

881217

# UNIVERSIDAD ANAHUAC

3  
2y

ESCUELA DE INGENIERIA

Con estudios Incorporados a la Universidad Nacional Autónoma de México



VINCE IN BONO MALUM

## CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO, UNA OPCION PARA LA INDUSTRIA MEXICANA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**T E S I S**

Que para Optar por el Título de:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

**P R E S E N T A**

**PABLO MARTIN CALZADA URQUIZA**

Asesor de la Tesis: Ing. Rafael López Meneces

1991



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**INDICE.**

## CAPITULO I.

### FILOSOFIA DE LA CALIDAD.

1. Filosofía de la Calidad. ....	2
Dr. W. Edwards Deming. ....	4
Dr. Joseph M. Juran. ....	9
Sr. Philip B. Crosby. ....	11
Sr. William E. Conway. ....	12
Ing. Kaoru Ishikawa. ....	14
Dr. Genichi Taguchi. ....	18
Dr. George Box. ....	19
Ing. Nunji Noguchi. ....	21
Sr. Lawrence Sullivan. ....	21

## CAPITULO II.

### GRAFICOS PRELIMINARES.

2.1 Gráfico de Pareto. ....	25
2.2 Pasos para la construcción de un gráfico de Pareto. ....	25
2.3 Ventajas de un gráfico de Pareto. ....	32
2.4 Diagrama de Causa - Efecto. ....	34
2.5 Beneficios del uso del diagrama Causa - Efecto. ....	38

## CAPITULO III.

### RECOLECCION DE DATOS E HISTOGRAMA.

3.1 Recolección de datos. ....	41
3.2 Rango. ....	41
3.3 Amplitud. ....	42
3.4 Fronteras de clase. ....	43

3.5	Frecuencia absoluta.	44
3.6	Frecuencia relativa.	44
3.7	Marcas de clase.	44
3.8	Frecuencia absoluta acumulada.	45
3.9	Frecuencia relativa acumulada.	45
3.10	Histograma.	52
3.11	Pasos para la construcción de un Histograma y un Polígono de Frecuencias.	53
3.12	Ojivas.	59

#### CAPITULO IV.

##### ESTRATIFICACION.

4.1	Estratificación.	63
4.2	Recomendaciones para una buena Estratificación.	68

#### CAPITULO V.

##### GRAFICOS DE CONTROL.

5.1	Gráficos de Control.	72
5.2	Promedio y Desviación Estandar.	73
5.3	Gráfico de Control de Promedios y Rangos.	74
5.4	Pasos para construir un Gráfico de Control de Promedios y Rangos.	76
5.5	Causas especiales de variación.	89
5.6	Gráfico X - S.	92

5.7	Pasos para elaborar un Gráfico $\bar{X} - S$ .	92
5.8	Gráfico de Medianas.	95
5.9	Pasos para la construcción de un Gráfico de Medianas.	96
5.10	Gráfico de Control de Lecturas Individuales.	97
5.11	Pasos para la construcción de un Gráfico de Lecturas Individuales.	98
5.12	Gráficos de Control por Atributos.	100
5.13	Pasos para la construcción de un Gráfico (p).	102
5.14	Pasos para la construcción de un Gráfico de Unidades Defectuosas (np).	104
5.15	Pasos para la construcción de un Gráfico de Número de Defectos por Unidad de Tamaño Constante (c).	106
5.16	Pasos para la construcción del Gráfico de Número de Defectos por Unidad de Tamaño Variable (u).	108

## CAPITULO VI.

### GRAFICO DE DISPERSION.

6.1	Gráfico de Dispersión.	111
6.2	Pasos para la construcción de un Gráfico de Dispersión.	112
6.3	Interpretación del Gráfico de Dispersión.	113

6.4	Coefficiente de correlación lineal.....	121
6.5	Correlación por Medianas.....	132

## CAPITULO VII.

### HABILIDAD DEL PROCESO.

7.1	Habilidad del Proceso.....	136
7.2	Calculo de la habilidad del proceso para especificaciones bilaterales.....	139
7.3	Calculo de la habilidad del proceso para especificaciones unilaterales.....	143
7.4	Calculo de la habilidad del proceso para gráficos de control por Atributos.....	144

## CAPITULO VIII.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1	Conclusiones.....	147
8.2	Recomendaciones.....	151
INDICE DE FIGURAS.....		156
INDICE DE TABLAS.....		160
BIBLIOGRAFIA.....		161

## CAPITULO I

### FILOSOFIA DE LA CALIDAD.



## 1. FILOSOFIA DE LA CALIDAD.

El pensamiento sobre Calidad es ahora materia de primerísima discusión, todos quieren encontrar la forma de llegar a ella.

La han definido de muchas formas y para cada uno es diferente en su apreciación y en esencia.

Existe una atracción por la Calidad y el ser humano la busca.

Lo pueden encontrar definiciones tales como:

\* Calidad es una manera de pensar, de vivir, de ser. La Calidad existe o no, esta viene de la esencia misma del individuo, y es tan antigua como el hombre mismo. El deseo de superarse ha existido siempre en el ser humano, por naturaleza este tiende al bien, busca la belleza y su desarrollo; en si busca la Calidad.

\* La Calidad nace de la Calidad misma, si no existe Calidad en si mismo no se va a obtener Calidad. Si se actua de forma diferente a lo que la Calidad dicta no se logrará ningún buen resultado.

\* Los actos de Calidad saldrán de pensamientos de Calidad.

El concepto moderno de Calidad se define como:

\* "Satisfacer las necesidades del consumidor"; esta es enfocada a la producción.

Otras definiciones son:

\* Propiedad o conjunto de propiedades inherentes a un

objeto que permiten apreciarlo como igual, mejor o peor que los restantes de su tipo.

- \* Darle al Cliente lo que pide.
- \* Hacerlo bien a la primera vez.
- \* Cualidades y atributos del producto.
- \* Cumplimiento de especificaciones.
- \* Adecuación al uso.
- \* Evitar errores.
- \* Estrategia competitiva.
- \* Es todo aquello que el cliente necesita y desea.
- \* Es la forma de administrar una Organización.
- \* Es responsabilidad hacia el cliente.
- \* Es el resultado total de las características del producto y servicio de mercadotecnia, ingeniería y producción a través de los cuales el producto o servicio en uso cumplirá con las esperanzas del cliente.
- \* Es confiabilidad.
- \* Predecible grado de uniformidad y confiabilidad a bajo costo y de acuerdo al mercado.

- \* Conforme al uso y a las especificaciones.
- \* De acuerdo a los requerimientos que solo pueden ser medidos por el costo de no confiabilidad.
- \* Prevención para la perfección.
- \* Es la (mínima) pérdida causada a la sociedad desde el momento que el producto se embarca.

Cada día aumentan en nuestro país las empresas que se están enrolando en el movimiento de Calidad. Afortunadamente la mayoría lo hace por convencimiento y no por moda.

Los conceptos de Calidad antes mencionados siguen siendo difundidos por grandes profesores tales como: El Sr. Crosby, el Dr. Conway, el Dr. Deming, el Ing. Juran y el Ing. Ishikawa. Todos coinciden en un 90 % en sus ideas y principios de Calidad. Asimismo afirman que está comenzando la Revolución de la Calidad.

El Dr. Willian Edwards Deming es uno de los teóricos de la Calidad más reconocido mundialmente, y en nuestro país.

Nació en Sioux City, Iowa, Estados Unidos en 1900. En 1928 finaliza su Doctorado en la Universidad de Yale. Algunos años trabajó en el Departamento de Agricultura del Gobierno Americano. Posteriormente en los años cuarenta asesoró a la industria Militar Americana en el uso de la estadística para el control de la Calidad.

A estas fechas él poseía una idea muy clara sobre Productividad: "Las cosas se pueden hacer bien (con Calidad) a bajo costo".

En el año de 1950 el Dr. Deming visita el Japón, y los convence que no solo pueden recuperarse de la derrota de la guerra mundial, si no que pueden tomar la delantera en el mundo entero si siguen sus consejos. Es entonces cuando Japón se lanza a la conquista de la Industria. La historia demuestra el desarrollo logrado por Japón, que de haber estado produciendo baratijas en 1948, hoy día logra la creación de productos con la más alta Calidad. El Dr. Deming aplicó las técnicas estadísticas para el control de la Calidad en la producción; es llamado por éllo el iniciador de la Tercera Ola de la Revolución Industrial. El Dr. Deming siembra una semilla en tierra muy fértil y el resultado es la Excelencia. Después de no haber sido escuchado en su país, el Dr. Deming es adoptado por el Japón y sus teorías tomadas como una religión, esto permite al Japón resurgir de los estragos de la guerra, recobrar el orgullo y el deseo de superación sin límites.

El dominio comercial de los mercados mundiales que tiene el Japón en la actualidad, nació de un solo concepto: "Producir con Calidad".

Esto es lo que el Dr. Deming dijo a los Japoneses, lo demás fue la fé y el esfuerzo en sí mismos. Una vez más el hombre demuestra que puede lograr lo que se proponga, siempre y cuando concentre todo su esfuerzo y dedicación en ello.

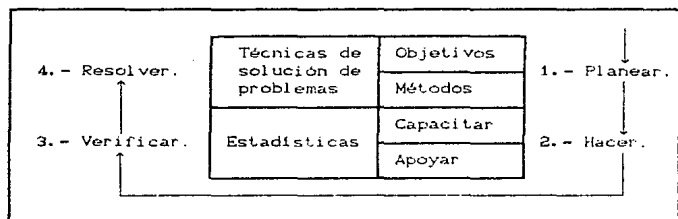
El Dr. Deming comentó que a los Americanos les llevará cerca de unos 30 años lograr alcanzar al Japón.

La filosofía del Dr. Deming busca disminuir la variabilidad entre los productos y obtener un grado de uniformidad a bajo costo. Lo más importante de esta filosofía es que "la Productividad y la Calidad mejorará cuando la variabilidad decrezca". A esto es a lo que se le da el nombre de:

"Mejora Continua".

Según el Dr. Deming las empresas deben administrarse de la siguiente forma:

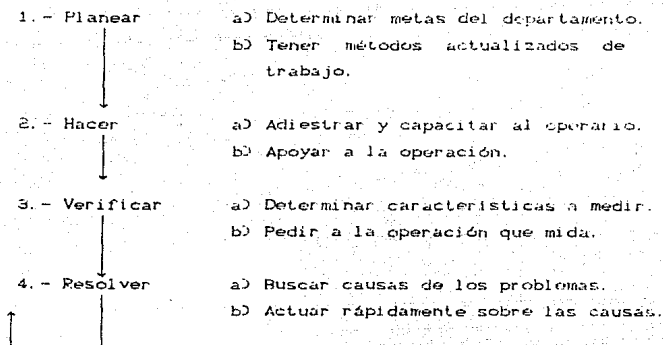
El responsabiliza a los administradores (Directores, Subdirectores, Gerentes, Jefes, etc.) en un 85 % de la Productividad y de la Calidad. A los Administradores también se les asigna la responsabilidad de mejorar. Al llegar al Japón el Dr. Deming tomó el cuadro del Dr. Shewart como ejemplo de lo que los administradores deben hacer:



Cuadro de la Administración del Dr. Shewart.

(Figura 1.1)

Proponiendo estas actividades:



Volver a repetir el ciclo.

Basado en la experiencia de lo ocurrido en Japón el Dr. Deming establece una serie de principios de lo que las Industrias deben hacer para alcanzar la Productividad y la Calidad.

Gran parte de los principios mencionados por el Dr. Deming se dirigen a la alta administración, pero también se dirige a todo el personal (empleados, operarios, técnicos, gerentes, etc.)

A continuación se mencionan los catorce principios del Dr. Deming:

1. - Crear constancia en el propósito de mejorar el producto y el servicio, con la intención de llegar a ser competitivo y permanecer en los "negocios" y proporcionar "empleos".

- 2.- Adoptar la nueva filosofía. Estamos en una nueva era económica creada por el Japón. Es necesario que el estilo administrativo de Occidente se transforme para detener el continuo declive de la industria.
- 3.- Ceser la dependencia de la "inspección" para lograr la Calidad.
- 4.- Fin a la práctica de comprar en base a precios.
- 5.- Continuamente y para siempre mejorar cada actividad de la compañía, para así mejorar la Calidad y la productividad y entonces reducir los costos.
- 6.- Instituir entrenamiento y educación en el trabajo, incluyendo a la administración.
- 7.- Instituir la Supervisión. El proposito de la supervisión debe ser "ayudar" a la gente y al equipo a hacer mejor el trabajo.
- 8.- Eliminar la inseguridad y miedo a expresar ideas y a formular preguntas en todos los niveles.
- 9.- Quitar barreras entre departamentos.
- 10.- Eliminar lemas, campañas y metas propuestas a los operarios en las que se les pide "cero defectos" y nuevos niveles de productividad.
- 11.- Eliminar estándares en los que se piden cuotas diarias. Substituirlos con ayudas y supervisión útil.
- 12.- Quitar barreras que impiden al trabajador sentir orgullo por su destreza.

13.- Instituir un vigoroso programa de educación y reentrenamiento.

14.- Poner a todos en la compañía a trabajar en equipos para llevar acabo esta transformación.

Después del Dr. Deming surgen otros pensadores de la Calidad y estadísticos tales como: el Ing. Joseph M. Juran, Sr. Philip B. Crosby, Dr. William E. Conway, Ing. Kaoru Ishikawa, Dr. Genichi Taguchi, Dr. George Box, Ing. Junji Noguchi, Sr. Lawrence Sullivan, etc.

De la misma forma se hablará un poco al respecto de estos estadísticos;

Dr. Joseph M. Juran:

Nace en Rumania en el año de 1908, recibe los títulos de Ingeniero y Abogado, instruye y asesora al Japón sobre productividad en 1964, actualmente es asesor en Los Estados Unidos.

El Ing. Juran dice:

Calidad es: "adecuación al uso; es también cumplimiento de especificaciones."

Los principales aspectos de la Calidad son:

- 1) Técnicos... (fáciles de cumplir)
- 2) Humanos... (los más difíciles hoy)

Los programas de Calidad deben tener:

- 1) Educación masiva.
- 2) Programas anuales de mejora.
- 3) Liderazgo de la dirección.



De alguna forma se muestra en contra de las "campañas de motivación", él se inclina por el Control Estadístico del Proceso (C.E.P.), y asegura que los problemas de Calidad provienen en la gran mayoría de los casos de una mala administración.

El Ing. Juran también proporciona sus principios para la mejora de la Calidad.

Los diez principios para mejorar la Calidad son:

- 1.- Crear conciencia de la necesidad y oportunidad de mejoramiento.
- 2.- Determinar metas de mejoramiento.
- 3.- Organizarse para lograr esta metas. (Comites, equipos, reuniones, etc).
- 4.- Proporcionar entrenamiento.
- 5.- Desarrollar proyectos para resolver problemas.
- 6.- Reportar los progresos.
- 7.- Dar reconocimiento.
- 8.- Comunicar los resultados.
- 9.- Mantener los registros.
- 10.- Mantener la mejora dentro de los sistemas y procesos de la compañía.

Sr. Philip B. Crosby :

Nace en Los Estados Unidos en el año de 1926; en 1960 trabajó en proyectos de Calidad con la Industria Militar E. U. A., fue director de Calidad en ITT en 1968; autor del libro "Quality is free", en 1979 funda "Philip Crosby Associates", hasta la fecha es asesor de Calidad.

El Sr. Philip B. Crosby dice:

- \* Calidad es cumplimiento de requerimientos.
- \* El camino hacia la Calidad es la "prevención".
- \* El remedio para la Calidad es:

- a) Decisión.
- b) Educación.
- c) Implementación.

Asimismo asegura que una gerencia involucrada en la Calidad, puede obtener hasta 40 % de mejora en la Calidad.

- \* El concepto de "Cero Defectos" lo define como una actitud o ideal hacia no tolerar errores.
- \* El considera que los problemas con los proveedores y clientes se deben en gran parte a la falta de requerimientos y falta de claridad en ellos.

El Sr. Crosby también proporciona sus principios para la mejora de la Calidad:

- 1.- Involucramiento de la Administración.

- 2.- Creación de equipos Interdepartamentales para la mejora.
- 3.- Localizar los problemas de Calidad.
- 4.- Evaluar el costo de la Calidad.
- 5.- Evaluar el conocimiento sobre Calidad en todo el personal.
- 6.- Programa de acciones correctivas.
- 7.- Establecer el comité para el programa "Cero defectos".
- 8.- Capacitación de Supervisores.
- 9.- Determinar el "Día Cero Defectos".
- 10.- Impulsar al personal a establecer metas individuales y grupales sobre la mejora.
- 11.- Investigar sobre las barreras que impiden el cumplimiento de metas de mejora.
- 12.- Reconocimiento a los participantes del programa.
- 13.- Establecer los Comites de Calidad.
- 14.- Reciclar.

El Sr. William E. Conway:

Nace en Los Estados Unidos en el año de 1925. Se graduó en la Universidad de Harvard y

posteriormente en la Academia Naval Americana. En 1979 es nombrado Presidente de Nashua Corp. En este mismo año se inicia en la Calidad como discípulo del Dr. Deming, invitándolo a participar con él. En 1983 funda su propia compañía "Conway Quality Inc.". Es autor del libro "The Right Way To Manage". Actualmente es uno de los asesores de la Calidad más solicitados.

El Sr. Conway dice:

La verdadera Calidad consiste en el desarrollo, producción y distribución de un excelente producto a bajo costo.

- \* Una correcta Administración origina Calidad.
- \* La Calidad debe darse con mejoras en todas las áreas.
- \* La operación crea Calidad en el Sistema. La Gerencia crea Calidad "sobre" el sistema.
- \* Propene el empleo de métodos estadísticos.
- \* Asegura que con la estadística se descubrirán más fácilmente los problemas.

El Sr. Conway proporciona seis principios o "herramientas" para la Calidad:

1.- Habilidad en relaciones humanas.

(Fomentando motivación y entrenamiento en todo el personal.)

2. - Sondeo y encuestas estadísticas para medir el futuro progreso.
3. - Técnicas estadísticas sencillas.
4. - Control estadístico del proceso.
5. - "Imaginación."  
(Visualización de los procesos y sus soluciones).
6. - Técnicas sencillas de simplificación del trabajo.

El Ing. Kaoru Ishikawa:

Nace en Japón en el año de 1915, hijo de un destacado industrial. Graduado en Química aplicada en la Universidad de Tokio en 1939. En el año de 1949 se enrola al JUSE (Japanese Union of Scientists and Engineers), al proyecto de Control de Calidad Nacional. Asesor en Calidad en el Sudeste Asiático.

Actualmente es presidente del Instituto Musashi de Tecnología en Tokio. Anteriormente fue profesor de Ingeniería en la Universidad de Ciencia de Tokio. Desde 1949 ha ayudado a muchas empresas en el Japón y a otros países a alcanzar niveles prominentes mediante la aplicación del Control de Calidad. Es autor de varios importantes libros sobre control de Calidad.

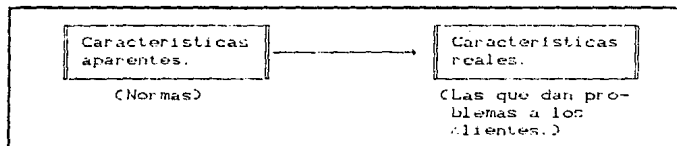
El Ing. Ishikawa obtuvo el premio Deming en Japón y el gran premio de la Sociedad Norteamericana de Control de Calidad. Esta misma entidad lo premió nuevamente en 1982 con la medalla "Shewhart" por:

"Sus sobresalientes contribuciones al desarrollo de la teoría, los principios, las técnicas y las actividades de normalización en la industria del Japón y otros países, para fortalecer la Calidad y la productividad".

El Ing. Kaoru Ishikawa dice:

Practicar control de Calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de Calidad que sea el más económico, útil y satisfactorio para el consumidor".

- \* El control de Calidad comienza en el diseño.
- \* Para dar Calidad es necesario conocer los requerimientos reales que maneja el cliente.



Requerimientos del Cliente.

(Figura 1.2)

- \* Calidad total es compromiso de todos en la organización.
- \* Crear humanismo en la empresa es obtener las cosas con voluntarismo y desarrollo de las personas mediante el uso de su inteligencia.
- \* Quien es incapaz de manejar a la gente no sirve como gerente.

\* Las utilidades a corto plazo son las que presionan a la No Calidad.

\* Estados Unidos todavía no entiende el modelo Japonés.

El Ing. Kaoru Ishikawa propone su revolución conceptual en la Gerencia:

- 1.- Primero La Calidad. No las utilidades a corto plazo.
- 2.- Orientación hacia el consumidor, no hacia el productor.  
Pensar desde el punto de vista del cliente.
- 3.- El proceso siguiente es su cliente.  
Hay que derribar las barreras del seccionalismo.
- 4.- Utilización de métodos estadísticos.
- 5.- Respeto a la humanidad como filosofía administrativa.  
Administración totalmente participante.
- 6.- Comunicación interfuncional. (Enfasis en lo horizontal.)

El Ing. Kaoru Ishikawa proporciona sus principios para la implementación de Calidad:

- 1.- Compromiso auténtico de la Alta Administración con la estrategia de la Calidad.
- 2.- Implementación de ese compromiso a través de políticas y procedimientos congruentes.

- 3.- Educación paulatina en Control Total de Calidad en todos los niveles de la organización.
- 4.- Participación de todos los niveles en los programas de Control Total de Calidad
- 5.- Concepto de control en base a ser objetivos a través de juicios basados en datos reales y significativos.
- 6.- Controlar el proceso.
- 7.- Concientizar a todos los niveles de que la organización hacia afuera es "relativa", que existe en función del cliente, y que por no estar solo en el mercado, está en competencia.
- 8.- Concientizar de que la organización para poder servir al cliente, internamente está formada a su vez por una cadena de clientes y proveedores internos: "el siguiente en el proceso es mi cliente".
- 9.- Estandarización para definir y precisar lo que quiere el cliente.
- 10.- Uso de métodos estadísticos.
- 11.- Actividades de los pequeños grupos.  
(Círculos de Calidad).



El Dr. Genichi Taguchi:

La contribución del Dr. Taguchi a la Calidad ha sido en la combinación de métodos estadísticos e ingenieriles para lograr el mejoramiento rápido en costos y Calidad, optimizando el diseño de productos y procesos de manufactura. En el Japón, sus técnicas han sido aplicadas durante los últimos 30 años.

El Dr. Taguchi nació en Japón en el año de 1924 y recibió su formación profesional en la Universidad de Kiryu en la carrera de Ingeniería Mecánica. El título de Doctor en Ciencias le fue otorgado por la Universidad de Kyushu. Ha sido profesor en el Instituto Tecnológico de Nanjing en China, y hasta 1982, en la Universidad de Aoyama Gakuin en Japón. También ha laborado como investigador asociado en la Universidad de Princeton de los Estados Unidos .

Es autor de más de 20 libros, muchos de los cuales han sido traducidos a otros idiomas. En 1986 recibió la prestigiosa Medalla por Excelencia en la Tecnología "Willard F. Rockwell" que otorga el Instituto Internacional de la Tecnología en reconocimiento de la contribución del premiado a la generación, transferencia y aplicación de la tecnología en bien de la humanidad. Además en cuatro ocasiones ha ganado el Premio Deming en Japón.

El Ing. G. Taguchi propone sus 7 principios de Calidad:

- 1.- Una dimensión de la Calidad de un producto es la Pérdida Total generada a la sociedad.
- 2.- En una economía competitiva el mejoramiento continuo de la Calidad y la reducción de costos, son necesarios para la supervivencia.

- 3.- Un programa de mejoramiento continuo de la Calidad incluye la reducción incesante de la variación de las características del producto con respecto al objetivo.
- 4.- La pérdida del consumidor, debida a la variación del comportamiento de un producto, es con frecuencia (aproximadamente) proporcional al cuadrado de la desviación de la característica de su objeto.
- 5.- La Calidad y costo final de un producto manufacturado, son determinados en gran medida por el diseño de ingeniería del producto y su proceso de manufactura.
- 6.- La variación en el comportamiento de un producto o proceso, se puede reducir aprovechando los efectos no lineales de los parámetros de las características.
- 7.- La planeación de experimentos estadísticos se emplea para identificar los valores óptimos de parámetros en productos y procesos que permiten reducir la variabilidad.

El Dr. George Box:

Es reconocido por sus colegas, los profesionales de la estadística como el máximo estadístico de nuestros tiempos. Fue pionero en la aplicación de la estadística en procesos continuos, sobre todo en la industria química y petroquímica. Su contribución a la estadística radica precisamente en la optimización de procesos y productos, tema que le ocupa desde 1950.

El Dr. Box recibió su título profesional y su doctorado en estadística matemática de London University. De la misma Universidad tiene también el grado de Doctor en Ciencias y de la Universidad de Rochester, el grado de Doctor en Ciencias Honoris Causa. En los 14 años iniciales de su vida profesional, el Dr. Box estuvo relacionado con el área de la química, primero en la Chemical Defense Experiment Station de Porton, Inglaterra durante la guerra y luego en Imperial Chemical Industries, Ltd. de la ciudad de Manchester.

Ha sido catedrático de estadística en la Universidad de Wisconsin en Madison desde 1968 y profesor visitante en las Universidades en North Carolina y Harvard de los Estados Unidos y de la Universidad de Essex en Inglaterra.

Desde 1968 El Dr. Box ha sido director de investigación del Centro de Mejora de Calidad y productividad de la Universidad de Wisconsin en Madison. Es autor de más de 100 artículos y 7 libros y miembro de las siguientes sociedades: American Academy of Arts and Sciences, The Royal Society, Institute of Mathematical Statistics y American Statistical Association. Asimismo, ha recibido la Medalla del Imperio Británico, la Medalla Shewart de la American Society for Quality Control, la Medalla Guy en Plata de la Royal Statistical Society y la Medalla "Wilkes Memorial" de Estados Unidos. En 1987, el Dr. Box fue asesor en la Medalla de Calidad del Presidente (de los Estados Unidos).

El Ing. Nunji Noguchi:

Es el Director General de JUSE (Japanese Union of Scientists and Engineers), organización privada de empresarios y científicos en Calidad japoneses. Fundada por ingenieros jóvenes en la década de los cincuentas tras la visita al Japon del Dr. W Edwards Deming, JUSE ha llegado a ser la institución más importante del mundo en el Control Total de Calidad.

Entre las actividades y servicios que realiza JUSE se incluye la investigación, la organización de grupos de reflexión, la impartición de cursos en todo el mundo, la edición de publicaciones y la asesoría a empresas.

Es especialmente digna de mención su coordinación en la otorgación del Premio Deming, el mes de la Calidad y los círculos de Calidad. Actualmente, existen círculos de Calidad que cumplen con características establecidas por JUSE en más de cincuenta países del mundo, entre ellos, México.

El Ing. Noguchi es la autoridad mundial más calificada en el conocimiento intercultural del CWQC (Company Wide Quality Control - Control de Calidad aplicada a toda la empresa).

El Sr. Lawrence Sullivan:

Es egresado de Albion College con título en economía y ha hecho estudios de nivel posgrado en estadística en la Universidad de Detroit y la Universidad

Wayne State. Durante muchos años ha estado relacionado con la industria automotriz y el área de Calidad en los Estados Unidos. Fue gerente de confiabilidad, garantía y aseguramiento de Calidad para las operaciones de carrocería y montaje de la Ford Motor Company.

En 1981 bajo la dirección del Dr. Edwards Deming, organizó el Ford Supplier Institute. En 1985 facilitó la creación del American Supplier Institute (ASI), organización educativa sin fines de lucro que promueve la implantación de sistemas para lograr la Calidad entre empresas norteamericanas. Actualmente es el director general del ASI.

Ha contribuido artículos a diversas jornadas profesionales y fue ganador del Premio por Excelencia Editorial de la Jornada de Ingeniería de Carrocería en 1983. Posteriormente, mereció el primer Premio Taguchi por tres años de labor en la promoción del Método Taguchi en los Estados Unidos.

Es reconocida su aportación al desarrollo del "Quality Function Deployment" (Despliegue de la función de Calidad).

En el año de 1981 Ford Motor Company contrata al Dr. Deming como asesor, iniciándose en la Calidad; a partir de ese momento lo extiende a todas sus empresas en el mundo.

Ford Motor Company no solo implementa el Control Estadístico del Proceso en sus plantas, va más allá, exige a sus proveedores se instruyan en esta técnicas y adopten esta filosofía.

En México realiza un convenio con el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y crean el programa FORD - ITESM para la industria Automotriz, sus proveedores y la Industria Nacional.

Este movimiento de la Calidad impacta en el medio Mexicano y sus proveedores se adhieren, de esta forma Ford Motor Company a mejorado notablemente su Calidad.

Muchas más empresas tales como:

- \* General Motors Company,
- \* Chrysler de México,
- \* Grupo Spicor,
- \* Organización Barcel, S.A.,
- \* Auto Manufacturas S.A.,
- \* Central de Industrias S.A.,
- \* Suspensiones Automotrices S.A.,
- \* Kelsey - Hayes de México, S.A.,
- \* Comercial Importadora, S.A.,
- \* Macrotrón Industrial, S.A.,
- \* Autoprecisa, S.A. de C.V.,
- \* Applied Power de México, S.A.,
- \* Umbrako Mexicana, S.A.,
- \* Química Hércules, S.A.,
- \* Electro Optica, S.A.,
- \* BASF Mexicana, S.A. de C.V.,
- \* Etc.

han ingresado al Control Estadístico del Proceso para la Calidad Total con grandes logros y satisfacciones.

## **CAPITULO II**

### **GRAFICOS PRELIMINARES.**

## 2.1 GRAFICO DE PARETO.

En la mayor parte de los procesos de fabricación, existen unos pocos defectos vitales (importantes y costosos) y muchos defectos triviales (pequeños y poco costosos). Los defectos vitales son los causantes del 80% del total de la producción de defectuosos, mientras que los defectos triviales solo causan el 20%. Es importante separar los pocos vitales de los muchos triviales. Una herramienta que ayudará es el gráfico de Pareto.

## 2.2 Pasos para la construcción de un Gráfico de Pareto.

1) Como ejemplo se presenta un gráfico de Pareto de los defectos encontrados al inspeccionar un lote de 2000 pernos, dicha información se encuentra recabada en la siguiente hoja de registro:

HOJA DE REGISTRO	
Artículo: <u>Perno</u>	Lote de producción: <u>195</u>
No. de artículos inspeccionados: <u>2000</u>	Fecha de producción: <u>14/X/88</u>
	Inspeccionado por: <u>X</u>
Defecto.	Número de Defectuosos.
Cabezas rotas.	22
Tamaño inadecuado de las cabezas.	10
Enroscado imperfecto.	7
Longitud escasa.	12
Dureza fuera de especificaciones.	29
Otros.	4
	34

2) El segundo paso consiste en ordenar los defectos de mayor a menor como se muestra en la siguiente tabla:



Defecto.	Número de Defectuosos.
Dureza fuera de especificaciones.	29
Cabezas rotas.	22
Longitud escasa.	12
Tamaño inadecuado de las cabezas.	10
Enroscado imperfecto.	7
Otros.	4
	84

Se observa que existen algunos factores de menor importancia los cuales son agrupados bajo "Otros", estos no deben exceder al 10% aproximadamente.

3) Encontrar el porcentaje de cada defecto con respecto al total de defectos observados:

% de Dureza fuera de esp.	$(29/84) \times 100 = 34.52 \%$
% de Cabezas rotas	$(22/84) \times 100 = 26.19 \%$
% de Longitud escasa	$(12/84) \times 100 = 14.29 \%$
% de T.inadec. cabeza	$(10/84) \times 100 = 11.90 \%$
% de Enroscado imperfecto	$(7/84) \times 100 = 8.33 \%$
% de Otros	$(4/84) \times 100 = 4.76 \%$
	$\approx 100.00 \%$

4) Encontrar el porcentaje acumulado de los defectos anteriores:

% acumulado hasta Dureza fuera de esp.	34.52	= 34.52%
% acumulado hasta Cabezas rotas	26.19 + 34.52	= 60.71%
% acumulado hasta Longitud escasa	14.29 + 60.71	= 75.00%
% acumulado hasta Tamaño inad. cabeza	11.90 + 75.00	= 86.90%
% acumulado hasta Enroscado imperfecto	8.33 + 86.90	= 95.23%
% acumulado hasta Otros	4.76 + 95.23	$\approx 100.00\%$

5) Con los resultados obtenidos en los incisos 2, 3 y 4 se llenó la siguiente tabla:

Defecto	# de defectos	% de defectos	% de acumulación de defectos
Dureza fuera de específico.	29	34.52 %	34.52 %
Cabezas rotas.	22	26.19 %	60.71 %
Longitud escasa.	12	14.29 %	75.00 %
Tamaño inadec. de la cabeza.	10	11.90 %	86.90 %
Enroscado imperfecto.	7	8.33 %	95.23 %
Otros.	4	4.76 %	≈ 100.00 %

Agrupación decreciente de datos.

(Tabla 2.1)

6) En este sexto paso se grafican los números que calculamos anteriormente. En una hoja cuadrículada; trazar dos líneas verticales paralelas y separadas entre ellas por un número de divisiones igual al número de defectos. Las divisiones tendrán un ancho de 1 cm. aproximadamente. La línea vertical izquierda es la escala del número de defectos encontrados, el valor máximo es igual al total de defectos. La línea vertical derecha es la escala de los porcentajes acumulados y va de cero a 100 %. La altura que hay de cero a 84 en la línea izquierda es la misma que hay de cero a 100 % en la línea derecha.

Las divisiones de la línea horizontal sirven para escribir el nombre del defecto empezando con el mayor defecto a la izquierda y continuando hasta poner el nombre del menor defecto en el extremo derecho. En la figura 2.1 se encuentran

Las letras A, B, C, D, E, y F por cuestiones de espacio.  
Donde:

- A = Dureza fuera de especificación.
- B = Cabezas rotas.
- C = Longitud escasa.
- D = Tamaño inadecuado de la cabeza.
- E = Enroscado imperfecto.
- F = Otros.

7) Dibujar rectangulos de altura igual al número de defectos y ancho igual a un espacio de la línea horizontal como se muestra:

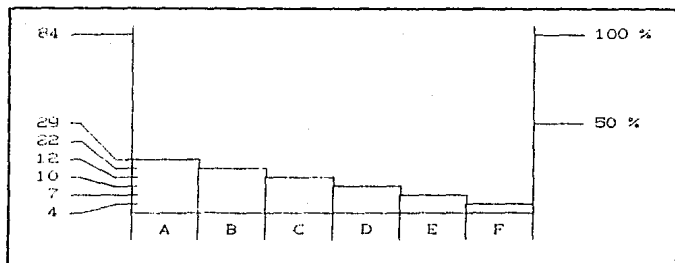


Gráfico de Pareto. Primera etapa.  
(Figura 2.1)

8) A continuación se traza una línea que parte de la esquina inferior izquierda del rectángulo más grande (que debe ser el que está totalmente a la izquierda) y llegue hasta la esquina superior derecha del mismo rectángulo. Asimismo debe incluirse el porcentaje acumulado hasta ese efecto en la línea vertical derecha; siendo para este primer caso de 34.52 %.

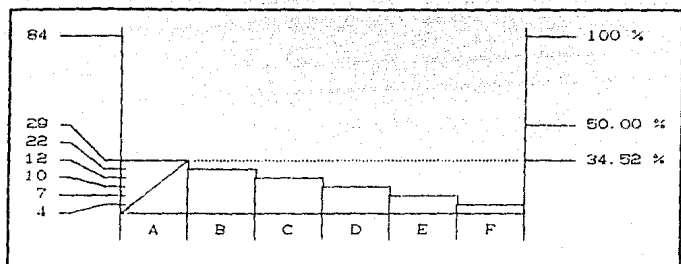


Gráfico de Pareto. Segunda etapa.  
(Figura 2.2)

9) En el noveno paso se localiza el porcentaje acumulado del segundo defecto y se escribe en la escala vertical derecha. Trazar una línea vertical desde la esquina superior derecha del segundo rectángulo más grande.

El gráfico deberá verse como sigue:

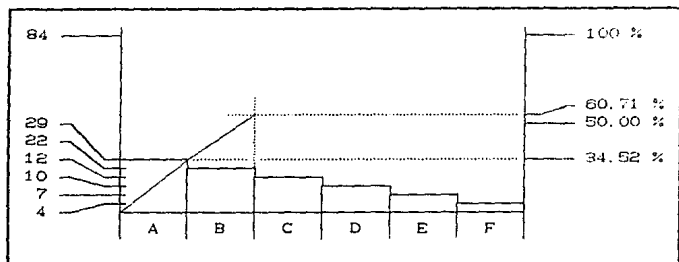


Gráfico de Pareto. Tercera etapa.  
(Figura 2.3)

Ahora se traza una línea que va desde la línea superior del rectángulo más grande hasta el punto donde se cruzan las dos líneas que se acaban de trazar;

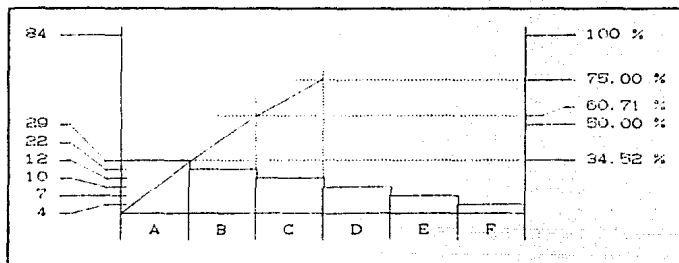


Gráfico de Pareto. Cuarta etapa.  
(Figura 2.4)

10) De la misma forma se efectúa con el resto de los rectángulos hasta llegar a la línea vertical derecha donde se unirán con el 100 %; quedando el gráfico finalmente así:

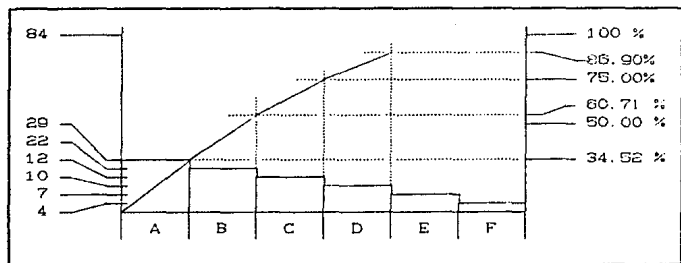


Gráfico de Pareto. Quinta etapa.  
(Figura 2.5)

Ya se tiene un Gráfico de Pareto completo, pero antes las siguientes explicaciones: Los rectángulos que se dibujaron se conocen como Diagrama de Barras de los Defectos y la línea curva se llama Ojiva de frecuencias de los defectos (Ojiva). La ojiva y las barra ayudarán a decidir cual defecto corregir primero ( Localizar el 80% y el 20% ± ).

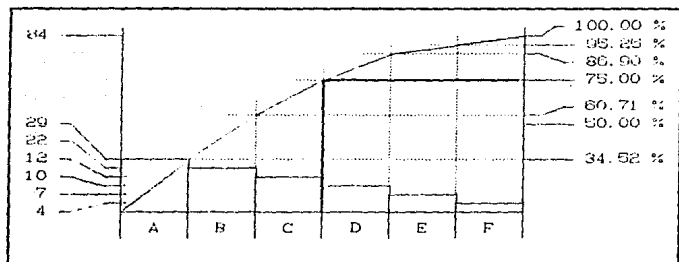


Gráfico de Pareto. Sexta etapa.

(Figura 2.6)

En el Diagrama de Pareto de arriba, se observa que si son eliminados los defectos: Dureza fuera de especificación, Cabezas cortas y Longitud escasa el 75.00 % de los defectos totales de producción desaparecerán.

### 2.3 Ventajas de un Gráfico de Pareto.

En general, al formar la lista de los factores que afectan a un proceso o sistema, se pone de manifiesto que solo un pequeño número de causas contribuyen a la mayor parte del efecto y que las restantes tienen una mínima participación en el fenómeno.

El objeto de analizar un Diagrama de Pareto es identificar las causas especiales y, en función de ello, establecer un orden de importancia permitiendo un mejor aprovechamiento de los recursos, canalizando eficazmente los esfuerzos de las personas que intervienen para atacar las causas más importantes, ya que, si se consigue hacerlas disminuir o desaparecer, se lograría una reducción significativa en la magnitud del problema. Por lo tanto:

- 1) El Diagrama de Pareto es el primer paso para la realización de mejoras.
- 2) El Diagrama de Pareto se aplica en todas las situaciones en donde se pretende efectuar una mejora: en la Calidad del producto, en la conservación de materiales, en el uso de energéticos y en general en la eficiencia para los recursos (mano de obra, capital, etc.).
- 3) El Diagrama de Pareto se utiliza también para verificar si las acciones llevadas a cabo para lograr una mejora fueron o no eficaces, construyendo un nuevo diagrama cuando los efectos de dichas acciones se han puesto de manifiesto.

Este segundo diagrama deberá abarcar el mismo periodo de tiempo e igual número de casos para que la comparación tenga sentido; de no ser posible esto, es preferible utilizar porcentajes absolutos o relativos en el eje vertical izquierdo en lugar del número de artículos defectuosos.

- 4) Permite la comparación antes y después, ayudando a cuantificar el impacto de las acciones tomadas para lograr mejoras.



## 2.4 DIAGRAMA DE CAUSA EFECTO.

Las causas de los problemas son numerosas y están relacionadas entre sí. Un diagrama de Causa-Efecto (también conocido como diagrama de pescado o diagrama de Ishikawa en honor a su creador) ayudará a encontrar todas las posibles causas de un problema, las clasificará y mostrará su relación.

Como ejemplo se parte de un diagrama de Causa-Efecto para saber porque ocurren los accidentes en las manos.

Se parte de la formulación de una pregunta:

*¿Por qué ocurren los accidentes en las manos?*

La pregunta puede tener la siguiente respuesta:

"Porque existen problemas con los equipos (maquinaria), con los operadores y gerentes (mano de obra) con la materia prima (material), con el clima (medio ambiente) y por último, con la forma en que cada persona hace su trabajo (método de trabajo)".

La respuesta se puede representar con un dibujo como el de la figura 2.7.

En este diagrama, el efecto "accidentes en las manos" es causado por cinco problemas generales. Cada uno de los problemas generales (llamados *causas principales*) manda una flecha pequeña hacia la flecha principal que apunta hacia el problema que deseamos resolver. Este es el inicio del diagrama Causa-Efecto.

Así como el Material, la Maquinaria, la Mano de Obra, etc. son las causas de los accidentes en las manos; también existen causas para cada una de estas causas las cuales se denominan subcausas.

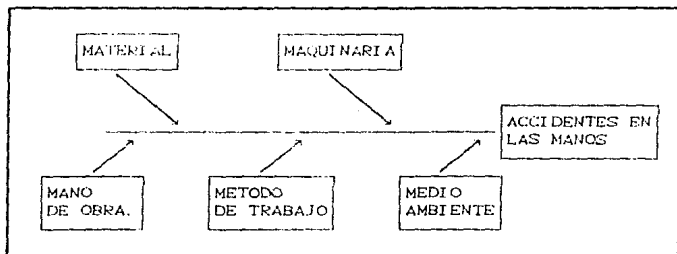


Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa).

(Figura 2.7)

Se genera la siguiente pregunta:

¿Qué origina problemas en materiales?

Un problema en los materiales es la baja calidad, esto se localiza en el diagrama Causa-Efecto dibujando una pequeña flecha que llegue a la flecha principal "material" y llamandola "baja calidad".

Posteriormente se generan más preguntas:

¿Qué causa problemas de baja calidad en materiales?

Una de las causas es que no se usa el material que se especifica. Se dibujará otra flecha más pequeña que llegue a la flecha pequeña (baja calidad) y la llamaremos "no especificada".

Continuando con las preguntas:

¿Por qué no se usa material especificado?

La respuesta puede ser; "porque no hay especificaciones". Con esto, se dibujará una flecha aún más pequeña a la que llamaremos "no hay especificación" siendo esta apuntada a la flecha "no especificada".

Al continuar con las subcausas "baja calidad", "no adecuado" e "inseguro" el diagrama se verá así:

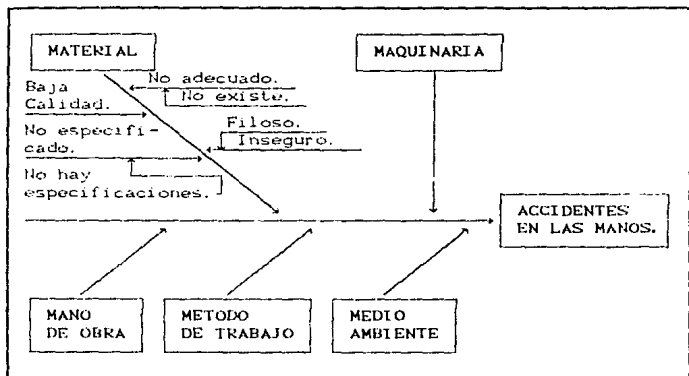


Diagrama Causa-Efecto: Subcausas, Subsubcausas.  
(Figura 2.8)

Un diagrama Causa-Efecto tiene pequeñas flechas en cada una de las flechas principales.

Repetiendo el mismo procedimiento se obtendrá un diagrama de Ishikawa completo.

Algunos puntos que ayudarán para la elaboración del diagrama Causa-Efecto son:

- 1) Realizarlo en grupo.
- 2) Localizar concretamente el problema que se atacará.  
Se recomienda el formulario como pregunta:  
¿ Por qué sucede \_\_\_\_\_ ?

- 3) Identificar todos los factores (causas principales y subcausas) mediante la discusión de grupo.
- 4) Expresar los factores lo más concretamente que sea posible.
- 5) Detenerse solo hasta que el grupo esté de acuerdo y se tenga un diagrama con muchas sub-subcausas.

## 2.5 Beneficios del uso del Diagrama Causa-Efecto.

Una gran variedad de ventajas se deriva del uso de este tipo de diagramas:

- a) Ayuda a detectar las causas de la dispersión en las características de calidad, puesto que nos indica cuales son las causas que se investigarán primero, con el propósito de mejorar el proceso.
- b) Al efectuar el análisis se determina el tipo de datos que deben obtenerse, para confirmar el efecto de los factores que fueron seleccionados como causas del problema.
- c) Ayuda a prevenir problemas; "mejora continua".
- d) Es un instrumento que favorece el trabajo en grupo. Ayuda a un grupo de personas a trabajar hacia un fin común, consecuentemente se llega más rápido a la conclusión sobre las acciones a tomar.

e) Se adquiere mayor conocimiento del funcionamiento del proceso.

Este diagrama Causa-Efecto debe usarse para analizar cualquier problema de calidad, productividad, seguridad, etc.

### **CAPITULO III**

#### **RECOLECCION DE DATOS E HISTOGRAMA.**

### 3.1 RECOLECCION DE DATOS.

Cuando se realiza una recolección de datos en la cual se desea que toda la información nos presente valores verídicos y sustanciales de lo que en realidad está ocurriendo en el proceso, se debe recurrir al muestreo al azar; por lo que se tocarán algunos aspectos referentes: las muestra se obtienen para saber algo acerca de la población (ej: proceso de producción) en este sentido se cree algunas veces que una muestra debería ser lo mejor o lo peor de un grupo, lo cual es totalmente incorrecto. La muestra debe representar, correctamente, la naturaleza de la población por lo que el muestreo al azar es un buen camino y, en el caso de proceso de producción, su importancia es mayor.

Al azar significa: " Llevar a cabo el muestreo de tal forma que cada unidad de la población tenga la misma oportunidad de ser incluida en la muestra independientemente de su apariencia o posición ."

Una vez que se tiene realizado el muestreo es necesario ordenar estos datos; por lo que utilizar las tablas de Frecuencias es de suma importancia.

Para la creación de una de estas tablas se parte del conocimiento de una serie de fórmulas las cuales se explican a continuación:

### 3.2 Rango: R

Se interpreta como un intervalo o como la distancia entre dos puntos.

$$R = V_M - V_m \dots\dots\dots (1)$$



en donde  $R =$  Rango.  
 $V_M =$  Valor Máximo.  
 $V_m =$  Valor Mínimo.

### 3.3 Amplitud: A

Se denota por el cociente del rango entre una constante  $k$  más un pequeño factor de corrección o redondeo.

$$A = \frac{R}{k} + c \quad \text{..... (2)}$$

en donde  $R =$  Rango.

$k =$  Valor que depende

del número de datos recopilados ( $n$ ) para la creación de la tabla; el valor de  $k$  se encuentra en función de  $n$ :

$n$	$k$
$n < 50$	de 5 a 7
$50 \leq n < 100$	de 6 a 10
$100 \leq n < 250$	de 7 a 12
$n \geq 250$	de 10 a 20

"Constante  $k$ "

(Tabla 3.1)

$c =$  Este es un factor de corrección de suma importancia puesto que pretende "redondear" el cociente obtenido al entero inmediato superior aún y cuando el resultado se trate de un entero.

Nota: Si los datos que se tienen; están expresados en enteros y el resultado obtenido fue 3, debe anotarse "A = 4"; si los datos están expresados con un decimal y el resultado del cociente es 3.24 debe anotarse "A = 3.3", etc.

### 3.4 Fronteras de clase ó Límites Superior e Inferior:

$L_a$  ,  $L_i$

Una vez que se conocen los datos anteriores se procede al cálculo de la siguiente fórmula:

$$L_i = V_m - (1/2)u \quad \text{..... (3)}$$

donde:  $L_i$  = Límite inferior del primer intervalo.

$V_m$  = Valor mínimo.

$u$  = Factor de ajuste (ver la tabla 3.2)

Cuando las mediciones se presentan en:

enteros	$u = 1$
décimas	$u = 0.1$
centésimas	$u = 0.01$
milésimas	$u = 0.001$
diezmilésimas	$u = 0.0001$
etc.	

Valores estimados de  $u$

(Tabla 3.2)

$$L_s = L_i + A \quad \text{..... (4)}$$

donde:  $L_s$  = Límite superior del primer intervalo.

$A$  = Amplitud.

$$\begin{array}{l}
 L_{i2} = L_{s1} \\
 L_{e2} = L_{i2} + A \\
 L_{i3} = L_{e2} \\
 L_{e3} = L_{i3} + A \quad , \text{etc.}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} L_{i2} \\ L_{e2} \\ L_{i3} \\ L_{e3} \end{array}} \right\} \dots\dots\dots (4')$$

**3.5 Frecuencia absoluta:  $f_i$**

Se determina el número de datos que existen entre cada clase; esto se efectúa por medio de un conteo.

**3.6 Frecuencia relativa:  $h_i$**

Representa el porcentaje o fracción de datos que se localizaron en cada clase; su fórmula es la siguiente:

$$h_i = \frac{f_i}{n} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

donde:  $f_i$  = Frecuencia absoluta.

$n$  = Número total de datos proporcionados en la muestra.

(x 100) = Para expresar el resultado en %.

**3.7 Marcas de clase:  $X_i$**

Se conoce como el punto medio de cada clase. La forma de calcularlo para cada intervalo es:

$$X_i = \frac{L_i + L_e}{2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

donde:  $L_i$  = Límite inferior (de cada clase).

$L_s$  = Límite superior (de cada clase).

### 3.8 Frecuencia absoluta acumulada: $F_i$

La Frecuencia absoluta acumulada hasta la clase  $i$ , representa el número de datos u observaciones que tuvieron un valor menor o igual que la frontera superior de la clase  $i$ .

Se calcula sumando las Frecuencias absolutas desde la primera clase hasta la clase  $i$ ; es decir:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_i ; \\ F_1 &= f_1 \\ F_2 &= f_1 + f_2 \\ F_3 &= F_2 + f_3, \text{ etc.} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

### 3.9 Frecuencia relativa acumulada: $H_i$

La frecuencia relativa acumulada hasta la clase  $i$ , representa el porcentaje de datos que tuvieron un valor menor que la frontera de la clase  $i$ .

Se calcula dividiendo la frecuencia absoluta acumulada de la clase  $i$  entre el número total de datos  $n$ .

$$H_i = \frac{F_i}{n} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

donde:  $F_i$  = Frecuencia absoluta acumulada.

$n$  = Número total de datos proporcionados en la muestra.

(x 100) = Para expresar el resultado en %.

A continuación se presenta un problema ejemplo utilizando las Tablas de Distribución de Frecuencias.

En la Planta "Resortes S.A." se midieron las longitudes externas de 48 resortes (cm) que se presentan a continuación; se desea obtener información tal como:

- a) El número de resortes que tienen una longitud externa entre 2.67 y 2.73 cms., incluyendo ambos valores.
- b) Promedio (marca de clases) del cuarto intervalo.
- c) El número de resortes que tienen una longitud externa menor o igual que 2.80 cms.
- d) El número de resortes que tienen una longitud externa mayor de 2.665 cms.
- e) El porcentaje de resortes que tienen una longitud externa de 2.875 cms.

para determinar como se encuentra la producción.

Longitudes externas:

2.59	2.64	2.65	2.63	2.60	2.72	2.77	2.74
2.71	2.85	2.63	2.90	2.82	2.72	2.76	2.80
2.66	2.85	2.88	2.84	2.77	2.76	2.68	2.80
2.53	2.87	2.86	2.81	2.65	2.96	2.75	2.91
2.76	2.77	2.79	2.58	2.78	2.74	2.70	2.71
2.73	2.83	2.67	2.86	2.62	2.67	2.78	2.56

Longitudes externas de los Resortes.

(Tabla 3.3)

a) Rango:

$$R = V_M - V_m ; \quad V_M = 2.91 \quad V_m = 2.53$$

$$R = 2.91 - 2.53 =$$

$$R = 0.38$$

b) Amplitud:

Considerando una  $k = 6$  (Tabla 3.1)

$$A = \frac{R}{k} \quad \text{Sustituyendo; } \frac{0.38}{6} = \quad A = 0.0633$$

$A = 0.0633 + c$  (Aplicar un redondeo a centésimas; porque los datos tienen hasta centésimas)

$$A = 0.07$$

c) Límites inferiores y Superiores de cada intervalo:

$$L_{ii} = V_m - (1/2)u \quad V_m = 2.53 \quad u = 0.01$$

$$L_{ii} = 2.53 - (1/2)(0.01)$$

$$L_{ii} = 2.525$$

$$L_{si} = L_{ii} + A$$

$$L_{si} = 2.525 + 0.07$$

$$L_{si} = 2.595$$

(Los demás resultados aparecen en la Tabla 3.4).

d) Marcas de clase de cada intervalo:

$$X_i = \frac{L_{i1} + L_{i2}}{2} = \quad L_{i1} = 2.525 \quad L_{i2} = 2.595$$

$$X_i = \frac{2.525 + 2.595}{2} = 2.560$$

$$X_{i1} = 2.560 \quad (\text{Consultar la Tabla 3.4}).$$

e) Frecuencia absoluta:

Recordar que se trata de un conteo entre cada uno de los intervalos dependiendo de la longitud externa de cada resorte.

f) Frecuencia relativa:

$$h_{i1} = \frac{f_{i1}}{n} \times 100 \quad f_{i1} = 4 \quad n = 48$$

$$h_{i1} = \frac{4}{48} \times 100 = 8.33 \%$$

$$h_{i1} = 8.33 \% \quad (\text{Consultar la Tabla 3.4}).$$

g) Frecuencia absoluta acumulada:

$$F_i = f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_i ;$$

$$F_1 = f_1$$

$$F_1 = f_1 = 4$$

$$F_1 = 4$$

(Consultar la Tabla 3.4).

h) Frecuencia relativa acumulada:

$$H_i = \frac{F_i}{n} \times 100$$

$$F_{11} = 4$$

$$n = 48$$

$$H_{11} = \frac{4}{48} \times 100 = 8.33 \%$$

$$H_{11} = 8.33 \%$$

(Consultar la Tabla 3.4).

Intervalo	Fronteras o Límites		Marca de Clase	Frecuencia absoluta
	inferior	superior		
i	Li	Ls	Xi	fi
1	2.525	2.595	2.560	4
2	2.595	2.665	2.630	8
3	2.665	2.735	2.700	10
4	2.735	2.805	2.770	14
5	2.805	2.875	2.840	9
6	2.875	2.945	2.910	3

Tabla de Distribución de Frecuencias.

(Tabla 3.4)



Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
hi	F1	Hi
8.33 %	4	8.33 %
16.67 %	12	25.00 %
20.83 %	22	45.83 %
29.16 %	36	75.00 %
18.75 %	45	93.75 %
6.25 %	48	100.00 %

Tabla de Distribución de Frecuencias.

(Tabla 3.4, Continúa)

Una vez que se ha elaborado la Tabla de Distribución de Frecuencias es fácil contestar las preguntas formuladas por Resortes S.A. ;

a) El número de resortes que tienen una longitud externa entre 2.67 y 2.73 cms., incluyendo ambos valores.

Respuesta : 10 resortes.

b) Promedio (marca de clases) del cuarto intervalo.

Respuesta : 2.77 resortes.

c) El número de resortes que tiene una longitud externa menor o igual que 2.80 cms.

Respuesta : 36 resortes.

d) El número de resortes que tienen una longitud externa mayor de 2.665 cms.

Respuesta : 36 resortes.

e) El porcentaje de resortes que tienen una longitud externa de 2.675 cms.

Respuesta : 93.75 % de los resortes.

### 3.10 HISTOGRAMA.

Histograma:

Representación de datos en forma gráfica y ordenada con el fin de determinar las veces en que ocurren las variaciones en un proceso.

Si se fabrica un producto con materiales de la misma calidad, máquinas y métodos de trabajo idénticos y además se inspeccionaran exactamente de la misma forma; quizá ya no se tendría un producto defectuoso, pero no se podría asegurar que todos los artículos producidos son idénticos.

Desde luego que no. Aunque se pudieran tener las condiciones que se mencionaron, nunca se podrán tener dos productos exactamente iguales, eso se llama variación y es una de las razones por las que se tienen especificaciones. Por ejemplo, una especificación dice:

"La pieza XYZ#A221 debe fabricarse con espesor de  $11.25 \pm 0.15 \mu\text{m}$ ."

Lo que se pretende es: lograr vender la pieza XYZ#A221 es el objetivo; y el espesor debe ser de  $11.25 \mu\text{m}$ , pero como nunca se podrá tener espesores idénticos se consideran aceptables sólo los que no varíen más de  $0.15 \mu\text{m}$  hacia arriba o hacia abajo de ese espesor deseado.

Una herramienta que ayuda a saber que tanta variación existe en un grupo de productos es el Histograma.

### 3.11 Pasos para la construcción de un Histograma y un Polígono de Frecuencias.

1.- Como primer paso se tiene que reunir información sobre la característica que se desea analizar. (Se hará referencia a la sección 3.1 "Recolección de Datos" del problema de Longitud Externa de los Resortes).

2.- En este paso se determina el rango de los valores.

$$R = 0.38$$

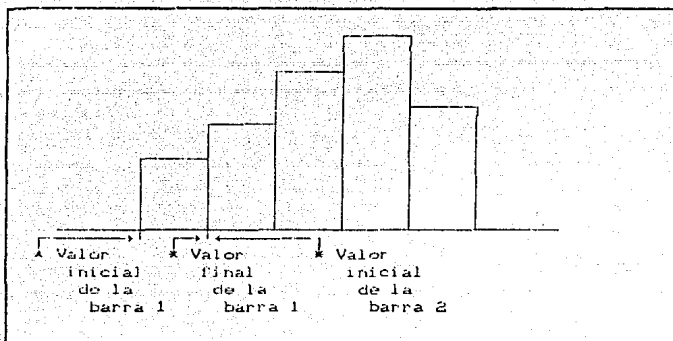
3.- Ahora se determina el número de barras que debe contener el Histograma. A cada barra se le llama *intervalo de clase* o solamente *clase*. El número de clases se identifica con la letra  $k$  y es seleccionado de la tabla 2.1.

Como el número de datos que se maneja es 48, se escoge un valor de  $k$  igual a seis ( $K = 6$ ).

4.- Ahora se calculará el ancho de las barras. Al ancho de las barras se le llama *amplitud de clase* o *amplitud de los intervalos* y se identifica con la letra  $A$ .

$$A = 0.07$$

5.- Con estos valores se pueden encontrar las *fronteras* de cada clase. Las *fronteras* son los valores inicial y final de cada barra del Histograma.



Desarrollo de un Histograma.

(Figura 3.1)

Cada barra tiene una frontera inferior y una frontera superior. Si se observa la figura 2.9, se notará que el valor final de la primera barra es igual al valor inicial de la segunda barra. Esto se cumple para todas las barras, ya que están pegadas.

Al valor inicial de la primera barra se le llama *límite inferior* de la primera clase (una clase es una barra) y se calcula restandole al valor menor de los datos la mitad de  $u$ .

$$Lu = 2.525$$

Ya que se tiene el límite inferior de la primera barra (primer intervalo), se prosigue con el límite superior de la primera barra (su valor final). El límite superior de la primera barra se obtiene sumando el valor de  $A$  (la amplitud de clase o ancho de cada barra) al límite inferior que ya se tiene.

$$L_{2i} = L_{1i} + A$$

$$L_{2i} = 2.595$$

(Ver tabla 3.4)

Como las barras están pegadas, el límite superior del primer intervalo es el límite inferior de la segunda barra (llamada también segunda clase o intervalo), así que solo se copian estos valores:

Intervalos	Límite Inferior.	Límite Superior.
k	Li	Ls
1	2.525	2.595
2	2.595	2.665
3	2.665	2.735
4	2.735	2.805
5	2.805	2.875
6	2.875	2.945

Tabla de Distribución de Frecuencias.

(Tabla 3.5)

6.- En el sexto paso se calcula el punto medio de las barras. Al punto medio se le llama también *marca de clase* y se determina sumando los límites inferiores y superiores de cada clase y dividiendo el resultado entre dos.

$$X_{1i} = 2.560$$

(Ver tabla 3.4)

7.- Con lo anterior se efectúa el conteo de datos.

El conteo nos dice con qué frecuencia caen datos en las clases. En la clase 2 están incluidos 8 de los 48 datos. El número de datos que tiene cada clase se conoce como *frecuencia absoluta*. ( $f_i$ ).

La suma de las frecuencias absolutas debe ser igual al número de datos que se tienen.

$$f_u = 4$$

(Ver tabla 3.4)

8.- Una vez que se ha determinado el valor de las frecuencias absolutas, se calcula el porcentaje de ellas. Al porcentaje de las frecuencias absolutas se le llama *frecuencias relativas*.

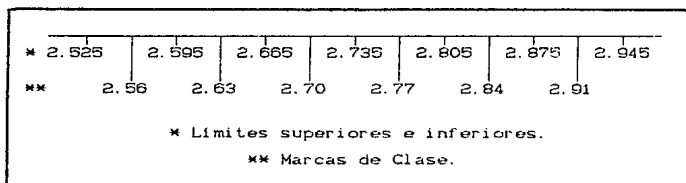
Las frecuencias relativas son porcentajes del total de datos que se están analizando.

Las frecuencias relativas se identifican con la letra  $Chi$ .

$$hi = 8.33\%$$

(Ver tabla 3.4)

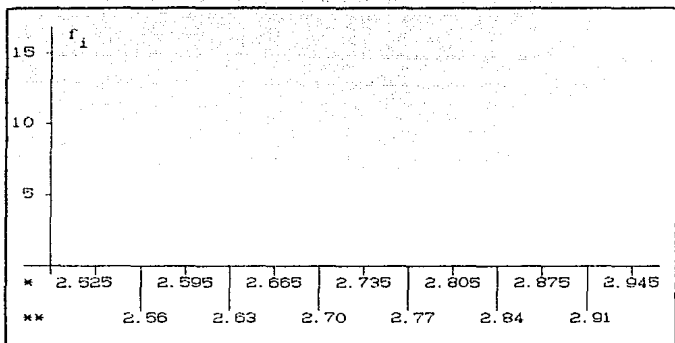
9.- En una hoja cuadrículada se traza una línea horizontal que tenga como escala las fronteras de clase y las marcas de clase:



Eje horizontal de un Histograma.

(Figura 3.2)

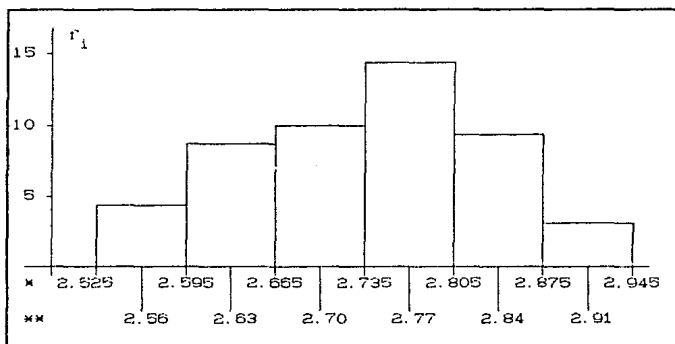
10.- En la parte izquierda de la escala se dibuja una línea vertical que tenga una escala con valor máximo igual a la frecuencia absoluta más grande (en este caso 14, ver tabla 3.4):



Ejes y escalas del Histograma.

(Figura 3.3)

11.- Ahora que se tienen listas las escalas, se dibuja un rectángulo en cada clase. La altura de los rectángulos se determina por la frecuencia absoluta y el ancho por la marca de clase (de límite inferior a límite superior):

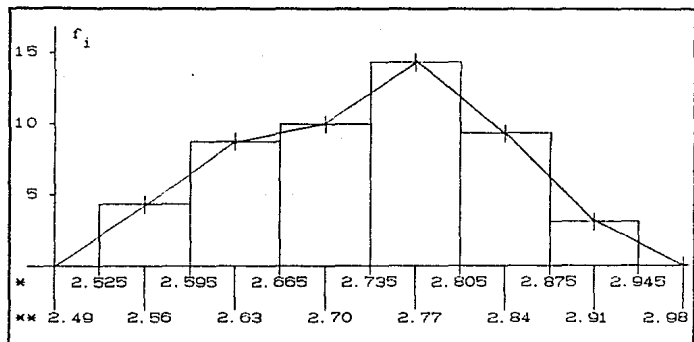


Histograma de Frecuencias Absolutas.

(Figura 3.4)



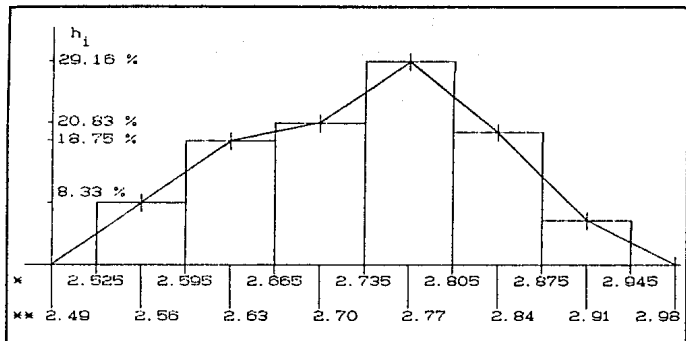
12.- Para completar el Histograma anterior se dibuja una línea que parta desde una mitad de marca de clases a la izquierda de la frontera más pequeña y se van uniendo las marcas de clase de los rectángulos por su parte superior, terminando una mitad de marca de clase a la derecha de la frontera superior más grande. Esto se muestra en el siguiente Histograma y se conoce como *Polígono de Frecuencias Absolutas*.



Histograma y Polígono de Frecuencias Absolutas.

(Figura 3.5)

13.- De la misma forma, se puede dibujar un Histograma y un polígono de frecuencias relativas. Lo único que cambia son los valores de la escala vertical:



Histograma y Polígono de Frecuencias Relativas.

(Figura 3.6.)

### 3.12 Ojivas.

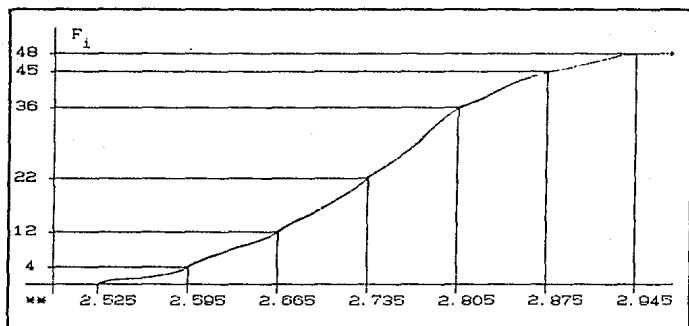
Las Ojivas son gráficas que representan las frecuencias absolutas acumuladas y las frecuencias relativas acumuladas.

La línea vertical puede ser graduada, o bien con las frecuencias absolutas acumuladas, o bien con las frecuencias relativas acumuladas.

En el eje horizontal se anotan los límites superiores establecidos en el Histograma, o bien las marcas de clases; lo único que sucederá es que existirá un desplazamiento en la Ojiva, pero la información que se obtiene es exactamente la misma.

Se deben identificar los puntos que interceptan los números que representan las frecuencias acumuladas, anotándolas en el eje vertical, y los números que representan los límites de cada clase; posteriormente por medio de una curva suavizada se unirán los puntos entre sí.

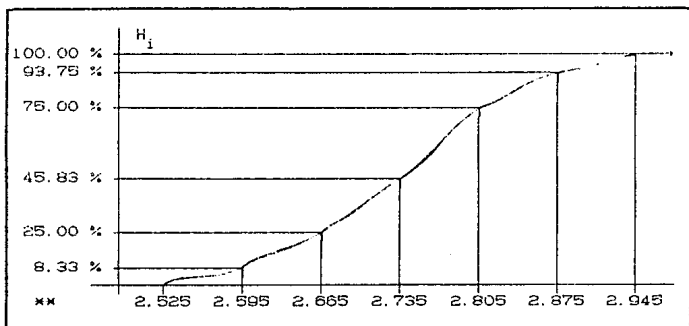
La Ojiva de las frecuencias absolutas acumuladas para el ejemplo anterior quedará así:



Ojiva de Frecuencias Absolutas Acumuladas.

(Figura 3.1 )

La Ojiva de las Frecuencia Relativas Acumuladas se muestra a continuación:



Ojiva de las Frecuencias Relativas Acumuladas.

(Figura 3.8)

**CAPITULO IV**  
**ESTRATIFICACION.**

#### 4.1 ESTRATIFICACION.

La estratificación consiste en crear una clasificación de datos tales como causas, fenómenos, defectivos, tipos de defectos (críticos, mayores, menores), en una serie de grupos llamados Estratos, con características similares, con el propósito de comprender mejor la situación y tratar de encontrar las causas mayores que no permiten la obtención del "efecto" esperado.

La estratificación es el primer paso a seguir después de la utilización del diagrama de causa y efecto (Ishikawa), pero su utilización dependerá de la naturaleza de los datos.

La estratificación consiste en clasificar los datos con el objeto de analizar la causa elegida (en el diagrama de causa - efecto) y confirmar su influencia sobre la característica de Calidad que se deba mejorar, o el problema que se pretende resolver.

Para simplificar la explicación se estudiará el siguiente caso:

En la compañía "PXR" se especifica que la concentración de cierta sustancia debe estar al menos en un 92 %, medida a través del tiempo.

Se tienen tres depósitos (Deposito A, B, y C) y se toma una muestra de 23 mediciones;

Proviene ocho del depósito A.

Proviene seis del depósito B.

Proviene nueve del depósito C.

Las mediciones en porciento fueron las siguientes:

60, 150, 60, 75, 105, 75, 115, 80, 90, 95, 80, 120, 80,  
55, 80, 125, 100, 55, 90, 100, 65, 95, 110.

1. - Calculando la media:  $\bar{x} = 89.57 \%$
2. - Calculando el Rango:  $R = 95.00 \%$

Estratificando las mediciones conforme al depósito de procedencia se obtuvo lo siguiente:

Mediciones del depósito A:

60, 75, 90, 80, 80, 80, 55, 65.

1. - Calculando la media:  $\bar{x} = 73.13 \%$
2. - Calculando el Rango:  $R = 35.00 \%$

Mediciones del depósito B:

75, 105, 80, 125, 100, 95.

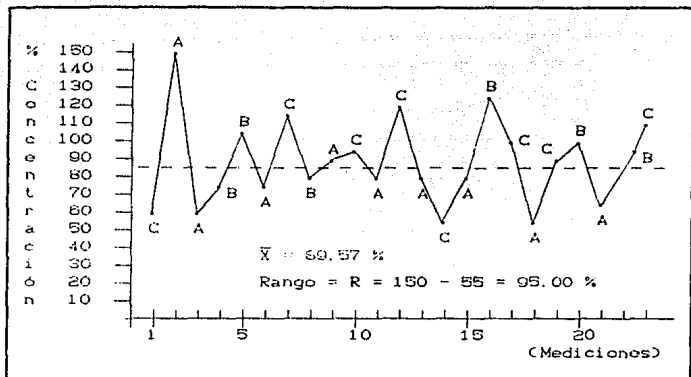
1. - Calculando la media:  $\bar{x} = 97.69 \%$
2. - Calculando el Rango:  $R = 50.00 \%$

Mediciones del depósito C:

60, 150, 115, 95, 120, 55, 100, 90, 110.

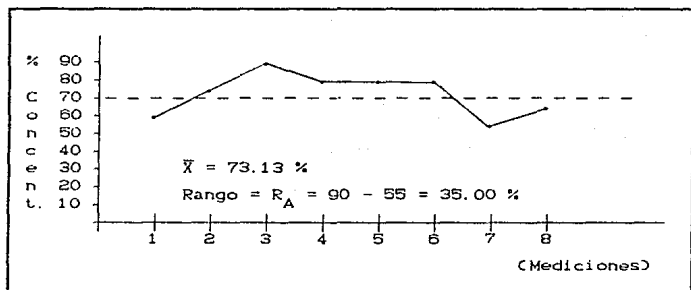
1. - Calculando la media:  $\bar{x} = 99.44 \%$
2. - Calculando el Rango:  $R = 95.00 \%$

Estas mediciones se muestran en las figuras de la 4.1 a la 4.4 En el primer gráfico que se realizó se denotan con unas pequeñas letras los tanques a los que pertenecen cada una de las mediciones.



Mediciones tomadas de los tres depósitos.

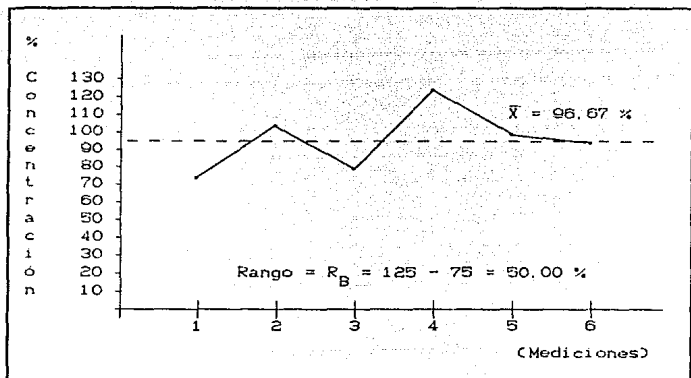
(Figura 4.1)



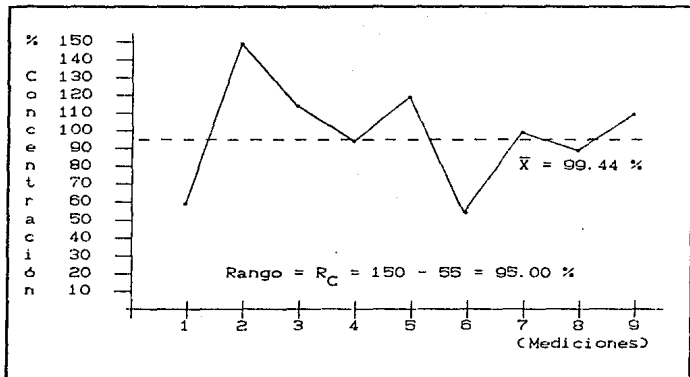
Mediciones tomadas del Depósito A

(Figura 4.2)





Mediciones tomadas del Depósito B  
(Figura 4.3)



Mediciones tomadas del depósito C  
(Figura 4.4)

Observando las Figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 se observa lo siguiente:

De la Figura 4.1:

Al considerar los 23 datos se obtiene una concentración promedio por debajo de lo especificado, puesto que  $\bar{x} = 89.57\%$  y la especificación es de 92 %; además, el rango de estos 23 datos es grande  $R = 95\%$  (Mucha dispersión).

De la Figura 4.2:

Los datos tomados del depósito A tienen poca dispersión  $R = 35\%$ ; pero su concentración media es aún más baja  $\bar{x}_m = 73.13\%$ .

De la Figura 4.3:

Los datos tomados del depósito B tienen una concentración promedio dentro de lo especificado  $\bar{x}_B = 96.67\%$  y su dispersión es menor que la de todos los datos, pero mayor que la dispersión que proviene de A ( $R_B = 50\%$ ).

De la Figura 4.4:

El depósito C es el que presenta la mejor concentración promedio  $\bar{x}_c = 99.44\%$ , pero con una gran dispersión  $R = 95\%$ .

Al haber *estratificado* los datos, nos damos cuenta de que las mediciones tomadas del depósito A son las que presentan menos dispersión  $R_A = 35\%$ , y las mediciones del depósito C son las que tienen mayor media  $\bar{x}_c = 99.44\%$ .

Esto puede sugerir que debemos estudiar las causas que hacen posible que en el depósito C se obtenga una buena concentración; y también detectar las causas que permiten la poca variabilidad en el depósito A.

Detectadas estas causas, deben aplicarse los cambios necesarios en los procesos involucrados en los tres depósitos, buscando que el promedio de concentración en los tres sea al menos 99.44 % (como en C) y la variabilidad sea a lo más 35 % (como en A).

El resultado de estos cambios debe ser tal que, que si se vuelve a estratificar al tomar otra muestra, no deberíamos encontrar diferencias significativas en los promedios y en la variabilidad al tomar los datos conjuntamente y por estratos.

Otros tipos de estratificaciones que se pueden realizar son:

- a) Operarios.
- b) Líneas de ensamble
- c) Días de trabajo.

de cualquiera de las formas anteriores se puede detectar cuales son las características de Calidad o problemas en estudio.

#### 4.2 Recomendaciones para una buena Estratificación.

- a) Determine claramente las características o factores a estratificar.

Ejemplos: Defectos, demoras o eficiencias; los cuales pueden obtenerse como resultado de una acción, o como característica de cantidad; qué cantidad de producción le corresponde a cada máquina; cantidad por cada grupo; turno, etc.

b) Las características escogidas deberán pasarse a un formato más comprensible; por ejemplo: Pareto o Histograma, de tal forma que se represente claramente "el estado total de la Calidad y eficiencia" de dichas características o factores.

c) Se debe determinar cuales son las posibles causas que provocan una dispersión así como los puntos importantes a estratificar. Se recomienda el uso de un diagrama Causa - Efecto.

El desarrollo del "estado actual" de las características o factores permiten determinar si existe dispersión o anomalías en ellos. En función de éste, determinar las causas de la dispersión, lo que permitirá definir los puntos específicos (siguientes factores) a estratificar.

d) Clasificar las características o factores en grupos individuales. (Reestratifique) Las características o factores seleccionados en la recomendación a) y evaluadas en la recomendación b), deben ser clasificadas en grupos definidos considerando las causas probables de dispersión.

Se anexan algunos de los casos más comunes en el área de trabajo en la tabla 4.1.

- e) Evaluar el estado de los grupos ya clasificados.  
 Repita el inciso b), pero utilizando las características en grupos individuales, los cuales se definieron en el inciso d).
- f) Realice un análisis del estado total de la Calidad y eficiencia para extraer las conclusiones finales.

Ahora se debe comparar el estado actual de cada grupo individual evaluado en el inciso anterior. Observar las diferencias y concluir cuáles son las principales causas de la dispersión.

Para lograr una buena Calidad del producto debe ser clasificada por cada una de sus causas, de tal manera, se puede encontrar que relación existe entre causa y resultado; finalmente se podrá definir claramente el procedimiento a seguir para mejorar la productividad, y Calidad de un producto.

	Características	Agrupamiento.
1	Por Proceso	Procedimiento de operación, temperatura, velocidad, etc.
2	Por Maquinaria o equipo.	Máquina, modelo, tipo, vida herramental, etc.
3	Por Material	Proveedor, composición, etc.
4	Por tiempo de producción	Día, semana, noche, mes, estación, etc.
5	Por inspección o medición.	Prueba de máquina, instrumento, inspector, operario.

Casos comunes a Estratificar.  
 (Tabla 4.1)

## **CAPITULO V**

### **GRAFICOS DE CONTROL.**

## 5.1 GRAFICOS DE CONTROL.

El Dr. Walter Shewhart de los laboratorios Bell, mientras estudiaba los datos de un proceso en 1920, hizo por primera vez la distinción entre variación controlada y no controlada, por lo que ahora se distinguen las causas comunes de las causas especiales. El desarrolló una simple pero poderosa herramienta para distinguir las causas especiales de las comunes; los Gráficos de Control. Desde aquella época, los Gráficos de Control han sido utilizados exitosamente en una amplia variedad de situaciones para el control del proceso, tanto en los Estados Unidos como en otros países, especialmente en Japón. La experiencia ha demostrado que los Gráficos de Control efectivamente dirigen la atención hacia las causas especiales de variación cuando éstas aparecen y reflejan la magnitud de la variación debido a las causas comunes.

Todos los tipos de Gráficos de Control tienen dos usos básicos. Desde el punto de vista del Dr. Shewhart, los Gráficos de Control:

a) Dan evidencia acerca de si un proceso ha estado operando bajo control estadístico y señalan la presencia de causas especiales de variación que deben ser corregidas en cuanto se presentan.

b) Permiten mantener el estado de Control estadístico ya que pueden tomarse decisiones con base en el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo.

Este es sólo el principio de los gráficos; se mencionarán algunos de ellos y como lograr su construcción e interpretación.

## 5.2 Promedio y Desviación Estándar.

El promedio de una serie de datos se puede calcular por medio de la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\text{Suma de datos}}{\text{Número de datos}} \dots\dots\dots (9)$$

A esta fórmula se le llama "Formula de Promedio para datos no agrupados".

Cuando se tiene una tabla de distribución de Frecuencias (Tabla 3.4) se utiliza la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k X_i f_i}{\sum_{i=1}^k f_i} \dots\dots\dots (10)$$

$\therefore i = 1, 2, 3, 4, \dots, k$

$k =$  número de clases.

$X_i =$  Marca de clases de cada intervalo.

$f_i =$  Frecuencia absoluta de cada intervalo de clase.

Esta fórmula se llama, "Fórmula de promedio para datos agrupados".

Para determinar la desviación estándar de un grupo de datos, usamos la fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (11)$$



∴ n = número de datos.

$X_i$  = dato número  $i$ ;

$i = 1, 2, 3, \dots, n.$

Esta fórmula se llama "Fórmula para desviación estándar de datos no agrupados".

Cuando se tiene una tabla de distribución de Frecuencias (Tabla 3.4) se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (X_i - \bar{X})^2 f_i}{\sum_{i=1}^k f_i - 1}} \quad \dots \dots \dots (12)$$

∴  $X_i$  = marca de clase  $i$

$f_i$  = Frecuencia absoluta  
del intervalo  $i$ .

$i = 1, 2, 3, \dots, k$

$k$  = número clases.

Esta fórmula se llama "Fórmula para desviación estándar de datos agrupados".

### 5.3 Gráfico de Control de Promedios y Rangos.

El gráfico de promedios y rangos es la herramienta más poderosa para mejorar un proceso, nos permite identificar causas de variación anormales en la fabricación de un producto.

Antes de que se explique la construcción de un gráfico de control de medias y rangos, se dará una explicación de lo que son causas especiales y causas comunes de variación:

Partiendo de que no existen dos productos iguales debido a que todos los procesos de fabricación tienen variación se tiene que:

Lo que interesa como gerentes u operadores es disminuir la diferencia entre productos a un mínimo posible. Si se fabrica un artículo con materia prima de calidad óptima, maquinaria en perfecto estado, condiciones ambientales controladas y operadores entrenados que sepan muy bien como se debe fabricar el producto, no se podrían tener artículos exactamente iguales debido a "diferencias pequesimas" en las tolerancias y ajustes de la maquinaria, ligeras diferencias en la destreza de los operadores, etc. Para disminuir esta variación se tendría que comprar maquinaria más fina y utilizar equipo de medición más preciso. Cuando se tiene "Mano de obra" adiestrada con "Métodos de Trabajo" apropiados, "Materiales" de calidad deseada, "Maquinaria" en buenas condiciones y "Medio Ambiente" controlado, la variación (diferencia) que existe de artículo a artículo se conoce como CAUSA COMUN DE VARIACION . Las personas que deciden la compra de mejor material, el entrenamiento de la gente y la adquisición de equipo más preciso, están en la gerencia. "Las causas comunes son fácilmente disminuidas por la Administración de la Empresa".

Por el contrario; si no todos los operadores están bien entrenados, no todas las máquinas están en buenas condiciones de operación, la materia prima llega de proveedores con diferente calidad, existen cambios bruscos en el clima cuando

se está fabricando un producto que necesita temperatura constante, entonces con más razón el producto tendrá VARIACIONES DE CALIDAD. Cualquier variación en la calidad del producto que sea debida a Materiales, Mano de Obra, Métodos de Trabajo, Maquinaria o Medio Ambiente se conoce como *Causa Especial de Variación*. De tal manera que donde se pueden localizar las causas Especiales se les conoce como las CINCO EMS.

Los gerentes y obreros de la planta son las personas que pueden eliminar fácilmente las causas especiales de variación.

Para lograr encontrar estas causas especiales es necesario utilizar los Gráficos de Control.

#### 5.4 Pasos para construir un Gráfico de Control de Promedios y Rangos.

- 1.- Seleccionar la pieza o artículo a estudiar, la característica de Calidad del artículo, la cantidad de mediciones que se tomarán cada vez y la frecuencia con la que se tomarán las mediciones.

Como ejemplo se realiza un gráfico de Control de la característica de Calidad "espesor", pieza XYZ#E43C-5486 fabricada en la máquina # 2. Se toman medidas de cinco piezas cada hora y se hará esto veinte veces. Los datos se observan en la figura 5.1.

2.- A las primeras cinco mediciones se les llama "primera muestra", a las segundas cinco, segunda muestra y así sucesivamente. El segundo paso consiste en calcular el promedio de cada muestra.

Para la primera muestra:

$$\bar{X} = \frac{\text{Suma de datos}}{\text{Número de datos}} \dots\dots\dots (9)$$

$$\bar{X} = \frac{39.10 + 39.50 + 39.00 + 39.00 + 38.70}{5} = 38.98$$

Para la segunda muestra:

$$\bar{X} = \frac{38.60 + 39.35 + 39.00 + 39.20 + 38.65}{5} = 38.96$$

De esta forma se continúa hasta encontrar el promedio de cada una de las veinte muestras.

3.- Con los valores obtenidos en el paso 2, calculamos el promedio de los promedios:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k} \dots\dots\dots (13)$$

∴ k = número de muestras.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{38.98 + 38.96 + 38.77 + \dots + 39.92}{20} = 39.18$$

Los resultados de los pasos 2 y 3 se muestran en la figura 5.2.

- 4.- Cálculo del rango de cada muestra. Primero se circula el valor mayor y el valor más pequeño de cada muestra, posteriormente se calcula el rango restando el mayor valor del valor más pequeño.

Rango de la primera muestra:

$$R = V_M - V_m \dots\dots\dots (1)$$

$$R = 39.10 - 38.70 = 0.40$$

Rango de la segunda muestra:

$$R = 39.3 - 38.6 = 0.75$$

Continuando así hasta encontrar el rango de cada una de las veinte muestras.

- 5.- Con los resultados del paso 4, calculamos el promedio de los rangos.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} \dots\dots\dots (14)$$

$$\bar{R} = \frac{0.40 + 0.75 + 0.55 + \dots + 0.50}{20} = 0.49$$

Característica de Calidad: Espesor.

GRÁFICO DE CONTROL  $\bar{X}$  - R.

$\bar{X}$  = \_\_\_\_\_ LSC <sub>$\bar{X}$</sub>  = \_\_\_\_\_ LIC <sub>$\bar{X}$</sub>  = \_\_\_\_\_  $R$  = \_\_\_\_\_ LIC <sub>$R$</sub>  = \_\_\_\_\_ LSC <sub>$R$</sub>  = \_\_\_\_\_

X1	39.10	38.60	38.85	39.10	39.40	39.10	39.35	38.90	38.85	39.10	39.40	39.50	40.00	39.50	39.60	39.70	40.00	39.40	38.80	
X2	39.10	39.20	38.50	38.60	39.10	39.00	39.10	39.00	38.90	38.60	39.10	39.00	39.50	39.40	39.60	39.40	39.75	39.70	39.10	39.10
X3	39.00	39.00	38.85	39.07	39.10	39.35	39.00	39.20	38.85	38.07	38.10	39.20	39.50	39.70	39.50	39.40	39.70	39.70	39.20	38.80
X4	39.00	39.20	38.85	39.15	39.00	39.15	39.00	38.60	39.05	39.15	38.00	39.60	39.50	39.80	39.50	39.50	39.80	39.30	38.80	39.00
X5	38.70	38.60	39.05	39.10	39.00	38.90	38.70	38.85	39.05	39.10	39.00	38.40	39.00	39.70	39.50	39.60	39.80	40.00	38.60	39.00
$\bar{X}$																				
$R$																				

P  
R  
O  
M  
E  
D  
I  
O  
S

R  
A  
N  
G  
O  
S

Característica de calidad: Espesor.  
Gráfico de Control  $\bar{X}$  - R.  
(Figura 5.1)

Característica de Calidad: Espeesor.

GRÁFICO DE CONTROL  $\bar{X}$  - R.

$\bar{X} = 39.18$

$LSC_{\bar{X}} =$  \_\_\_\_\_

$LIC_{\bar{X}} =$  \_\_\_\_\_

$S =$  \_\_\_\_\_

$LSC_R =$  \_\_\_\_\_

$LIC_R =$  \_\_\_\_\_

X1	39.10	38.60	39.60	38.95	39.10	39.40	39.15	39.35	38.60	38.95	39.10	39.40	39.50	40.00	39.50	39.60	39.70	40.00	39.40	39.60
X2	39.10	39.35	38.50	38.60	39.10	39.00	39.10	39.00	38.60	38.60	39.10	39.00	39.60	39.60	39.60	39.40	39.70	39.10	39.10	39.10
X3	39.00	39.00	38.95	39.07	39.10	39.95	39.00	39.00	38.95	39.07	39.10	39.35	39.50	39.70	39.50	39.40	39.70	39.70	39.20	39.60
X4	39.00	39.50	38.95	39.15	39.05	39.15	39.00	38.60	39.05	39.15	39.00	39.60	39.00	39.60	39.60	39.50	39.60	39.30	39.60	39.00
X5	38.70	38.65	39.05	39.10	39.00	39.00	39.70	38.60	39.05	39.10	39.00	38.40	39.00	39.70	39.50	39.60	39.60	40.00	38.60	39.00
X	38.68	38.65	38.77	38.65	39.04	39.16	39.08	39.06	38.91	38.65	39.04	39.15	39.58	39.62	39.52	39.65	39.76	39.74	39.00	39.08
R																				

V  
R  
O  
M  
E  
D  
I  
D  
O

R  
A  
N  
G  
O  
S

Característica de calidad: Espeesor.  
Gráfico de Control  $\bar{X}$  - R.  
(Figura 5.2)

6.- El promedio de promedios y el promedio de rangos sirven para determinar los límites de control de promedios y límites de control de rangos:

$LSC_{\bar{x}}$  = Límite superior de control de los promedios.

$LIC_{\bar{x}}$  = Límite inferior de control de los promedios.

$LSC_R$  = Límite superior de control de los rangos.

$LIC_R$  = Límite inferior de control de los rangos.

Fórmulas:

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \dots\dots\dots (15)$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \dots\dots\dots (16)$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R} \dots\dots\dots (17)$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \dots\dots\dots (18)$$

Los Valores de  $A_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  son factores que dependen del número de datos por muestra y se obtienen de la tabla 5.1.

Para el ejemplo  $n = 5$ ,  $A_2 = 0.577$ ,  $D_3 = 0.0$ , y  $D_4 = 2.114$ .  
Los límites son:

$$LSC_{\bar{x}} = 39.18 + (0.577)(0.49) = 39.46$$

$$LIC_{\bar{x}} = 39.18 - (0.577)(0.49) = 38.90$$



$$LSC_R = (2.114)(0.49) = 1.03$$

$$LIC_R = (0.0)(0.49) = 0.0$$

n	A <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	1.880	0.0	3.267
3	1.023	0.0	2.574
4	0.729	0.0	2.282
5	0.577	0.0	2.114
6	0.483	0.0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.134	1.816
10	0.308	0.223	1.777

∴ n es el número de datos por muestras.

(Tabla 5.1)

Los resultados de los pasos 4, 5 y 6 se muestran en la figura 5.3.

- 7.- En la figura 5.3 aparecen dos cuadrículas, la más grande tiene dividida la altura en diez partes y recibe el nombre de *carta de promedios*. La más pequeña tiene la altura dividida en cinco partes y recibe el nombre de *carta de rangos*. En la *carta de promedios* se va a graficar el promedio de cada muestra y sus límites de control. En la *carta de rangos* vamos a graficar los rangos de cada muestra y sus límites de control.

Determinando la escala:

- a) Encontrar el promedio más grande de todos los promedios.

El promedio más grande es: 39.82

- b) Encontrar el promedio más chico de todos los promedios.

El promedio más chico es: 38.81

- c) Comparando el promedio del paso a) con el límite superior de control de promedios y seleccionando el mayor, se tiene que:

El límite vale 39.46 y el promedio más grande 39.82; se elige 39.82 .

- d) Comparando el promedio más pequeño con el límite inferior de control de promedios y seleccionando el más pequeño, se tiene que:

El límite vale 38.90 y el promedio 38.81; se elige 38.81 .

- e) Restando los resultados de los incisos c) y d) se obtiene:

$$39.82 - 38.81 = 1.01$$

- f) Dividiendo el resultado del inciso e) entre el número de divisiones de la carta de promedios, se tiene:

$$(1.01/10) = 0.101$$

- g) Cada división debe valer al menos 0.101 para que todos los valores se puedan graficar dentro. Se elige un valor más grande y práctico:

$\bar{x} = 30.18$

$LSC = 30.45$

$USC = 30.11$

$R = 00.49$

$LCL = 00.00$

$UCL = 1.03$

X1	30.10	30.60	30.60	30.05	30.10	30.40	30.10	30.25	30.60	30.05	30.10	30.40	30.50	30.10	30.40	30.50	30.10	30.40	30.70	30.05	30.40	30.70
X2	30.10	30.75	30.60	30.60	30.10	30.00	30.10	30.00	30.50	30.00	30.10	30.00	30.50	30.00	30.00	30.50	30.00	30.00	30.75	30.70	30.10	30.10
X3	30.00	30.00	30.05	30.07	30.10	30.25	30.00	30.20	30.05	30.00	30.20	30.00	30.50	30.00	30.00	30.50	30.00	30.00	30.75	30.70	30.20	30.00
X4	30.00	30.20	30.05	30.15	30.10	30.15	30.00	30.10	30.05	30.10	30.10	30.10	30.50	30.00	30.50	30.00	30.00	30.00	30.75	30.20	30.20	30.00
X5	30.70	30.05	30.05	30.10	30.00	30.50	30.70	30.05	30.05	30.10	30.00	30.10	30.50	30.00	30.40	30.05	30.20	30.40	30.40	30.05	30.00	30.00
F	30.00	30.00	30.77	30.05	30.04	30.10	30.00	30.05	30.10	30.05	30.04	30.10	30.50	30.10	30.50	30.00	30.00	30.00	30.75	30.70	30.00	30.00
P	00.40	00.75	00.55	00.55	00.20	00.50	00.40	00.70	00.50	00.50	00.50	00.40	00.70	00.40	00.70	00.10	00.50	00.10	00.50	00.70	00.00	00.50

P  
R  
O  
M  
E  
D  
I  
O  
S

R  
A  
N  
G  
O  
S

Característica de calidad: Espesor.  
Gráfico de Control  $\bar{X} - R$ .  
Figura 6.33

Característica de Calidad: Espesor.

GRÁFICO DE CONTROL  $\bar{X} - R$ .

$\bar{X} = 30.18$

$LSC_{\bar{X}} = 30.40$

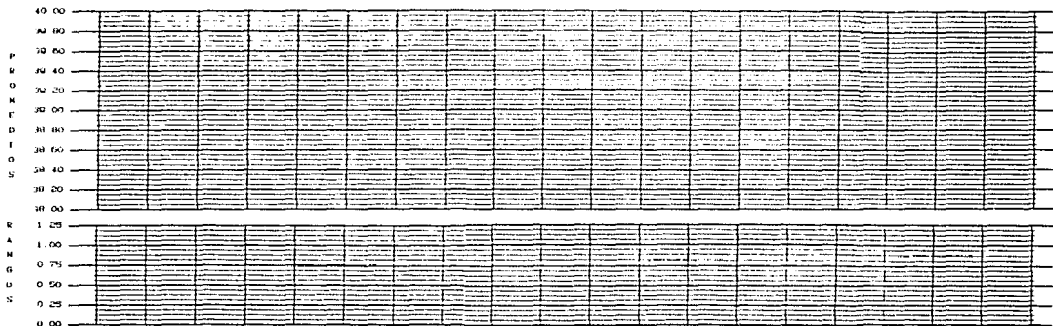
$LIC_{\bar{X}} = 29.97$

$R = 00.40$

$LIC_R = 00.00$

$LPC_R = 00.80$

X1	30.10	30.50	30.50	30.15	30.10	30.40	30.10	30.25	30.21	30.15	30.10	30.40	30.50	30.00	30.50	30.70	30.00	30.40	30.40	30.60
X2	30.10	30.35	30.50	30.60	30.10	30.00	30.10	30.60	30.50	30.60	30.10	30.00	30.50	30.00	30.50	30.75	30.70	30.10	30.10	30.10
X3	30.00	30.00	30.05	30.07	30.10	30.35	30.00	30.50	30.15	30.07	30.10	30.75	30.50	30.70	30.50	30.40	30.70	30.70	30.20	30.60
X4	30.00	30.20	30.05	30.15	30.00	30.15	30.00	30.50	30.15	30.15	30.00	30.50	30.50	30.00	30.50	30.00	30.30	30.60	30.00	30.00
X5	30.70	30.05	30.05	30.10	30.00	30.00	30.70	30.05	30.15	30.10	30.00	30.40	30.00	30.70	30.50	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
$\bar{X}$	30.00	30.00	30.77	30.05	30.04	30.18	30.00	30.00	30.05	30.05	30.04	30.15	30.50	30.00	30.52	30.05	30.70	30.74	30.00	30.00
R	00.10	00.75	00.15	00.50	00.20	00.50	00.40	00.75	00.55	00.50	00.20	00.40	00.30	00.10	00.20	00.15	00.70	00.00	00.50	00.50



Característica de calidad: Espesor.  
Gráfico de Control  $\bar{X} - R$ .  
(Figura 5.4)

Característica de Calidad: Espesor.

GRAFICO DE CONTROL  $\bar{X} - R$ .

$\bar{Y} = 30.18$

$LSC_{\bar{X}} = 30.46$

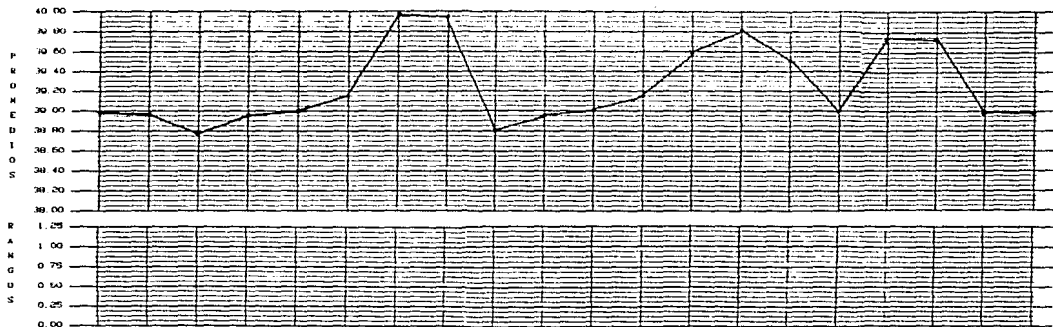
$LIC_{\bar{X}} = 29.90$

$R = 00.40$

$LIC_R = 00.00$

$LSC_R = 1.00$

X1	30.10	30.60	30.60	30.15	30.10	30.40	30.10	30.35	30.60	30.15	30.10	30.40	30.50	40.00	30.50	30.50	30.70	40.00	30.40	30.60
X2	30.10	30.35	30.50	30.60	30.10	30.00	30.10	30.00	30.50	30.60	30.10	30.00	30.50	30.50	30.60	30.40	30.75	30.70	30.10	30.10
X3	30.00	30.00	30.15	30.07	30.10	30.35	30.00	30.20	30.15	30.07	30.10	30.35	30.50	30.70	30.50	30.40	30.70	30.70	30.20	30.00
X4	30.00	30.20	30.15	30.15	30.00	30.15	30.00	30.50	30.05	30.15	30.00	30.60	30.50	30.60	30.50	30.50	30.60	30.30	30.60	30.00
X5	30.70	30.05	30.00	30.10	30.00	30.60	30.70	30.65	30.05	30.10	30.00	30.40	30.60	30.70	30.50	30.60	30.15	40.00	30.60	30.00
$\bar{Y}$	30.00	30.05	30.77	30.06	30.04	30.16	30.08	30.06	30.11	30.05	30.04	30.15	30.18	30.12	30.52	30.05	30.76	30.74	30.68	30.66
R	00.10	00.75	00.15	00.55	00.20	00.50	00.40	00.75	00.10	00.55	00.20	1.20	00.40	00.30	00.10	00.20	00.15	00.70	00.10	00.10



Característica de calidad: Espesor.  
 Grafico de Control  $\bar{X} - R$ .  
 (Figura 5.5)

Cada división vale ahora 0.20

Para calcular la escala en la carta de rangos se hace lo mismo pero tomando en cuenta que solo hay cinco divisiones. El valor exacto es 0.24, pero se elige un número más práctico: 0.25.

La escala de las cartas se muestra en la figura 5.4.

8.- El siguiente paso es graficar los promedios de cada muestra en la carta de promedios. La figura 5.5 muestra una serie de puntos unidos por medio de una línea continua.

Es la gráfica de promedios.

9.- En la carta de promedios trazar tres líneas. El límite superior de control, el límite inferior de control y el promedio de promedios (línea central), identificando cada una de ellas.

10.- Graficar cada uno de los veinte rangos, así como sus límites en la carta de rangos.

11.- Circular todos los puntos que estén por arriba o por debajo de sus límites de control.

Los pasos i), j) y k) se muestran en la figura 5.6.

Característica de Calidad : Espesor.

GRÁFICO DE CONTROL  $\bar{X}$  - R.

$\bar{X} = 39.18$

$LSC_x = 39.45$

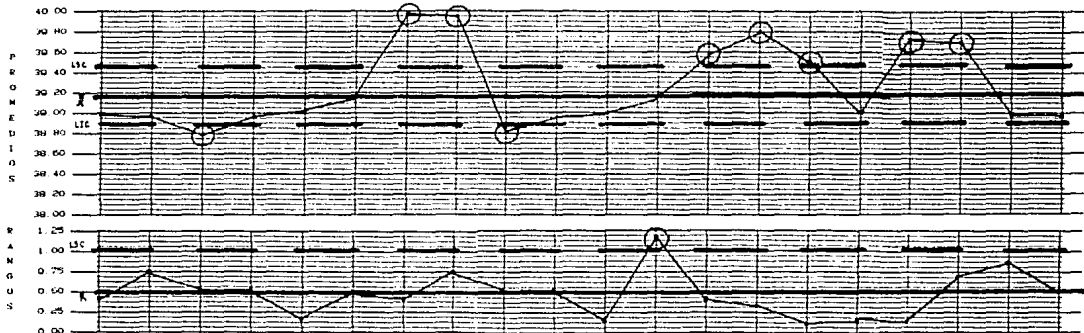
$LIC_x = 38.90$

$R = 00.49$

$LSC_r = 00.00$

$LIC_r = 1.03$

X1	39.10	38.80	38.80	38.85	39.10	39.40	39.10	39.35	38.80	38.85	39.10	39.40	39.50	40.00	39.50	39.80	39.70	40.00	39.40	39.80
X2	39.10	39.35	38.80	38.80	39.10	39.00	39.10	39.00	38.80	39.80	39.10	39.00	39.50	39.90	39.80	39.40	39.75	39.70	39.10	39.10
X3	39.00	39.00	38.85	39.07	39.10	39.35	39.00	39.20	38.85	39.07	39.10	39.35	39.50	39.70	39.50	39.40	39.70	39.70	39.20	39.90
X4	39.00	39.20	38.85	39.15	39.90	39.15	39.00	38.80	39.05	39.15	39.80	39.50	39.50	39.90	39.50	39.50	39.80	39.30	38.80	39.00
X5	39.70	38.85	39.05	39.10	39.00	39.90	39.70	39.85	39.05	39.10	39.00	38.40	39.90	39.70	39.50	39.80	39.85	40.00	38.80	39.00
$\bar{X}$	39.08	39.05	38.77	38.85	39.04	39.18	39.08	39.56	38.81	39.05	39.04	39.15	39.58	39.82	39.82	39.05	39.78	39.74	38.98	38.98
R	00.40	00.75	00.55	00.55	00.20	00.50	00.40	00.75	00.55	00.55	00.20	1.20	00.40	00.30	00.10	00.20	00.15	00.70	00.80	00.50



Característica de calidad: Espesor.  
Gráfico de Control  $\bar{X}$  - R.  
(Figura 5.8)

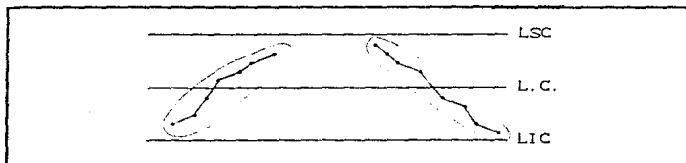
Las causas especiales de variación son los puntos que están fuera de sus límites de control. Debe investigarse cada causa por separado y corregirse la falla.

Recordando que las causas especiales son originadas por variaciones en:

- \* Mano de Obra,
- \* Materiales,
- \* Métodos de trabajo,
- \* Medio Ambiente y
- \* Maquinaria.

#### 5.5 Causas especiales de variación.

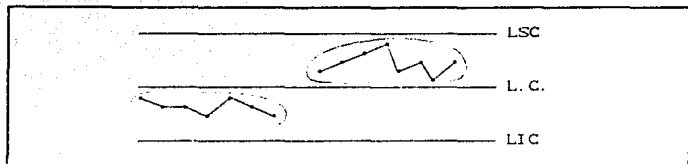
- 1.- Son causas especiales todos los puntos que se encuentran fuera de sus límites de control.
- 2.- Son causas especiales los puntos que estén dentro de sus límites de control y cumplan lo siguiente:
  - a) Existe una tendencia ascendente o descendente de siete o más puntos consecutivos.



Tendencias: Ascendente y Descendente.  
(Figura 5.7)

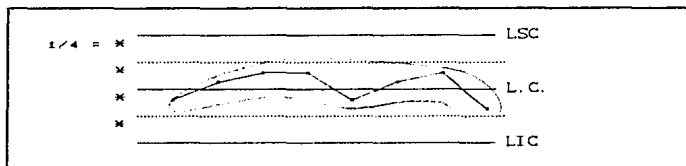


- b) Existe una corrida de siete o más puntos por encima o debajo de la línea central.



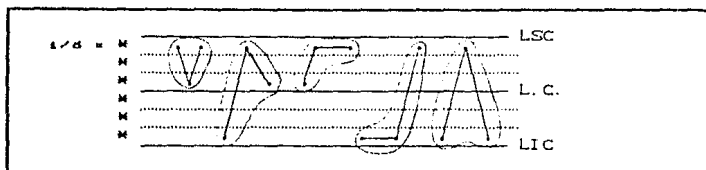
Corrida anormal.  
(Figura 5.8)

- c) Si al dividir el gráfico en cuatro partes iguales, todos los puntos están en las partes centrales. Esto se llama *adhesión a la línea central*.



Adhesión a la línea central.  
(Figura 5.9)

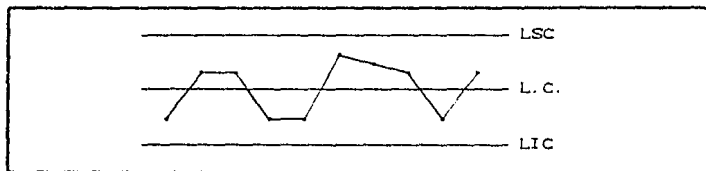
- d) Si al dividir el gráfico en seis partes iguales el 60% de los puntos están en las franjas de afuera. Esto se llama *cambio brusco*.



Cambios Bruscos.

(Figura 5.10)

- e) Los puntos bajan y suben la línea perpendicularmente. Esto se llama *ciclos*.



Periodicidad o ciclos.

(Figura 5.11)

## 5.6 Gráfico X - S.

La desviación estandar muestral  $s$  es un mejor indicador de la variación del proceso, especialmente con muestras grandes. Sin embargo, es un poco más difícil de calcular.

Los gráficos X-S se utilizan en lugar de los de medias y rangos cuando:

- \* Los datos son almacenados en computadora.
- \* Grandes muestras son usadas y es necesaria una medida de variación más exacta.
- \* El tamaño de la muestra es variable.
- \* Se verificará si el producto elaborado en máquinas (plantas) diferentes es homogéneo.

## 5.7 Pasos para elaborar un gráfico X - S.

1.- Reuna la información necesaria (25 subgrupos cuando menos).

2.- Obtener la media de cada subgrupo:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \dots\dots\dots (9)$$

∴  $n$  = número de datos en la muestra considerada.

3.- Calcular la desviación estandar muestral de cada subgrupo:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}} \dots\dots\dots (11)$$

4.- Obtener el promedio ponderado de las medias de las muestras:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i \bar{X}_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \dots\dots\dots (12)$$

∴ k = número de muestras.

Quando la muestra más grande no supere a la más pequeña en más de dos veces su tamaño, utilice la siguiente fórmula:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k} \dots\dots\dots (13)$$

5.- Calcular el promedio de las desviaciones estándar muestrales de cada muestra (desviación estándar promedio):

$$s_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k n_i S_i^2}{\sum_{i=1}^k n_i}} \dots\dots\dots (20)$$

6. - Obtener el tamaño promedio de las muestras (n promedio):

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{k} \dots\dots\dots (21)$$

7. - Calcular los factores A<sub>1</sub>, B<sub>3</sub> y B<sub>4</sub>:

$$A_1 = \frac{3}{\sqrt{\bar{n}}} \dots\dots\dots (22)$$

$$B_3 = 1 - \frac{3}{\sqrt{2\bar{n}}} \dots\dots\dots (23)$$

$$B_4 = 1 + \frac{3}{\sqrt{2\bar{n}}} \dots\dots\dots (24)$$

8. - Obtener los límites de control para medias y desviación estándar.

$$LSC_x = \bar{\bar{X}} + A_1 \bar{S} \dots\dots\dots (25)$$

$$LIC_x = \bar{\bar{X}} - A_1 \bar{S} \dots\dots\dots (26)$$

$$LSC_s = B_4 \bar{S} \dots\dots\dots (27)$$

$$LIS_s = B_3 \bar{S} \dots\dots\dots (28)$$

- 9.- Seleccionar una escala apropiada para graficar los promedios y las desviaciones estándar de cada muestra (no olvidar que se toman en cuenta los límites de control).
- 10.- Graficar las líneas centrales para medias y desviación estándar.
- 11.- Grafique los límites de control para medias y desviación estándar.
- 12.- Graficar la media y desviación estándar de cada muestra.
- 13.- Interpretar el gráfico.

#### 5.8 Gráfico de Medianas.

Quando se tiene un proceso bajo control estadístico, puede monitorearse con una herramienta más sencilla, esta es el gráfico de control de medianas.

Los gráficos de medianas son fáciles de elaborar y no requieren cálculos complejos. Esto resulta de mucha ayuda para lograr aceptación por parte de los obreros.

Se recomienda que se trabaje con subgrupos de igual tamaño. Se sugiere que sean de 5, 7 ó 9 observaciones cada uno, de esta manera, el valor central no necesita calcularse.

## 5.9 Pasos para la construcción de un Gráfico de Medianas.

- 1.- Obtener datos de al menos 25 subgrupos de un proceso bajo control estadístico.
- 2.- Identificar la mediana de cada subgrupo.
- 3.- Calcular el rango de cada subgrupo.

$$R = V_M - v_m \dots\dots\dots (1)$$

- 4.- Calcular la media de las medianas.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k} \dots\dots\dots (13')$$

∴ k = número de muestras.

- 5.- Obtener la media de los rangos.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} \dots\dots\dots (14)$$

- 6.- Calcular los límites de control para medianas y rangos.

$$LSC_m = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \dots\dots\dots (29)$$

$$LIC_m = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \dots\dots\dots (30)$$

$$LSCR = D_4 \bar{R} \dots\dots\dots (31)$$

$$LISR = D_3 \bar{R} \dots\dots\dots (32)$$

Los Valores de  $A_2$ ,  $D_3$  y  $D_4$  se encuentran en la tabla 5.1.

- 7.- Graficar los límites de control y las líneas centrales de medianas y rangos en una hoja de control nueva.
- 8.- Los puntos a graficar en la hoja de control serán de mediana y el rango de nuevos datos obtenidos durante la operación del proceso.
- 9.- Continuar graficando hasta encontrar una causa especial.  
Si se detecta una causa especial, cambiar inmediatamente a un gráfico de medias y rangos, analizar y eliminar causas especiales.  
Se recomienda revisar los límites de control de medianas a intervalos regulares.

#### 5.10 Gráfico de Control de Lecturas Individuales o Mediciones Individuales.

Se aplica en procesos donde recabar información es muy costoso o es necesario efectuar pruebas destructivas. También es aplicable en características de calidad que presenten homogeneidad.

Este gráfico es mejor que no llevar estadísticas; su inconveniente es el ser poco sensible a cambios en el proceso.



Es importante tomar en cuenta que el rango utilizado es móvil, resultando de la diferencia de datos consecutivos (generalmente dos).

No se pueden obtener conclusiones consistentes si se emplean menos de 100 datos.

### 5.11 Pasos para la construcción de un Gráfico de Lecturas Individuales o Mediciones Individuales.

1.- Estimar la media de los datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{X}_i}{k} \dots\dots\dots (13)$$

∴ k = número de muestras.

2.- Calcular los rangos móviles.

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= |X_2 - X_1|; \\ R_2 &= |X_3 - X_2|; \\ R_3 &= |X_4 - X_3|; \dots ; \\ R_{k-1} &= |X_k - X_{k-1}| \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (33)$$

El total de rangos móviles es uno menos el número de datos k.

3. - Obtener la media de los rangos.

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{k} \dots\dots\dots (14)$$

4. - Calcular los límites superior e inferior de control.

$$LSC_x = \bar{X} + E_2 \bar{R} \dots\dots\dots (34)$$

$$LIC_m = \bar{X} - E_2 \bar{R} \dots\dots\dots (35)$$

$$LSCR = D_4 \bar{R} \dots\dots\dots (36)$$

$$LISR = D_3 \bar{R} \dots\dots\dots (37)$$

Para calcular los límites consulte la tabla 5.2

n	E <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
2	2.860	1.128	0.0	3.267
3	1.772	1.693	0.0	2.574
4	1.457	2.059	0.0	2.282
5	1.290	2.326	0.0	2.114
6	1.184	2.534	0.0	2.004
7	1.109	2.704	0.076	1.924
8	1.054	2.847	0.136	1.864

Valores de las constantes para el  
Gráfico de Lecturas Individuales.  
(Tabla 5.2)

n = número de lecturas individuales  
con las que se tomó el rango.

- 5.- Seleccionar una escala apropiada para graficar los valores individuales y los rangos (no olvidar tomar en cuenta los límites de control).
- 6.- Graficar las líneas centrales para X y R.
- 7.- Graficar los límites de control para X y R.
- 8.- Graficar los datos individuales y unirlos mediante una línea continua.
- 9.- Graficar los rangos móviles y unirlos mediante una línea continua.
- 10.- Interpretar el gráfico.

#### 5.12 Gráficos de Control por Atributos.

Los hechos que favorecen el uso de los gráficos por atributos son:

- \* Aplicables a cualquier proceso.
- \* Rápidos y simples de obtener.
- \* Fáciles de interpretar y
- \* Contribuyen a dar prioridad a áreas con problemas.

Los datos por atributos se clasifican en dos grupos:

A	B
Pasa	No pasa
Conforme	No conforme
Presente	Ausente
Si	No
Seleccionado	Rechazado

Clasificación de los atributos.

(Figura 5.12)

Los gráficos de control por atributos que se utilizan son:

- p Fracción de defectuosos.  
(Los tamaños de muestras pueden ser variables)
  - np Número de unidades defectuosas.  
(Tamaño de la muestra constante)
  - u Número de defectos por unidad de tamaño variable.
  - c Número de defectos por unidad de tamaño constante.
- \* Se recomienda un tamaño de muestra mayor a 50 para obtener resultados confiables.

### 5.13 Pasos para la construcción de un Gráfico (p).

1.- Registrar los datos de acuerdo al siguiente formato:

Número de unidades inspeccionadas	Número de defectos	Fracción de defectos
n	np	p
3350	31	0.0092
⋮	⋮	⋮

Formato para Gráfico p.

(Figura 5.13)

A cada muestra se le encuentra el número de unidades defectuosas y su fracción de defectos p de acuerdo a la siguiente formula:

$$p = \frac{np}{n} \dots\dots\dots (38)$$

2.- Calcular el valor medio de p (p promedio).

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i p_i}{\sum_{i=1}^k n_i} \dots\dots\dots (39)$$

∴ k = número de muestras.

3. - Evaluar los límites de control para cada subgrupo:

$$LSC_{p_i} = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_i}} \dots\dots\dots (40)$$

$$LIC_{p_i} = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{n_i}} \dots\dots\dots (41)$$

4. - Elegir una escala apropiada para graficar, deben caber los límites de control y los valores de p de cada muestra.

5. - Graficar el valor de p de cada subgrupo, así como sus límites superior e inferior.

6. - Graficar la línea central de p promedio.

7. - Interpretar el gráfico.

\* Nota :

Si la diferencia entre la muestra de mayor tamaño y la muestra más pequeña no excede el 25%, se puede determinar un solo límite de control superior e inferior.

$$LSC_p = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1 - \bar{p})}{\bar{n}}} \dots\dots\dots (42)$$

$$LSC_p = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}} \quad (43)$$

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{k} \quad (21)$$

#### 5.14 Pasos para la construcción de un gráfico de Unidades Defectuosas (np).

El tamaño de la muestra  $n$  es constante para todos los lotes inspeccionados. Este gráfico detecta el promedio de artículos defectuosos en los lotes. Sirve para notificar a la dirección cualquier cambio en el nivel medio de Calidad. Realimenta al proceso para descubrir puntos fuera de control e identifica y ayuda a la corrección de causas especiales.

- 1.- Recabar información del número de defectuosos por lote tomado, muestras de tamaño constante.

Utilizar una tabla como la 5.3.

- 2.- Calcular el promedio de defectos (np promedio).

$$\overline{np} = \frac{\sum_{i=1}^k np_i}{k} \quad (44)$$

∴  $k$  = número de lotes inspeccionados.

Total de unidades inspeccionadas = Tamaño de la muestra, n =	
Lote	Número de defectos np
1	$np_1$
2	$np_2$
3	$np_3$
⋮	⋮
k	$np_k$

Número de unidades inspeccionadas =  $(n)(k)$

(Tabla 5.3)

3. - Determinar la fracción promedio de defectuosos ( $\bar{p}$  promedio).

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^k np_i}{(n)(k)} \quad \text{..... (45)}$$

4. - Evaluar los límites superior e inferior de control.

$$LSC_{np} = \bar{np} + 3 \sqrt{\bar{np} (1 - \bar{p})} \quad \text{..... (46)}$$

$$LIC_{np} = \bar{np} - 3 \sqrt{\bar{np} (1 - \bar{p})} \quad \text{..... (47)}$$

5. - Elegir una escala adecuada. Deben considerarse los límites de control y los valores de números de defectos.



5.- Graficar los límites de control y el valor de  $\bar{np}$  promedio.

7.- Interpretar el gráfico.

### 5.15 Pasos para la construcción de un Gráfico de Número de Defectos por Unidad de Tamaño Constante (c).

Con este gráfico se puede reducir:

- \* El número de impurezas en un volumen constante de líquido.
- \* El número de defectos en autos del mismo tipo.
- \* El número de defectos en una tela de área determinada.
- \* Etc.

1.- Vaciar en una tabla el número de defectos por unidad (c) encontrados al inspeccionar un cierto número de unidades (n).

(Ver tabla 5.4)

Número de unidad.	Defectos por unidad. c
1	$c_1$
2	$c_2$
3	$c_3$
⋮	⋮
n	$c_n$

n = número de unidades inspeccionadas.

(Tabla 5.4)

- 2.- Calcular el promedio de defectos del proceso (c promedio).

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n} \dots\dots\dots (48)$$

- 3.- Evaluar los límites superior e inferior de control:

$$LSC_c = \bar{c} + 3 \sqrt{\bar{c}} \dots\dots\dots (49)$$

$$LIC_c = \bar{c} - 3 \sqrt{\bar{c}} \dots\dots\dots (50)$$

- 4.- Determinar la escala apropiada para graficar los valores de c y los límites de control.
- 5.- Graficar c promedio y los límites de control.
- 6.- Graficar los valores de defectos por unidad.
- 7.- Interpretar el gráfico.

5.16 Pasos para la construcción del gráfico de Número de Defectos por Unidad de Tamaño Variable (u).

Es aplicable en situaciones similares a las del gráfico c y se emplea cuando la unidad es de tamaño variable. Los límites de control son variables para cada punto (como el gráfico p).

1. - Registrar los datos en una tabla como la 5.5.

Número de unidad i	Tamaño de la unidad n	Defectos por unidad c	Fracción de defectos por unidad u
1	n <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	u <sub>1</sub>
2	n <sub>2</sub>	c <sub>2</sub>	u <sub>2</sub>
3	n <sub>3</sub>	c <sub>3</sub>	u <sub>3</sub>
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
k	k	k	k

Tabla para registro por Unidad de Tamaño Variable.  
(Tabla 5.5)

El valor de u se calcula aplicando la fórmula:

$$u = \frac{c_i}{n_i} \dots\dots\dots (51)$$

2. - Calcular el promedio de u.

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^k u_i}{k} \dots\dots\dots (52)$$

3. - Evaluar los límites de control para cada unidad.

$$LSC_{u_i} = \bar{u} + 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \dots\dots\dots (53)$$

$$LIC_{u_i} = \bar{u} - 3 \sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}} \dots\dots\dots (54)$$

4. - Determinar la escala.

5. - Graficar los valores de  $u$  y sus límites de control.

6. - Graficar  $u$  promedio.

7. - Interpretar el gráfico.

## CAPITULO VI

### GRAFICO DE DISPERSION.

## 6.1 GRAFICO DE DISPERSION.

El gráfico de dispersión es una de las siete herramientas estadísticas la cual ayuda a comprobar "corazonadas" dentro de una relación del tipo Causa - Efecto.

A partir de una cuadrícula de dos ejes (horizontal - vertical) se dibujan puntos que corresponden al cruce de dos factores, sobre los que se cree exista alguna relación.

Generalmente se buscan conexiones entre:

- 1) Una característica de Calidad y un factor que la afecta.

Tiempo  $\longrightarrow$  Concentración

- 2) Dos características de Calidad relacionadas.

Humedad  $\longrightarrow$  Tamaño de Partículas

- 3) Dos factores que se relacionan a una característica.

Los gráficos de dispersión, aún a simple observación, pueden decir varias cosas:

- 1) Si existe relación positiva.
- 2) Si existe relación negativa.
- 3) Si existe algo de relación (positiva o negativa).
- 4) Si no existe relación.

## 6.2 Pasos para la construcción de un Gráfico de Dispersión.

- 1.- Recopilar una serie de datos que tengan "relación" entre ellos (X, Y, factores ocurridos simultáneamente) y pasarlos a una tabla.
- 2.- Trazar una cuadrícula de 10 por 10 cuadros aproximadamente y resalte claramente los ejes X y Y.

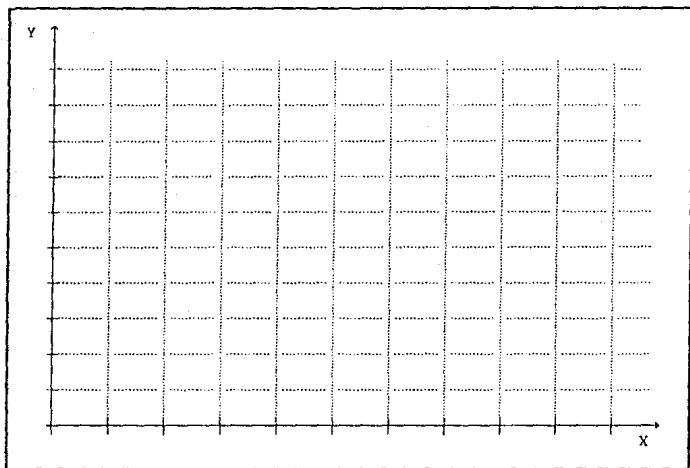


Gráfico de Dispersión (Primera etapa).

(Figura 6.1)

3.- Estos ejes deben tener sus graduaciones:

En el eje horizontal la serie de datos que se consideran causa (X); El Factor.

En el eje vertical la serie de datos que se consideran efecto (Y); La característica de Calidad.

Para cada tipo de datos, calcule el rango y divida entre diez, se obtendrá el tamaño de cada cuadrado.

Debe redondearse la cifra a un número práctico.

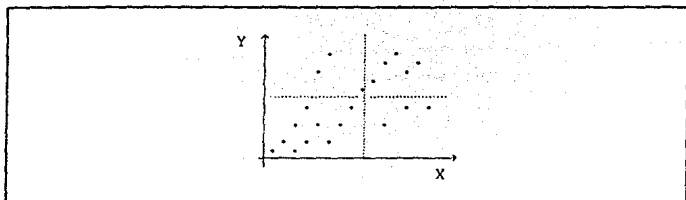
4.- Grafique los datos en la cuadrícula por medio de un punto: ●.

Si un dato se repite en la gráfica habrá que representarlo así: ○.

### 6.3 Interpretación del Gráfico de Dispersión.

- 1) Eliminar puntos demasiado alejados puesto que probablemente sean errores de recolección.
- 2) Contando el número de datos (n) que se tienen se dividen entre 2, con el resultado obtenido se cuentan los puntos de abajo hacia arriba y se traza una línea horizontal, para trazar la línea vertical se cuentan los puntos de derecha a izquierda como se muestra en la figura 6.2.

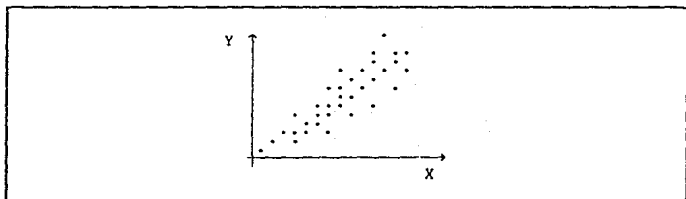




Cuadrantes del Gráfico de Dispersión.

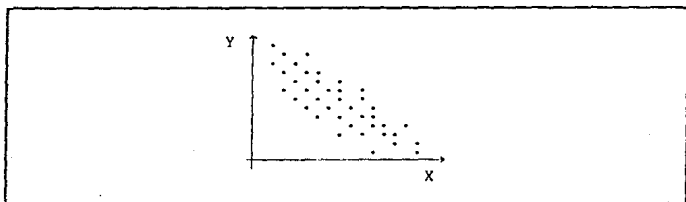
(Figura 6.2)

3) Se pueden presentar algunas de las distribuciones de puntos como las siguientes:



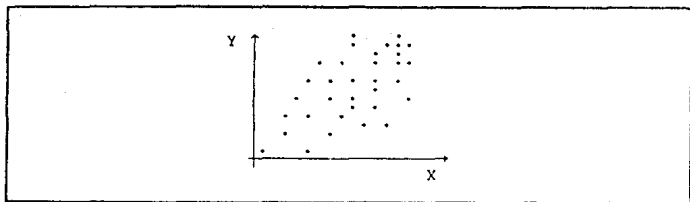
a) Correlación Positiva.

(Figura 6.3)



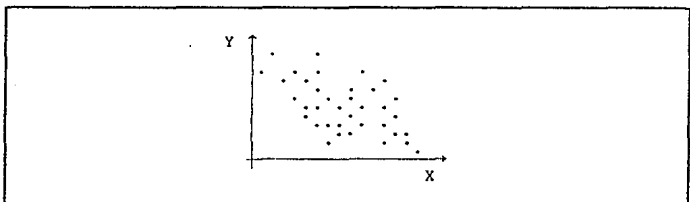
b) Correlación Negativa.

(Figura 6.4)



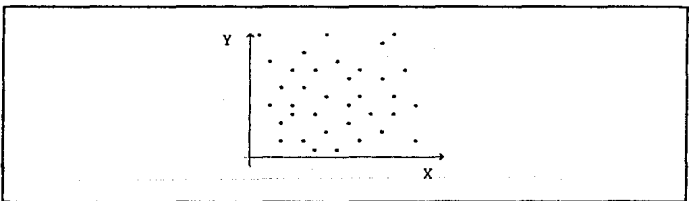
c) Puede existir correlación positiva.

(Figura 6.5)



d) Puede existir correlación negativa.

(Figura 6.6)



e) No hay correlación.

(Figura 6.7)

a) Correlación Positiva:

Esto implica que si el factor (X) aumenta, la característica de Calidad aumenta.

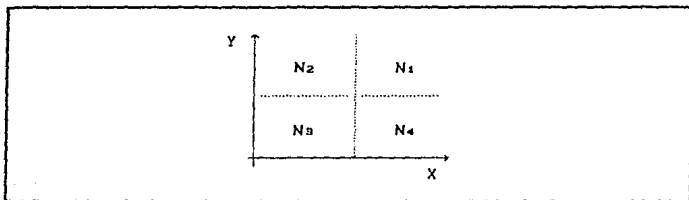
b) Correlación Negativa:

Esto implica que si el factor (X) aumenta, la característica de Calidad disminuye.

c) y d) Puede existir correlación positiva o negativa:

Esto implica que la correlación es muy baja o que hay otros factores que tienen algo de relación con la característica de Calidad.

El trazar estas dos líneas perpendiculares generan cuatro cuadros llamados Cuadrantes los cuales se enumerarán al contrario del giro de las manecillas del reloj, como se muestra en el siguiente esquema:



Enumeración de los cuatro cuadrantes.  
(Figura 6.8)

Si la mayoría de los puntos caen en los cuadrantes 1 y 3, entonces se trata de una correlación Positiva.

Si la mayoría de los puntos caen en los cuadrantes 2 y 4, entonces se trata de una correlación Negativa.

Si es necesario obtener más exactitud deberá realizarse un estudio sobre coeficientes de correlación lineal.

Se analizará un ejemplo para afirmar los pasos anteriores.

"En la planta de Envases S.A. ultimamente han tenido problemas durante el proceso de fabricación de sus envases. En su proceso "inyectan" aire a presión para lograr el moldeo del envase. Se cree que la presión del aire esta afectando la Calidad (% de defectos)."

1.- Paso; Recopilación de datos:

Fecha	Presión Aire kg/cm <sup>2</sup>	% Defectos	Fecha	Presión Aire kg/cm <sup>2</sup>	% Defectos
Oct.			22	8.7	8.92
1	8.6	8.89	23	8.5	8.77
2	8.9	8.95	24	9.2	8.85
3	8.8	8.74	25	8.5	8.66
4	8.8	8.91	26	8.3	8.90
5	8.4	8.74	29	8.7	8.96
8	8.7	8.86	30	9.3	9.28
9	9.2	9.11	31	8.9	8.95
10	8.8	9.12	Nov		
11	9.2	8.93	1	8.9	9.08
12	8.7	8.96	2	8.3	8.81
15	8.4	8.85	5	8.7	8.82
16	8.2	8.64	6	8.9	9.04
17	9.2	9.22	7	8.7	9.12
18	8.6	9.09	8	9.1	9.25
22	8.7	8.92	9	8.7	8.72

Recopilación de datos.

(Tabla B.1)

2. - Paso; Trazar el gráfico (cuadrícula).

Observar la figura 6.1.

3. - Paso; Graduar los eje:

a) En el eje vertical

$$\text{Rango} = 9.4 - 8.2$$

$$R = 1.2$$

$$\frac{R}{10} = 0.12$$

b) En el eje horizontal

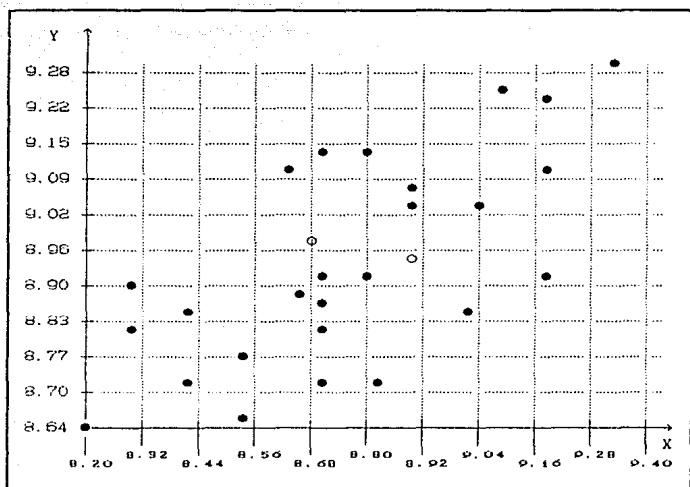
$$\text{Rango} = 9.28 - 8.64$$

$$R = 0.64$$

$$\frac{R}{10} = 0.064$$

Para analizar este problema se deben trazar las líneas horizontal y vertical de las que se habló antes; quedando la figura 6.1 como se muestra en la siguiente hoja.

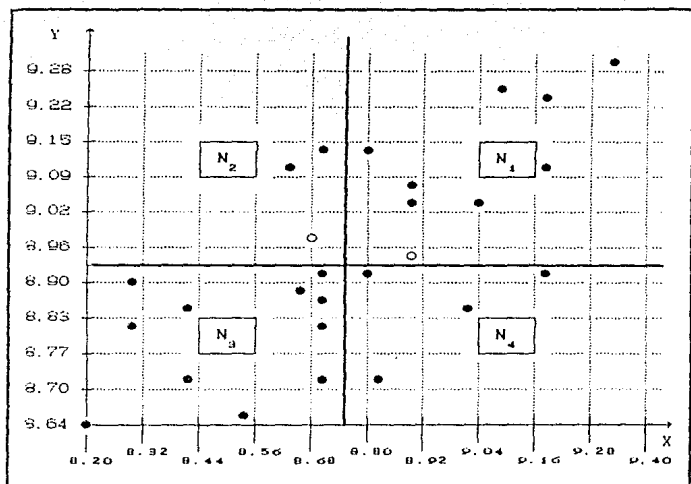
Localizar cada uno de los puntos; recordando que si alguno se repite en el mismo lugar (mismas coordenadas), deberá encerrarse con un círculo pequeño.



(Gráfico de Dispersión.)

(Figura 6.9)

Trazo de la línea horizontal =  $n/2 = 30/2 = 15$  puntos de abajo hacia arriba; los mismos puntos de derecha a izquierda para trazar la línea vertical.



(Gráfico de Dispersión y cuadrantes.)

(Figura 6.10)

Puesto que la mayoría de los puntos caen en los cuadrantes  $N_1 = 10$  y  $N_3 = 12$ , existe una correlación positiva.

#### 6.4 Coeficiente de correlación lineal.

Una medida del grado de acercamiento de los puntos (que representan los datos de las lecturas), con respecto a una línea entre dos variables, la proporciona el valor de un coeficiente  $r$ , llamando coeficiente de correlación lineal de Pearson cuya fórmula está dada por:

$$r_{XY} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (55)$$

Comunmente se representa de la siguiente forma:

$$r = \frac{SC_{xy}}{\sqrt{(SC_x)(SC_y)}} \quad (56)$$

en donde:

$$SC_{xy} = \sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})] \quad (57)$$

$$SC_x = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (58)$$

$$SC_y = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (59)$$



Efectuando algunas operaciones algebraicas en el segundo miembro de cada una de las ecuaciones anteriores se pueden reexpresar como:

$$SC_{xy} = \sum_{i=1}^n (X_i Y_i) - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n X_i \right] \left[ \sum_{i=1}^n Y_i \right]}{n} \quad (57')$$

$$SC_x = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n X_i \right]^2}{n} \quad (58')$$

$$SC_y = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{\left[ \sum_{i=1}^n Y_i \right]^2}{n} \quad (59')$$

Los términos anteriores se interpretan de la siguiente forma:

$$a) \sum_{i=1}^n (X_i Y_i) = X_1 Y_1 + X_2 Y_2 + X_3 Y_3 + \dots + X_n Y_n \quad (57'a)$$

$$b) \sum_{i=1}^n X_i = X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n \quad (58'a)$$

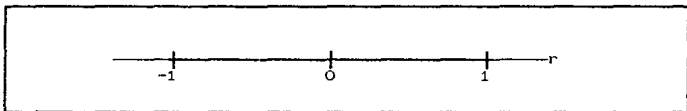
$$c) \sum_{i=1}^n Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n \quad (59'a)$$

$$d) \sum_{i=1}^n X_i^2 = X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \dots + X_n^2 \dots\dots\dots (58'b)$$

$$e) \sum_{i=1}^n Y_i^2 = Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 + \dots + Y_n^2 \dots\dots\dots (59'b)$$

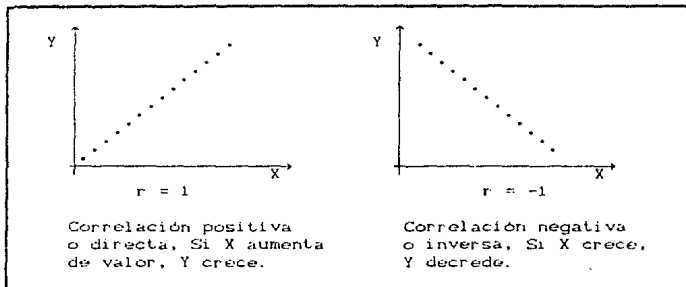
Algunas observaciones con respecto a los posibles valores de  $r$ ; son:

- 1.- El coeficiente de correlación lineal  $r$  solamente toma valores entre  $-1$  y  $1$  (inclusive ambos extremos), es decir,  $-1 \leq r \leq 1$ .



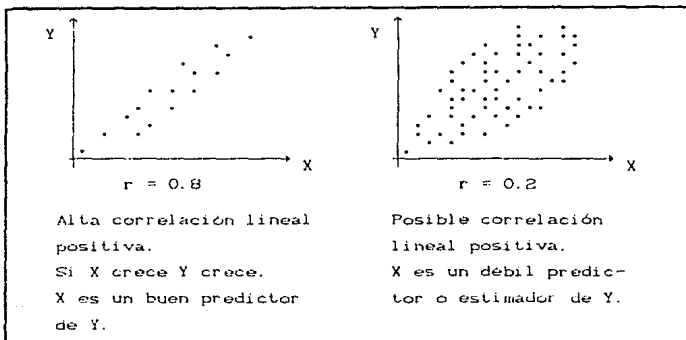
Posibles valores de una correlación.  
(Figura 6.11)

- 2.- Si  $r = 1$  ó  $r = -1$  todos los puntos del diagrama de dispersión caen sobre una línea recta (la recta de regresión), se dice entonces que las dos variables están en relación lineal perfecta. "X" resulta ser muy buen estimador de "Y".



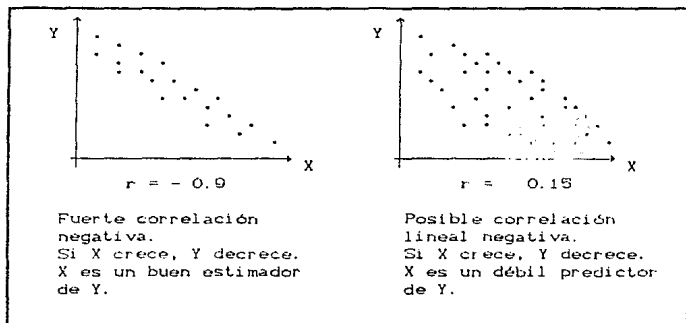
(Perfecta correlación lineal entre X y Y)  
(Figura 8.12)

3. - Si  $r$  toma un valor positivo menor que 1:  $0 < r < 1$ , la relación lineal es positiva o directa; y entre más próximo sea el valor de  $r$  a 1, se tiene que los puntos están más próximos a la recta de regresión, la cual es creciente hacia la derecha.



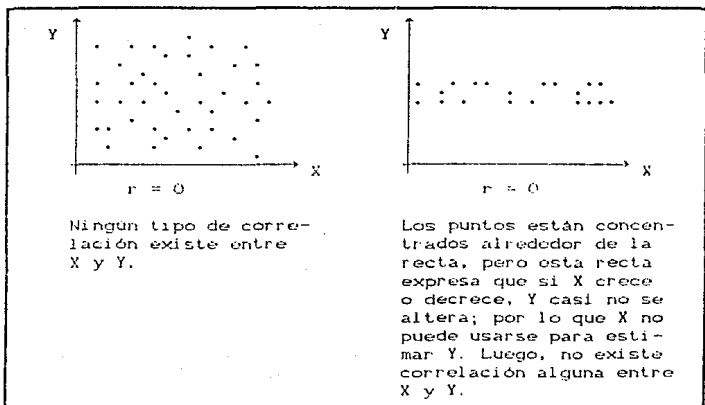
(Relación Positiva o directa entre X y Y.)  
(Figura 8.13)

- 4.- Si  $r$  toma un valor negativo mayor que  $-1$ :  $-1 < r < 0$ , la relación lineal es negativa o inversa; y entre más próximo esté el valor de  $r$  a  $-1$ , más alta es la concentración de los datos alrededor de la recta de regresión, la cual decrece hacia la derecha.



Relación negativa e inversa entre  $X$  y  $Y$   
(Figura 6.14)

- 5.- Si el coeficiente de correlación lineal es igual a  $0$ , se dice que no hay relación lineal entre las dos variables, de manera que  $X$  no debe usarse como estimador de  $Y$  bajo una relación lineal.



Ausencia de correlación lineal entre X y Y  
(Figura 6.15)

De lo anterior se observa que si el valor absoluto de  $r$  es próximo a cero ( $r$  positivo o negativo, pero con valor cercano a cero), se tiene menor evidencia de relación lineal entre X y Y; y si  $|r|$  es casi 1 (cercano a 1 o a -1), se tiene una evidencia "significativa" de alta correlación lineal. En realidad, el valor de  $r$  que muestra evidencia de relación lineal depende del tamaño de la muestra, es decir, del número de puntos o parejas de datos que están considerados en el cálculo de  $r$ . A mayor número de pares de datos o puntos (se tiene más información sobre las variables), menor es el  $|r|$  requerido estadísticamente para aceptar la existencia de relación lineal, como se muestra en la tabla 6.2.

Cabe recalcar que la conclusión que se derive sobre la existencia o no, de la relación lineal entre las variables, solo se aplica dentro del intervalo de X considerado en el ejemplo.

$|r|_n$  = valor absoluto de r mínimo requerido para aceptar la existencia de la relación lineal entre dos variables para distintos valores de n, con un nivel de significación de 0.05.

n	$ r _n$	n	$ r _n$
3	0.997	26	0.388
4	0.950	27	0.381
5	0.878	28	0.374
6	0.811	29	0.367
7	0.754	30	0.361
8	0.707	31	0.355
9	0.666	32	0.349
10	0.632	37	0.325
11	0.602	42	0.304
12	0.578	47	0.288
13	0.553	52	0.273
14	0.532	62	0.250
15	0.514	72	0.232
16	0.497	82	0.217
17	0.482	92	0.205
18	0.468	102	0.195
19	0.456	127	0.174
20	0.444	152	0.159
21	0.433	202	0.138
22	0.423	302	0.113
23	0.413	402	0.098
24	0.404	502	0.088
25	0.396	1002	0.062

Valores absolutos mínimos requeridos por r  
(Tabla 6.2)

En este momento cabe enfatizar un hecho: si en un análisis determinado el coeficiente de correlación  $r$  resulta significativo como para aceptar la existencia de relación lineal entre las variables  $X$  y  $Y$ , esta relación se usa para propósitos de estimación de  $Y$  a través de  $X$ , y no necesariamente la relación ha de ser del tipo Causal. Puede o no haber relación de Causa y Efecto. Quizá existe otra variable del tipo  $Z$ , común a ambas, que provoca en forma causal el comportamiento relacionado de  $X$  y de  $Y$ . Sin embargo, enfocándose al contexto del manejo de herramientas de análisis para obtener un mayor conocimiento de los distintos aspectos y variables que se presentan en un proceso de producción, las técnicas de regresión y correlación lineal pueden utilizarse para examinar las relaciones expresadas en un diagrama de Causa - Efecto:

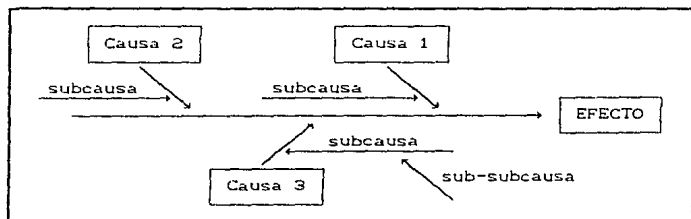


Diagrama Causa-Efecto.  
(Figura 6.16)

Básicamente se analiza:

a) La relación entre un factor causal (causa) y un efecto.

En este caso se acostumbra representar como  $X$  la variable que puede ser causa del efecto bajo consideración, el cual se representa por la variable  $Y$ .

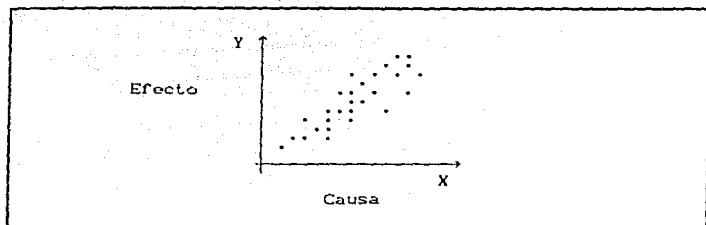


Gráfico de Dispersión. Análisis de Causa - Efecto.  
(Figura 6.17)

Si como resultado del análisis de los datos se detecta que hay relación entre las variables, se toman las medidas adecuadas para controlar la causa y como consecuencia el efecto.

b) Una relación entre dos causas principales.

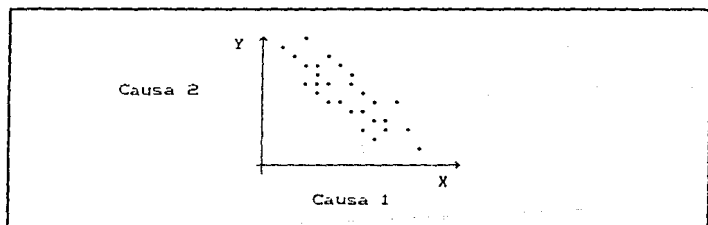


Gráfico de Dispersión. Análisis de Causa - Causa.  
(Figura 6.18)



Si la relación entre las variables resulta significativa, un valor de una de ellas puede ayudar a estimar un valor de la otra.

c) Una relación entre una causa principal y una subcausa que puede estar provocando la variabilidad de aquella (la cual a su vez influye en el efecto).

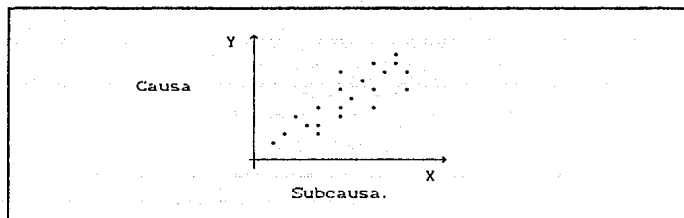


Gráfico de Dispersión. Análisis de Subcausa - Causa.

(Figura 6.19)

El tratamiento es análogo al que se mencionó en el inciso a), en la relación entre una causa y un efecto.

d) Una relación entre un Efecto y otro Efecto.

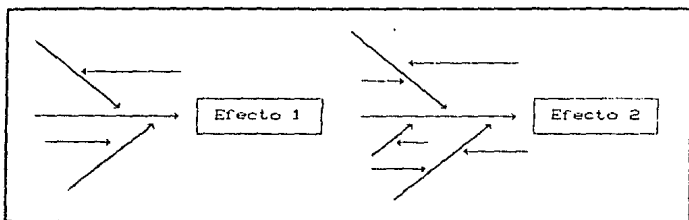


Diagrama de Ishikawa simultáneo entre 2 Efectos.  
(Figura 6.20)

Cualquiera puede ser identificada como X o como Y.

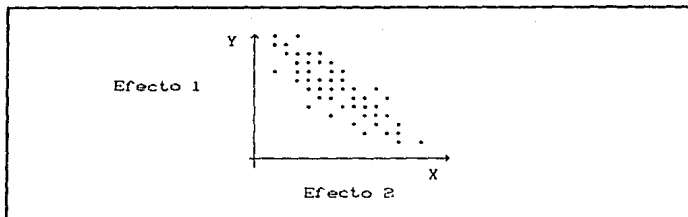


Gráfico de Dispersión. Análisis de Efecto - Efecto.  
(Figura 6.21)

Si la relación se llega a confirmar, un valor de X puede ayudar a predecir Y.

## 6.5 Correlación por Medianas.

Para determinar la correlación entre dos variables por el método de la Mediana es necesario efectuar los siguientes pasos:

1<sup>er</sup> Paso:

Tomar varias muestras y calcular la mediana en X y en Y.

2<sup>o</sup> Paso:

Graficar las observaciones obtenidas en un gráfico como el descrito en la sección 6.2-2.

3<sup>er</sup> Paso:

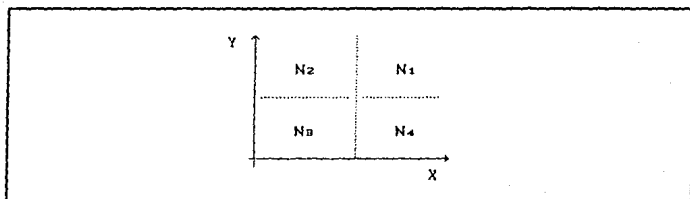
Calcular la mediana en X y en Y.

4<sup>o</sup> Paso:

Graficar las medianas.

5<sup>o</sup> Paso:

Numerar los cuadrantes:



Enumeración de cuadrantes en un Gráfico de Dispersión.  
(Figura 6.22)

6º Paso:

Contar los puntos graficados en cada cuadrante.

7º Paso:

Determinar  $r_1$  y  $r_2$  mediante las fórmulas:

$$r_1 = \frac{N_1 + N_3}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4} \dots\dots\dots (60)$$

$$r_2 = \frac{N_2 + N_4}{N_1 + N_2 + N_3 + N_4} \dots\dots\dots (61)$$

8º Paso:

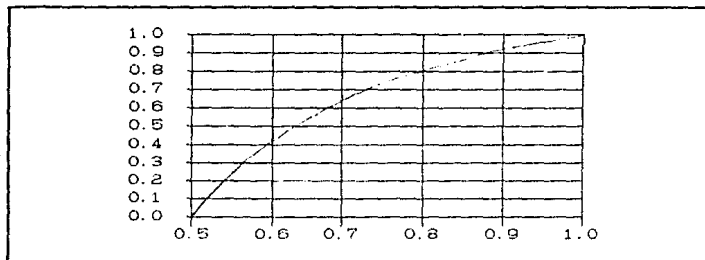
Determinar si la relación es directa o inversa de acuerdo con los siguientes criterios:

Si  $r_1 > r_2$ , entonces la relación es directa.

Si  $r_2 > r_1$ , entonces la relación es inversa.

9º Paso:

Estimar el coeficiente de correlación mediante el gráfico siguiente:



Estimación del coeficiente de correlación.  
(Figura 6.23)

En el que se obtiene la estimación del coeficiente de correlación a partir de localizar el valor encontrado de  $r_1$  o  $r_2$  (el que resulte mayor de los dos) en el eje de las abscisas (0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, y 1.0) y buscar la intersección con la curva para leer el coeficiente de correlación en el eje de las ordenadas.

## **CAPITULO VII**

### **HABILIDAD DEL PROCESO.**

## 7.1 HABILIDAD DEL PROCESO.

Partiendo del análisis de una variable y su comportamiento dentro de un proceso de producción, se sabe que la variación es producida por causas especiales o causas comunes inherentes al mismo proceso; mientras la corrección de las causas comunes resulta ser más complicada y requiere acciones sobre el sistema, las especiales quizás solo requieran de una acción inmediata y bien ubicada.

Para lograr que un proceso esté dentro de control estadístico, se eliminan, mediante acciones correctivas, todas aquellas que se consideren causas especiales. Una vez que se tiene el proceso "bajo control", se procede al cálculo de su *Habilidad Potencial* ( $C_p$ ) y su *Habilidad Real* ( $C_{p_k}$ ).

Para el cálculo de la Habilidad deben considerarse las variaciones (máxima y mínima) de un proceso bajo control; puesto que estas medidas representan el rendimiento de todo lo que constituye el proceso.

Debe entenderse la "Habilidad" como una condición dinámica, dado que camina a la par de la filosofía que alienta para conjuntar esfuerzos en pro de mejorar continuamente la calidad y productividad del proceso.

A diferencia de los Gráficos de Control que reportan una información inmediata del proceso para solucionar los problemas de diferentes campos:

- Capacitación,
- Ingeniería,
- Inspección,
- Manufacturación,
- etc.

La habilidad del proceso se fundamenta en el método científico, el cual consta de:

1. - Experimentación.
2. - Hipótesis.
3. - Prueba de Hipótesis.
4. - Nuevas Experimentaciones.

1. - Experimentación:

Es identificada como la recolección de datos.

2. - La Hipótesis:

Es elaborada considerando si los datos representan un proceso estable, un modelo establecido, una o varias poblaciones...

3. - La Prueba de Hipótesis:

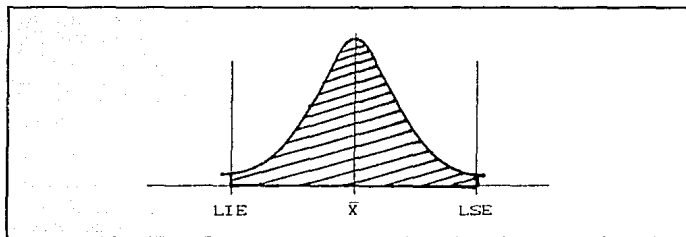
Se hace comparando los modelos y determinando las causas asignables de variación; dependiendo del modelo que muestre es necesario modificar el proceso, recolectar más datos, revisar las especificaciones o "continuar experimentando".

Cuando un proceso es hábil, está bajo control estadístico y cumple con las especificaciones.



Existen dos tipos de especificaciones en un proceso:

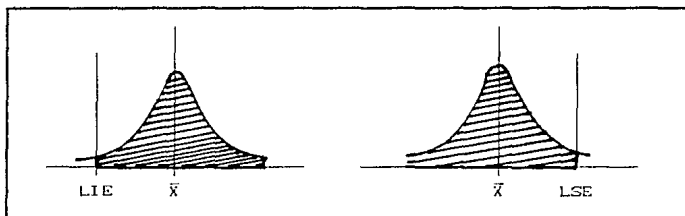
- a) Aquellas en donde se debe producir por arriba de un límite inferior y por debajo de un límite superior. A este tipo de especificaciones se le llama "Bilateral".



Especificaciones Bilaterales.

(Figura 7.1)

- b) Que el producto se encuentre por arriba o por debajo de un solo límite de especificación y se conocen como "Unilaterales".



Especificaciones Unilaterales.

(Figura 7.2)

7.2 Cálculo de la habilidad del proceso para especificaciones bilaterales.

\* Condición inicial: EL PROCESO DEBE ESTAR DENTRO DE CONTROL ESTADÍSTICO.

1º. Calcular la desviación estándar del proceso con cualquiera de las dos fórmulas:

$$a) \sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2} \dots\dots\dots (62)$$

$$b) \sigma' = \sigma_x \sqrt{n} \dots\dots\dots (63)$$

$$\therefore \sigma_x = \frac{A_2 \bar{R}}{3} \dots\dots\dots (63')$$

$\sigma'$  = Desviación estándar del proceso.

$\sigma_x$  = Desviación estándar muestral.

Los valores de  $A_2$  y  $d_2$  están en función del número de datos ( $n$ ) que contenga cada subgrupo. Consultar la tabla 7.1.

$n$	$A_2$	$d_2$
2	1.88	1.13
3	1.02	1.69
4	0.73	2.06
5	0.58	2.33
6	0.48	2.53
7	0.42	2.70
8	0.37	2.85
9	0.34	2.97
10	0.31	3.08

Valores de  $A_2$  y  $d_2$  en función de  $n$ .

(Tabla 7.1)

2°. Calcular el índice de Habilidad Potencial del proceso ( $C_p$ ).

$$C_p = \frac{\text{Variación especificada o permitida}}{\text{Variación total del proceso.}}$$

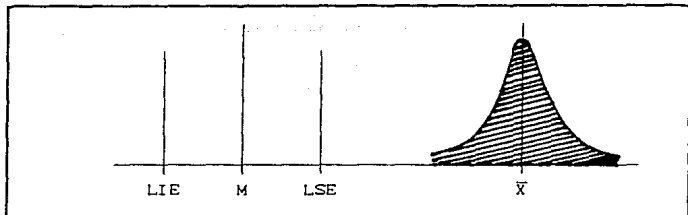
$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma'} \dots\dots\dots (64)$$

Si  $C_p$  es mayor o igual a 1, entonces un 99.73 % de lo producido puede cumplir con las especificaciones.

$$C_p \geq 1.00 \quad \text{es hábil a } \pm 3 \sigma'$$

Si  $C_p$  es mayor o igual a 1.33, entonces un 99.97 % de lo producido puede cumplir con las especificaciones.

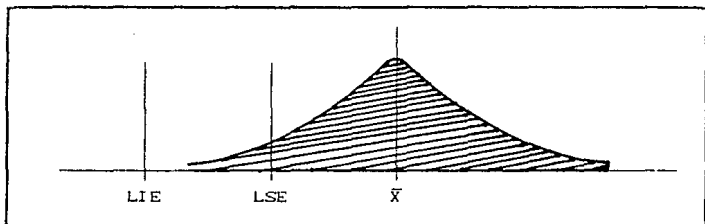
$$C_p \geq 1.33 \quad \text{es hábil a } \pm 4 \sigma'$$



Un proceso es potencialmente hábil cuando la distribución de la población "cabe" dentro de las especificaciones aunque la curva normal se encuentre desplazada del promedio.

(Figura 7.3)

Si la distribución del proceso no "cabe" dentro de las especificaciones, el proceso no es hábil.



Proceso " no hábil "  
(Figura 7.4)

3°. Determinar el índice de habilidad Real del proceso ( $C_{p_k}$ ).

$$C_{p_k} = (1 - k) C_p \quad \dots\dots\dots (65)$$

$$\therefore k = \frac{2D}{LSE - LIE} \quad \dots\dots\dots (66)$$

$$\therefore D = | M - \bar{X} | \quad \dots\dots\dots (67)$$

$$\therefore M = \frac{LSE + LIE}{2} \quad \dots\dots\dots (68)$$

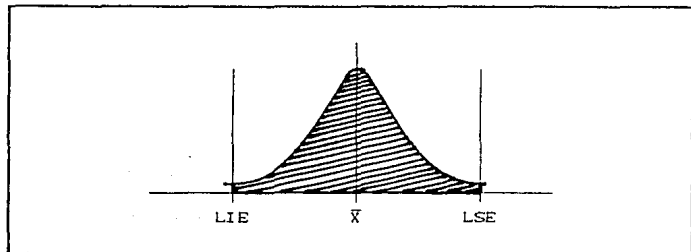
Si  $C_{p_k}$  es mayor o igual a 1, un 99.73 % de la población que se produce cumple con las especificaciones.

$C_{p_k} \geq 1.00$  es realmente hábil a  $\pm 3 \sigma'$

Si  $C_{p_k}$  es mayor o igual a 1.33, un 99.97 % de la población que se produce cumple con las especificaciones.

$C_{p_k} \geq 1.33$  es realmente hábil a  $\pm 4 \sigma'$

\* Un proceso es Realmente hábil cuando cumple con las especificaciones y está centrado con respecto a la media.



Proceso "Realmente hábil".

(Figura 7.5)

7.3 Cálculo de la habilidad del proceso para especificaciones unilaterales.

\* Condición inicial: EL PROCESO DEBE ESTAR DENTRO DE CONTROL ESTADÍSTICO.

1.- Calcular la desviación estandar del proceso.

2.- Encontrar el valor absoluto de Z  $\{|Z|\}$ .

$$|Z| = \left| \frac{LE - \bar{X}}{\sigma'} \right| \dots\dots\dots (69)$$

$$\therefore LE = LSE \text{ ó } LIE$$

Cuando  $|Z|$  es mayor o igual a 3, un 99.97 % de la población cumple con las especificaciones.

$$|Z| \geq 3, \text{ es hábil a } 3\sigma'$$

Cuando  $|Z|$  es mayor o igual a 4, un 99.999 % de la población cumple con las especificaciones.

$$|Z| \geq 4, \text{ es hábil a } 4\sigma'$$

#### 7.4 Cálculo de la habilidad del proceso para gráficos de control por Atributos.

##### 1.- Gráfico (p)

(PORCENTAJE DE UNIDADES DEFECTUOSAS POR LOTE).

(Los tamaños de muestra pueden ser variables.)

$$C_p = (1 - \bar{p}) \times 100 \quad (70)$$

Si la habilidad es mayor o igual a 99.73 %, el proceso es hábil para 3 $\sigma$ '.

$$C_p \geq 99.974 \% \text{ es hábil para } 4\sigma'.$$

##### 2.- Gráfico (np).

(NUMERO DE UNIDADES DEFECTUOSAS POR LOTE).

(El tamaño de la muestra debe ser constante)

$$C_p = (1 - \bar{p}) \times 100 = \left[ 1 - \frac{\bar{z} np}{kn} \right] \times 100 \quad (71)$$

$\therefore k$  = número de muestras.

y  $n$  = número de elementos que tiene una muestra.

Si la habilidad es mayor o igual a 99.73 %, el proceso es hábil para 3 $\sigma$ '.

$$C_p \geq 99.974 \% \text{ es hábil para } 4\sigma'.$$

3. - Gráfico (c).

(NUMERO DE DEFECTOS POR UNIDAD)

(Tamaño de unidad constante).

$$C_p = (1 - \bar{c}) \times 100 \dots\dots\dots (72)$$

4. - Gráfico (u)

(NUMERO DE DEFECTOS POR UNIDAD)

(Tamaño de unidad constante).

$$C_p = (1 - \bar{u}) \times 100 \dots\dots\dots (73)$$

Nota:

No se debe hablar de una habilidad de proceso en éstos gráficos, puesto que se miden defectos por cada unidad y NO deben existir.



## **CAPITULO VIII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

## 8.1 Conclusiones.

Después de conocer un poco al respecto de la filosofía de Calidad; quienes son sus iniciadores, cuales son sus principios, bases y fundamentos, así como algunas de las herramientas estadísticas básicas para el análisis e interpretación de los Gráficos de Control; finalmente se llegan a las siguientes conclusiones:

"Quien no esté preparado para competir en la carrera de Calidad incurre en el elevado riesgo de desaparecer."

Desafortunadamente el país se encuentra en crisis.

Este es el momento de detener los análisis y estudios referentes a las devaluaciones, deuda externa e interna, desempleo, etc. Es el momento de despertar, reflexionar y tomar una acción correctiva de inmediato.

En esta tesis se encuentran resumidos muchos años de experiencias, estudios y desarrollos de muchas personas. Es una herramienta toda ella para comenzar con la idea del cambio y no solo tomarse como idea sino como una acción de cambio irreversible. La Industria se encuentra en el momento preciso para desarrollar este cambio.

Desde luego que la Calidad tiene un "costo", pero el "costo" de una Calidad mal llevada o mal implementada o de carecer de ella siempre será mucho mayor.

En el fondo, éste es el ingrediente esencial: El cambio de actitud. Actitud de autocrítica, de superación, de participación creativa.

Muchos empresarios pensarán solo en la actitud de las bases: obreros, campesinos, indígenas, pueblo; pero la bondad de una organización depende fuertemente del entusiasmo de sus dirigentes, y no sólo de una organización sino también de una nación; de la misma forma la crisis de las naciones aparentemente ricas depende de la deshonestidad y de la capacidad administrativa de sus gobernantes.

Por lo tanto, si se carece de "Calidad" es porque los dirigentes empresariales, sociales y políticos no le han dado la importancia adecuada.

Se acostumbra el opinar que "errar es de humanos"; se aceptan "niveles tolerables de defectos"; se dedica más tiempo y esfuerzo a detectar y corregir errores que a prevenirlos.

Esta es la actividad de los jefes, los que pregonan la redituabilidad y la productividad, ignorando que es destruida al no enfatizar simultáneamente la Calidad.

En realidad el Control Estadístico del Proceso para la Calidad Total no debe verse como algo que está de "moda", si no que es una verdadera necesidad actual, teniendo en mente que se deben satisfacer las necesidades de la sociedad con la más alta Calidad y al menor costo posible.

Es muy importante tener en mente que el desarrollo empresarial en México es dinámico y por ende implica un movimiento, por tal motivo, no se debe olvidar que lo que resulta ser bueno y apto para determinado proceso, solo lo es en ese momento y bajo esas circunstancias; pero lo más probable es que cambie, por tal motivo el estudio estadístico de un proceso no debe detenerse ni mecanizarse, debe ser

siempre dinámico. Hay mucho que aprender referente al tema, hay muchas filosofías y patrones a seguir, pero la que debe ser una sola es la meta que se persigue: "CALIDAD TOTAL".

Se debe recordar que cuando se desea eliminar un problema este debe ser cortado de raíz, en otras palabras:

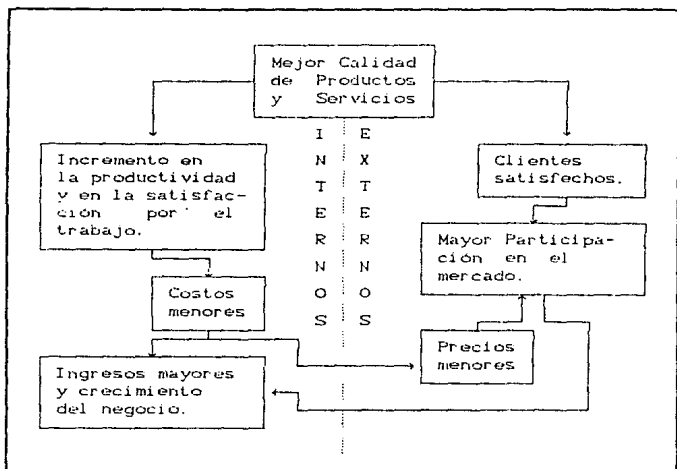
"Los problemas atacados con prevención desaparecen para siempre".

Si las cosas se hacen con verdadera conciencia y profesionalismo desde la primera vez, prácticamente no deben existir problemas por fallas.

Debe desaparecer el concepto acerca de que el objetivo del Control Estadístico del Proceso para la Calidad Total es construir una serie de gráficos. El verdadero concepto que se pretende (y en esta tesis) es el de proporcionar una serie de herramientas para lograr detectar los problemas, corregirlos y una vez logrado esto, comenzar a preveer los posibles problemas que surgirán; posteriormente serán palpables los beneficios en una industria. Ver figura 8.1

Muchas son las empresas que actualmente aplican el Control Estadístico del Proceso para la Calidad Total y día con día se observan los resultados positivos; nunca olvidar que para obtener resultados confiables y verídicos la información recopilada (muestreo) deberá ser 100 % real y nunca tratar de corregir los puntos fuera de control (causas especiales) en el gráfico; esto es, pretender presentar un proceso "ideal" pero falso.

Deben existir conferencias, pláticas, mesas redondas, círculos de Calidad, etc. en donde se le informe al personal completo de que forma han surgido las mejoras y cuales han sido las causas más fuertes para ello; así mismo se les indicará donde poner más cuidado y atención.



Beneficios del Control Estadístico del Proceso.

(Figura 8.1)

Por último recordar, para que el Control Estadístico del Proceso para la Calidad Total funcione adecuadamente se debe que dentro de la empresa cada departamento es cliente de otro departamento; esto es, el cliente del departamento de Materias Primas es Producción y quizás el cliente de

Producción; es Empaquetado y a su vez Control de Calidad; y que el Cliente de Mantenimiento es Toda la planta, etc. Si se ve desde este punto de vista el rechazo y el reproceso cada vez serán menores de la misma forma que los costos, por tanto los beneficios mayores. Como departamento se tendrán que cumplir los requerimientos del cliente dentro de la planta y sin olvidar que el siguiente cliente es el "verdadero", cuando se haga de esta manera la empresa obtendrá Prestigio y Renombre gracias a la "CALIDAD".

## 8.2 Recomendaciones.

Elección del tamaño y frecuencia de la obtención de datos representativos.

Dentro de los estudios realizados por el Dr. Shewhart, aporta que 4 es el tamaño ideal del subgrupo; posteriormente se adopta 5 como el tamaño ideal puesto que toma como base el que la distribución se acerque a la normal aun cuando el universo no represente una curva normal. además si los datos que se recopilan están muy próximos en cuanto a un mismo valor la mediana será un buen indicador como medida de tendencia central.

Por otra parte en un estudio inicial de un proceso, las muestras (subgrupos) deben estar formadas de 2 a 10 piezas producidas consecutivamente; de esta manera las piezas en cada subgrupo estarán producidas bajo condiciones similares de producción.

En un estudio inicial, los subgrupos pueden ser tomados consecutivamente o a intervalos cortos para detectar si el proceso puede cambiar o mostrar inconsistencia en breves periodos de tiempo. Los intervalos de muestreo pueden ser desde cada 30 minutos hasta 2 horas, ya que más frecuentemente puede representar demasiado tiempo invertido, y si es menos frecuente pueden perderse eventos importantes que sean poco usuales.

Cuando se desea saber porque razones varia un proceso (Causas Especiales o Causas Comunes), se debe emplear un gráfico de control.

En un gráfico de control se determinan Estadísticamente los límites de control Superior e Inferior.

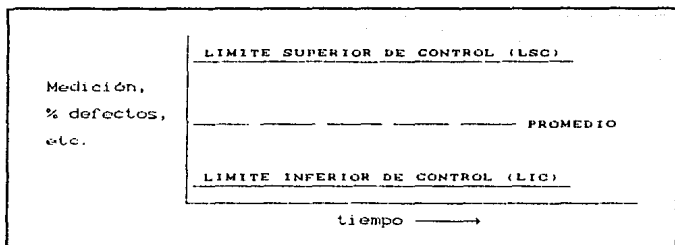


Gráfico de control.

(Figura 8.2)

Los límites se calculan dejando correr el proceso en forma natural (sin interferencias), tomando muestras e incluyendo los promedios de estos en las fórmulas correspondientes.

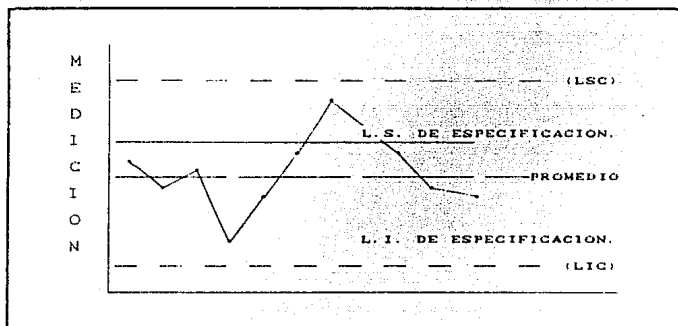
Ya que se calcularon los límites, se pueden graficar en una hoja junto con los valores promedio de las muestras y determinar si algún punto cae fuera o se presentan trayectorias "no naturales". Si esto pasa, se dice que el proceso está fuera de control. La variación aleatoria se debe a Causas Comunes dentro del sistema (Diseño, Elección de Maquinaria, Mantenimiento Preventivo, etc) y solo se pueden eliminar cambiando todo el sistema. Sin embargo, los puntos que salgan de Límites de Control (y aquellos que estén dentro pero muestren trayectorias no aleatorias) son originados por Causas Especiales (Errores de Gente, Accidentes, las 5 ms, etc.) que no son parte de la "Operación Normal" del Proceso. Las Causas Especiales deben eliminarse antes que el gráfico de Control sea utilizado como herramienta de Monitoreo. Cuando se logre se podrá decir que el proceso está en control y sólo se tomarán muestras a intervalos regulares para asegurarse que el proceso no cambie.

Recordar que:

Control no necesariamente quiere decir que el producto cubre las necesidades de la Empresa. Solo implica que el proceso es consistente (quizas consistentemente mal). por ejemplo ver la figura 8.3

En la figura 8.3, el Proceso se encuentra bajo control pero no es capaz de cumplir con las especificaciones. Quizá se pudiera mejorar el proceso o cambiar las especificaciones. No olvidar que las especificaciones son lo que se piensa que se necesita (generadas por el hombre) y los Límites de control son los que el Proceso puede hacer de manera consistente (generadas por los datos). Los gráficos de control solo muestran los límites de control (NO los de especificación).





Proceso Consistentemente mal.

(Figura 8.3)

Cuando se observa en el gráfico que el proceso está fuera de control, se debe verificar lo siguiente:

- 1.- Si existen diferencias en la precisión de los instrumentos de medición utilizados.
- 2.- Si existen diferencias en los métodos usados por diferentes operadores
- 3.- Si el Proceso está afectado por el ambiente (temperatura, humedad, etc.).
- 4.- Verificar si el proceso es afectado por desgaste de Maquinaria y Herramienta.
- 5.- Si estaban trabajando obreros no entrenados durante ese tiempo.

6. - Si hubo cambio de Materia(s) Prima(s).
7. - Si el Proceso fue afectado por la fatiga del Operador.
8. - Tener cuidado si las muestras provienen de diferentes Máquinas, Turnos u Operadores.
9. - Observar si existe miedo por parte de los Operadores de reportar malos resultados.

POR ULTIMO; RECORDAR QUE:

- \* Los límites superior e inferior deben ser calculados estadísticamente. No se deben confundir con los límites de especificación (basados en los requisitos del producto).
- \* La Administración controla la variación natural (aleatoria) entre los límites de control.
- \* Asegurarse de seleccionar el gráfico de control que mejor se ajuste a los datos.
- \* Los datos se deben almacenar (y graficar) en la misma secuencia en que son obtenidos, de otro modo no tienen significado.
- \* No debe tocarse o cambiarse el proceso mientras se obtienen datos. La información debe reflejar un proceso "natural".

INDICE DE FIGURAS.

FIGURA	TITULO	PAGINA
1.1	Cuadro de la Administración del Dr. Shewart.	6
1.2	Requerimientos del Cliente.	15
2.1	Gráfico de Pareto. Primera etapa	28
2.2	Gráfico de Pareto. Segunda etapa	29
2.3	Gráfico de Pareto. Tercera etapa	29
2.4	Gráfico de Pareto. Cuarta etapa	30
2.5	Gráfico de Pareto. Quinta etapa	30
2.6	Gráfico de Pareto. Sexta etapa	31
2.7	Diagrama Causa-Efecto (Ishikawa)	35
2.8	Diagrama Causa-Efecto Subcausas, Subsubcausas	37
3.1	Desarrollo de un Histograma.	54
3.2	Eje horizontal de un Histograma.	56
3.3	Ejes y escalas del Histograma.	57
3.4	Histograma de Frecuencias Absolutas.	57
3.5	Histograma y Polígono de Frecuencias Absolutas.	58
3.6	Histograma y Polígono de Frecuencias Relativas.	59

3.7	Ojiva de Frecuencias Absolutas Acumuladas.	60
3.8	Ojiva de las Frecuencias Relativas Acumuladas.	61
4.1	Mediciones tomadas de los tres depósitos.	65
4.2	Mediciones tomadas del Depósito A.	65
4.3	Mediciones tomadas del Depósito B.	66
4.4	Mediciones tomadas del Depósito C.	66
5.1	Característica de Calidad: Espesor. Gráfico de Control $\bar{X} - R$	79
5.2	Característica de Calidad: Espesor. Gráfico de Control $\bar{X} - R$	80
5.3	Característica de Calidad: Espesor. Gráfico de Control $\bar{X} - R$	84
5.4	Característica de Calidad: Espesor. Gráfico de Control $\bar{X} - R$	85
5.5	Característica de Calidad: Espesor. Gráfico de Control $\bar{X} - R$	86
5.6	Característica de Calidad: Espesor. Gráfico de Control $\bar{X} - R$	88
5.7	Tendencias: Ascendente y Descendente.	89
5.8	Corrida Normal.	90
5.9	Adhesión a la línea central.	90
5.10	Cambios Bruscos.	91
5.11	Periodicidad o ciclos.	91
5.12	Clasificación de los Atributos.	101
5.13	Formato para Gráfico p.	102

6.1	Gráfico de Dispersión (Primera etapa).	112
6.2	Cuadrantes del Gráfico de Dispersión.	114
6.3	Correlación Positiva.	114
6.4	Correlación Negativa.	114
6.5	Puede existir correlación positiva.	115
6.6	Puede existir correlación negativa.	115
6.7	No hay correlación.	115
6.8	Enumeración de los cuatro cuadrantes.	116
6.9	Gráfico de Dispersión.	119
6.10	Gráfico de Dispersión y cuadrantes.	120
6.12	Perfecta correlación lineal entre X y Y.	124
6.13	Relación Positiva o directa entre X y Y.	124
6.14	Relación negativa e inversa entre X y Y.	125
6.15	Ausencia de correlación lineal entre X y Y.	126
6.16	Diagrama Causa-Efecto	128
6.17	Gráfico de Dispersión. Análisis de Causa - Efecto.	129
6.18	Gráfico de Dispersión. Análisis de Causa - Causa.	129
6.19	Gráfico de Dispersión. Análisis de Subcausa - Causa.	130
6.20	Diagrama de Ishikawa simultaneo entre 2 Efectos.	131
6.21	Gráfico de Dispersión. Análisis de Efecto - Efecto.	131

6.22	Enumeración de cuadrantes en un Gráfico de Dispersión.	132
6.33	Estimación del coeficiente de correlación.	133
7.1	Especificaciones Bilaterales.	138
7.2	Especificaciones Unilaterales.	138
7.3	Un proceso es potencialmente hábil cuando la ...	140
7.4	Proceso "no hábil"	141
7.5	Proceso "Realmente hábil".	142
8.1	Beneficios del Control Estadístico del Proceso.	150
8.2	Gráfico de control.	152
8.3	Proceso Consistentemente mal.	154

TABLA	TITULO	PAGINA
2.1	Agrupación Decreciente de Datos.	27
3.1	Constante k	42
3.2	Valores estimados de u	43
3.3	Longitudes externas de los Resortes.	46
3.4	Tabla de Distribución de Frecuencias.	49
3.4	Tabla de Distribución de Frecuencias. (Continúa)	50
3.5	Tabla de Distribución de Frecuencias.	55
4.1	Casos Comunes a Estratificar.	70
5.1	n datos por muestra.	82
5.2	Valores de las constantes para el Gráfico de Lecturas Individuales.	89
5.3	Número de unidades inspeccionadas = $(n)(k)$	105
5.4	n = número de unidades inspeccionadas.	106
5.5	Tabla para registro por unidad de Tamaño Variable.	108
6.1	Recopilación de datos.	117
6.2	Valores absolutos mínimos requeridos por r.	127
7.1	Valores de $A_2$ y $d_2$ en función de n.	139

## BIBLIOGRAFIA.



1. - Armand V. Feigenbaum.  
Total Quality Control.  
Englewood Cliffs, New Jersey.  
McGraw - Hill Book Company, Inc.  
January 1986.
  
2. - Kaoru Ishikawa.  
What is Total Quality Control?  
The Japanese Way.  
United States of America.  
Prentice - Hall, Inc.  
August 1985
  
3. - Dr. W. Edwards Deming.  
Elementary Principles of  
the Statistical Control of Quality.  
Tokio, Japon.  
1951
  
4. - Instituto Tecnológico y  
de Estudios Superiores de Monterrey.  
Centro de Calidad.  
Programa FORD - ITESM.  
MODULOS 1 AL 5.  
Monterrey, N.L., México.  
1987

*Algunos libros para consulta*

- 5.- Dr. Kaoru Ishikawa.  
Guide to Quality Control.  
Tokio, Japón.  
1976
  
- 6.- Thomas Pepper.  
El desafío Japonés.  
México. D.F.  
Editorial Norma.  
1986
  
- 7.- Edwin M. Reingold y  
Mitsuko Shimomura.  
Made in Japan.  
Akio Morita y Sony.  
México D.F.  
Lasser Press Mexicana, S. A.  
1987
  
- 8.- Instituto Tecnológico y  
de Estudios Superiores de Monterrey,  
Centro de Calidad.  
Programa FORD - ITESM.  
MÓDULOS 1 AL 10.  
Monterrey, N.L., México.  
1987