización parte del supuesto de que la conformidad mencionada equivale a la percepción de calidad que tiene el consumidor, y por lo tanto, la atención se enfoca hacia lo interno. Al hacer énfasis en éste concepto se tiende a elegir como objetivo la reducción de costos, y esto se percibe en términos limitados: invertir en el mejoramiento de diseño y la manufactura sólo hasta que el punto en que el aumento sea igual a lo que costaría la mala calidad atribuible a la ausencia de esas mejoras, por concepto de desperdicios y operaciones de rectificación.

La calidad basada en el valor se define en términos de costos y precios, además de muchos otros atributos. De éste modo la decisión de compra que toma el consumidor se basa en la calidad (como quiera que se la defina) a un precio aceptable. Aquí los productos y los servicios se clasifican acorde a dos criterios principales: la calidad y el valor. Esto significa que el producto de más alta calidad no es siempre el que implica el mejor valor. Esta designación se asigna al producto o servicio que constituye la “mejor compra”.

## **5.2 Como impactan las filosofías de calidad en ámbito industrial**

La administración total de CALIDAD se basa en varias ideas. Implica pensar en calidad en términos de todas las funciones de la empresa, y es un proceso de principio a fin, donde se integran las funciones relacionadas entre sí en todos los niveles. Es un enfoque de sistemas que considera todas las interacciones entre los diversos elementos de la organización. De éste modo, la eficacia general del sistema es mayor que la suma de las aportaciones individuales de sus subsistemas. Entre éstos últimos figuran todas las FUNCIONES ORGANIZACIONALES que intervienen en el ciclo de vida de un producto tales como:

1. Diseño.
2. Planificación
3. Producción
4. Distribución
5. Servicio de Campo.

También los subsistemas de administración tienen que ser integrados, lo cual requiere:

Una estrategia enfocada al cliente.

Los instrumentos de CALIDAD

La participación del empleado (Este es el proceso que permite integrar todo el conjunto)

Con esto podemos decir que, cualquier producto, proceso o servicio se puede mejorar y que las organizaciones que buscan su éxito, deben encontrar las oportunidades de mejoría en todos los niveles de su organización, para poder subsistir en el mercado globalizado de la época actual.

La consigna es: MEJORAMIENTO CONTINUO en todas y cada una de las áreas de la empresa.

### **5.2.1 Temas claves y terminología de la administración por calidad total.**

El costo de la calidad como medida de la falta de la misma (todo aquello en lo que no se satisfacen las exigencias del cliente) y como un modo de medir los progresos de proceso de mejoramiento de calidad.

Un cambio cultural que permita apreciar la necesidad primordial de satisfacer los requisitos del cliente, instaure una filosofía administrativa en la cual se reconozca este imperativo, aliente la participación del empleo y profese la ética del mejoramiento continuo.

La habilitación de mecanismos para el cambio, entre ellos los destinados a capacitación y educación, comunicación, reconocimiento, comportamiento de la gerencia, trabajo en equipo y programas para lograr la satisfacción del cliente.

La aplicación de la administración total de la calidad mediante la definición de la misión, la identificación de la producción, el conocimiento de los clientes, la negociación de los requisitos de éstos, el desarrollo de una “especificación de proveedores” que permita detallar los objetivos de los clientes y la determinación de las actividades necesarias para el logro de esos objetivo.

El comportamiento de la gerencia, lo cual incluye la actuación de sus miembros como modelos o prototipos dignos de emulación, el uso de procesos e instrumentos para elevar la calidad, el fomento de la comunicación, el patrocinio de actividades de refuerzo y la voluntad de propiciar y proveer un entorno favorable.

### **5.3.Los conceptos de los maestros de la calidad.**

#### **5.3.1 W. EDWARDS DEMING.**

W. Edwards Deming es quizá el más conocido de los primeros precursores de la calidad, se le acredita ser el pionero de la calidad en Japón en los albores de los 50's, y en ese país se le considera un héroe nacional y a él se debe el mundialmente conocido Premio Deming a la calidad. Se le admira sobre todo por la creación del sistema de control estadístico, pero sus aportaciones van mucho más allá de esas técnicas. Su filosofía comienza con la alta gerencia, pero lo sostiene que las compañías deben adoptar los 14 puntos de su sistema en todos los niveles. Deming considera también que la calidad se debe incorporar al producto en todas las etapas, a fin de alcanzar un alto nivel de excelencia. Aún cuando no se puede decir que Deming haya sido el autor de la elevación de la calidad en Japón o en los EUA, él desempeña un papel muy importante para dar mayor visibilidad al proceso y para despertar la conciencia en torno a la necesidad de mejorar.

Deming define la calidad como cero defecto o menos variaciones y se basa en el control estadístico del proceso. Como la técnica esencial para la resolución de problemas, con el fin de distinguir entre las causas sistemáticas y las causas especiales. La búsqueda de la calidad se traduce en costos más bajos, mayor productividad y el éxito en el plano competitivo. Si bien es cierto que, a fin de cuenta quien elabora productos de calidad es el trabajador, Deming hace énfasis en el orgullo y la satisfacción de éste en la imposición de metas que sea posible medir. El enfoque general se centra en el mejoramiento del proceso, considerando que la causa de las variaciones en el proceso radica en el sistema, más que en el trabajador.

Los catorces puntos universales de Deming para la administración de calidad son:

1.- Crear la concordancia entre los propósitos por medio de un plan para mejorar productos y servicios.

Crear un plan para hacer competitivo y asegurar la permanencia del negocio, a corto, mediano y largo plazo, mediante:

a) La innovación.

Crear nuevos productos o servicios.

Crear nuevas tecnologías.

Desarrollar nuevos procesos y materiales

b) La investigación

c) La mejora continua del diseño de los productos y servicios con un enfoque centrado en el cliente

d) El mantenimiento de instalaciones y equipos.

## **2.- Adoptar la nueva filosofía de Calidad.**

Para entrar en la nueva era económica, conociendo las responsabilidades de la administración y estableciendo un liderazgo dirigido al cambio. Esta situación hace que la cultura de vivir con el error o los productos defectuosos no tengan cabida en un entorno de calidad, pues no les aseguran a la compañía su estancia en el mercado globalizado cada vez más competitivo. Los artículos defectuosos no son gratis. Corregir los defectos cuesta tanto o más que producir uno nuevo.

El cambio de cultura no es fácil, lleva tiempo y constancia de propósito. Sólo la alta gerencia puede lograr este cambio para la mejorar la competitividad del negocio y asegurar el éxito en el futuro.

### **3.- Acabar con la dependencia de la inspección en masa.**

La cultura de inspeccionar el 100% de la producción reconoce que en el proceso no puede hacerse las cosas correctamente, o que las especificaciones no tiene razón de ser. La inspección siempre es tardía, ineficaz y costosa, enviar sobrantes en una orden o pedido, degradar un producto o reprocesarlo no son acciones correctivas del proceso. El nuevo objetivo de la inspección es la auditoría para comprobar las medidas preventivas y detectar cambios en el proceso.

La calidad no viene de la inspección, sino del mejoramiento del proceso.

### **4.- Poner fin a la práctica de elegir a los proveedores bajo el criterio exclusivo del precio.**

Ya no podemos dejar que la competitividad de un producto esté basada únicamente en el precio, menos ahora que las necesidades del cliente rehacen en la uniformidad y del producto.

El precio de un producto no tiene significado si no cumple con la medida de calidad por la que se está comprando. Si continuamos con la práctica de comparar con base en el precio, encontraremos en muchas ocasiones productos de baja calidad y alto costo, o sea “Lo barato sale caro”. Por esta razón hay que buscar minimizar los costos totales y desarrollar proveedores confiables (y a veces únicos) para cada artículo.

### **5.-Detectar los problemas y trabajar sin cesar en el mejoramiento del sistema.**

Debemos trabajar en forma continua para reducir los desperdicios y errores, buscando mejorar la calidad en todas y cada una de las actividades de la empresa. Un aumento continuo en la calidad producirá una mejora continua en la productividad.

La mejora en los procesos está en manos de la alta administración, con la aportación de los trabajadores de producción que, aunque es vital es generalmente limitada. La administración debe buscar la participación activa de expertos en la materia: Ingenieros, especialistas en producción, investigadores de mercado, vendedores, etc., para apoyar la mejora continua como mejora de trabajo.

#### **6.- Adoptar métodos modernos de capacitación en el trabajo.**

Históricamente, la capacitación y el adiestramiento se habían restringido a los conocimientos que los maestros transmitían a sus aprendices. En la historia moderna de la industria estos procesos no se han visto muy favorecidos, y es común encontrar trabajadores pobremente entrenados o sin ningún entrenamiento.

Los cambios que se requieren para adoptar esta filosofía son muy amplios, por lo que el entrenamiento debe reconstruirse totalmente, apoyándolo en métodos estadísticos que permitan decidir cuando es completo y cuando no.

Un gran problema del entrenamiento y la supervisión es que no hay un estándar fijo de cual es un trabajo aceptable y cual no lo es. El estándar se ligaba con la necesidad del supervisor de alcanzar su cuota diaria de producción en términos de cantidad y no de calidad.

#### **7.- Adoptar e implementar el liderazgo.**

La tarea de la dirección no consiste en supervisar, sino en el liderazgo. La dirección debe trabajar en las fuentes de mejora, la idea de la calidad del producto y del servicio, y en la traducción desde la idea del diseño y al producto real. La necesaria transformación del estilo de gestión occidental requiere que los directores sean líderes. Se debe abolir la focalización en la producción, (gestión por cifras, gestión por objetivos, estándares de trabajo, cumplir con las especificaciones, cero defectos, valoración del comportamiento), y poner en su lugar el liderazgo.

Los líderes deben conocer el trabajo que supervisan, deben estar facultados para informar a la alta dirección de las condiciones que necesitan corregirse (defectos heredados, máquinas sin mantenimiento, malas herramientas, definiciones confusas, lo que es un trabajo aceptable, énfasis en las cifras y no en la calidad). La dirección debe actuar sobre las correcciones propuestas. En la mayoría de las organizaciones es tan sólo un sueño vano, ya que el supervisor no sabe nada de su trabajo.

#### **8.- Desechar el temor.**

Muchas personas en especial quienes ocupan posiciones administrativas no entienden lo que hacen, lo que esta bien o mal, y mucho menos saben que hacer para aclararlo. Muchas tienen miedo de preguntar acerca de las tareas a realizar, en que consisten, que es aceptable y que no, o tomar una posición al respecto.

Se requiere gente que no tenga miedo a expresar sus ideas , aclarar dudas, pedir instrucciones mas precisas o informar acerca de las condiciones que dañan la calidad y la productividad.

Algunos resultados del miedo se presentan en el hecho de que los supervisores registran incorrectamente los resultados de una inspección, por temor a exceder su cuota de defectos en la producción. El miedo es un síntoma de fallas en la contratación, la capacitación, la supervisión y la desatención a las metas de la empresa. El miedo desaparecerá en la medida en que la administración se vuelva un apoyo y los empleos desarrollen confianza en ella.

#### **9.-Derribar las barreras que separan los departamentos.**

El personal de los departamentos de Investigación, Diseño, Compra de Materiales, Ventas y recibo de materiales, deben conocer los problemas que ocasionan los materiales y las especificaciones de cada una de las diferentes áreas de producción y ensamble. Desconocerlos traerá como consecuencia pérdidas en producción por el reproceso causado al usar materiales inadecuados.



¿Por qué no invertir tiempo en la fábrica, ver los problemas y oír acerca de ellos?

Los casos que se presentan a continuación son un ejemplo del desconocimiento en que se vive actualmente:

- Cada departamento hace las cosas muy bien para si mismo.
- La prioridad por la producción nos hace omitir detalles que otros deberán resolver.
- La administración complica las cosas con cambios de último minuto.

Estos casos tienen como factor común la falta de trabajo en equipo que repercute en pérdidas de tiempo e incremento en los costos. Equipos integrados por personal de las diferentes áreas pueden obtener logros importantes en el diseño, calidad, costos y servicios de los productos.

#### **10.- Dejar de exigir más productividad sin proveer los métodos necesarios para lograrlo.**

Eliminar los slogans, exhortaciones y las metas numéricas como “cero defectos” o nuevos niveles de productividad sin ofrecer un método para lograrlo. Estas exhortaciones dividen el bloque de problemas que pertenecen al sistema y presionan a los trabajadores para resolverlos, cuando que están afuera de su alcance. Lo que se requiere no es una exhortación sino una guía proporcionada por la gerencia para el mejoramiento del trabajo.

La administración puede publicar carteles donde explique a los trabajadores los esfuerzos que están realizando mes a mes para mejorar los sistemas y aumentar la calidad y productividad, sin impactar las cargas de trabajo sino trabajando con mas inteligencia. La gente entendería con esto que la administración esta asumiendo su responsabilidad.

Fijar metas sin dar la metodología para lograrlas causa efectos más negativos que positivos.

**11.- Suprimir las normas de trabajo en las que se prescriben cuotas numéricas.**

Eliminar estándares de trabajo y metas numéricas pues normalmente estos sustituyen al liderazgo. Las cuotas que toman en cuenta sólo la cantidad, ignorando la calidad, son una garantía de ineficiencia y alto costo.

**12.- Suprimir las barreras que menoscaban el orgullo del trabajador por su propio oficio.**

¿Cómo puede estar alguien orgulloso de su trabajo si no sabe cuándo éste es aceptable o no?

Los problemas que se presentan en tal caso son:

- Inspectores que no saben cuándo el trabajo está bien y cuando no.
- Los instrumentos y su calibración no sirven.
- Los supervisores presionan por cantidad y no por calidad.
- Materiales defectuosos.
- Se corrigen errores de pasos anteriores.
- Máquinas descompuestas o desajustadas.

Estas barreras pueden ser uno de los más importantes obstáculos para la reducción de costos y el mejoramiento de la calidad.

Sólo la administración puede eliminar las barreras que impiden al trabajador sentir orgullo por el trabajo que desarrolla.

**13.- Instituir sistemas vigorosos de educación y readiestramiento.**

Es necesario que la administración incorpore algunos métodos estadísticos sencillos para el control de la operación diaria. Para ello se requiere capacitar a las personas en el uso de la estadística y su aplicación en sus tareas de compras, calidad, ventas, etc.

Unas pocas horas bajo la guía de un instructor competente suelen bastar para empezar con los trabajadores y supervisores que deseen adoptar estos métodos. El proceso de capacitación es sencillo y puede hacerse en todos los niveles.

**14.-Crear una estructura de alta gerencia que todos los días haga énfasis en los 13 puntos anteriores.**

La alta administración requerirá la orientación de un consultor experimentado, aunque éste no podrá asumir las obligaciones que a ella competen.

Una tarea importante del consultor será formar maestros e instructores en métodos estadísticos pero la principal será desarrollar, en conjunto con un estadístico de la compañía, una estructura de calidad que eventualmente pueda desarrollar sus funciones sin la necesidad de su presencia.

**5.3.1.1 Los pasos del plan de acción de siete puntos de Deming son los siguientes:**

Generar un plan de acción para eliminar la problemática de la administración en la aplicación de los catorce puntos para resolver los problemas críticos y reconocer los obstáculos.

La administración genera un sentimiento de orgullo y energía hacia el plan de acción.

La administración explica a los empleados el porque de la necesidad del cambio.

Divide todas las actividades de la empresa, identificando los clientes de cada una de ellas. Se inicia una mejora continua de métodos de cada etapa trabajando en equipo para la mejora de la calidad.

Iniciar tan pronto como sea posible la construcción de una organización que conduzca a la mejora continua. Deming sostiene que el círculo de Deming o Shewhart es el procedimiento más útil para mejorar cualquier etapa. Como puede observarse en la figura 5.1

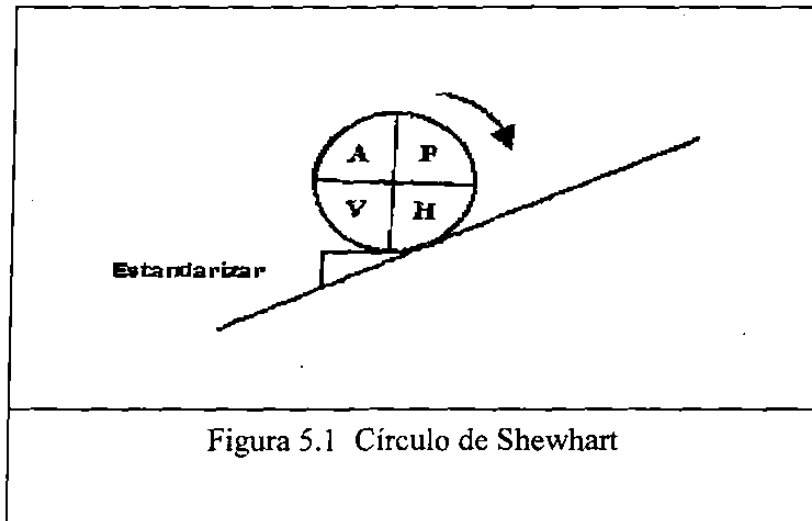


Figura 5.1 Círculo de Shewhart

Todos los trabajadores deben tomar parte en los equipos para mejorar las entradas y salidas de cada etapa.

Involucrarse en la construcción de la organización para la calidad.

### 5.3.2 JOSEPH M. JURAN.

Juran, igual que Deming fue invitado a japon en 1954 por la Unión de Científicos e Ingenieros Japoneses JUSE, en sus conferencias expuso las dimensiones administrativas de la planificación, la organización y el control, centrando la atención en el logro de la calidad como una responsabilidad de la gerencia y en la necesidad de establecer metas y objetivos para la mejora. Enfatizó que el control de calidad debe realizarse como una parte integral del control administrativo.

Juran define la calidad como la adecuación para el uso en términos de diseño, conformación, disponibilidad, seguridad y uso práctico. De éste modo, en su

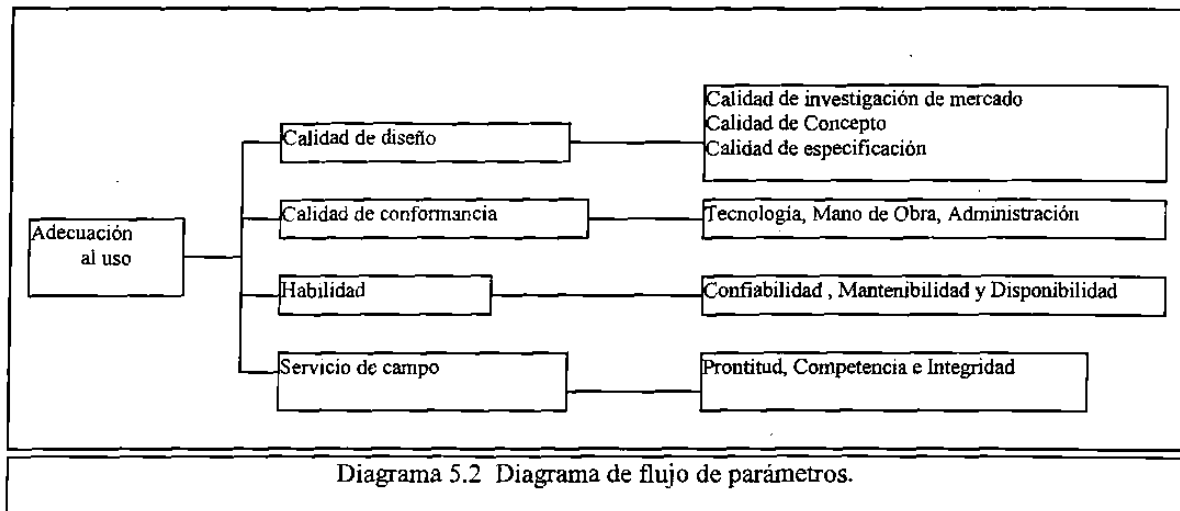
concepto se incorpora más íntimamente el punto de vista del cliente. El ésta dispuesto a medirlo todo y se basa en sistemas y técnicas para la resolución de problemas. A diferencia de Deming, Juran enfoca su atención en la administración vista de arriba hacia abajo y en métodos técnicos, antes que en el orgullo y la satisfacción del trabajador.

También la triología de la calidad la cual consiste en planeación de la calidad, control de calidad y mejora de la calidad es una de las aportaciones más importantes de Juran.

Todas las instituciones humanas se han involucrado en la prestación de productos o servicios para los seres humanos. La relación es constructiva solo cuando los productos o servicios responden a las necesidades de precio, fecha de entrega y adecuación al uso. Cuando cumplen todas las necesidades del cliente, se dice que el producto o servicio es vendible.

La adecuación al uso implica todas aquellas características de un producto que el usuario reconoce que le benefician. La adecuación al uso siempre está determinada por el usuario, no por el vendedor o la persona que repara el producto. Y a continuación en la figura 5.2 se puede apreciar el diagrama de flujo de parámetros.

**La calidad en el diseño** es la parte de la calidad que asegura que el producto diseñado satisfaga las necesidades del usuario y que su diseño contemple el uso que se le va a dar así como el ciclo completo del producto hasta su reciclaje final. Para que esto se lleve a cabo tiene que realizarse primero una completa investigación del mercado, donde se definan cada una de las características del producto y las necesidades del cliente, para posteriormente establecer las especificaciones del proceso.



**La calidad de conformancia** se define como el proceso de elaboración de un producto o servicio. Tiene que ver con el grado en que el producto o servicio elaborado se apegue a las características diseñadas y que se cumplan las especificaciones de proceso y de diseño. Para ello, debe contarse con la tecnología, mano de obra y administración adecuadas a las necesidades.

**La disponibilidad** es otro factor de calidad de la adecuación al uso. Esta parte de la calidad del producto se define durante el uso del producto y tiene que ver con su desempeño y su vida útil. Si falla una semana después de comprado, entonces no tiene buena disponibilidad, aunque aparentemente haya sido la mejor opción de compra. Debe asegurarse que el producto una vez recibido por el usuario, proporcione el servicio para el que fue diseñado, en forma continua y confiable y el caso de que se requiera mantenimiento, éste sea sencillo de realizarse, con instrucciones fáciles de entender y de uso amigable.

Por último, el **servicio técnico** del producto define la parte de la calidad que tiene que ver con el factor humano de la compañía. El servicio de soporte técnico debe tener una velocidad de respuesta óptima, ser integro y competente, es decir, que los empleados estén bien capacitados y den la confianza al cliente de que se está en buenas manos.

### 5.3.2.1 La Triología de la Calidad.

De acuerdo con Juran, el mejoramiento de la calidad se compone de tres tipos de acciones.

Control de Calidad

Mejora de nivel o cambio significativo (breakthrough).

Planeación de la calidad.

En un proceso existente, se empieza con las acciones de control y en uno nuevo, con las de planeación.

Acciones de control: Un proceso no se puede mejorar si antes no está bajo control o sea, que su variación tenga un comportamiento normal.

Los procesos que no están bajo control presentan la influencia de causas especiales de variación, cuyos efectos son tan grandes que no permiten ver las partes del proceso que se deben cambiar. Las oportunidades de mejora son externas al sistema.

Trabajar en acciones de control implica eliminar las fón, cuyos efectos son tan grandes que no permiten ver las partes del proceso que se deben cambiar. Las oportunidades de mejora son externas al sistema.

Trabajar en acciones de control implica eliminar las causas especiales. Así se reduce la variación del proceso pero normalmente no se cambia el nivel promedio de calidad.

Acciones de mejora de nivel: van encaminadas a realizar cambios en el proceso que nos permitan alcanzar mejores niveles promedio de calidad, para lo cual hay que atacar las causas comunes mas importantes.

Para reducirlo y causar una diferencia en la calidad de vida debe atacar las causas comunes con acciones de mejora.

Acciones de planeación y Calidad: en ellas trabajamos para integrar los cambios y nuevos diseños de forma permanente a la operación normal del proceso, buscando asegurar no perder lo ganado. Los cambios pueden provenir de acciones de mejora, de acciones de control o de rediseño, para satisfacer nuevos requerimientos del mercado.

El viaje por la trilogía de Juran constituye el aprendizaje de la organización en sus procesos de calidad.

En la gráfica pueden identificarse dos diferentes zonas de control: una zona original de control de calidad , en la que puede apreciarse una condición esporádica fuera de control que puede asumirse fue causada por lo que puede implementarse en plan de mejora.

Para poder cambiar de nivel de control a otro es necesario resolver problemas crónicos que permitan lograr un cambio verdaderamente significativo o breakthrough, bajo el rubro mejoras de calidad.

Para que el proceso se siga en forma ordenada, es necesario realizar una planeación de la calidad que asegure el mantenimiento de la nueva zona de control de Calidad.