

28
2Ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Estudios Superiores
CUAUTITLAN

"CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO DE PRODUCCION-ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N

Ignacio Guillermo Tena Ferrigno
Sixto Andrés García Hernández



V N A M

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx.

1988.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 DE CAPITULOS

	Pag.
INTRODUCCION	1
I IMPLEMENTACION DEL SISTEMA	4
1. Definición del sistema de control estadístico del proceso de producción.	5
2. Organización del sistema.	12
2.1. Establecimiento de una gerencia de C.E.P. ..	13
2.2. Establecimiento de coordinadores de control estadístico en todas las diferentes areas de producción.	15
2.3. Involucramiento total de los operadores de producción con el control estadístico del proceso.	18
3. Seguimiento del sistema.	19
3.1. Desempeño del sistema.	20
3.2. Cumplimiento de objetivos.	21
3.3. Motivación.	22
3.4. Retroalimentación de personal.	22
II ANTECEDENTES-CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO	24
1. Introducción al control estadístico del proceso..	24

1.1. Sistema de detección.	24
1.2. Prevención en vez de detección.	25
1.3. Un sistema para el control del proceso.	26
1.4. Variación: Acciones locales para causas especiales y acciones sobre el sistema para causas comunes.	28
1.5. Control del proceso y habilidad del proceso. .	30
1.6. Gráficas de control: herramientas para el control del proceso.	31
1.7. Beneficios de las gráficas de control.	32
2. Herramientas para el control del proceso.	33
2.1. Gráficas de control (\bar{X} -R) Medias y Rangos. ...	34
2.1.1. Elaboración de las gráficas de control \bar{X} -R.	
2.1.2. Interpretación de control del proceso.	
2.1.3. Interpretación de la habilidad del proceso.	
2.2. Gráficas de control (\bar{X} -S) Medias y Desviaciones estandar.	64

2.3. Gráficas de control (\bar{X} -R) Medianas y Rangos.	72
2.4. Gráficas de control (X-R) Lecturas individuales y Rangos.	77
2.5. Gráficas de control por atributos.	82
2.5.1. Gráfica p para proporción de unidades defectuosas en la muestra.	84
2.5.2. Gráfica np para cantidad de unidades defectuosas en la muestra.	98
2.5.3. Gráficas c para la cantidad de defectos en la muestra.	101
2.5.4. Gráfica u para proporción de defectos en la muestra.	105
III ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL PARA PROCESOS	109
Instrucciones para el AMEF de los procesos.	112
IV ANALISIS DE CASOS DONDE SE MUESTRAN LOS BENEFICIOS DEL SISTEMA	130
Caso 1	131
Caso 2	136
Caso 3	140
Caso 4	145

V	1. Conclusiones	151
	2. Glosario de términos	155
	3. Simbología	163
	4. Tablas	167
	5. Bibliografía	169

I N T R O D U C C I O N

Dada la difícil situación económica por la que atraviezan hoy en día una gran parte de empresas, se torna imperativo recurrir a la búsqueda de técnicas e implementación de políticas tendientes a mejorar los índices de eficiencia y productividad de los sistemas de producción.

Ante esto se necesita actuar por lo que nuestro enfoque estará dirigido al estudio de las técnicas más recientes en este campo, considerando que es un camino para mejorar esta situación, siendo nuestro tema central el lograr éxito en la calidad de producción incrementando además nuestra productividad.

Como antecedente tenemos el ejemplo de los logros alcanzados por el país pionero en sistemas de control de calidad "Japón", el cual logró vencer el descrédito, baja productividad y desprestigio que tenía, obteniendo una calidad en sus productos y en su trabajo que lo han colocado entre los primeros países productores del mundo.

Actualmente se manejan una serie de conceptos para mejorar los índices citados, los cuales se relacionan con la utilización de métodos y técnicas estadísticas, tales como el "CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO". Técnicas que el Doctor W. Edwards Deming introdujo en el "Japón" al término de la segunda guerra mundial, siendo el principio de un proceso cuyos resultados son hoy en día bien conocidos.

La filosofía de estas técnicas establece que el objetivo fundamental asociado con la producción económica de bienes, debe estar

basado en la PREVENCIÓN DE DEFECTOS, en lugar de su DETECCIÓN. Y no como anteriormente se enfocaba a una simple labor de inspección con objeto de decidir que productos debían aceptarse y cuales debían rechazarse sin tener en cuenta que el costo de los artículos aceptados y rechazados era el mismo, derivándose por consiguiente una gran pérdida económica.

Para implantar el sistema de PREVENCIÓN DE DEFECTOS se deben buscar mejoras constantes en el proceso de producción a través de la eliminación de las fuentes de variación que provocan la producción de artículos defectuosos, mejorando así el producto componente por componente.

En base a lo anterior expondremos un sistema de control de calidad del proceso, el cual utiliza técnicas de estadística para la recopilación e interpretación de información sobre el proceso. Apoyándonos en nuestra información expondremos técnicas de análisis que serán la base de nuestra toma de decisiones.

Obviamente pretendemos superar los estudios que se han realizado hasta la fecha sobre este tema, a partir de la teoría obtenida en la bibliografía que se anexa en el capítulo V y de la misma experiencia-práctica adquirida por los integrantes de la tesis sobre las técnicas estadísticas aplicadas actualmente en el control de la calidad en la industria automotriz.

El desarrollo de la tesis parte desde la implementación del proyecto con un capítulo dedicado exclusivamente a los planes y cudados que deben tenerse al implementar el sistema para obtener del mismo, todo el provecho que pueda proporcionar. Describiremos la base del sistema de control estadístico del proceso (C.E.P.), así como las diferentes técnicas (gráficas) que se utilizan y daremos énfasis en una técnica analítica denominada "ANÁLISIS DEL-

MODO Y EFECTO DE LA FALLA" la cual complementa el sistema de pre ven ci ón de defectos. Estas técnicas son los cimientos donde des- can za una estructura de eficiencia y productividad sana que con- jun ta los aspectos producción-control de calidad bajo la filos of ía "LA CALIDAD SE HACE NO SE INSPECCIONA".

Finalmente se analizan casos reales y prácticos, en donde se mue str an los beneficios del sistema. Es decir áreas potenciales de - fa lla de un proceso, en donde el sistema debe actuar previniendo o corrigiendo fallas en base a toma de decisiones evaluadas en - la mis ma información que proporciona el sistema.

C A P I T U L O I

IMPLEMENTACION DEL SISTEMA

En términos generales es poca la importancia que se presta a la planeación previa que requiere la implementación de un sistema, - esto origina en muchas ocasiones que al ser implementados los sistemas no se puedan aprovechar el total de los beneficios que emanan de éstos y en algunas ocasiones inclusive llega a ocurrir la cancelación de los mismos por considerarlos inoperantes, no obstante que la falla estuvo en la planeación que se requería antes de su implementación.

Consecuentemente al implementar un sistema de control estadístico del proceso de producción, como es el caso que tratamos en ésta tesis, es fundamental tener un plan de acción para lograr la implantación efectiva del mismo.

Considerando lo anterior, exponemos a continuación los detalles del plan que proponemos para la implementación exitosa del control estadístico del proceso de producción.

ESTRUCTURA DEL PLAN

En años anteriores fué práctica común que la dirección general de una organización definiera el proyecto de un sistema y después simplemente asignaba toda la responsabilidad de su implementación a alguna gerencia y/o algún departamento en particular. Este enfoque que fue mostrándose a través de varios años de experiencia como el principal error en el fracaso de la implementación-efectiva de los sistemas.

Cuando se implementa un sistema de gran alcance, como el control-

estadístico del proceso, se tiene una tarea bastante compleja como para ser delegada a una sola persona o a un departamento en particular. Por consiguiente, hoy en día, es determinante que la dirección general adopte un compromiso formal en la implementación del sistema, influenciando la continuidad y el avance del mismo - para que este alcance el éxito esperado.

Partiendo de este criterio, la dirección general de una empresa - tendrá la principal responsabilidad en la implantación del control estadístico del proceso en todas las áreas de una planta productiva. Para lo cual recomendamos un plan general que consta de las siguientes fases secuenciales:

- 1.- Definición del sistema.
- 2.- Organización del sistema.
- 3.- Seguimiento del sistema.

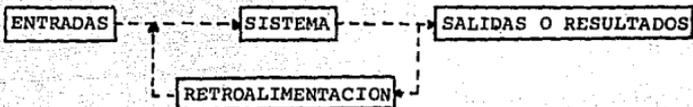
1.- DEFINICION DEL SISTEMA DE CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO DE PRODUCCION

Para comprender y aceptar esta nueva filosofía de pensar por parte del personal de todos los niveles y áreas de una empresa es necesario que la dirección general difunda en toda la organización el estudio de los siguientes conceptos:

- a) Concepto de sistema.
 - b) Concepto de proceso
 - c) Concepto de control
 - d) Concepto de calidad
 - e) Definición de control de calidad
 - f) Definición del control estadístico del proceso.
-
- a) Concepto de sistema.

Es un conjunto de elementos que funcionan simultáneamente actuando inter-relacionados para dar un "resultado".

REPRESENTACION



- Todos los sistemas presentan variación en sus salidas ó resultados.
- Los grados de variación dependen de: a) Las condiciones de operación del sistema, b) La condición de las entradas.
- Los resultados son independientes del grado de inspección que se les aplique.

b) Concepto de proceso.

Proceso significa la combinación de gente, máquinas o equipo, materiales, métodos y medio ambiente; los cuales trabajan juntos para producir un resultado, de ahí que la calidad del mismo y la eficiencia productiva dependan de la forma en que se haya diseñado el proceso y de como lo estemos operando.

c) Concepto de Control

Control significa mantener "algo" dentro de unas fronteras, o hacer que ese "algo" se comporte en la forma que deseamos.

d) Concepto de calidad.

En la industria la palabra calidad no tiene el significado general de lo mejor en sentido absoluto, quiere decir lo mejor dentro de ciertas condiciones. No es práctico ni económico buscar perfección en esas condiciones y por esta razón se aceptan tolerancias, el objetivo debe ser un nivel de calidad, el cual establece un balance entre el costo del producto y el servicio que debe --
rendir.

e) Definición de control de calidad.

Es el conjunto de los esfuerzos encaminados a que la producción se realice en los niveles más económicos posibles teniendo como objetivo principal la completa satisfacción por parte del cliente.

f) Definición del control estadístico del proceso.

Se le llama control estadístico del proceso a la utilización de métodos estadísticos tales como gráficas de control, las cuales nos permiten analizar un proceso a través del tiempo, permitiéndonos tomar al mismo tiempo, las acciones apropiadas para alcanzar y mantener un estado de estabilidad-predictibilidad, mejorando así la habilidad del proceso.

El control estadístico del proceso es una nueva técnica de control de calidad que instituye el concepto de PREVENCIÓN de defectos en lugar del concepto tradicional de DETECCIÓN de estos. --
Esta nueva técnica también establece buscar y alcanzar la MEJORA CONTINUA del proceso de producción.

Para lograr concebir la importancia que tiene este nuevo sistema de PREVENCIÓN DE DEFECTOS es necesario comprender las respuestas que se les dan a las siguientes interrogantes planteadas en una

secuencia lógica:

¿ Por qué utilizar el C.E.P. ?

El enfoque del sistema del control de la calidad ha evolucionado a través de los años, de la detección de defectos a su prevención.

En el enfoque de detección de defectos se genera:

- La inspección masiva del producto final, en lugar de inspeccionar el proceso.
- No se inspecciona uniformemente el proceso de producción.
- Separación del producto bueno del malo.
- Desecho y retrabajo.
- Desperdicio en mano de obra, tiempo de máquina y materiales.

Cabe mencionar, que en este sistema o enfoque, se hace responsable de la calidad de los productos al departamento de control de calidad y referente al volumen de producción el responsable es el departamento de producción, manteniendo por lo mismo líneas rígidas que impiden el trabajo en equipo y separan a los departamentos de la empresa.

La alternativa que tenemos es el enfoque de prevención de defectos, el cual genera con la ayuda de las técnicas y métodos esta-

dísticos lo siguiente:

- Una auditoría del producto no una inspección masiva.
- La inspección uniforme del proceso de producción.
- Podemos predecir cuando algo va a salir mal, evitando así la producción de artículos defectuosos.
- Control y mejoramiento continuo del proceso.
- Mejoramiento continuo de la calidad.
- Mejor aprovechamiento de los recursos materiales y humanos.

Como resultado de estos beneficios, se generan mayores ganancias debido a:

- Una mayor satisfacción por parte del cliente.
- Una mayor productividad.
- Mayor competitividad en el mercado internacional y por lo mismo una mayor exportación de productos.

Por medio de las técnicas estadísticas es más seguro, económico y práctico predecir la calidad de una población, mediante muestras representativas de esta; también por medio de la estadística es posible predecir el comportamiento de una máquina, herramienta o un proceso.

¿ Cuándo iniciar con el C.E.P. ?

Dada la situación actual en la que la competencia en la calidad de los productos es cada vez mayor debido a la exigencias también cada vez mayores de los clientes y por otra parte debido a la escasez de recursos, nos damos cuenta de que la única salida existente es el hacerlo bien y a un bajo costo lo cual se puede lograr con la aplicación del control estadístico del proceso.

En los últimos años se ha observado, una fuerte influencia a mejorar en todos los aspectos si se desea entrar al mercado internacional. Por tanto la incorporación de las técnicas de control estadístico del proceso en las diferentes empresas, es algo que no puede esperar se deben utilizar a la brevedad posible, para lograr estar a la altura de otras industrias (como las Japonesas las cuales son sinónimo de excelente calidad), aumentando la calidad de los productos y servicios y reduciendo al mismo tiempo los costos de operación.

¿ Dónde aplicar el C.E.P. ?

- En plantas industriales que requieran control de sus procesos de producción.
- En plantas industriales que requieran certificación de la calidad de productos comprados.

Como ejemplo tenemos actualmente a la industria automotriz, la cual exige a todos sus proveedores la implementación del control estadístico del proceso, como requisito para aceptar sus productos. En un futuro inmediato se espera que otras industrias de diferentes áreas a la automotriz establezcan esta misma política con sus proveedores.

¿ Cómo llevar el C.E.P. ?

Por medio de las técnicas estadísticas aplicables al control de calidad, tales como: gráficas de control por atributos y por variables (los distintos tipos de gráficas de control se estudian en el capítulo II de esta tesis) principalmente.

Las gráficas de control por atributos y por variables deben utilizarse para controlar principalmente las siguientes características.

- Características requeridas por calidad para asegurar un buen producto.
- Características que afecten la funcionabilidad, durabilidad, ensamble o la apariencia (si esta es aplicable) .
- Características requeridas por los clientes.
- Características que afecten el cumplimiento de reglamentos gubernamentales o de seguridad.

Es importante señalar que en la etapa de lanzamiento, se deberá iniciar con un número reducido de características a controlar -- con el control estadístico del proceso, dándole mayor importancia a la utilización efectiva de las gráficas de control sobre las partes consideradas más críticas y no a la cantidad de estas en los procesos de producción.

¿ Quién o quiénes deben llevar el C.E.P. ?

Ingeniería del producto, ingeniería de calidad, ingeniería de manufactura, el departamento de producción y en general todos los involucrados directa o indirectamente en los procesos de producción.

Mencionamos anteriormente que todo el personal de las diferentes áreas y niveles de una empresa debe entender y conocer las técnicas del control estadístico del proceso. Comprendiendo el hecho de que la calidad de un producto no se inspecciona, sino que se logra a través de todo el sistema de fabricación, operación por operación; desde el diseño del producto, la adquisición de la materia prima, etc., hasta su manufactura. Es decir se necesita -- del apoyo en todas direcciones aunque el departamento de producción sea el encargado de utilizar directamente las gráficas de control en las diferentes operaciones de los diferentes procesos de la planta productiva.

Concretamente en la fase de definición se promueve la importancia del nuevo sistema de control de calidad, definido como: "Control Estadístico del Proceso de Producción". De otra manera, si el personal no es sensibilizado con la importancia de esta nueva filosofía, la falta de interés ocasionará que la implementación del sistema fracase.

2.- ORGANIZACION DEL SISTEMA

Para llevar a cabo la implantación del sistema, necesitamos organizar a las partes que se harán directamente responsables de -- implementarlo.

Por consiguiente la dirección general con la asesoría de algunos gerentes experimentados deberá organizar los siguientes elementos del plan práctico de implementación que proponemos:

- 2.1. Establecimiento de una gerencia de C.E.P.
- 2.2. Establecimiento de coordinadores de control estadístico en todas las diferentes áreas de producción.

2.3. Involucramiento total de los operadores de producción con el control estadístico del proceso.

2.1. ESTABLECIMIENTO DE UNA GERENCIA DE C.E.P.

La dirección general como máxima jefatura tendrá que direccionar y controlar el sistema en todo momento. Pero un proyecto de esta magnitud necesita de un gerente de C.E.P., que sea la persona mejor informada de los problemas de manufactura, para hacerse cargo del desarrollo de un programa efectivo de implantación de técnicas de control estadístico. En otras palabras este gerente de C.E.P. habrá de tomar la iniciativa en estudiar y analizar los problemas actuales que se tengan en la planta productiva para planear y conducir su solución, con las técnicas de control estadístico adecuadas para cada área en particular.

2.1.1. Selección del gerente de C.E.P.

Desde este punto de vista se tendrá que contratar a un experto en implementación e interpretación de técnicas estadísticas y que además cuente con varias habilidades y conocimientos técnicos como: el conocimiento de sistemas de manufactura; conocimientos en procesos de producción; conocimientos en maquinaria y equipo; métodos de control de calidad; iniciativa en actividades de planeación y programación; experiencia en capacitación de personal; experiencia en manejo de personal y habilidad para observar el sistema desde la perspectiva de un hombre de negocios.

El gerente de C.E.P. también debe ser elegido por su temperamento.

Este debe tener sus ideas y convencer a los demás en aceptarlas. Para esto necesitará saber como comunicarse con su personal y como persuadirlo para delegarles responsabilidad en las operaciones de implementación.

Un individuo con todas estas características no es fácil de encontrar; los candidatos suelen ser más fuertes en las habilidades humanas o más fuertes en los conocimientos técnicos. En este plan serán más importantes las habilidades humanas debido a que el gerente de C.E.P. tendrá que organizar y direccionar a todos los coordinadores del control estadístico, para que estos inicialmente implementen directamente el control estadístico en los procesos de producción, conforme al programa establecido por esta gerencia.

La dirección general debe hacer una lista de los candidatos que reúnan estos requisitos, para después estudiar y evaluar la capacidad de cada uno de los aspirantes.

Una vez que se ha elegido al gerente de C.E.P. este tendrá que reportarse con la dirección general, la cual coordinará sus esfuerzos.

2.1.2. Funciones a desempeñar por el gerente de C.E.P.

Para aspirar al éxito en el mejoramiento de la calidad y la productividad el gerente de C.E.P. tendrá que realizar las siguientes funciones:

- Establecer un ambiente de trabajo en equipo. Todos los miembros de una organización deben ser capacitados para participar y alentados a trabajar en equipo para resolver conjuntamente los problemas.

- Eliminar las diferencias entre los distintos departamentos de tal manera que no haya separación de intereses. Toda la organización tendrá como objetivo general diseñar y producir con la ayuda de las técnicas estadísticas un producto de calidad que sea más económico, más útil y que siempre alcance la satisfacción del cliente.
- Quitar los estándares de trabajo que establezcan que un trabajo sea hecho en determinado tiempo. Permitiendo que el trabajador desarrolle sus habilidades mas libremente, una vez -- que esté convencido de los alcances del nuevo sistema de control.
- Crear confianza, para eliminar la resistencia a participar. - Muchas veces el trabajador muestra miedo en participar abiertamente con una nueva técnica. Por lo tanto será necesario -- transmitir confianza en todas direcciones.
- Desarrollar un manual con las técnicas adecuadas a cada empre sa en particular, para capacitar e instruir al personal en - general con el control estadístico del proceso. En un princi pio el gerente de C.E.P. tendrá que capacitar a los coordina dores estadísticos, delegándoles posteriormente la responsabi lidad de instruir a todos los trabajadores y empleados de to dos los niveles y áreas de una empresa.
- Requerir a los proveedores el uso del control estadístico del proceso, prestando al mismo tiempo la asesoría necesaria.

2.2. ESTABLECIMIENTO DE COORDINADORES DE CONTROL ESTADISTICO EN TODAS LAS DIFERENTES AREAS DE PRODUCCION.

Inicialmente será necesario contar con técnicos o ingenieros con

experiencia en implementación e interpretación de técnicas estadísticas para trabajar en cada área de producción de una planta, con el objetivo de implementar inicialmente el control estadístico en los procesos de producción. Es decir estos coordinadores se harán cargo de cambiar directamente los métodos de detección de defectos por los de prevención de estos, conforme al programa establecido. Recordemos que en un principio el programa deberá concentrar su atención, en la utilización efectiva de las técnicas estadísticas, aplicándolas solo en las características de calidad mas críticas, después los coordinadores de control estadístico serán los encargados de identificar todas las características que necesiten controlarse con el control estadístico del proceso, para que posteriormente los operadores se encarguen de controlar todas estas características en sus procesos de producción con la ayuda de las gráficas de control.

2.2.1. Selección de los coordinadores de control estadístico.

La elección de estos coordinadores se realizará con aquellas personas que tengan estudios de ingeniería o estudios técnicos, conocimientos de técnicas de control estadístico, experiencia en capacitación, habilidades para planear y dirigir programas y capacidad en el análisis de problemas.

Un coordinador de control estadístico también debe contar con experiencia en relaciones humanas, ya que este será una figura clave para cambiar las actitudes negativas del personal obrero. Si existe un ambiente negativo para utilizar el control estadístico, interactuando y cooperando con los operadores de producción, el coordinador del área en particular tendrá que hacerles comprender los conceptos que se explican en la fase de definición y prepararlos para que estos no inhiban el desarrollo del sistema.

Una vez hecha la elección de los coordinadores de control estadístico, estos deberán reportar sus operaciones al gerente de C.E.P. para que este direcciona sus esfuerzos.

2.2.2. Funciones a desempeñar por los coordinadores de control estadístico en conjunto.

Se han indicado las responsabilidades principales del coordinador estadístico, a continuación señalamos las funciones a desempeñar por estos coordinadores:

- Detectar la capacitación requerida en todos los niveles. Comúnmente se debe comenzar con un curso de matemáticas básicas antes de iniciar los cursos de C.E.P.
- Planear los programas de capacitación, después de haber detectado la instrucción requerida.
- Impartición de cursos. Normalmente se inician los cursos de capacitación con los niveles más altos hasta llegar al nivel obrero, que al final de cuentas es el elemento más importante en el control estadístico del proceso. Los coordinadores de control estadístico podrán formar más instructores según las necesidades de cada empresa.
- Investigar áreas potenciales de falla con el análisis del modo y efecto de la falla (AMEF) para aplicar las técnicas de control estadístico a los números de prioridad de riesgo (NPR) más altos.
- Elaborar, manejar, y proveer hojas de instrucción de inspección con técnicas estadísticas.

- Prestar asistencia a los proveedores y a cada una de las operaciones monitoreadas con el control estadístico en los procesos de producción.
- Tomar decisiones y elaborar planes de acciones correctivas en función de la información estadística obtenida. La finalidad de estas decisiones será reducir siempre la variación logrando así la mejora continua.
- Iniciar y conducir los estudios de la habilidad de los procesos, midiendo y reportando al mismo tiempo el mejoramiento de la calidad al gerente de C.E.P.
- Mantener una revisión e inspección continua de las gráficas de control realizadas por los operadores.
- Tan pronto como se vaya logrando y manteniendo el control estadístico en las diferentes características y parámetros del proceso, buscar nuevas oportunidades para la aplicación de estas técnicas.

2.3. INVOLUCRAMIENTO TOTAL DE LOS OPERADORES DE PRODUCCION CON EL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

Comprendiendo el hecho de que los operadores de las diferentes operaciones de los procesos de producción son la parte que elabora directamente la calidad de un producto, es razón suficiente para considerar a esta fuente de trabajadores como el principal elemento en llevar el control estadístico en los procesos.

En un principio serán los coordinadores de control estadístico los que utilicen las gráficas de control sobre las características

consideradas más críticas, pero conforme estos coordinadores vayan capacitando a los operadores en las etapas de: elaboración de las gráficas, interpretación del control del proceso e interpretación de la habilidad del proceso (Estas etapas se explican detalladamente en el capítulo II), la responsabilidad de su utilización pasará totalmente al personal de operación. Cada uno de los operadores de las diferentes operaciones deberá tener su gráfica de control para prevenir los defectos y mejorar su trabajo con el control estadístico del proceso.

Regularmente los operadores no solo deberán ser adiestrados con técnicas estadísticas, también será necesario programar otros tipos de cursos para capacitarlos en la resolución de los problemas que captan con las gráficas de control.

Finalmente hacemos énfasis en que el equipo formado por el gerente de C.E.P. y los coordinadores de control estadístico, no se recomienda, que pertenezca ni al departamento de control de calidad ni al departamento de producción. La práctica ha demostrado que cuando el sistema de control estadístico del proceso es implementado por el departamento de control de calidad, este no involucra totalmente al personal de operación con el sistema, por no estar ligado al mismo, esto es suficiente para que el sistema no funcione. Recíprocamente cuando el sistema es implementado por el departamento de producción, la responsabilidad que tiene este departamento para cumplir con los programas establecidos de producción, obstaculiza y retrasa comunmente las tareas de los coordinadores de control estadístico, obteniendo por lo mismo un bajo desempeño del sistema. Por consiguiente el equipo antes nombrado, deberá ser un departamento de C.E.P. independiente y con autoridad para poder ejecutar los programas de implementación sin ningún pretexto.

3.- SEGUIMIENTO DEL SISTEMA

Una vez que se haya organizado el sistema, la dirección general - tendrá que observar que este se desarrolle correctamente. Por lo tanto es de suma importancia que la dirección revise continuamente los siguientes aspectos, para aspirar al éxito total en la implementación del sistema.

3.1. Desempeño del Sistema.

Se debe revisar constantemente el desempeño del sistema. A pesar de los buenos planes el sistema algunas veces no alcanza los resultados esperados. En este caso debe analizarse, si se tienen -- presentes algunos de los siguientes problemas que inhiben el progreso del control estadístico del proceso.

- Posiblemente el sistema está siendo sostenido solamente por algún departamento y no por toda la organización.
- No aceptar el punto de vista del trabajador u operador y no involucrarlo totalmente en el sistema, es suficiente para que este no funcione.
- La mala comunicación e interrelación entre el personal de las - distintas áreas y niveles crean confusión y por lo mismo situaciones improductivas.
- Resistencia a cambiar las técnicas de control. Comúnmente el entrenamiento y la capacitación eliminan este problema.
- Falta de información. La información estadística debe estar al alcance de todos los empleados y trabajadores a través de manuales y boletines estructurados para consulta y entrenamiento.
- No se están definiendo y decidiendo, las acciones correctivas en

base a la información estadística. Seguramente se están utilizando otros estandares de calidad.

3.2. Cumplimiento de objetivos.

A partir de la definición de objetivos a alcanzar con el control estadístico del proceso en cada una de las operaciones monitoreadas, se debe revisar constantemente el cumplimiento de estos objetivos.

Consecuentemente será tarea de la dirección general realizar reuniones regulares con el Gerente de C.E.P. y su equipo de coordinadores de control estadístico para revisar periódicamente el progreso continuo de la calidad.

En estas reuniones, la Gerencia de C.E.P. con el soporte de los coordinadores estadísticos, expondrá a la dirección general un informe preciso sobre los logros alcanzados y las tareas atrasadas en la implementación del sistema, señalando las causas de estas últimas y las acciones seguidas para solucionar estos problemas. Hecho esto, la dirección general deberá redefinir objetivos, así como las prioridades de cada uno de ellos.

Es importante señalar que la implementación de un sistema de este tipo siempre debe tener programas específicos a cumplir, controlándose así mismo fechas de cumplimiento de objetivos, para poder direccionar el sistema a nuevas metas. Sin embargo no debe haber presiones de tiempo que ocasionen fallas en el sistema.

Tratar de implementar el sistema a corto plazo será un error. La implementación del control estadístico del proceso necesita planes y programas a largo plazo, desde la perspectiva de que se necesita

del involucramiento de toda la organización para el sostenimiento continuo del sistema en todas las áreas.

3.3. Motivación.

Si una persona que ha participado impetuosamente y correctamente con el control estadístico del proceso solucionando problemas presentes, no es tratada en forma justa, esta puede cambiar de actitud hacia el sistema mostrándose hostil en la participación de la solución de nuevos problemas. Por otra parte, el resto de la organización al percibir esta política se negará a participar en forma impetuosa en el logro continuo de mejoras. Por consiguiente es totalmente recomendable que la dirección general recompense justamente la participación del personal en el sistema. De esta forma el personal se verá motivado para prepararse más y solucionar todos los problemas de su área de trabajo.

3.4. Retroalimentación de personal.

Los cambios de personal ocurren en dos formas: el personal simplemente deja de trabajar para la compañía o este se traslada a otros puestos dentro de la empresa. Esto último sucede particularmente dentro de las empresas de gran crecimiento. El resultado es el mismo, la proporción del personal capacitado para implementar el sistema y mantenerlo en funcionamiento dentro de una planta disminuye. Como resultado directo cuando estos cambios son frecuentes, se tiene que la efectividad del sistema decrece. Por lo tanto para contrarrestar este problema es necesario tener programas de capacitación continua para todas las personas de nuevo ingreso y para aquellos que cambien de puesto o área se les deberá dar cursos de soporte que los ayuden a tener su proceso consistente, aplicando las habilidades específicas para reconocer y resolver problemas.

No se debe impartir la capacitación dentro de la organización de manera voluntaria; todo el personal involucrado directa o indirectamente en el control estadístico del proceso debe asistir obligatoriamente a los cursos programados.

C A P I T U L O I I

ANTECEDENTES

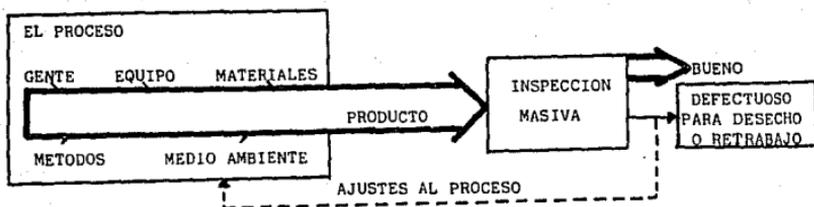
CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

1.- INTRODUCCION AL CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

1.1. Sistema de detección.

Tradicionalmente en la manufactura de un producto, el departamento de producción ha sido el encargado de la elaboración del producto y el departamento de control de calidad ha sido el encargado de inspeccionar el producto final para rechazar los productos que no cumplan las especificaciones. En este sistema de detección de defectos simplemente se inspecciona la producción después de que ésta ha sido manufacturada para separar los productos malos de los considerados buenos conforme a una tolerancia de especificación, una vez que se ha alcanzado la especificación ya no se busca la mejora continua de la calidad del producto. Desafortunadamente este enfoque propicia el que haya desperdicio, debido a que primero tenemos que hacer el producto y luego revisar y corregir el proceso en base a la información proporcionada por el producto desechado ó reparado, ésto representa gastos adicionales puesto que toma los mismos recursos (materiales, tiempo de máquina y horas-hombre), al hacer un producto deficiente como el producir un producto bien hecho, e incluso en el caso del primero, necesitamos agregar trabajo extra en repararlo ó en el peor de los casos hay que desecharlo. En este sistema la atención está dirigida en la inspección masiva del producto terminal, en lugar de concentrarse en el proceso que fué donde se manufacturó el producto defectuoso.

El sistema de detección de defectos puede esquematizarse de la siguiente manera:



1.2. Prevención en vez de detección.

El enfoque hacia la calidad ha evolucionado a través de los años de la detección de defectos a su prevención.

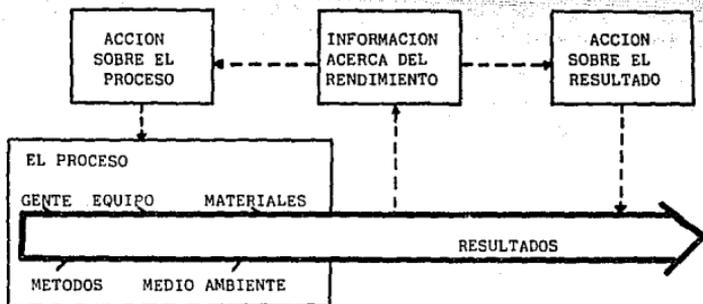
Es mucho más efectivo un sistema de control del proceso que permita identificar los ajustes necesarios para prevenir y evitar la producción de artículos defectuosos y por consiguiente el desperdicio de materiales, tiempo de máquina y horas-hombre.

La estrategia de prevención le parece obvia a la mayoría de la gente. Comúnmente se dan frases como "hacerlo bien a la primera vez", pero sin embargo, esta clase de eslogans no es suficiente. Más bien lo que se requiere es un entendimiento profundo de los elementos de un sistema de control estadístico del proceso. A continuación los puntos subsecuentes explican estos elementos y pueden ser vistas como las respuestas a las 6 preguntas siguientes:

- 1.- ¿Qué se entiende por un sistema de control del proceso?
- 2.- ¿Cómo afecta la variación al resultado del proceso?

- 3.- ¿Cómo pueden las técnicas estadísticas decir si un problema es local o involucra al sistema en su totalidad?
- 4.- ¿Qué se entiende por un proceso bajo control estadístico? -- ¿Qué se entiende por un proceso hábil?
- 5.- ¿Qué son las cartas de control y cómo se utilizan?
- 6.- ¿Qué beneficios pueden ser esperados a través de la utilización de las cartas de control?

El sistema de prevención de defectos puede esquematizarse de la siguiente manera:



1.3. Un sistema para el control del proceso.

Un sistema para el control del proceso puede ser descrito como un sistema de retroalimentación. Hay cuatro elementos importantes del sistema que se describen a continuación.

1.3.1. El proceso.

Por proceso nos referimos a la combinación de gente, máquinas, --

equipo, materiales, métodos y medio ambiente, que trabajan juntos para producir un resultado. El desempeño total del proceso - la calidad del resultado y su eficiencia productiva - dependen de la manera en que este proceso haya sido diseñado y la manera en que lo estemos operando y controlando.

1.3.2. Información sobre el comportamiento del proceso.

Podemos aprender mucho sobre el comportamiento actual del proceso analizando el resultado del mismo. En un amplio sentido, el resultado del proceso incluye no solamente los productos que son fabricados, sino también, cualquier resultado intermedio que describa el estado de operación del proceso (tales como temperaturas, - tiempos, etc.). Si esta información la colectamos e interpretamos correctamente, nos puede mostrar las acciones que es necesario tomar para corregir el proceso.

Si no tomamos las acciones apropiadas y en el tiempo requerido, - cualquier información de la que dispongamos se estará desperdi---ciando.

1.3.3. Acción sobre el proceso.

Las acciones que tomamos para mejorar el proceso están orientadas hacia el futuro, en el sentido de que prevendrán que vuelva a ocurrir un problema. Estas acciones pueden consistir en cambios que se efectúen en las operaciones (por ejemplo: adiestrar al operario, cambiar los materiales, etc.), o en los elementos más básicos del proceso en sí (por ejemplo: el equipo, el cual puede necesitar reparación; el efectuar un cambio a la vez que observar cuidadosamente los efectos para conocer con precisión si el cambio - que hicimos fué o no la causa de nuestro problema). Esto nos da la pauta para realizar futuros análisis y para tomar acciones en

caso de que se requieran.

1.3.4. Acción sobre el resultado.

Las acciones que tomamos sobre el resultado están orientadas hacia el pasado, ya que implican detectar los productos que están fuera de especificaciones cuando ya fueron producidos, Desafortunadamente, si los resultados actuales no están cumpliendo consistentemente con los requerimientos de nuestros clientes, puede ser necesario inspeccionar todos los productos y desechar o retrabajar aquellos que no se adecúen a dichos requerimientos. Esto debe continuar hasta que se tomen las acciones necesarias sobre el proceso, o hasta que se cambien las especificaciones del producto.

1.4. VARIACION: ACCIONES LOCALES PARA CAUSAS ESPECIALES Y ACCIONES SOBRE EL SISTEMA PARA CAUSAS COMUNES.

Para utilizar efectivamente los datos que obtengamos al controlar un proceso es muy importante comprender el concepto de variación.

No hay dos productos que sean exactamente iguales debido a que -- cualquier proceso tiene muchas fuentes de variación. Las diferencias entre los productos pueden ser muy grandes o, pueden ser tan pequeñas que no pueden medirse, pero siempre están presentes. El diámetro de una flecha maquinada, por ejemplo puede ser susceptible a: una variación potencial de la máquina (claros, baleros muy usados); de la herramienta (fuerza, promedio de uso); del material (diámetro, dureza); del operador (alimentación de la parte, precisión del centrado); de mantenimiento (lubricación, reemplazo de partes usadas) y de medio ambiente (temperatura, uniformidad de la corriente suministrada).

Algunas fuentes de variación en el proceso causan diferencias en periodos de tiempo muy cortos; por ejemplo los claros y la preci-

sión del operario. Otras fuentes de variación tienden a causar - cambios en el producto solamente después de un largo período de - tiempo; también puede presentarse un cambio gradualmente, como el desgaste de una herramienta o máquina, o paso a paso, por ejemplo al cambiar un procedimiento; puede también haber cambios irregulares por ejemplo, cambios ambientales tales como variaciones de corriente eléctrica. Por lo tanto el período de tiempo y las condiciones bajo las cuales sean hechas las mediciones afectarán la -- cantidad de variación total que se presente.

Desde el punto de vista de requerimientos mínimos, el resultado - de la variación es frecuentemente simplificado: Las partes dentro de tolerancias de especificación son aceptadas (en el mejor de -- los casos), las partes fuera de tolerancias no son aceptadas; los reportes que se entreguen a tiempo son aceptados, los que lleguen tarde no se aceptan. Sin embargo, para dirigir cualquier proceso y reducir su variación, la variación debe analizarse en función - de las fuentes que la originan. El primer paso para lograr ésto, es hacer la distinción entre causas comunes y causas especiales - de variación y el tipo de acciones que deben tomarse para cada ca so con el propósito de reducir dicha variación.

Las causas especiales de variación pueden ser detectadas a través de las técnicas de estadística que se tratarán en los módulos sub secuentes. Estas causas de variación no son comunes a todas las operaciones involucradas; por ejemplo, en una máquina en particular puede haber un operario nuevo que se está adiestrando y que - ocasiona cierta variación diferente a la que un operario ya entre nado o, si se tiene una herramienta sin afilar, ésta puede también ocasionar una variación mayor. El descubrimiento de una causa es pecial de variación y su arreglo es, usualmente, responsabilidad de alguien que está directamente conectado con la operación. En tonces, la solución de una causa especial de variación requiere generalmente de una acción local.

La magnitud de las causas comunes de variación también pueden ser detectadas a través de las técnicas de estadística que se revisarán posteriormente, pero estas causas, por sí mismas, requieren de un análisis más detallado, ya que pueden implicar el cambio de un proceso de manufactura o el cambio de un proveedor que no está surtiendo el material que satisface las necesidades del cliente, etc. Para corregir las causas comunes de variación, se requiere generalmente, de decisiones que deben tomar las personas que son responsables de proporcionar servicios al área productiva y de administrar el sistema (a nivel gerencial); sin embargo, las personas directamente relacionadas con la operación son quienes, algunas veces, están en una mejor posición para identificar estas causas y comunicarlas a las personas que pueden corregirlas. Entonces, la solución de las causas comunes de variación requieren generalmente acciones sobre el sistema. Algunos autores establecen que sólo una proporción relativamente pequeña de todos los problemas del proceso (aproximadamente 15%) se pueden corregir localmente por la gente directamente conectada con la operación. El 85% restante de los problemas se puede corregir sólo con acciones sobre el sistema por parte de la dirección.

1.5. CONTROL DEL PROCESO Y HABILIDAD DEL PROCESO.

El Control Estadístico del Proceso es el uso de técnicas de estadística, tales como las gráficas de control, para analizar un proceso, de tal manera que puedan tomarse las acciones apropiadas para lograr y mantener un proceso bajo control y así posteriormente poder mejorar la habilidad del proceso. El estado bajo control estadístico es la condición que describe un proceso en el que han sido eliminadas todas las causas especiales de variación, únicamente permanecen las causas comunes. Pero un estado bajo control estadístico no es un estado natural de un proceso de manufactura, implica un logro, implica alcanzar la eliminación de cada una de las causas especiales de variación de un proceso y pre-

venir su repetición.

La habilidad del proceso está determinada por la variación total que se origina por las causas comunes, es la variación mínima que puede ser alcanzada una vez que todas las causas especiales han sido eliminadas. La habilidad representa el rendimiento del proceso en sí mismo una vez que se ha demostrado que ese proceso está en control estadístico.

En resumen, el proceso debe tenerse primero bajo control estadístico detectando y eliminando las causas especiales de variación. Una vez que el proceso es estable y predecible, puede entonces ser evaluada su habilidad para lograr las expectativas del cliente. Esta es la base para una mejora continua.

1.6. GRAFICAS DE CONTROL: HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO.

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; ésta es la base que da origen a lo que nosotros distinguimos como causas comunes y especiales de variación.

El Dr. Walter Shewhart desarrolló una simple pero poderosa herramienta para distinguir las causas especiales de las comunes, estas herramientas son "las gráficas de control". Desde aquella época las gráficas de control han sido utilizadas 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 las gráficas de control efectivamente dirigen la atención hacia las causas especiales de variación cuando éstas aparecen, reflejan la magnitud de la variación debida a las causas comunes.

Todos los tipos de gráficas de control tienen dos usos básicos. - En términos de Shewhart, las gráficas de control:

- 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.
- Permiten mantener el estado de control estadístico, ya que pueden tomarse decisiones con base en el comportamiento del proceso a lo largo del tiempo.

1.7. BENEFICIOS DE LAS GRAFICAS DE CONTROL.

Es importante resumir algunos de los principales beneficios que pueden derivarse del uso de gráficas de control. La siguiente lista incluye las ventajas encontradas por los escritores en este campo, tales como el Dr. Deming y la experiencia de diferentes empresas a nivel corporativo.

- Las gráficas de control son herramientas simples y efectivas para lograr un control estadístico. Se prestan para que el operario las maneje en su propia área de trabajo. Dan información confiable a la gente cercana a la operación sobre cuándo deberán tomarse ciertas acciones y cuándo no.
- Cuando un proceso está en control estadístico puede predicirse su desempeño respecto a las especificaciones. Por consiguiente, tanto el productor como el cliente, pueden contar con niveles consistentes de calidad y ambos pueden contar con costos estables para lograr ese nivel de calidad.
- Una vez que un proceso se encuentra en control estadístico, su comportamiento puede ser mejorado posteriormente reduciendo la variación. A través de los datos de las gráficas de control -

pueden anticiparse las mejoras que se requieren en el sistema. Estas mejoras en el proceso deberán:

- Incrementar el porcentaje de productos que satisfagan las expectativas de los clientes (mejoras en la calidad).
 - Disminuir los productos que necesiten retrabajarse o desecharse (mejoras en el costo por unidad bien producida).
 - Incrementar la cantidad total de productos aceptables a través del proceso (mejoras efectivas en la habilidad).
- Las gráficas de control proporcionan un lenguaje común para comunicarse sobre el comportamiento de un proceso -entre los diferentes turnos que operen un proceso; entre la línea de producción (supervisor, operario) y las actividades de soporte -- (mantenimiento, control de materiales, ingeniería de manufactura, calidad del producto); entre las diferentes estaciones en el proceso; entre el proveedor y el usuario; entre la Planta - de Manufactura o Ensamble y las actividades de Ingeniería del Producto.
- Las gráficas de control, al distinguir entre las causas especiales y las causas comunes de variación, dan una buena indicación de cuándo algún problema debe ser corregido localmente y cuándo se requiere de una acción en la que deben participar todos los niveles de la organización. Esto minimiza la confusión, frustración y costo excesivo que se deriva de los problemas no resueltos.

En las siguientes secciones se describen las técnicas para elaborar e interpretar gráficas de control.

2. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DEL PROCESO.

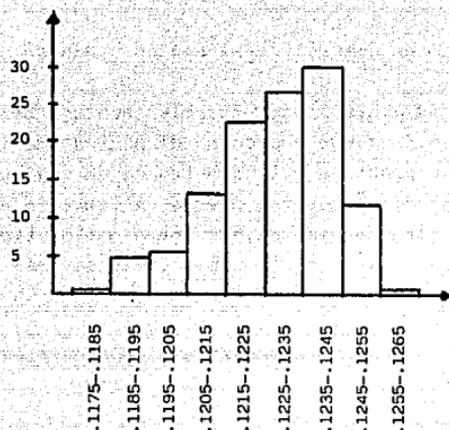
2.1. Gráficas de Control (\bar{X} -R) Medias y Rangos.

Las gráficas de control por variables son una herramienta poderosa que puede utilizarse cuando se dispone de mediciones de los resultados de un proceso. El diámetro de un cojinete en milímetros, el esfuerzo de cierre de una puerta en libras o el torque de un tornillo en libras - pie son algunos ejemplos típicos de aplicación. Las gráficas de control por variables más conocidas, son las gráficas de control \bar{X} -R.

Las gráficas de control por variables son particularmente útiles por varias razones:

- 1.- La mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles, por lo que su aplicación potencial es amplia.
- 2.- Un valor medible (por ejemplo, "el diámetro es 1.125 mm") contiene más información que una simple afirmación de sí - no (por ejemplo, "la pieza está o no dentro de tolerancia").
- 3.- A pesar de que el costo en la medición precisa de una pieza, es mayor que el de establecer simplemente si la misma está bien o no, como se requieren menos piezas para obtener más información sobre el proceso, en algunos casos los costos totales de inspección pueden ser menores.
- 4.- Debido a que requiere medir una menor cantidad de piezas para tomar decisiones confiables, el período de tiempo entre la producción de las piezas y la acción correctiva puede ser acortado significativamente.

Si graficamos el espesor con el que se está produciendo cierta lámina en nuestro proceso, obtendríamos los siguientes datos:

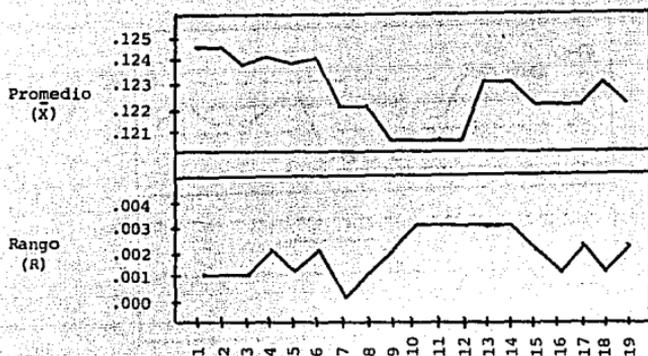


Este tipo de gráficas es conocida en Estadística como Histograma de Frecuencias.

Con el sólo hecho de ver los datos que se muestran en el histograma anterior ¿podría usted determinar cuál es la tendencia del proceso? y, como consecuencia, ¿podría predecir cuáles serían los valores futuros en cuanto al espesor de la pieza?. Es imposible -- contestar estas preguntas cuando sólo se cuenta con un histograma como el mostrado, en el que se indica el número de veces que ocurre cierto espesor según los rangos preestablecidos.

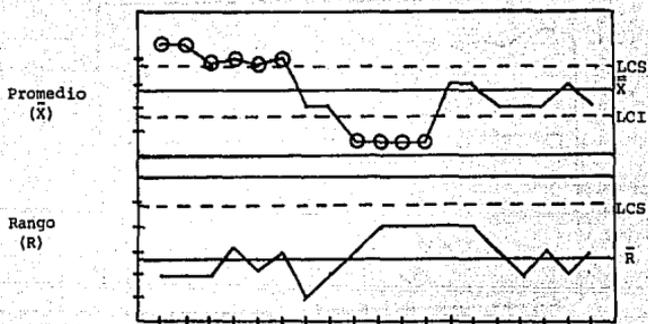
La única manera de saber si un proceso es estable y predecible, -- es a través del registro de la información en las gráficas de control.

Tomando como base los mismos datos anteriores, construyamos una gráfica indicando el valor diario promedio (\bar{X}) de el espesor y el rango diario (R) (el rango es la diferencia entre el máximo y el mínimo valor obtenido en un período de tiempo en particular; en este caso, la diferencia diaria).



Esta gráfica muestra que los valores de los promedios eran altos en el inicio, pero mostraban una tendencia a bajar con el tiempo; no hubiéramos conocido esto con sólo ver el histograma. En otras palabras, fuimos capaces de obtener información adicional al ver el movimiento o variación de los datos a través del tiempo.

La siguiente pregunta sería: ¿Cuáles valores de los mostrados en esta gráfica son normales y cuáles anormales?. Para esto tracemos líneas límites sobre las gráficas y una línea que nos muestra el promedio del total de nuestras lecturas, esto nos permite apreciar la dispersión o variación de los datos y así saber cuándo se presenta una situación anormal en el proceso.



Donde:

LCS - Límite de control superior.

LCI - Límite de control inferior.

$\bar{X}-\bar{R}$ - Línea central o de promedio.

En esta gráfica de Control $\bar{X}-R$ podemos ver algunos puntos que son anormales (los circulados), ya que sobrepasan nuestras líneas límites; a partir de estos datos podremos investigar la causa y tomar alguna acción correctiva.

2.1.1. Elaboración de las Gráficas de Control $\bar{X}-R$

Una gráfica de control $\bar{X}-R$ muestra tanto el valor promedio (\bar{X}) como el rango (\bar{R}) de nuestro proceso.

La porción \bar{X} de una gráfica muestra cualquier cambio en el valor promedio del proceso, mientras que la porción R muestra cualquier

dispersión o variación del proceso. A continuación se describen los pasos para elaborar una gráfica de control \bar{X} -R.

2.1.1.1. Colecte los datos.

Los datos son el resultado de la medición de las características de nuestro producto, los cuales deben ser registrados y agrupados de acuerdo al siguiente plan:

2.1.1.1.1. Seleccione la frecuencia, el tamaño de la muestra y número de subgrupos.

Para un estudio inicial de un proceso, las muestras (sub-grupos) deben estar formadas de 2 a 10 piezas producidas consecutivamente; de esta manera las piezas en cada sub-grupo estarán producidas bajo condiciones similares de producción.

Se ha adoptado como típico el que las muestras estén formadas de 5 piezas consecutivas, ya que con menos de 5 piezas se tiende a perder la sensibilidad de la gráfica para detectar problemas y, con más de 5 se obtiene muy poca información adicional.

Durante 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 períodos de tiempo.

Se recomienda que el intervalo sea de 1/2 a 2 horas, ya que más frecuentemente puede representar demasiado tiempo invertido y menos frecuente pueden perderse eventos importantes que sean poco usuales. Cuando el proceso es estable (o cuando fué hecha una mejora al proceso) los períodos de tiempo en cada subgrupo pueden ser incrementados.

En cuanto al número de subgrupos, desde el punto de vista del pro

ceso, se recomienda capturar todas las fuentes de variación y, -- desde el punto de vista estadístico, deben colectarse al menos 20 a 25 subgrupos, conteniendo alrededor de 100 ó más lecturas individuales, ya que dan una buena prueba de estabilidad.

2.1.1.1.2. Establezca las cartas de control a través de la recopilación de datos.

Las gráficas de control, normalmente son dibujadas con la gráfica \bar{X} arriba de la gráfica R e incluye un conjunto de identificación en la parte superior.

Los valores de X y R serán registrados en forma vertical y la secuencia de los subgrupos a través del tiempo, estarán en forma -- horizontal.

2.1.1.2. Calcule el promedio (\bar{X}) y el rango (R) para cada subgrupo.

El cálculo de \bar{X} y R para cada subgrupo se hace de la siguiente -- forma:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

$$R = X \text{ mayor} - X \text{ menor}$$

Donde $X_1, X_2 \dots$ son los valores individuales en cada subgrupo y n es el tamaño de la muestra.

2.1.1.2.1. Seleccione la escala para las gráficas de control.

En las escalas verticales de la gráfica \bar{X} -R se indican los valores calculados de \bar{X} y R respectivamente. A continuación se presenta una forma general para determinar las escalas, aunque en --

circunstancias especiales deben ser modificadas. Para la gráfica \bar{X} la amplitud de valores en la escala debe determinarse de la siguiente forma:

La diferencia entre los valores superior e inferior en la escala debe ser al menos 2 veces la diferencia entre el promedio (\bar{X}) mayor y el promedio (\bar{X}) menor de los subgrupos.

Para la gráfica R, los valores deben extenderse desde el valor ce ro hasta un valor superior equivalente a 1 1/2 a 2 veces el rango mayor obtenido en el período inicial de estudio. En general, la escala en la gráfica de rango debe ser el doble de la correspondiente a la gráfica de promedios.

2.1.1.2.2. Trace la gráfica de rangos y promedios.

Marcar con puntos los promedios y los rangos en sus respectivas gráficas y unirlos con líneas; ésto nos ayudará tanto a visualizar la situación del proceso como su tendencia.

2.1.1.3. Calcule el rango promedio (\bar{R}) y el promedio del proceso ($\bar{\bar{X}}$)

Para el estudio de los K subgrupos, calcular:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_K}{K}$$

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_K}{K}$$

Donde K es el número de subgrupos, R_1 y \bar{X}_1 son el rango y el promedio del primer subgrupo, R_2 y \bar{X}_2 son del segundo subgrupo, etc.

2.1.1.4. Calcule los límites de control.

Los límites de control son calculados para mostrar la extensión de la variación de cada subgrupo. El cálculo de los límites de control está basado en el tamaño de los subgrupos y éstos se calculan de la siguiente manera:

$$LCS_R = D_4 \bar{R} \qquad LCS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LCI_R = D_3 \bar{R} \qquad LCI_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

Donde D_4 , D_3 , A_2 son constantes que varían según el tamaño de la muestra. A continuación se presentan los valores de dichas constantes para tamaños de muestra de 2 a 10.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	-	-	-	-	-	0.08	0.14	0.18	0.22
A_2	1.88	1.02	0.73	0.58	0.48	0.42	0.37	0.34	0.31

* (Para tamaños de muestra menores de 7, el Límite de Control Inferior para el Rango sería un número negativo, en estos casos el Límite de Control Inferior es cero para el Rango).

2.1.1.4.1. Dibuje las líneas de promedios y límites de control en las gráficas.

Se dibujan el rango promedio (\bar{R}) y la media del proceso ($\bar{\bar{X}}$) con una línea horizontal continua, y los límites de control (LCS_R , LCI_R , $LCS_{\bar{X}}$, $LCI_{\bar{X}}$) con una línea horizontal discontinua.

CEP

GRAFICA DE CONTROL \bar{X} -R

-CONTROL DE CALIDAD-

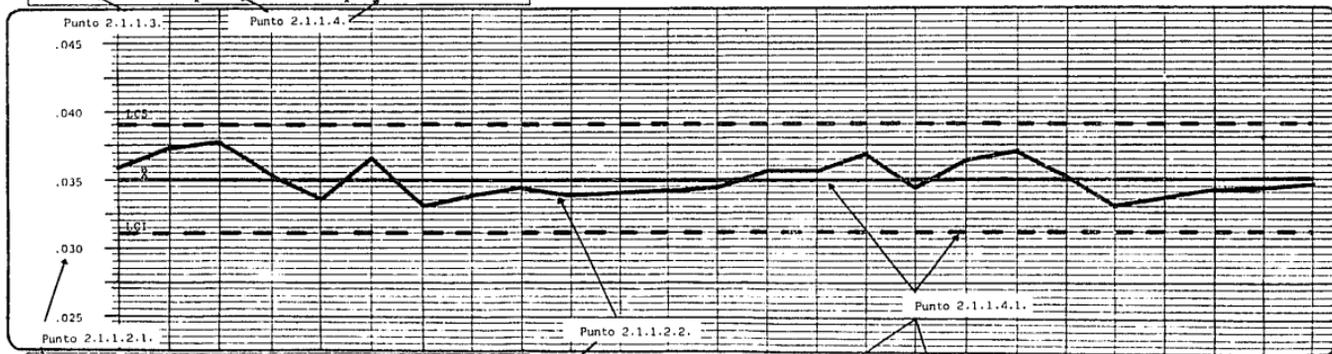
DEPARTAMENTO: ENSAMBLE	MAQ. Nº 56	NÚMERO DE PARTE: 321239-009	OP. Nº: 9a	CARACTERÍSTICA CHECADA: RECUPERACION DE MUELLE	GRAFICA Nº: _____
		NOMBRE PARTE: RESORTE	NOMBRE OPERACION: ENSAMBLE	TOLERANCIA: .024 - .040"	ELABORO: _____

FECHA	E	N	E	R	O	E	N	E	R	O	6	7	E	R	O	E	N	E	R	O	7				
HORA	9:00	10:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	.032	.042	.032	.031	.032	.038	.030	.035	.033	.032	.032	.034	.036	.036	.037	.036	.034	.043	.040	.032	.032	.031	.037	.037	.037
2	.039	.035	.039	.033	.036	.038	.032	.033	.036	.035	.037	.032	.031	.032	.033	.035	.043	.039	.037	.038	.034	.035	.032	.029	.030
3	.038	.038	.038	.038	.033	.037	.033	.036	.031	.031	.032	.039	.038	.034	.040	.034	.031	.028	.034	.032	.033	.034	.034	.033	.033
4	.038	.033	.039	.036	.036	.038	.038	.031	.036	.034	.037	.032	.034	.037	.032	.038	.031	.036	.035	.038	.034	.021	.035	.032	.032
5	.032	.039	.040	.039	.031	.032	.033	.034	.036	.037	.032	.034	.033	.039	.036	.042	.033	.036	.039	.036	.032	.032	.033	.041	.041
SUMA	.179	.187	.188	.177	.168	.183	.166	.169	.172	.169	.170	.171	.172	.178	.178	.184	.172	.182	.185	.176	.165	.168	.171	.172	.173
PROMEDIO \bar{X}	.0358	.0374	.0376	.0354	.0336	.0366	.0332	.0338	.0344	.0338	.0340	.0342	.0344	.0356	.0356	.0368	.0344	.0364	.0370	.0352	.0330	.0336	.0344	.0344	.0346
RANGO R	.007	.009	.008	.008	.005	.006	.008	.005	.005	.006	.005	.007	.007	.008	.008	.012	.015	.006	.006	.002	.003	.005	.012	.011	.011

$\bar{X} = .035$ $LCS = .039$ $LCI = .031$

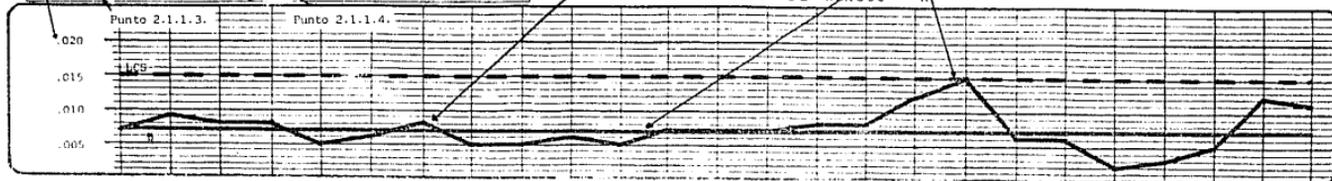
GRAFICA DE PROMEDIOS \bar{X}

Punto 2.1.1.2.



$R_s = .007$ $LCS = 0.015$

GRAFICA DE RANGOS R



2.1.2. Interpretación del Control del Proceso.

El objeto de analizar una gráfica de control, es identificar cuál es la variación del proceso, las causas comunes y causas especiales de dicha variación, y en función de esto tomar alguna acción apropiada cuando se requiera.

2.1.2.1. Analice el conjunto de los datos en la gráfica de rangos (R).

Dado que la interpretación de los rangos (R) y promedios (\bar{X}) de los subgrupos dependen de la variación de nuestro proceso, se analizará en primer lugar la gráfica de rangos.

2.1.2.1.1. Puntos Fuera de los Límites de Control.

La presencia de uno o más puntos más allá de los límites de control, es evidencia de una inconsistencia en el proceso. La variación de los puntos dentro de los límites de control es debida a causas comunes (fallas en el sistema). Cuando se presentan puntos fuera de los límites de control se deben a causas de variaciones especiales. Un punto más allá de los límites de control es una señal de que se requiere un análisis inmediato de la operación para buscar la causa especial que lo originó. Marque todos los puntos que están fuera de los límites de control, es una señal de que se requiere un análisis inmediato de la operación para buscar la causa especial que lo originó, e implantar la acción correctiva.

Un punto fuera de los límites de control es señal de:

- El límite de control está mal calculado o los puntos están mal graficados.
- La variación de pieza a pieza o la dispersión de la distribu--

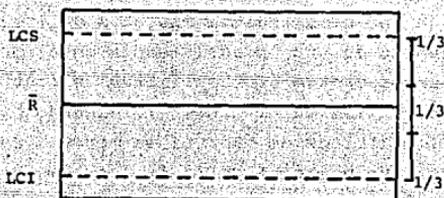
ción ha empeorado.

- El sistema de medición ha cambiado (diferente inspector o calibrador).

2.1.2.1.2. Adhesión a las líneas de Control.

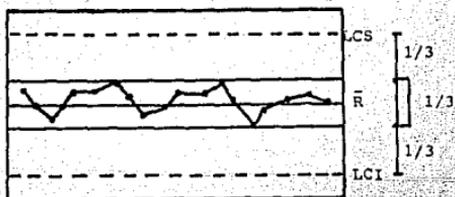
Cuando en la gráfica de control los puntos se agrupan junto a la línea central o junto a las líneas de control, hablamos de adhesión.

Para evaluar y poder decidir si hay o no adhesión a la línea central proceda de la siguiente manera: Divida la distancia que hay entre el LCS y el LCI en tres partes iguales, como se muestra en la siguiente figura.



Si una cantidad substancialmente mayor a $2/3$ de los puntos graficados se encuentra concentrada dentro del tercio medio, existe adhesión a la línea central.

Proceso de adhesión a la línea central (17 de 19 puntos están dentro del tercio medio)

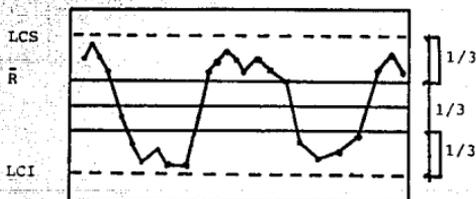


Si existe adhesión a la línea central se tiene que verificar lo siguiente:

- Los límites de control han sido mal calculados o los puntos fueron mal graficados. Hay errores de medición, cálculo o trazo en las muestras.
- Los datos han sido alterados (los valores que se alejan mucho del promedio \bar{R} fueron alterados u omitidos).
- Pueden haberse mezclado en el subgrupo un tipo diferente de datos, o datos de fuentes diferentes de producción (máquinas, materiales, mano de obra diferentes).

Si una cantidad substancialmente mayor a 1/3 se encuentra dentro de los tercios exteriores, existe adhesión a los límites de control.

Proceso con adhesión a los límites de Control (24 de 25 puntos están en los tercios exteriores).



Cuando esta situación se presenta, es necesario verificar lo siguiente:

- Los Límites de Control han sido mal calculados a los puntos mal graficados.

terial); estos problemas requieren de una acción correctiva inmediata.

- Un cambio en el sistema de medición (se cambió el inspector o el calibrador).

Una serie por debajo del rango promedio (\bar{R}) puede significar:

- Menor variación en los resultados, lo cual es generalmente una buena condición que debe estudiarse para ampliar su aplicación.
- Un cambio en el sistema de medición.

2.1.2.1.4. Identifique y corrija las causas de variaciones especiales en la Gráfica de Rangos.

Deberá efectuarse un análisis de la operación del proceso ante cada indicación de falta de control proveniente de la gráfica de rangos para determinar sus causas, corregir la condición y prevenir su repetición. La gráfica de control es una guía útil para el análisis del problema pues indica cuándo se inició el problema y el tiempo transcurrido.

Es importante la rapidez en el análisis de los problemas, a fin de minimizar la producción de piezas fuera de control y de tener datos recientes para el diagnóstico. Por ejemplo, la aparición de un punto más allá de los límites de control es razón suficiente para iniciar un análisis inmediato del proceso.

2.1.2.1.5. Recalcule los Límites de Control.

Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, deberá recalcular los límites de control para excluir los efectos de los puntos fuera de control, cuyas causas fueron identificadas y corregidas.

- El proceso o el método de muestreo es tal, que los subgrupos -- contienen mediciones de 2 o más fuentes diferentes de produc-- ción.
- La predominancia de puntos en un tercio exterior respecto a el otro, es indicativo de que la media del proceso ha aumentado o disminuído.

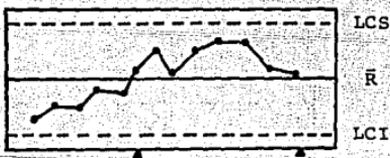
2.1.2.1.3. Series.

Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento del proceso.

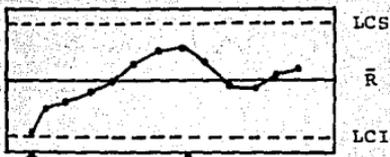
Cuando 7 o más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del -- promedio, la serie recibe el nombre de Corrida.

Si 7 o más intervalos consecutivos se presentan con valores cre-- cientes o decrecientes, la serie recibe el nombre de Tendencia.

Este proceso presenta una corrida de 8 puntos arriba de \bar{R} .



Este proceso muestra una tendencia ascendente (8 intervalos en ascenso).



Una serie por arriba del rango promedio (\bar{R}) puede significar:

- Mayor dispersión de los resultados, la cual puede venir de una causa irregular (tal como el mal funcionamiento del equipo) o - un cambio en la distribución de los materiales (de un nuevo ma-

terial); estos problemas requieren de una acción correctiva inmediata.

- Un cambio en el sistema de medición (se cambió el inspector o el calibrador).

Una serie por debajo del rango promedio (\bar{R}) puede significar:

- Menor variación en los resultados, lo cual es generalmente una buena condición que debe estudiarse para ampliar su aplicación.
- Un cambio en el sistema de medición.

2.1.2.1.4. Identifique y corrija las causas de variaciones especiales en la Gráfica de Rangos.

Deberá efectuarse un análisis de la operación del proceso ante cada indicación de falta de control proveniente de la gráfica de rangos para determinar sus causas, corregir la condición y prevenir su repetición. La gráfica de control es una guía útil para el análisis del problema pues indica cuándo se inició el problema y el tiempo transcurrido.

Es importante la rapidez en el análisis de los problemas, a fin de minimizar la producción de piezas fuera de control y de tener datos recientes para el diagnóstico. Por ejemplo, la aparición de un punto más allá de los límites de control es razón suficiente para iniciar un análisis inmediato del proceso.

2.1.2.1.5. Recalcule los Límites de Control.

Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, deberá recalcular los límites de control para excluir los efectos de los puntos fuera de control, cuyas causas fueron identificadas y corregidas.

Omita los puntos fuera de control, recalculé y grafique el rango promedio (\bar{R}) y los límites de control. Confirme que todos los -- puntos correspondientes a los rangos de los subgrupos están bajo control cuando se les compare con los nuevos límites, repitiendo la secuencia de identificación, corrección y recálculo si fuera necesario.

Si algún punto de la gráfica de rangos fuera omitido debido a la identificación de una causa especial, deberá también ser excluido dicho punto de la gráfica \bar{X} . Los valores de \bar{X} y \bar{R} modificados de berán ser utilizados para recalcular los límites de control en la gráfica de promedios ($\bar{X} \pm A_2\bar{R}$).

2.1.2.2. Analice el conjunto de Datos en la Gráfica de Promedios (\bar{X}).

Cuando los rangos están en control estadístico, la dispersión del proceso (la variación dentro de los subgrupos) se considera estable, hecho ésto, los promedios se analizan para ver si el proceso está cambiando a través del tiempo.

Una vez concluido el análisis de la gráfica de rangos, proceda al análisis de la gráfica de promedios. Los pasos para dicho análisis son iguales a los ya descritos para la gráfica de rangos.

CEP

GRAFICA DE CONTROL \bar{X} -R

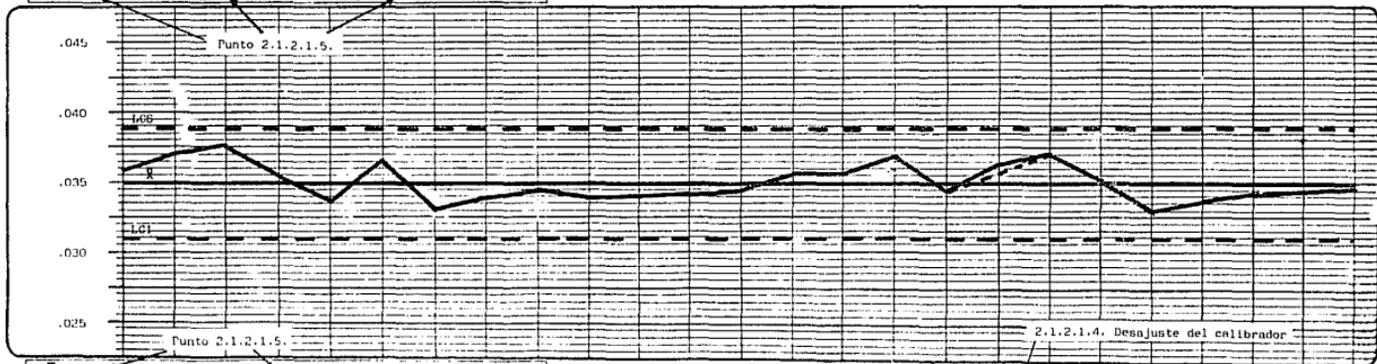
CONTROL DE CALIDAD-

DEPARTAMENTO:	ENSAMBLE	MAQ. Nº	96	NÚMERO DE PARTE:	321239-906	OP. Nº:	9º	CARACTERÍSTICA CHECADA:	RECUPERACION DE MUELLE	GRAFICA Nº:
		NOMBRE PARTE:		NOMBRE OPERACION:	ENSAMBLE	TOLERANCIA:	.024 - .040"	ELABORO:		

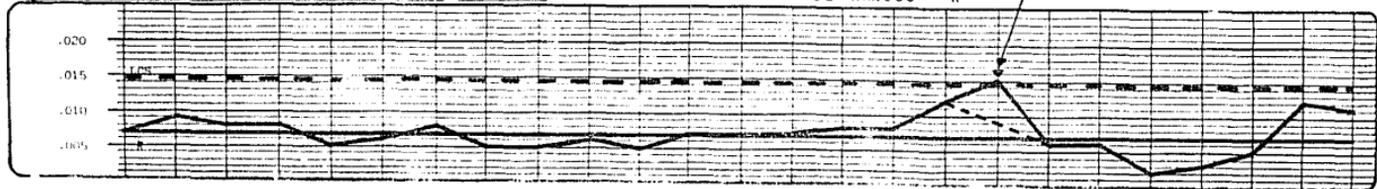
FECHA	E	N	E	R	O	E	H	E	R	O	E	N	E	R	O	E	N	E	R	O	E	N	E	R	O	E	N	E	R	O
HORA	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00					
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25					
1	.032	.042	.032	.031	.032	.038	.039	.035	.033	.032	.032	.034	.036	.036	.037	.035	.034	.041	.040	.032	.032	.033	.032	.037	.037					
2	.039	.035	.039	.033	.036	.038	.032	.033	.036	.035	.037	.032	.031	.032	.033	.035	.043	.038	.032	.038	.034	.035	.032	.029	.030					
3	.039	.038	.038	.038	.033	.037	.033	.036	.031	.031	.032	.039	.038	.034	.040	.034	.031	.028	.034	.032	.033	.034	.034	.031	.033					
4	.038	.033	.039	.036	.036	.038	.038	.031	.036	.034	.037	.032	.034	.037	.032	.038	.031	.036	.035	.038	.034	.034	.035	.032	.032					
5	.032	.039	.040	.039	.031	.032	.033	.034	.036	.037	.032	.034	.033	.039	.036	.042	.033	.036	.039	.036	.032	.032	.033	.041	.041					
SUMA	.179	.187	.188	.177	.168	.183	.166	.169	.172	.169	.170	.171	.172	.178	.178	.184	.172	.182	.185	.176	.165	.168	.171	.172	.173					
PROMEDIO \bar{X}	.0358	.0374	.0376	.0354	.0336	.0366	.0332	.0338	.0344	.0338	.0340	.0342	.0344	.0356	.0356	.0368	.0344	.0364	.0370	.0352	.0330	.0336	.0342	.0344	.0346					
RANGO R	.007	.009	.008	.008	.005	.006	.008	.005	.005	.006	.005	.007	.007	.008	.008	.012	.015	.006	.006	.002	.003	.005	.012	.011						
NOTAS																														

 $\bar{X} = .0349$ $LCS_{\bar{X}} = .0388$ $LCI_{\bar{X}} = .0309$

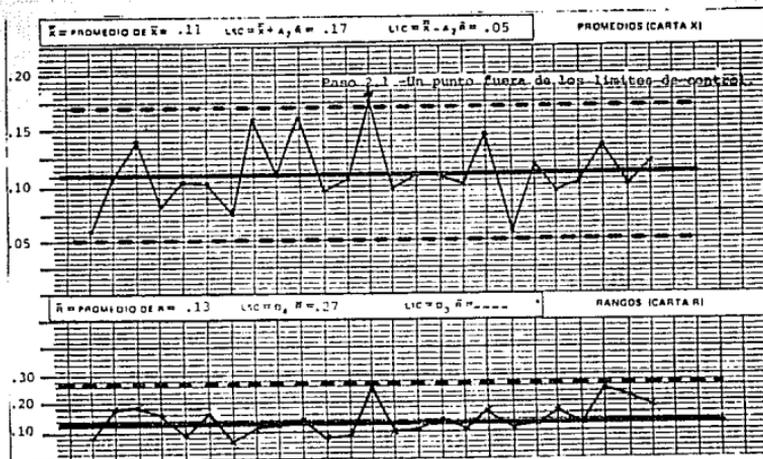
GRAFICA DE PROMEDIOS \bar{X}


 $R = .0069$ $LCS_R = .0145$

GRAFICA DE RANGOS \bar{R}

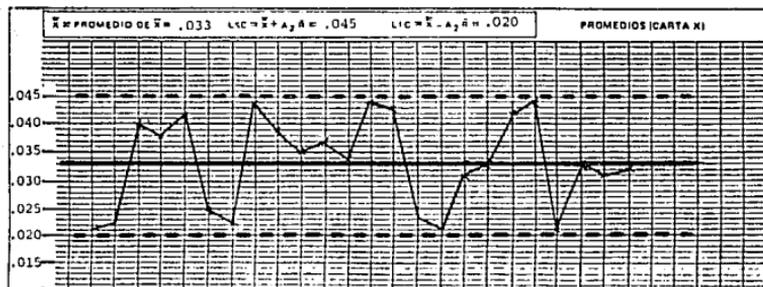


2.1.2.2.1 Puntos fuera de los Límites de Control.



2.1.2.2.2 Adhesión (Gráfica \bar{x}).

- 16 de 25 puntos se encuentran en los tercios exteriores, por lo cual existe una adhesión a los límites de control; posible falta de control en el proceso.

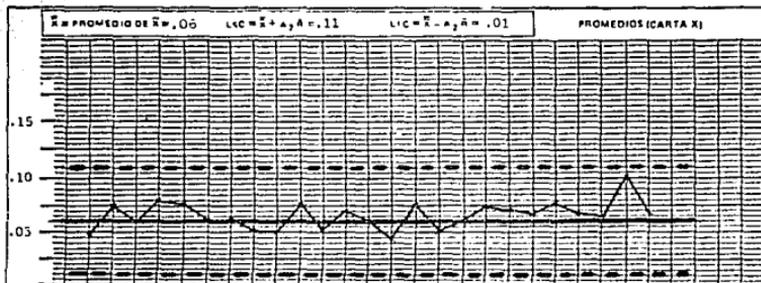


2.1.2.2.3. Series (Gráfica \bar{X})

Una serie (corrida o tendencia) relacionada con el promedio del proceso, es generalmente señal de que:

- El promedio del proceso ha cambiado y puede, aún estar cambiando.

2.1.2.2.4. Sucesión de 8 puntos por arriba del promedio del proceso. Esto nos indica que el promedio del proceso ha aumentado.



2.1.2.2.5. Identifique y corrija las Causas Especiales (Gráfica \bar{X})

Efectúe el análisis de la operación del proceso para determinar las causas ante cada indicación de falta de control proveniente de la gráfica de promedios; corrija la condición y tome las acciones que le permitan prevenir su repetición. La gráfica de control es muy útil como guía para determinar cuándo se inició un problema y cuánto tiempo lleva. Es muy importante la rapidez con la --

que se analice el problema para minimizar la producción de piezas que estén fuera de control.

2.1.2.2.6. Recalcule los Límites de Control (Gráfica \bar{X})

Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, debe eliminar todos los puntos fuera de control para los cuales se encontraron las causas; recalculé y grafique el promedio del proceso (\bar{X}) y sus límites de control. Confirme que todos los puntos estén bajo control cuando se les compare con los nuevos límites, repitiendo la secuencia de identificación, corrección y recálculo si fuera necesario.

2.1.2.2.7. Extienda los Límites de Control para un Control Cotidiano.

Una vez que se ha logrado mantener nuestro proceso dentro de control; es decir, cuando los datos se encuentren contenidos en forma consistente dentro de los límites de control, es necesario extender dichos límites para cubrir periodos futuros. Estos límites serán utilizados como referencia para el control continuo del proceso con el objeto de que el operario y/o supervisor tomen las acciones necesarias ante cualquier indicación de falta de control en las gráficas \bar{X} -R.

Un cambio en el tamaño de los subgrupos muestreados afectarían el rango promedio esperado y los límites de control en las gráficas de rangos y promedios. Esta situación pudiera ocurrir, por ejemplo, si se decide tomar muestras más pequeñas y más frecuentemente, de manera que puedan detectarse cambios grandes en el proceso más rápidamente sin aumentar el número total del muestreo por día. Para ajustar las líneas centrales y los límites de control para un nuevo tamaño de los subgrupos muestreados debe proceder como sigue:

- A) Estime la desviación estándar del proceso (la estimación se indica como (σ)).

Con base en el tamaño de la muestra anterior, calcule:

$$\sigma = \bar{R} / d_2$$

Donde \bar{R} es el promedio de los rangos de los subgrupos (en los períodos en que los rangos estuvieron dentro de control) y d_2 es una constante que se modifica en función del tamaño de la muestra, como se indica en la tabla siguiente:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

- B) Con base en los factores d_2 , D_3 , D_4 y A_2 correspondiente al nuevo tamaño de muestra, calcule el nuevo rango promedio y los límites de control:

$$\bar{R}_{\text{nuevo}} = \sigma d_2^*$$

$$LCS_R = D_4 \bar{R}_{\text{nuevo}}$$

$$LCI_R = D_3 \bar{R}_{\text{nuevo}}$$

$$LCS_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}_{\text{nuevo}}$$

$$LCI_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}_{\text{nuevo}}$$

* Nota: Este valor de d_2 cambia con el nuevo valor del tamaño de subgrupo y la media no cambia con este análisis, só lo el rango promedio y los límites de control.

Marque estos nuevos límites de control en las gráficas como base para el control continuo del proceso.

CEP

GRAFICA DE CONTROL \bar{X} -R

-CONTROL DE CALIDAD-

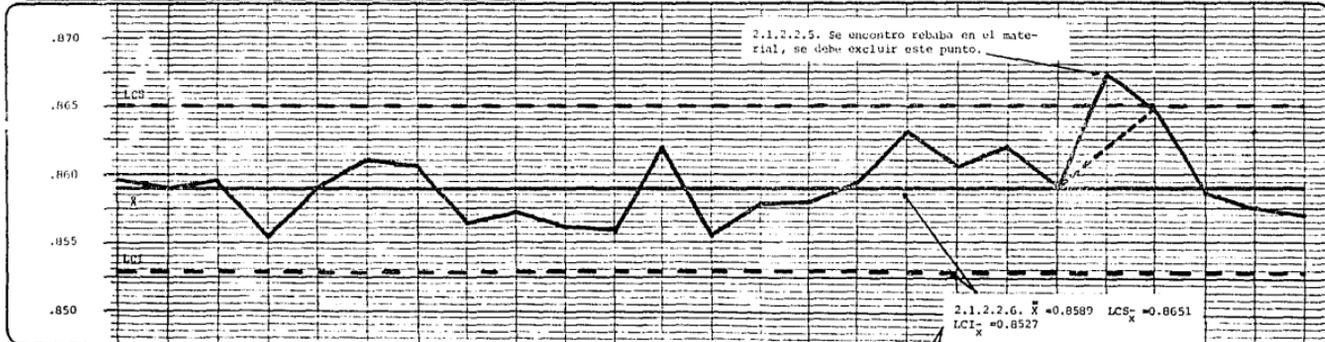
DEPARTAMENTO:	RESORTE	MAQ. NR:	545	NUMERO DE PARTE:	4114	OP. NR:	1º	CARACTERISTICA CHECADA:	DIAMETRO EXTERIOR		GRAFICA NR:
				NOMBRE PARTE:	RESORTE AMORTIGUADOR	NOMBRE OPERACION:	FORMADO	TOLERANCIA:	0,850-0,870"		ELABORO:

FECHA	A 12	B 12	R 12	I 12	L 12	A 12	B 12	R 12	I 12	L 12	A 13	B 13	R 13	I 13	L 13	A 14	B 14	R 14	I 14	L 14	A 14	B 14	R 14	I 14	L 14
HORA	7:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	7:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	7:00	9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	21:00	23:00
NR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	.850	.852	.850	.850	.857	.858	.850	.861	.860	.860	.860	.864	.862	.860	.860	.860	.868	.860	.868	.862	.866	.865	.860	.853	.853
2	.850	.857	.857	.852	.859	.857	.855	.858	.859	.858	.862	.858	.860	.865	.861	.864	.870	.855	.869	.863	.870	.862	.861	.855	.853
3	.857	.860	.863	.860	.863	.863	.864	.855	.858	.855	.852	.855	.858	.858	.858	.866	.864	.865	.856	.871	.863	.860	.860	.859	.859
4	.870	.865	.865	.860	.861	.865	.860	.850	.852	.854	.850	.868	.847	.852	.858	.852	.855	.864	.858	.860	.864	.870	.855	.860	.860
5	.871	.861	.863	.855	.855	.862	.865	.858	.857	.853	.855	.865	.850	.854	.853	.855	.858	.859	.860	.855	.866	.863	.855	.860	.860
SUMA	4.298	4.295	4.298	4.277	4.295	4.305	4.303	4.282	4.286	4.280	4.279	4.310	4.277	4.289	4.290	4.297	4.315	4.303	4.310	4.296	4.317	4.324	4.291	4.288	4.285
PROMEDIO \bar{X}	.8596	.8590	.8596	.8554	.8590	.8610	.8606	.8564	.8572	.8560	.8558	.8620	.8554	.8578	.8590	.8594	.8630	.8606	.8620	.8572	.8674	.8648	.8582	.8576	.8570
RANGO R	.021	.013	.015	.010	.008	.008	.010	.011	.008	.007	.012	.013	.015	.013	.006	.014	.015	.010	.014	.008	.007	.006	.007	.006	.007

NOTAS

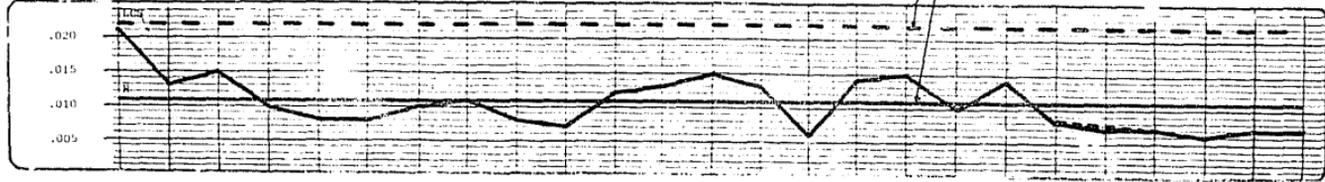
$\bar{X} = 0.8593$ $LCS_{\bar{X}} = 0.8654$ $LCL_{\bar{X}} = 0.8531$

GRAFICA DE PROMEDIOS \bar{X}



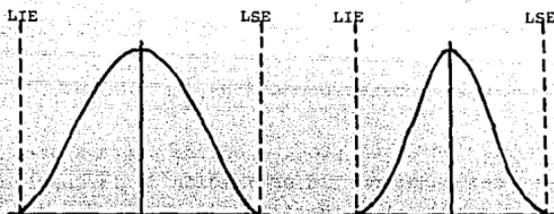
$R = .0106$ $LCS_R = 0.0224$

GRAFICA DE RANGOS R



2.1.3. Interpretación de la Habilidad del Proceso.

Una vez que se ha determinado si el proceso está en control estadístico (puntos dentro de los límites de control y puntos distribuidos sin tendencias) la siguiente pregunta será: ¿el proceso es HABIL?; esto es ¿Cumple con las especificaciones de Ingeniería y con los requerimientos del cliente en forma consistente? la siguiente figura muestra el concepto de un proceso hábil, donde se muestran los límites inferiores de especificación (LIE) y los límites superiores de especificación (LSE) que son los requerimientos del cliente emitidos por el departamento de Ingeniería del Producto.



LIE - Límite Inferior Especificado.

LSE - Límite Superior Especificado.

Si la habilidad no es aceptable, entonces un cambio importante debe ser hecho para mejorar el sistema. Dado que la habilidad refleja una variación de causas comunes (ya que las causas especiales fueron corregidas para mantener el proceso bajo control), la falta de dicha habilidad en un proceso casi siempre se debe a fallas en el sistema. A continuación se muestran dos procesos, los cuales no tienen una habilidad aceptable.



El procedimiento para evaluar la habilidad del proceso comienza -- después de que el problema de control en las gráficas \bar{X} y R ha si do resuelto (causas especiales para evitar su repetición) y el -- control continuo de las gráficas refleja que el proceso está en -- control estadístico en 25 ó más subgrupos. A continuación se des cribe la secuencia para determinar la habilidad del proceso:

2.1.3.1. Calcule la desviación estándar del proceso.

Dado que la variación en el proceso de una pieza a otra se refle ja en el rango del subgrupo, la estimación de la desviación estándar σ (se lee sigma testada), está basada en el promedio de rangos (\bar{R}), calculándolo en la gráfica de control mediante la siguiente fórmula:

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

Donde \bar{R} es el promedio de rangos de los subgrupos para períodos -- en que el rango se encuentra en control y d_2 es una constante que cambia en función del tamaño de la muestra, como se indica en la tabla siguiente:

Tamaño de la muestra	2	3	4	5	6
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53

Para el ejemplo en estudio:

$$\bar{R} = .0108$$

$$n = 5$$

$$d_2 = 2.33$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.0108}{2.33} = .0046$$

$$\bar{\bar{X}} = .8589$$

$$LIE = .850 \text{ in}$$

$$LSE = .870 \text{ in}$$

2.1.3.2. Calcule la Habilidad del Proceso

La habilidad de un proceso es descrita en términos de la distancia que hay entre el promedio del proceso ($\bar{\bar{X}}$) y los límites de especificación, para ésto definiremos dicha distancia en unidades que llamaremos Z (valores normales estandarizados). Cuando la tolerancia de la especificación es unilateral, es decir, hacia un sólo lado:

$$Z = \frac{LE - \bar{\bar{X}}}{\sigma}$$

donde:

LE - Límite especificado

$\bar{\bar{X}}$ = Promedio del proceso

σ = Desviación estándar del proceso

Para tolerancias bilaterales, es decir, hacia ambos lados:

$$Z_S = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma} \quad Z_I = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma}$$

donde:

LSE = Límite superior de especificación

LIE = Límite inferior de especificación

Z_S = Z Superior

Z_I = Z Inferior

Z es usada en conjunto con la tabla de distribución normal (que se encuentra en el capítulo 5, anexo) para estimar la fracción de piezas que estarán fuera de especificación (una vez que el proceso está bajo control estadístico).

- Para una tolerancia unilateral (busque el valor de Z a lo largo de las órdenes de la tabla de distribución normal). Los dígitos de unidades y decenas están colocados a lo largo de la columna izquierda y el de las centenas a lo largo del renglón superior.

El número que corresponde a la intersección de estas columnas y renglones, lo llamamos P_z y representa la fracción de piezas fuera de especificación. Por ejemplo para $Z = 1.56$; la intersección de el renglón en 1.5 y la columna X.X6 nos dará $P_z = 0.0594$ (ver tabla de área bajo la curva normal en el Capítulo 5.)

- Para una tolerancia bilateral, calcule las fracciones fuera de los límites superior e inferior por separado y súmelos, por ejemplo, si $Z_S = 2.21$ y $Z_I = 2.85$, el total fuera de especifica

ción será:

$P_{ZS} + P_{ZI} = 0.0136 + 0.0022 = 0.0158$ en término de porcentaje -
(multiplique por 100), el 1.58% de piezas está fuera de especificación.

Para el ejemplo en estudio:

$$\bar{X} = .8589$$

$$\sigma = .0046$$

$$LSE = .870 \text{ in}$$

$$LIE = .850 \text{ in}$$

Como este proceso tiene tolerancias bilaterales:

$$Z_S = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma} = \frac{.870 - .8589}{.0046} = 2.41$$

$$Z_I = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma} = \frac{.8589 - .850}{.0046} = 1.94$$

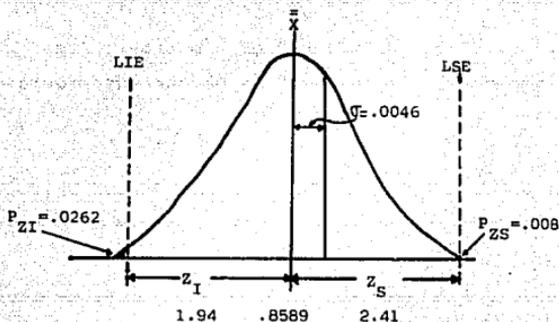
Las fracciones fuera de especificación serán:

$$P_{ZS} = .008 \text{ (valor encontrado en la tabla)}$$

$$P_{ZI} = .0262 \text{ (valor encontrado en la tabla)}$$

$$P_{\text{total}} = .0342$$

en términos de porcentaje 3.42%



La política general establece que un proceso es potencialmente hábil cuando todas las observaciones caen dentro de los límites de $\pm 3\sigma$, esto significa que el 99.73% de las observaciones estarán dentro de especificaciones o de otra manera los valores de Z deberán estar en $Z \leq -3$ para el lado izquierdo de la curva y $Z \geq 3$ para el derecho.

Otros clientes establecen una política más estricta en la definición de potencial del proceso, pues requiere que las observaciones dentro de especificaciones se obtengan dentro de los límites $\pm 4\sigma$, es decir, el 99.99% de las observaciones deberán estar dentro de especificaciones o de otra manera los valores de Z deberán ser $Z \leq -4$ para el lado izquierdo de la curva y $Z \geq 4$ para el derecho.

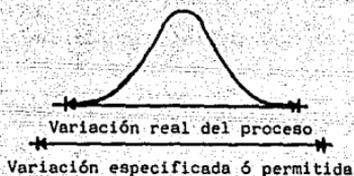
Este proceso no es potencialmente hábil ni para $\pm 3\sigma$, ya que sólo el $100\% - 3.42\% = 96.58\%$ se encuentra dentro de especificaciones.

Otra forma de evaluar la habilidad en los procesos es a través de los parámetros C_p y C_{pk} .

El parámetro C_p muestra la habilidad que tiene el proceso para cumplir con las especificaciones del diseño.

El parámetro C_{pk} muestra la habilidad real obtenida del proceso.

El parámetro C_p está definido como la comparación entre la variación real del proceso y la variación permitida por especificación.



Así entonces la habilidad potencial del proceso queda definida como:

$$C_p = \frac{\text{Variación Especificada o Permitida}}{\text{Variación Real del Proceso}}$$

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Nota:

Cuando sea tolerancia unilateral $C_p = \frac{LE}{3\sigma}$

Donde:

LSE = Límite Superior Especificado

LIE = Límite Inferior Especificado

Así un valor de $C_p \geq 1.00$ para $\pm 3\sigma$ y $C_p \geq 1.33$ para $\pm 4\sigma$ son los requerimientos mínimos para decir que un proceso es potencialmente hábil.

Cualquier valor menor que 1 para $\pm 3\sigma$ ó 1.33 para $\pm 4\sigma$ de índice C_p implica que el proceso no es potencialmente hábil.

Es deseable conocer cuál es el potencial de habilidad del proceso, pero también es necesario evaluar la habilidad real obtenida del proceso lo cual es posible a través del parámetro C_{pk} y puede calcularse de la siguiente manera:

A través del parámetro Z definido en la sección anterior

$$C_{pk} = \frac{Z_{\min}}{3}$$

Para considerar que un proceso es realmente hábil, debemos tener como mínimo $C_{pk} \geq 1.00$ para $\pm 3\sigma$ y $C_{pk} \geq 1.33$ para $\pm 4\sigma$

Así, para el ejemplo que veníamos manejando:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{.870 - .850}{6(.0046)} = .7246$$

$C_p = 0.7246$ No es mayor que 1, por lo que el proceso no es potencialmente hábil.

Por lo tanto:

$$C_{pk} = \frac{Z_{\min}}{3}$$

$$Z_S = 2.41 \quad Z_I = -1.94$$

Por lo tanto $Z_{\min} = -1.94$

$$C_{pk} = \frac{-1.94}{3} = .647$$

Como $C_{pk} = .647$ No es mayor que 1, por lo tanto este proceso no es realmente hábil, para $\pm 3\sigma$ y mucho menos para $\pm 4\sigma$

2.1.3.3. Evalúe la Habilidad del proceso.

En este punto el proceso está bajo control estadístico y su habilidad ha sido calculada, el próximo paso es evaluar la habilidad del proceso y decidir si es aceptable o no.

Es necesario recordar que el objetivo fundamental de nuestras acciones es el constante mejoramiento en la habilidad del proceso durante su desarrollo; pero se deben establecer las prioridades para dar atención al proceso. Esta es una decisión que generalmente implica repercusiones económicas, sin embargo, las circunstancias varían de un caso a otro, dependiendo de la naturaleza del proceso en particular y de la habilidad de otros procesos que también deberán ser sometidos a una acción de mejoramiento inmediato.

Mientras cada una de estas decisiones es resuelta individualmente, es útil usar pautas más amplias para establecer prioridades y facilitar la consistencia de los esfuerzos para el mejoramiento.

Por ejemplo, se especifica que para estudios del Potencial del proceso que afecte las características significativas del producto deberán cumplir con una habilidad de $\pm 4\sigma$ (99.99%) y para procesos establece $\pm 3\sigma$ (99.73%); esto está dirigido a asegurar un nivel mínimo de rendimiento que sea consistente con las características del producto y las fuentes de manufactura.

Cuando existe un criterio de habilidad, la regla para decidir se simplifica; los procesos que fallan en cumplir con el criterio requieren de una acción inmediata. En estas situaciones, existe un grupo limitado de opciones disponibles:

- Seleccionar el producto y desechar o reparar cualquier pieza - que no cumpla con las especificaciones (una propuesta costosa y no confiable que tolera un derroche continuo), o
- Requerir que las tolerancias de las especificaciones sean alteradas y sean consistentes con la habilidad del proceso actual (una acción administrativa que no mejorará directamente el producto y que sería aprobada solamente si las características -- del diseño no estuvieran comprometidas), o
- Mejorar la habilidad del proceso mediante la reducción de la - variación de las causas comunes.

2.1.3.4. Corrija la Habilidad del Proceso.

A partir del momento en que las causas especiales que afectan el control del proceso han sido eliminadas (es conveniente recordar que ésto es necesario para mantener el proceso en control estadístico) los problemas que hacen que la habilidad del mismo sea inaceptable son generalmente debido a causas comunes por fallas del sistema. Las acciones deben ser dirigidas hacia los factores del proceso que generan su variabilidad, tales como la habilidad -- inherente de la máquina, consistencia en la calidad de los materiales utilizados, los métodos básicos de operación del proceso o las condiciones ambientales de trabajo. Como regla general, la - falta de habilidad de un proceso por causas relacionadas con los sistemas van más allá de las posibilidades de corrección por parte de los operarios o supervisores. Frecuentemente requieren la ayuda del grupo gerencial para efectuar los cambios necesarios en la aprobación del recurso y proveer de la coordinación necesaria para mejorar la habilidad. Los intentos para corregir las fallas del sistema con acciones locales independientes no tendrán éxito.

2.1.3.5. Grafique y analice el Proceso Modificado.

Una vez tomadas las acciones correctivas en el sistema, sus efectos deben hacerse visibles en las gráficas de control especialmente en la reducción de los valores de los rangos. Las gráficas en este caso son una forma de verificar la efectividad de las acciones tomadas.

En la medida en que se implementen cambios en el proceso, debe -- realizarse un seguimiento cuidadoso a través de las gráficas de control. El período de cambio puede generar nuevos problemas potenciales en otras operaciones que pueden encubrir el efecto real del cambio del sistema.

2.2. GRÁFICAS DE CONTROL (\bar{X} -S) MEDIAS Y DESVIACIONES ESTANDAR.

Las gráficas \bar{X} -S al igual que las gráficas \bar{X} -R se desarrollan a partir de los datos que se obtienen en un proceso de producción. Como vimos en la sección anterior las gráficas de rangos se utilizan como un indicador de la variación de un proceso, debido a que el rango se calcula fácilmente y es relativamente eficiente para tamaños de muestra pequeños (especialmente abajo de 8). La desviación estándar de una muestra "S" es un indicador más preciso de la variabilidad del proceso, especialmente con tamaños de muestra grandes. Sin embargo es más complejo de calcular, y es menos sensitivo para detectar causas especiales de variación ocasionadas únicamente por un valor individual en un subgrupo (por ser muy diferente a los demás). Normalmente las gráficas "S" son utilizadas en lugar de las gráficas R cuando:

- Los datos son registrados y/o graficados por computadora, de manera que se establezca una rutina de calculo para "S".
- Se disponga de una calculadora de bolsillo para calcular rápidamente "S" de acuerdo a una rutina sin tener que hacer demasiados cálculos.
- Se utilizan tamaños de muestra grandes y se requiere de una mayor exactitud en la medición de la variación.

Los detalles de las instrucciones para las gráficas \bar{X} -S son muy similares a los de las gráficas \bar{X} -R; las excepciones se dan a continuación:

2.2.1. Recolección de datos.

- Si los datos son voluminosos, éstos son frecuentemente registrados en una hoja de datos por separado, y cada uno de los subgrupos \bar{X} -S aparecen graficados en la carta \bar{X} -S.

- Calcule la desviación estándar (S) de cada subgrupo, utilizando las siguientes fórmulas:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

o

$$s = \sqrt{\frac{\sum X_i^2 - n\bar{X}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2) - n\bar{X}^2}{n-1}}$$

donde X_i , \bar{X} , y n representan los valores individuales de los subgrupos, la media y el tamaño de los subgrupos, respectivamente.

- El espacio de la escala para la gráfica "S" debe ser el mismo que el de su gráfica \bar{X} correspondiente.

2.2.2. Calcule los límites de control (el procedimiento es el mismo que el utilizado en las gráficas \bar{X} -R). Las excepciones se dan a continuación.

- Calcule los límites de control superior e inferior para las desviaciones estándar y los promedios (LCS_s , LCI_s , $LCS_{\bar{X}}$, $LCI_{\bar{X}}$):

$$LCS_s = B_4 \bar{s}$$

$$LCI_s = B_3 \bar{s}$$

$$LCS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{s}$$

$$LCI_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{s}$$

En donde \bar{s} es la media de las desviaciones estándar de las muestras de cada subgrupo individual, y B_4 , B_3 y A_3 son constantes que

varían de acuerdo al tamaño de la muestra. A continuación se da una tabla con valores de las constantes para tamaños de muestra de 2 a 10.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B ₄	3.27	2.57	2.27	2.09	1.97	1.88	1.82	1.76	1.72
B ₃	*	*	*	*	.03	.12	.19	.24	.28
A ₃	2.66	1.95	1.63	1.43	1.29	1.18	1.10	1.03	.98

*No hay límite de control inferior para desviaciones estándar: -- cuando el tamaño de muestra es menor que 6.

2.2.3. Interpretación para el control del proceso (es igual a la interpretación en las gráficas \bar{X} -R).

2.2.4. Interpretación para la habilidad del proceso (es igual que para las gráficas \bar{X} - R); las excepciones se dan a continuación.

- Estime la desviación estándar del proceso:

$$\sigma = \bar{s}/c_4$$

En donde \bar{s} es la media de las desviaciones estándar de las muestras de cada subgrupo individual (para periodos con la desviación estándar bajo control), y c_4 es una constante que varía dependiendo del tamaño de la muestra. En la siguiente tabla se muestran los valores de la constante para tamaños de muestra de 2 a 10:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c ₄	.798	.886	.921	.940	.952	.959	.965	.969	.973

- Esta estimación de $\bar{\sigma}$: puede utilizarse directamente para eva--

luar la habilidad del proceso, siempre y cuando las medias y las desviaciones estándar estén bajo control estadístico. El procedimiento es el mismo al utilizado en las gráficas \bar{X} -R.

CEP

GRAFICA DE CONTROL \bar{x} -S

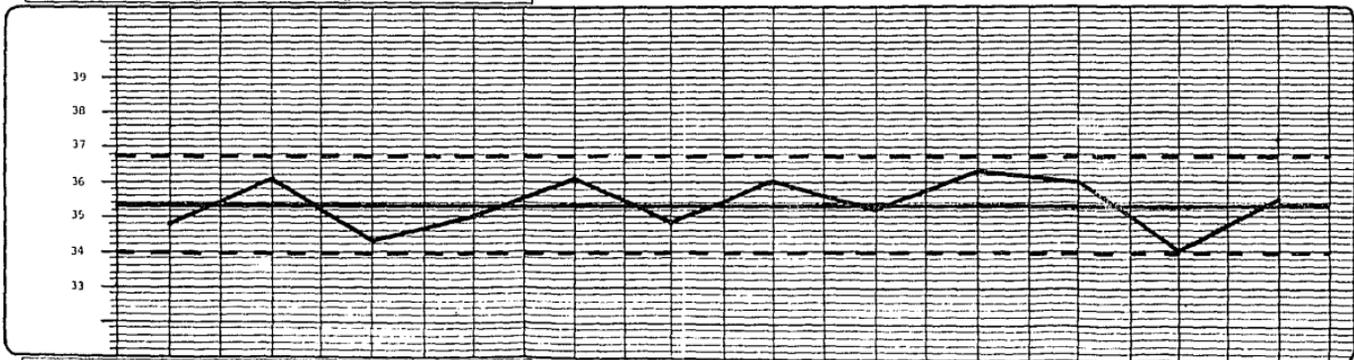
-CONTROL DE CALIDAD-

DEPARTAMENTO:	HORARIOS	MAQ. N°	24	NUMERO DE PARTE:	93411022	OP. N°:	02-J	CARACTERISTICA CHECADA:	DUREZA	TOLERANCIA:	C33-C39 ROCKWELL	ELABORO:
				NOMBRE PARTE:	TORNILLO DE GRADO 8			NOMBRE OPERACION:		TRATAMIENTO TERMICO		

FECHA	20-Agosto-86		21-Agosto-86		22-Agosto-86		23-Agosto-86		24-Agosto-86		25-Agosto-86		26-Agosto-86		27-Agosto-86		28-Agosto-86		29-Agosto-86		30-Agosto-86		31-Agosto-86	
HORA	8:00		8:00		8:00		8:00		8:00		8:00		8:00		8:00		8:00		8:00		8:00		8:00	
N°	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12	
1/2	34	34	38	38	35	35	37	34	36	35	35	34	36	37	35	33	34	37	38	39	34	35	34	35
3/4	34	36	34	37	34	33	35	36	37	36	34	35	34	38	36	36	36	36	36	35	33	32	36	25
5/6	35	35	37	34	34	34	34	33	35	36	36	36	38	39	37	34	38	39	33	34	35	35	38	34
7/8	35	35	36	33	33	34	33	35	36	36	35	37	34	33	35	35	33	37	35	37	33	34	37	33
9/10	34	36	36	38	36	35	35	38	37	37	33	33	35	36	35	36	35	38	37	36	33	35	36	37
SUMA	348		361		343		390		361		348		360		352		363		360		340		355	
PROMEDIO \bar{x}	34.8		36.1		34.3		39.0		36.1		34.8		36.0		35.2		36.3		36.0		34.0		35.5	
S	0.79		1.85		0.95		1.63		0.74		1.32		2.00		1.13		1.89		1.82		0.94		1.58	

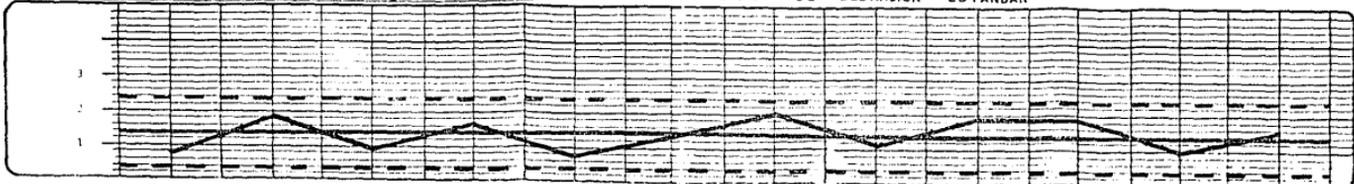
$\bar{x} = 35.342$ $LCS = 36.702$ $LCL = 33.982$

GRAFICA DE PROMEDIOS \bar{x}



$S = 1.387$ $LCS = 2.386$ $LCL = 0.388$

GRAFICA DE DESVIACION ESTANDAR



2.3. GRAFICAS DE CONTROL (\bar{X} -R) MEDIANAS Y RANGOS.

Las gráficas de medianas son otra técnica alternativa con las \bar{X} -R para control de procesos con datos medidos, estas proporcionan conclusiones similares y tienen varias ventajas específicas:

- * Las gráficas de medianas son fáciles de usar y no requieren cálculos día con día.

Estas pueden incrementar o iniciar la aceptación a nivel planta (operario) del uso de las gráficas de control.

- * Dado que los valores individuales (al igual que las medianas) son graficados, la gráfica de medianas muestra la dispersión del proceso y ofrece un panorama continuo de las variaciones del proceso.
- * Dado que una misma gráfica muestra tanto la mediana como la dispersión, ésta puede ser usada para comparar los comportamientos de diferentes procesos o del mismo en etapas sucesivas:

Las instrucciones para el uso de las gráficas de medianas son similares a las de las gráficas \bar{X} - R excepto por:

2.3.1. OBTENCION DE DATOS.

Las excepciones se muestran a continuación:

- * Generalmente las gráficas de medianas se emplean con un tamaño de muestra de subgrupos de 10 ó menos. Los tamaños de muestra nones son más convenientes.

- * Establezca la escala de manera que: a) incluya el límite superior especificado, o b) que incluya de 1 1/2 a 2 veces la diferencia entre el valor mayor y el menor de las lecturas individuales. El calibrador usado deberá dividir la tolerancia del producto en al menos 20 divisiones y, las escalas de la gráfica deben de ser congruentes con el calibrador.
- * Grafique las mediciones individuales para cada subgrupo en líneas verticales. Circule la mediana de cada subgrupo (número central; si el tamaño de muestra es par, la mediana será la media de los 2 puntos centrales).

Como ayuda para la interpretación de tendencias una las medianas de los subgrupos con una línea sólida.

- * Registre la mediana de cada subgrupo (\bar{X}) y el rango (R) en la tabla de datos.

2.3.2. Cálculo de los límites de control.

Las excepciones con las gráficas \bar{X} -R se muestran a continuación:

- * Encuentre el promedio de las medianas de los subgrupos y dibújelo como la línea central en la gráfica. Regístrelo como $\bar{\bar{X}}$.
- * Encuentre el promedio de los rangos; regístrelo como \bar{R} .
- * Calcule los límites de control superior e inferior para rangos y medianas (LSC_R , LIC_R , $LCS_{\bar{X}}$ Y $LCL_{\bar{X}}$).

$$LCS_R = D_4\bar{R} \quad LCS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_4\bar{R}$$

$$LCL_R = D_3\bar{R} \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_4\bar{R}$$

Donde: D_4 , D_3 y A_4 son constantes que varían de acuerdo a los tamaños de muestra. Los valores para los tamaños de muestra de 2 a 10 se muestran en la siguiente tabla:

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	*	*	*	*	*	0.08	0.14	0.18	0.22
A_4	1.88	1.19	0.80	0.69	0.55	0.51	0.43	0.41	0.36

* No hay límite inferior de control para rangos en tamaños de muestra menores a 7.

• Grafique los límites de control para las medianas y para los rangos en la gráfica.

2.3.3. Interpretación del Control del Proceso.

Las excepciones se muestran a continuación:

- Compare el LCS_R y el LCI_R con cada rango calculado. Alternativamente marque el filo de una tarjeta cualquiera con los límites de control para R y compare estas marcas con la distancia entre el valor mayor y menor en cada subgrupo de la gráfica \bar{x} . Enmarque aquellos subgrupos con rangos excesivos.
- Marque cualquier mediana de subgrupos que esté fuera de los límites de control de medianas y observe la dispersión de medianas dentro de los límites de control (2/3 de los puntos dentro del tercio medio de los límites) o la existencia de patrones o tendencias.
- Tome acciones correctivas para las causas especiales que afecten.

ten a los rangos o medianas.

2.3.4. Interpretación de la Habilidad del Proceso.

Las excepciones se muestran a continuación:

- Estime la desviación estándar del proceso.

$$\sigma = \bar{R}/d_2$$

Donde: \bar{R} es el promedio de los rangos de las muestras (para períodos con los rangos bajo control) y d_2 es una constante que varía de acuerdo al tamaño de la muestra mostrada abajo para tamaños de muestra de 2 a 10.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

Habiendo calculado σ proceda al igual que en las gráficas \bar{X} -R.

CEP

GRAFICA DE CONTROL

-CONTROL DE CALIDAD-

DEPARTAMENTO: ENSAMBLE

MAD. Nº 10

NÚMERO DE PARTE: 12-349

OP. Nº: 12

CARACTERÍSTICA CHECADA: DESBALANCEO

GRAFICA Nº:

NOMBRE PARTE: CONJUNTO

NOMBRE OPERACION: BALANCEO DENTRO DE ESPECIFICACIONES

TOLERANCIA: .35 oz-in Max

ELABORADO:

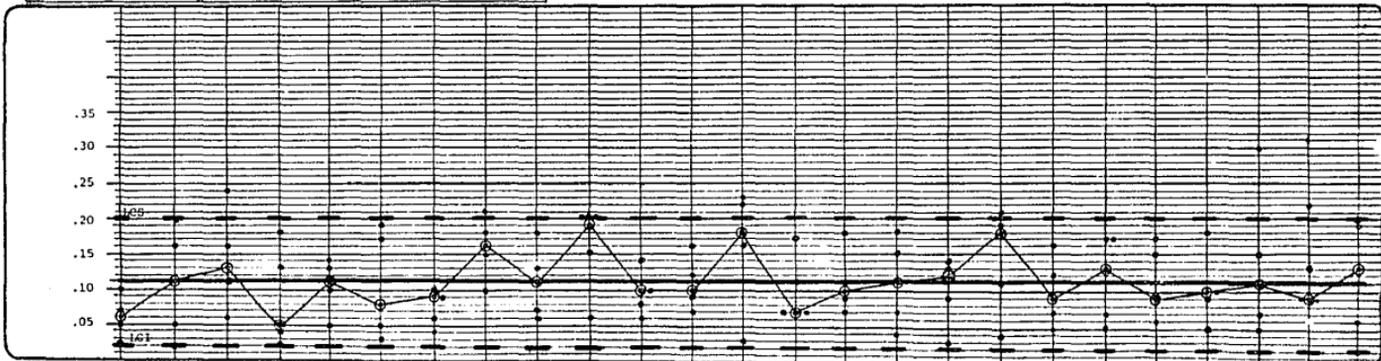
FECHA	S 5	S 5	E 5	P 5	T 5	I 5	E 5	M 5	B 5	R 5	E 5	S 5	S 5	S 5	S 5	E 6	H 6	G 6	G 6	G 6	M 6	B 6	B 6	R 6	E 6	6	6	6	6	
HORA	7:00	8:00	9:00	10:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	7:00	8:00	9:00	10:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00					
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25					
1	.07	.20	.24	.05	.11	.08	.10	.18	.18	.15	.06	.12	.23	.07	.07	.04	.09	.11	.09	.07	.17	.18	.05	.13	.20					
2	.05	.16	.06	.13	.05	.17	.09	.16	.13	.20	.10	.07	.03	.17	.18	.18	.12	.18	.12	.05	.00	.09	.15	.09	.13					
3	.10	.05	.16	.18	.13	.19	.06	.21	.07	.20	.08	.10	.16	.07	.11	.15	.03	.21	.16	.17	.09	.10	.07	.22	.19					
4	.06	.02	.13	.02	.10	.05	.04	.15	.06	.19	.14	.09	.18	.07	.09	.11	.14	.19	.05	.13	.06	.10	.30	.09	.06					
5	.02	.11	.11	.04	.14	.03	.09	.10	.11	.06	.10	.16	.22	.11	.10	.07	.13	.04	.07	.17	.15	.05	.11	.08	.02					
MEDIANA \bar{X}	.06	.11	.13	.05	.11	.08	.09	.16	.11	.19	.10	.10	.18	.07	.10	.11	.12	.18	.09	.13	.09	.10	.11	.09	.13					
RANGO R	.08	.18	.18	.16	.09	.16	.06	.11	.12	.14	.08	.09	.20	.10	.11	.14	.11	.17	.11	.12	.17	.13	.25	.13	.18					
NOTAS																														

$\bar{X} = .11$

$LCS = .20$

$LCI = .02$

GRAFICA DE MEDIANAS \bar{X}



$R = .13$

$LCS = .274$

GRAFICA DE RANGOS \bar{R}



2.4. GRAFICAS DE CONTROL (X-R) LECTURAS INDIVIDUALES.

En algunos casos, es necesario que los controles del proceso estén basados en lecturas individuales, en vez de un subgrupo. Esto sucedería cuando las mediciones son muy costosas y difíciles de ejecutar (ej. pruebas destructivas y dimensiones muy grandes), ó cuando la característica a medir en cualquier punto en el tiempo es relativamente homogéneo (ej. el PH de una solución química). Es decir las gráficas por individuos deben utilizarse cuando sea conveniente ejecutar mediciones con una frecuencia baja.

En el análisis de las gráficas de control por lecturas individuales se deben de tomar en cuenta las siguientes precauciones:

- Las gráficas por lecturas individuales no son tan sensibles a los cambios en los procesos como cualquier otra de las cartas por variables mostradas anteriormente. Esto quiere decir que, no detectan la dispersión entre grupos de piezas, pero en cambio si denotan una mayor variación al agrupar piezas que se encuentran más distantes en el tiempo.
- Las gráficas por lecturas individuales deben ser interpretadas cuidadosamente, sobre todo cuando la cantidad de piezas que se han medido es reducida.
- Las gráficas por lecturas individuales no segregan la repetibilidad pieza a pieza del proceso. Por esta razón, en muchas aplicaciones es más conveniente usar una gráfica \bar{X} -R en tamaños de muestra para subgrupos de 2 a 4, aunque esto requiera de un período mayor entre subgrupos.
- Debido a que solamente existe una lectura por subgrupo, los valores de \bar{x} y σ pueden tener una variabilidad substancial.

Los detalles de instrucción de llenado para las gráficas por lecturas individuales, son de alguna forma similares a aquellas para las gráficas \bar{X} y R; las excepciones se muestran a continuación:

2.4.1. Obtención de datos.

- Las lecturas individuales (X) son registrados de izquierda a derecha en la gráfica.
- Cálculo del rango móvil (R). En este renglón se registran los rangos entre grupos de individuos. Para llevar a efecto este registro, se establece previamente cada cuántas piezas se tomará el rango. Así, por ejemplo, si los registros de los individuos fueron los siguientes:

lecturas (X) 3 2 4 3 5 3 2 4 3 1 2

y se decidió tomar los rangos cada 2 piezas, los registros de los rangos sucesivos aparecerían de la siguiente forma. Generalmente es conveniente seleccionar los rangos cada dos piezas.

Lecturas (X) 3 2 4 3 5 3 2 4 3 1 2

Rango Móvil (R) 1 2 1 2 2 1 2 1 2 1

Así el primer rango sucesivo registrado corresponde a los dos primeros individuos, el segundo rango corresponde a los individuos segundo y tercero; el tercer rango a los individuos tercero y cuarto, etc. En este caso habrá un rango menos que el número de lecturas individuales (de 25 lecturas tomadas se generarán 24 rangos).

Observe que aunque las mediciones son muestreadas individualmente, el tamaño de la muestra es igual al intervalo que se decidió tomar para calcular los rangos móviles (cada dos, cada tres, cada -

cuatro, etc.) Así en el ejemplo previo el tamaño de la muestra es de 2.

2.4.2. Calcule los límites de control (los pasos son iguales a los enunciados en las gráficas \bar{X} -R), las excepciones se dan a continuación:

- Calcule y grafique la media del proceso (\bar{X}). A diferencia de la carta \bar{X} -R, en la gráfica por individuos se identifica a la media poblacional como \bar{X} , para mayor facilidad en el manejo de fórmulas.
- Calcule y grafique el rango móvil promedio (\bar{R})
- Calcule los límites de control

$$LCS_X = \bar{X} + A_5 \bar{R}$$

$$LCS_R = D_4 \bar{R}$$

$$LCI_X = \bar{X} - A_5 \bar{R}$$

$$LCI_R = D_3 \bar{R}$$

En donde \bar{R} es el rango móvil promedio y \bar{X} es la media del proceso.

Las constantes A_5 , D_4 y D_3 varían según el tamaño de la muestra, a continuación se presentan los valores de dichas constantes para tamaños de muestra de 2 a 10.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_5	2.66	1.77	1.46	1.29	1.18	1.11	1.05	1.01	.97
D_4	3.27	2.57	2.28	2.11	2	1.92	1.86	1.82	1.78
D_3	-	-	-	-	-	.08	.14	.18	.22
d_2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.7	2.85	2.97	3.08

NOTA: Las constantes A_5 para las gráficas por individuos, son diferentes a las constantes A_2 empleadas en las cartas \bar{X} -R. Las constantes D_4 y D_3 coinciden con las empleadas para cartas de medias y rangos (\bar{X} -R).

2.4.3. Interpretación del control del proceso (se interpreta de igual forma que en las gráficas \bar{X} -R, excepción hecha de la observación previa respecto al cuidado que se debe tener), las excepciones se dan a continuación:

- Revise la gráfica de rangos para los puntos que estén fuera de los límites de control. Revise que los rangos móviles estén correlacionados, a partir del punto en común que se tenga. Debido a lo anterior se debe tener precaución en la interpretación de las tendencias.

- Las gráficas de lecturas individuales deben ser analizadas tomando en cuenta los puntos fuera de los límites de control, la dispersión de puntos dentro de los límites de control y sus tendencias.

2.4.4. Interpretación de la habilidad del proceso (se interpreta de igual forma que en las gráficas \bar{X} -R).

La desviación estándar del proceso se estima al igual que en las gráficas \bar{X} -R.

$$\sigma = \bar{R}/d_2$$

En donde: \bar{R} es el rango móvil promedio y d_2 es una constante que varía acorde al tamaño de la muestra.

CEP

GRAFICA DE CONTROL

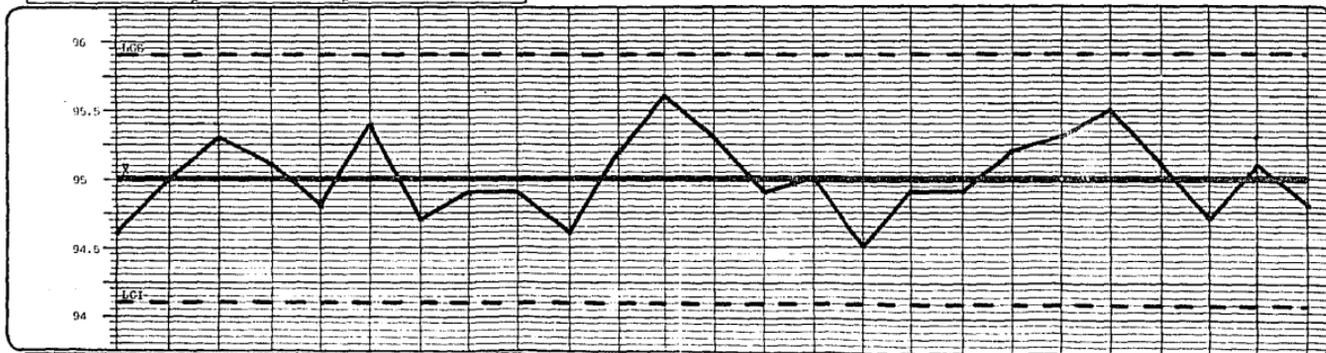
-CONTROL DE CALIDAD-

DEPARTAMENTO: MANUFACTURA	MAG. Nº 55	NÚMERO DE PARTE: 93470089	OP. Nº: 3	CARACTERÍSTICA CHECADA: LONGITUD
NOMBRE PARTE: PERFIL TUBULAR		NOMBRE OPERACION: CORTE DE LONGITUD		TOLERANCIA: 95 ± 1 in
				ELABORÓ:

FECHA	F 2	E 2	B 3	R 3	E 4	R 4	O 5	5	6	6	9	9	F 10	E 10	B 11	R 12	E 12	R 13	O 13	16	16	17	17	18	18
HORA	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00	12:00	7:00
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	94.6	95.0	95.3	95.1	94.8	95.4	94.7	94.9	94.9	94.6	95.2	95.6	95.3	94.9	95.0	94.6	94.9	94.9	95.2	95.3	95.5	95.1	94.7	95.1	94.8
MOVIL R	.4	.3	.2	.3	.6	.7	.2	0.0	.3	.6	.4	.3	.4	.1	.5	.4	0.0	.3	.1	.2	.4	.4	.4	.3	
NOTAS																									

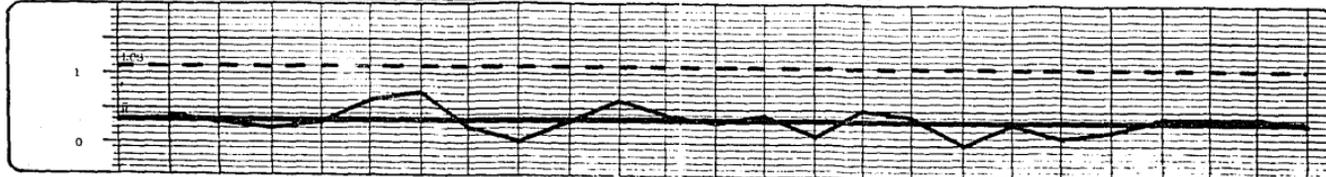
$\bar{X} = 95.0$ $LCS = 95.9$ $LCI = 94.1$

GRAFICA DE LECTURAS INDIVIDUALES



$R = .32$ $LCS_R = 1.1$

GRAFICA DE RANGOS MOVILES R_w



2.5. GRAFICAS DE CONTROL POR ATRIBUTOS.

A pesar de que las gráficas de control por variables (\bar{X} -R) son las más utilizadas, se han desarrollado versiones para el caso de atributos. Los datos por atributos tienen sólo dos posibilidades (pasa/no pasa, OK/NO OK, presente/ausente) pero pueden ser contados para registro y análisis. Como ejemplo se puede mencionar la prueba con escantillón pasa/no pasa, la presencia de una etiqueta requerida, la instalación de los tornillos especificados, la presencia de salpicaduras de soldadura o la continuidad de un circuito eléctrico. Las gráficas de control por atributos son importantes por las siguientes razones:

- A) Las operaciones medidas por atributos existen en cualquier proceso de manufactura o ensamble, por lo que estas técnicas de análisis, son útiles en muchas aplicaciones. La dificultad básica consiste en definir claramente la diferencia entre pasa/no pasa.
- B) Los datos por atributos están disponibles en múltiples situaciones siempre que exista inspección, listados de reparaciones, material seleccionado o rechazado, etc.
- C) La obtención de información para las cartas por atributos es generalmente barata; rápida de obtener y con medios simples (pasa/no pasa) no necesita de personal especializado.
- D) Muchos de los datos presentados a la gerencia en forma de resúmenes es del tipo de atributos y se puede beneficiar con el análisis de gráficas de control. Ejemplos: Inventarios del departamento en cuanto al número de unidades "OK", índices de desecho, auditorías de calidad y rechazo de materiales.

E) Al introducir las gráficas de control en las plantas, es importante dar prioridad a las áreas con problemas y utilizarlas donde más se necesiten. El uso de las gráficas de control por atributos en las áreas claves de control de calidad indicaría cuáles son los procesos que requieren un análisis más detallado incluyendo la posibilidad de utilizar gráficas de control por variables.

Sin embargo las gráficas por atributos son un medio para detectar las tendencias en los niveles de rechazo de un producto, que sirven como auxiliares en la detección de algún cambio ocurrido en él. Por lo que cuando los niveles de rechazo llegan a cero, dejan de proporcionar información que permita prevenir que vuelvan a aparecer.

Los criterios de aceptación al utilizar gráficas de control por atributos deben estar claramente definidos y el procedimiento -- consiste en definir operacionalmente lo que se desea medir. Una definición operacional consiste en:

- 1º- Un criterio que se aplica a un objeto o a un grupo.
- 2º- Una prueba del objeto o del grupo.
- 3º- Una decisión, si o no: el objeto o el grupo alcanza o no el criterio.

Si por ejemplo, queremos medir a través de una gráfica por atributos si la superficie de los vehículos está o no libre de suciedad, necesitamos definir claramente qué es suciedad y requeriremos probar si los inspectores están de acuerdo o no con esta definición.

Una vez que está definida operacionalmente la especificación, - cuando se está midiendo si la superficie de los vehículos está o no libre de suciedad, podrá decirse fácilmente si se alcanza o no el criterio en la superficie revisada.

Las próximas cuatro subsecciones cubren los fundamentos de las principales formas de gráficas de control por atributos:

- La gráfica p para proporción de unidades defectuosas en la muestra (para tamaños de muestra no necesariamente constante).
- La gráfica np para cantidad de unidades defectuosas en la muestra (para tamaños de muestra constante).
- La gráfica c para la cantidad de defectos en la muestra (para tamaños de muestra constante).
- La gráfica u para proporción de defectos en la muestra (para tamaños de muestra no necesariamente constante).

La presentación de la gráfica p aquí expuesta, es mucho más amplia que las otras, dado que se introducen los conceptos principales. Las restantes subsecciones se concentran en los factores que las diferencian de la primera.

2.3.1. Gráfica p para proporción de unidades defectuosas en la muestra.

La gráfica p mide la proporción defectuosa o sea el porcentaje de piezas defectuosas en el proceso. Se puede basar por ejemplo en muestras de 75 piezas, tomadas dos veces por día; 100% de la producción durante una hora, etc. Se basa en la evaluación de una característica. Es importante que cada componente o conjunto

verificado se registre como aceptable o defectuoso (aunque una - pieza tenga varios defectos específicos se registrará una sola - vez como defectuoso). A continuación se indican los pasos básicos para la construcción y aplicación de la gráfica p.

2.5.1.1. Obtención de datos.

2.5.1.1.1. Seleccione la frecuencia, el tamaño de la muestra y el número de subgrupos.

Es importante establecer la frecuencia de los subgrupos (cada hora, diaria, semanal) y la cantidad a controlar (del 100% a una muestra). Los intervalos cortos entre tomas de muestras -- permitan una rápida retroalimentación al proceso ante la presencia de problemas. Los tamaños de muestras grandes permiten evaluaciones más estables del desarrollo del proceso y son más sensibles a cambios en el promedio del mismo. Es conveniente - que los tamaños de muestra sean constantes o en su defecto con una variación no mayor a $\pm 25\%$ sobre un valor preestablecido. En lo referente al número de subgrupos, el periodo de recolección de datos debe ser con una frecuencia tal que puedan capturar todas las posibles fuentes de variación que afectan al proceso. Por lo que debe incluir de 22 a más subgrupos para tener una buena prueba de su estabilidad.

2.5.1.1.2. Calcule la proporción defectuosa (p) del subgrupo.

Registre la siguiente información para cada subgrupo:

El número de partes inspeccionadas (n).

El número de partes defectuosas (np).

A partir de estos datos, calcule la proporción defectuosa definida de la forma siguiente: $p = \frac{np}{n}$

Estos datos deben registrarse en un formato específico para al menos 10 y preferiblemente 22 o más subgrupos, como base de un análisis inicial.

2.5.1.1.3. Seleccione las escalas para las gráficas de control.

La proporción o porcentaje defectuoso debe indicarse en la escala vertical de la gráfica y los subgrupos (horas, días, etc.) en la escala horizontal. La escala vertical debe extenderse desde cero hasta alrededor de 1 1/2 a 2 veces el valor máximo de la proporción defectuosa medida durante la etapa inicial del estudio.

2.5.1.1.4. Grafique los valores de la proporción defectuosa de los subgrupos.

Grafique los valores de p de cada subgrupo. Es útil unir los puntos graficados con líneas para visualizar mejor los patrones o tendencias.

A medida que grafique los puntos, analice los brevemente para evaluar si son razonables. Si hay algún punto substancialmente más alto o más bajo que los otros, confirme que los cálculos sean correctos.

2.5.1.2. Cálculo de los límites de control.

2.5.1.2.1. Calcule la proporción defectuosa promedio del proceso (\bar{p}).

Calcule la proporción defectuosa promedio para los k subgrupos -- del periodo en estudio:

$$\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + np_3 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_k}$$

donde np_1, np_2, \dots son los números de partes defectuosas en las -- muestras y n_1, n_2, \dots son el número de partes inspeccionadas en -- cada subgrupo.

2.5.1.2.2. Calcule los límites de control superior e inferior --- (LCS, LCI).

Los límites de control se establecen a partir del promedio del -- proceso más o menos una tolerancia para la variación promedio es-- perada, en función del tamaño de muestra. Calcule los límites de -- control superior e inferior para los k subgrupos del periodo en -- estudio en base a las formulas siguientes:

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

$$LCI_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{\bar{n}}}$$

donde \bar{n} es el tamaño de muestra promedio.

NOTA: Cuando \bar{p} es pequeño y/o \bar{n} es pequeño, el límite de control -- inferior puede resultar negativo. En estos casos el Límite de Con-- trol Inferior es cero.

2.5.1.2.3. Indique el promedio del proceso y los límites de con-- trol en la gráfica.

- Indique el promedio del proceso (\bar{p}) con una línea horizontal --
continua.
- Indique los límites de control (LCS, LCI) con líneas horizonta--
les discontinuas.

NOTA: El cálculo de los límites de control indicado previamente -
tiene validez cuando los tamaños de muestra son iguales (como el -
caso de un muestreo controlado) o cuando los tamaños de los sub-
grupos no varían en más o menos el 25% con respecto al tamaño de
muestra promedio (típico de condiciones reales de producción bajo
condiciones relativamente estables). Cuando el tamaño del subgru-
po varía más que esa cantidad, podrá ser necesario el cálculo de -
nuevos límites de control para el subgrupo en particular.

El procedimiento para determinar los nuevos límites de control es
el siguiente:

- Determine cuáles son los subgrupos que varían en tamaño en más -
o menos el 25% con respecto al tamaño de muestra promedio.
- Si los puntos graficados para cualquiera de estos subgrupos es-
tán cerca del límite de control establecido, recalculé los lí-
mites precisos para ese/esos subgrupos como sigue:

$$LCS_p \text{ o } LCI_p = \bar{p} \pm 3 \frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$$

donde n es el tamaño de muestra de ese subgrupo en particular.

Si el nuevo límite de control modifica la condición de rechazo o -
aceptación, cambie el límite en la gráfica en caso contrario no -
lo altere.

NOTA: Cualquier procedimiento para el manejo de los límites de control variables será incomodo y llevará a confusión entre la gente que trate de interpretar las gráficas. Es mejor, donde sea posible, estructurar el plan de obtención de datos de manera que puedan usarse tamaños de muestra constantes.

2.5.1.3. Interpretación del control del proceso.

El objetivo fundamental de la interpretación de la carta p consiste en identificar la información relevante que indique cuando el proceso no esta operando en forma consistente. Si está fuera de control, tomar las acciones correspondientes.

2.5.1.3.1. Análisis de la gráfica.

2.5.1.3.1.1. Puntos fuera de los límites de control.

La presencia de uno o más puntos fuera de los límites de control es evidencia de falta de estabilidad en ese o en esos puntos. Dado que la posibilidad de que existan puntos fuera de los límites de control en procesos estables donde sólo se manifieste la variación debido a causas comunes, es muy remota, se presupone que dichos puntos han sido consecuencia de causas especiales. La causa especial puede ser favorable o desfavorable; sin embargo ambas requieren una investigación inmediata. Está es la regla de decisión primaria para tomar acción, con las gráficas de control. Todos los puntos que excedan los límites de control deben ser marcados.

Un punto por encima del límite de control superior (mayor proporción defectuosa) puede ser una indicación de que:

- El límite de control ha sido mal calculado o el punto mal graficado.

- El desarrollo del proceso ha empeorado, ya sea en ese momento o como parte de una tendencia.
- El sistema de medición ha sido modificado (inspector, calibrador etc). Por lo tanto hay errores de medición.

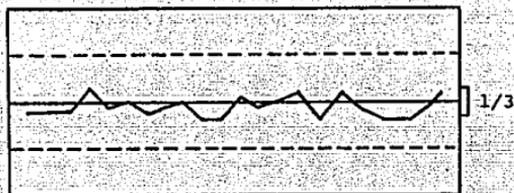
Un punto por debajo del límite de control inferior (menor proporción defectuosa) puede ser una indicación de que:

- El límite de control ha sido mal calculado o el punto mal graficado.
- El desarrollo del proceso ha mejorado (esta condición debe estudiarse con el fin de que las mejoras obtenidas puedan ser incorporadas en forma permanente y estable).
- El sistema de medición ha sido modificado y por lo tanto hay errores de medición.

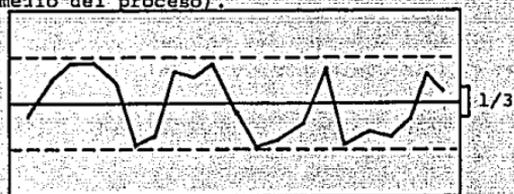
2.5.1.3.1.2. Adhesión a las líneas de control.

Cuando en las gráficas de control los puntos graficados se agrupan junto a la línea central o junto a las líneas de control, hablamos de adhesión.

- Para evaluar y poder decir si hay o no adhesión a la línea central, se procede al igual que en las gráficas \bar{X} -R.
- Para evaluar y poder decir si hay o no adhesión a las líneas de control, proceda al igual que en las gráficas \bar{X} -R.



El promedio muestra adhesión a la línea central (puntos demasiado cerca del promedio del proceso).

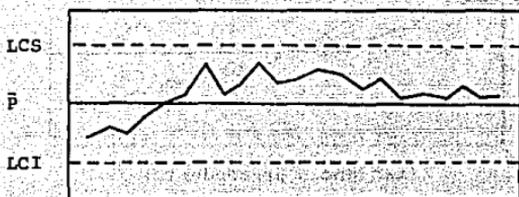


Proceso con adhesión a las líneas de control (la mayoría de los puntos se agrupan en los tercios exteriores)

2.5.1.3.1.3. Series.

Una serie es una sucesión de puntos que indican la iniciación de una tendencia o desplazamiento de el proceso. Para evaluar y poder decir si hay o no series en el proceso, proceda de la siguiente forma:

Cuando 7 o más puntos consecutivos se alinean hacia un lado del promedio, la serie recibe el nombre de corrida.



Proceso fuera de control (larga sucesión de puntos por encima del promedio)

Una corrida por encima del promedio del proceso puede significar:

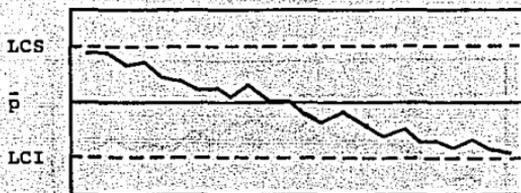
- El desarrollo del proceso ha empeorado y puede aún estar empeorando más.
- El sistema de medición ha sido modificado y por lo tanto hay errores de medición.

Una corrida por debajo del promedio del proceso puede indicar -- que:

- El desarrollo del proceso ha mejorado (esta condición debe estudiarse con el fin de que las mejoras obtenidas puedan ser incorporadas en forma permanente y estable).
- El sistema de medición ha sido modificado.

Si 7 o más puntos consecutivos se presentan con valores crecientes o decrecientes, la serie recibe el nombre de tendencia.

Una tendencia ascendente denota un empeoramiento del proceso y una tendencia descendente denota un mejoramiento del proceso.



(tendencia descendente)

2.5.1.3.2. Identifique y corrija las causas especiales.

Cuando a través del análisis de los datos identifique una condición de falta de control, debe estudiar el proceso para determinar la causa. La acción correctiva deberá ser tal que evite la repetición del problema.

Las investigaciones de las condiciones fuera de control involucran el estudio oportuno en tiempo, de los cambios ocurridos en el proceso (si los hubo), que expliquen la causa de dicha condición.

2.5.1.3.3. Recalcule los límites de control.

Una vez identificadas y corregidas las causas especiales de variación, deben eliminarse todos los puntos fuera de control para los cuales se encontraron las causas, recalcule y grafique el promedio del proceso (\bar{p}) y sus límites de control. Debe confirmar que todos los puntos estén bajo control cuando se les compare con los nuevos límites y repetir la secuencia de identificación, corrección y recálculo si fuera necesario.

Los límites de control, una vez que los datos históricos muestren un desarrollo consistente dentro de dichos límites, se transforman en límites de control de referencia para futuros análisis.

2.5.1.4. Interpretación de la habilidad del proceso.

Una vez corregidos los problemas que afectan al control del proceso (las causas especiales fueron identificadas, analizadas y corregidas para prevenir su repetición) la gráfica de control reflejará la habilidad del proceso.

2.5.1.4.1. Calcule la habilidad del proceso.

Para la gráfica p , la habilidad del proceso se refleja a través del promedio de los subgrupos, calculado en base a todos los puntos que están bajo control. Esto puede ser expresado también como el porcentaje que está dentro de especificaciones $(1-\bar{p})$.

Ejemplo: $\bar{p} = 0.0368 \times 100 = 3.68\%$

$1-\bar{p} = 1 - .0368 = .9632$, en términos de porcentaje 96.32%

Por lo que la habilidad de este proceso es igual a 96.32% es decir es capaz de producir el 96.32% de piezas OK.

Sin embargo este valor (96.32%) no nos dice nada si no lo comparamos contra un valor objetivo o límite.

Un proceso es hábil a $\pm 3\sigma$ si: $(1-\bar{p}) = 99.73\%$ y es hábil a $\pm 4\sigma$, si: $(1-\bar{p}) = 99.996\%$.

Por lo que en este ejemplo, este proceso (96.32% de piezas OK) no es hábil ni a $\pm 3\sigma$ (99.73%).

Para una estimación preliminar de la habilidad del proceso, utilice datos históricos, pero excluya los puntos asociados con causas especiales (puntos fuera de control).

2.5.1.4.2. Evalúe la habilidad del proceso.

- La habilidad del proceso refleja su desarrollo actual y lo que se puede esperar del mismo en la medida en que continúe bajo control y no se produzcan cambios que modifiquen su habilidad. La proporción defectuosa entre períodos variará dentro de los límites de control y a menos que se modifique el proceso o que existan condiciones fuera de control por causas especiales, el promedio permanecerá estable.
- La habilidad del proceso (no los valores individuales de los subgrupos), en un problema determinado, debe ser evaluado en función de lo que esperamos obtener; si tenemos presente que las mejoras que hagamos al proceso deben ser interminables, será necesario realizar nuevos análisis del proceso y tomar las correspondientes acciones correctivas.

2.5.1.4.3. Mejore la habilidad del proceso.

Una vez que el proceso está bajo control estadístico, el nivel promedio de defectos reflejará las causas del sistema que afectan la habilidad del proceso.

Los tipos de análisis llevados a cabo en el diagnóstico de las causas especiales no serán efectivos en el diagnóstico de las fallas del sistema.

2.5.1.4.4. Grafique y analice el proceso modificado.

Una vez adoptadas las acciones correctivas sobre las fallas del sistema, sus efectos deben manifestarse en las gráficas de control; éstas se transforman en un medio para verificar la efectividad de dichas acciones.

Al implementar cambios en el proceso debe hacerse un seguimiento cuidadoso de los datos registrados en la gráfica de control. Los periodos de cambio pueden ser un problema para otras operaciones generando nuevos problemas que pueden encubrir el efecto real -- del cambio en el sistema.

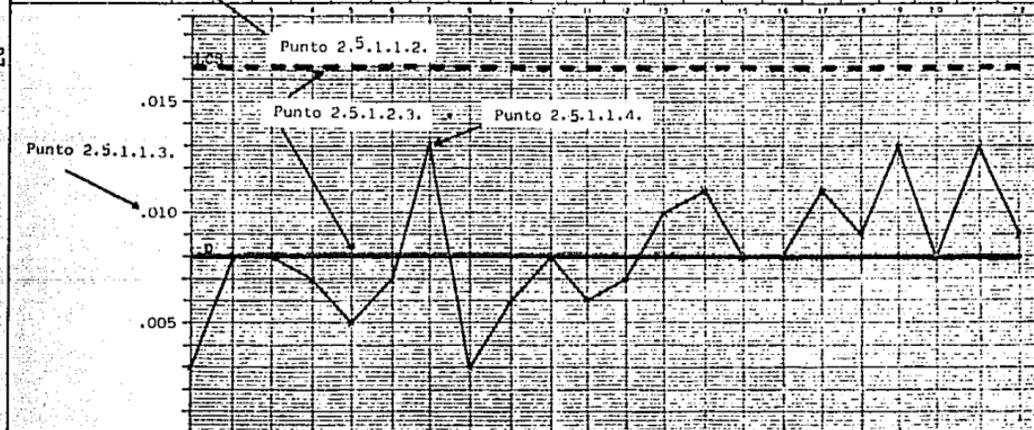
Después de que cualquier causa especial de variación que aparezca durante el periodo de cambio haya sido identificada y corregida, el proceso estará bajo control estadístico con un nuevo promedio (\bar{p}) del proceso. Si este nuevo promedio que refleja un rendimiento controlado es aceptable, será usado como base para los límites de control. Si no fuera aceptable, la investigación y corrección de fallas del sistema continuará.

CARTA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Nombre de la parte: CONJUNTO ALTURA TOTAL No de parte: 0035-7 Corte número: 01 No de operación: 4º
 Nombre y número de la máquina: PRENSA/49 Unidad de medida: MILIMETROS Límites especificados: 50 ± 5mm
 Lic. = 008, 0086, 0166 Lic = NEGATIVO * 0 * Y * 9 * ap * c * w Frecuencia: DIARIO

Lote	25	25	26	26	27	27	28	28	29	29	30	30	31	31	32	32	33	33	34	34	35	35
Tamaño	1/24	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Tamaño	5/116	117/11	8/11	9/110	11/11	12/11	13/11	14/11	15/11	16/11	17/11	18/11	19/11	20/11	21/11	22/11	23/11	24/11	25/11	26/11		
Tamaño de la muestra (n)	800	1000	300	1000	1100	1000	750	780	900	950	1100	900	1000	800	750	950	900	800	1000	1100	1100	750
Número de defectos en la muestra (c)	2	8	11	7	5	7	10	2	5	8	7	6	10	9	6	8	10	7	13	9	14	7
Proporción de unidades defectuosas en la muestra (p)	0.003	0.008	0.008	0.007	0.005	0.007	0.013	0.003	0.006	0.008	0.006	0.007	0.010	0.011	0.008	0.011	0.009	0.013	0.008	0.013	0.009	

97



2.5.2. Gráfica np para cantidad de unidades defectuosas en la muestra.

La gráfica np mide la cantidad de unidades defectuosas en una muestra inspeccionada. La gráfica np es parecida a la p , con la única diferencia de que se registra la cantidad de unidades defectuosas en lugar de su proporción en la muestra. Las gráficas p y np son adecuadas para las mismas situaciones. Pero la gráfica np es más adecuada para los siguientes casos:

- Si la cantidad actual de unidades defectuosas es más significativa o más simple de reportar que la proporción de unidades defectuosas en la muestra.
- Si el tamaño de muestra permanece constante de subgrupo en subgrupo.

Las instrucciones para elaborar la gráfica np son casi iguales a las de la gráfica p , con las siguientes excepciones:

2.5.2.1. Obtención de datos.

- Los tamaños de muestra inspeccionados deben ser iguales y además lo suficientemente grandes para permitir la aparición de unidades defectuosas en cada uno de ellos. En la práctica los tamaños de muestra para gráficas por atributos suelen ser mayores de 50.
- Registre y grafique la cantidad de unidades defectuosas en cada subgrupo (np).

2.5.2.2. Cálculo de los límites de control.

- Calcule el número de unidades defectuosas promedio del proceso ($n\bar{p}$):

$$n\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k}$$

En donde np_1, np_2, \dots son la cantidad de unidades defectuosas en cada uno de los k subgrupos. K es el número de subgrupos.

- Cálculo de los límites de control superior e inferior (LCS_{np} y LCI_{np}).

$$LCS_{np} = n\bar{p} + 3 \sqrt{\frac{n\bar{p}(1-n\bar{p})}{n}}$$

$$LCI_{np} = n\bar{p} - 3 \sqrt{\frac{n\bar{p}(1-n\bar{p})}{n}}$$

Donde n = tamaño de la muestra.

2.5.2.3. Para la interpretación del control del proceso consulte las mismas indicaciones de la gráfica p .

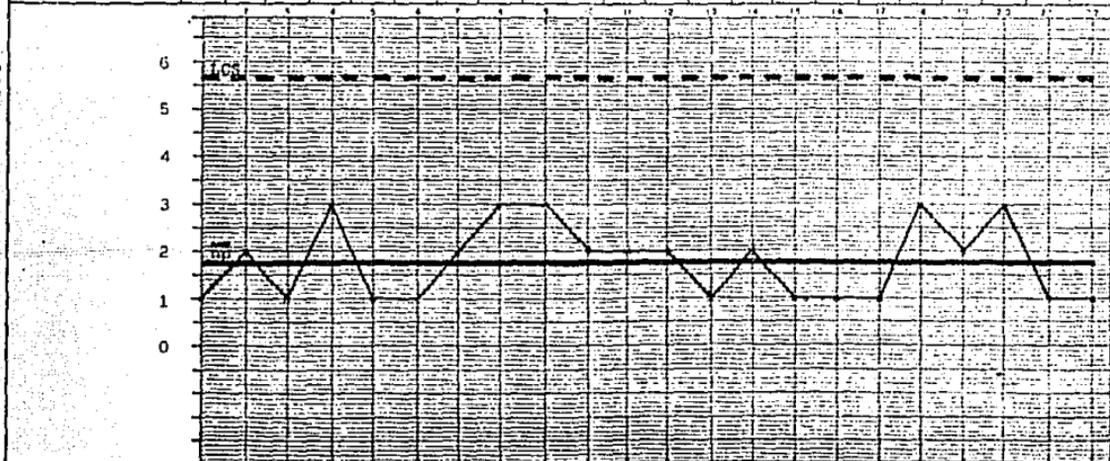
2.5.2.4. Para la interpretación de la habilidad del proceso consulte las mismas indicaciones de la gráfica p .

Para la gráfica np , la habilidad del proceso se refleja a través del promedio de unidades defectuosas ($n\bar{p}$) del proceso, calculado en base a, todos los puntos que están bajo control. Esto puede expresarse también como el promedio de unidades dentro de especificaciones ($\frac{n-n\bar{p}}{n}$).

CARTA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Nombre de la parte CUBIERTA ESTAMPADO DE EMBLEMA No. de parte 9867-XZ Carta número 02 No. de operación 6°
 Número y número de la medida PRENSA/21 Unidad de medida VISUAL Límites especificados SEGUN PATRON
 Lic. # 1.773,3.935.5.708 Lic. # NEGATIVO = 0 X ap c * frecuencia 2 FOR TURNO

Lote	25	25	25	26	26	26	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30	30	30	31	31	31	31
Terc	1°	1°	2°	2°	3°	3°	1°	1°	2°	2°	3°	3°	1°	1°	2°	2°	3°	3°	1°	1°	2°	2°
Faltas	5/II	"	"	"	"	"	6/II	"	"	"	"	"	7/II	"	"	"	"	"	3/II	"	"	"
Defectos																						
Temple en el momento (a)																						
M. F. de cambio	60	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Producción en defectos por muestra (a)																						
Temple en defectos en la muestra (a)																						
Número de unidades defectuosas en la muestra (a)	1	2	1	3	1	1	2	3	3	2	2	2	1	2	1	1	1	3	2	3	1	1
Producción en unidades defectuosas por muestra (a)																						
Temple																						



2.5.3. Gráfica c para la cantidad de defectos en la muestra.

La gráfica c mide la cantidad de defectos (discrepancias) en la inspección de una muestra. A diferencia de la gráfica np que mide la cantidad de unidades defectuosas encontradas en la muestra.

La gráfica c requiere un tamaño de muestra constante del material inspeccionado. Se aplica principalmente en dos tipos de inspección:

- En donde los defectos están diseminados a través de un flujo más o menos continuo del producto (ejem: burbujas en el cristal, áreas con falta de material aislante en un cable, etc), y en donde la cantidad de defectos pueda ser determinado (ejem: defectos por cada $100m^2$ de vinyl).
- En donde los defectos a partir de varias fuentes diferentes -- puedan encontrarse en una sola inspección de una unidad (ejem: un componente individual puede tener uno o más defectos de una gran variedad de defectos potenciales en conjunto).

Es importante señalar que en este tipo de gráficas la cantidad de defectos puede superar al tamaño de la muestra, lo que quiere decir que puede haber más de un defecto por pieza componente de la muestra.

Los defectos pueden ser igual o de diferente naturaleza. Obviamente cuando se seleccionan defectos de diferente naturaleza, se debe ser claro en establecer que tipos de defectos se buscan y verificar consistentemente solamente defectos que pertenezcan a alguna de las categorías seleccionadas. Por ejemplo; en el control de un parabrisas se podrían seleccionar los siguientes tres tipos de defectos: burbujas, ralladuras y ondulamiento, en cuyo

caso "c" representaría la suma de las cantidades de defectos encontrados en la muestra por cada uno de esos conceptos.

A continuación se dan los pasos que se deben seguir en la construcción y aplicación de una gráfica c, los cuales son similares a los descritos anteriormente en las gráficas p. Con las siguientes excepciones:

2.5.3.1. Obtención de datos.

- Los tamaños de muestra inspeccionados (número de unidades, área de tejido, longitud de cable, etc.) necesitan ser iguales de manera que los valores graficados de c reflejen los cambios en la calidad del producto. Registre el tamaño de la muestra en la forma.
- Registre y grafique la cantidad de defectos en cada subgrupo (c)

2.5.3.2. Cálculo de los límites de control.

- Calcule el promedio de defectos del proceso (\bar{c}):

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{k}$$

En donde c_1, c_2, \dots son la cantidad de defectos en cada uno de los subgrupos "k". k es el número total de muestras o sea de subgrupos.

- Calcule los límites de control (LCS_c y LCI_c).

$$LCS_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$LCI_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

NOTA: El LCI_c negativo existe estadísticamente, pero para una --
carta de control queda fuera de contexto, puesto que no se pue--
den tener cantidades negativas de piezas malas, por lo tanto se_
hace igual a cero.

2.5.3.3. Para la interpretación del control del proceso vea las_
mismas indicaciones de la gráfica p.

2.5.3.4. Para la interpretación de la habilidad del proceso vea_
las mismas indicaciones de la gráfica p.

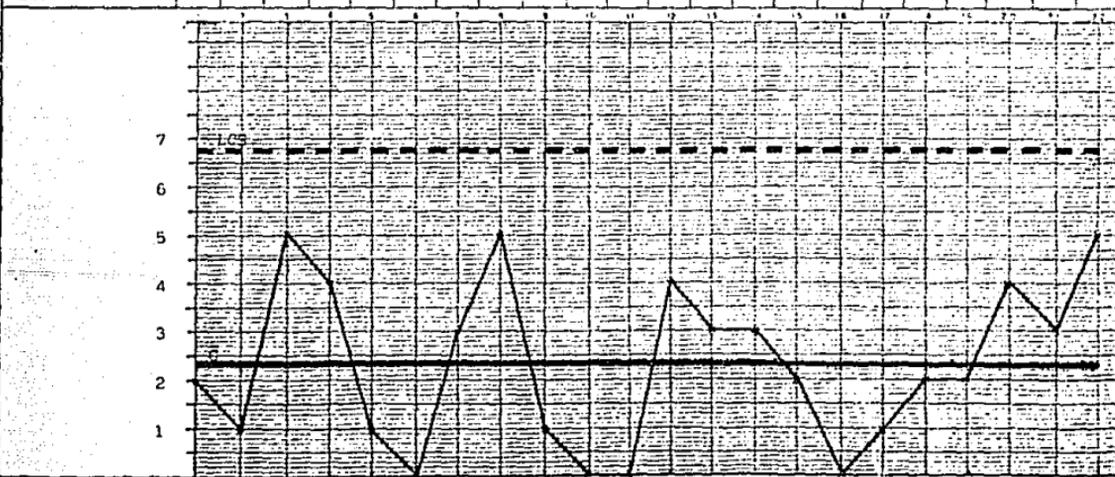
Para la gráfica c , la habilidad del proceso se refleja a través
del promedio de defectos del proceso (\bar{c}), calculado en base a to_
dos los puntos que estan bajo control ($\frac{n-\bar{c}}{n}$).

CARTA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Nombre de la parte CUBIERTA PUNZONADO No de parte 9867-XZ Carta número 07 No de especificación 3º
 Versión y número de la muestra PRENSA / 18 Unidad de medic. ESCANTILLON Límites especificados 15[±] 2mm
 LSC 2.32 ± 4.57 LIC NEGATIVO

	25	25	25	25	25	25	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	27	27	27	27			
Turno	1º	1º	1º	1º	1º	2º	2º	2º	2º	2º	2º	1º	1º	1º	1º	1º	1º	2º	2º	2º			
Fase	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	5/11	6/11	6/11	6/11	6/11	6/11	6/11	6/11			
Nº de muestra (n)	8	9	10	12	13	14	16	17	18	19	21	22	23	7	8	9	10	12	13	14	16	17	
Nº de defectos (c)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Número de defectos en muestra (c)	2	1	5	4	1	0	3	5	1	0	0	4	3	3	2	0	1	3	2	4	3	5	
Número de unidades seleccionadas en la muestra (n)																							
Proyección de unidades seleccionadas en la muestra (n) (p)																							
Proyección																							

104



2.5.4. Gráfica u para proporción de defectos en la muestra.

La gráfica u mide la proporción de defectos (discrepancias) en las muestras inspeccionadas, en subgrupos que pueden tener diferentes tamaños de muestra (o diferentes cantidades de material inspeccionado). La gráfica u es similar a la gráfica c con la excepción de que la primera mide la cantidad de defectos promedio. Ambas gráficas son apropiadas para las mismas situaciones; sin embargo la gráfica u puede utilizarse si la muestra es tratada como una unidad de inspección y también si hay necesidad de que los tamaños de muestra varíen de subgrupo en subgrupo. Las instrucciones para la gráfica u son similares a las de la gráfica p, con las siguientes excepciones:

2.5.4.1. Obtención de datos.

- Las muestras no necesitan ser constantes en cada subgrupo, pero si se les mantiene en su conjunto dentro del 25% arriba o abajo del promedio de tamaño, se simplifica el cálculo de los límites de control.
- Registre y grafique la proporción de defectos en cada subgrupo (u): $u = c/n$

En donde c es la cantidad de defectos encontrados en la muestra y n es el tamaño de muestra del subgrupo; c y n deben ser registrados también en la forma.

NOTA: El tamaño de muestra para cada subgrupo n, puede ser expresado en términos de unidades de inspección. Por ejemplo; en reportes que muestran defectos por cada 100 unidades, la unidad de inspección es 100 piezas de producción y n indica cuantos grupos de 100 unidades fueron inspeccionados.

2.5.4.2. Cálculo de los límites de control (al igual que en la -

gráfica p). Las excepciones se dan a continuación:

- Calcule la proporción de defectos promedio del proceso (\bar{u}).

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_K}{n_1 + n_2 + \dots + n_K}$$

En donde c_1, c_2, \dots y n_1, n_2, \dots son las cantidades de defectos y los tamaños de muestra de cada uno de los K subgrupos respectivamente.

- Calcule los límites de control (LCS_u y LCI_u)

$$LCS_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/\bar{n}}$$

$$LCI_u = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/\bar{n}}$$

En donde \bar{n} es el tamaño de muestra promedio.

NOTA: Si algún tamaño de muestra de un subgrupo individual es mayor del 25% arriba o abajo del tamaño de muestra promedio, recalcule los límites de control precisos como sigue:

$$LCS_u, LCI_u = \bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/\sqrt{n}}$$

En donde \bar{u} es el promedio del proceso y n es el tamaño de la muestra del subgrupo particular. Cambie los límites en la gráfica e identifique las causas especiales.

Note que cualquier utilización de límites de control variables es incomoda y confusa. Se recomienda evitar en lo más posible lo anterior y usar tamaños de muestra constantes.

2.5.4.3. Para la interpretación del control del proceso vea las -
mismas indicaciones de la gráfica p.

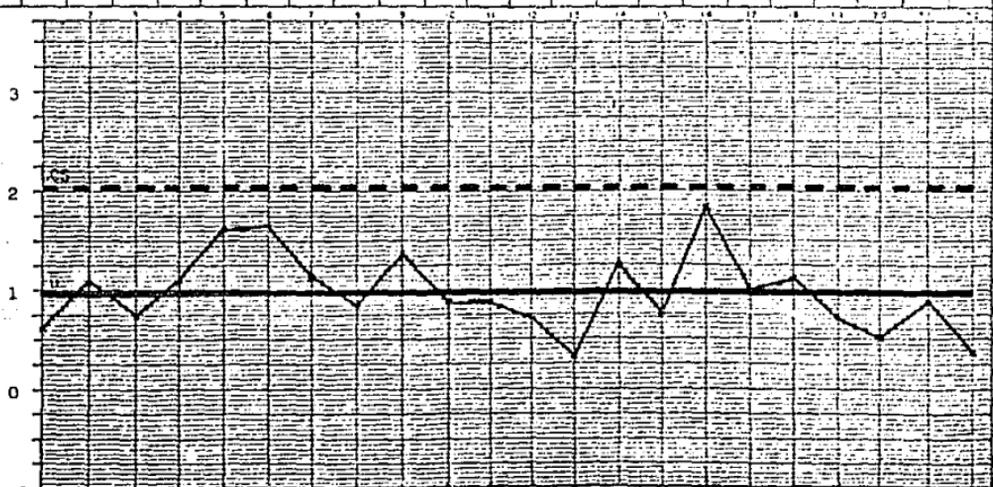
2.5.4.4. Para la interpretación de la habilidad del proceso vea -
las mismas indicaciones de la gráfica p.

Para la gráfica u, la habilidad del proceso se refleja a través -
del promedio (\bar{u}) de los subgrupos, calculado en base a todos los -
puntos que están bajo control ($1-\bar{u}$).

CARTA DE CONTROL POR ATRIBUTOS

Nombre de la parte PINTURA CONJUNTO No. de parte CFT/GT Carta número 04 No. de operación 9º
 Nombre y número de la máquina CASITA / 1 Unidad de medida VISUAL Límites especificados SEGUN PATRON
 LSC 98 +1.05 LIC -1.05 0 Frecuencia CADA 2 HRS.

Lote	872	872	872	872	872	872	872	872	872	872	872	872	872	873	873	873	873	873	873	873	873	873
Tamaño	1º	1º	1º	2º	2º	2º	2º	3º	3º	3º	3º	1º	1º	1º	1º	2º	2º	2º	2º	3º	3º	3º
Fecha	6/11/6	11/6/11	11/6/11	6/11/6	11/6/11	11/6/11	11/6/11	6/11/6	11/6/11	11/6/11	11/6/11	7/11/6	11/6/11	7/11/6	11/6/11	7/11/6	11/6/11	7/11/6	11/6/11	7/11/6	11/6/11	7/11/6
Hora	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	2
Forma de la muestra (n)	5																					
Procesión de defectos en la muestra (D)	8	7	8	9	8	9	7	7	8	9	8	7	9	8	9	7	8	7	8	9	8	9
Procesión de unidades defectuosas en la muestra (D/n)	.63	1.1	.75	.11	1.6	1.67	1.14	.86	1.36	.89	.88	.71	.33	.25	.78	1.85	1.0	.13	.71	.5	.89	.38
Número de defectos en la muestra (D)	5	8	6	10	13	15	8	6	11	8	7	5	3	10	7	13	8	9	5	4	8	3
Procesión de unidades defectuosas en la muestra (D/n)																						



C A P I T U L O III

ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL PARA PROCESOS

En el capítulo II estudiamos los diferentes tipos de gráficas de control que se utilizan para controlar los procesos de producción, previniendo de esta forma los defectos en los productos. Sin embargo es recomendable que antes de hacer uso de estas técnicas se efectúe un análisis que nos indique cuales son las características del diseño y operaciones del proceso que deberán controlarse principalmente y prioritariamente con el control estadístico del proceso. Esto se logra con el análisis del modo y efecto de la falla potencial.

El análisis del modo y efecto de la falla (AMEF) es una técnica analítica que se utiliza en conjunto con las técnicas de control estadístico del proceso para prevenir las condiciones de falla y consecuentemente los defectos. Primeramente se tendrá que realizar el AMEF, para investigar todos los posibles modos de falla de un producto y de un proceso estableciendo al mismo tiempo las prioridades que tengan cada uno de estos, para controlarse inmediatamente con el control estadístico del proceso, así como con otras acciones correctivas recomendables que se puedan establecer.

El AMEF como técnica analítica debe ser utilizada por los ingenieros de diseño, manufactura y control de calidad para identificar todos los posibles modos de falla de un producto o de un proceso de manufactura, así como para estimar los efectos potenciales en los clientes debido a las fallas, deduciendo e identificando al mismo tiempo las causas de estas en los procesos o sis-

temas de producción. Esta técnica estima la probabilidad de ocurrencia y de detección de las causas de falla así como un criterio de severidad para determinar un número de prioridad de riesgo (NPR) por medio del cual se priorizarán las consideraciones para analizar y determinar las acciones correctivas recomendadas para prevenir las causas de los modos de falla. A los NPR más altos se les deberá controlar inmediatamente con las gráficas de control por variables y/o por atributos.

En el caso específico de procesos de producción, los Ingenieros relacionados directamente con los procesos (en el capítulo I nos referimos a los coordinadores de control estadístico) deben desarrollar y realizar el análisis del modo y efecto de la falla, debido a que estos serán los Ingenieros que tengan el conocimiento más amplio de los procesos. Por lo mismo el Ingeniero de procesos será la persona más adecuada para prevenir los problemas potenciales (modos de falla y sus efectos) en los procesos de producción, eliminando las causas de estos problemas en el tiempo preciso. El Ingeniero de procesos debe conocer y entender el mecanismo específico de la falla relacionada en cada uno de los modos.

Es recomendable que el AMEF se desarrolle y realice antes de -- adquirir la maquinaria, equipo y herramientas que se necesiten -- para hacer funcionar un proceso, así como antes de iniciar la -- producción en serie de los productos, sin embargo esto no siempre es posible dado que en la mayoría de los casos ya se tienen los equipos y maquinaria productiva; en tal caso el NPR y la -- habilidad del proceso, aunados a la negociación de especificaciones con el cliente, definirá si el equipo y maquinaria existentes deben seguir operando o si se debe adquirir equipo y maquinaria mas hábil.

Por otra parte el AMEF debe ser un requerimiento para las características de control (V) y para los procesos nuevos o cambiados de partes aunque en este caso no estén clasificados como características de control. El análisis y revisión en forma ordenada de un proceso nuevo o cambiado, favorece la resolución o monitoreo de problemas potenciales del proceso durante la planeación de la manufactura de una nueva parte. Se pueden requerir AMEF'S para aquellas operaciones del proceso identificadas como las causantes de los siguientes problemas: alto costo de garantía, baja fiabilidad, la probabilidad de no cumplir las especificaciones de ingeniería o expectativas del cliente, especificaciones de seguridad y reglamentos gubernamentales.

El AMEF es una técnica con amplia aplicación que puede analizar cualquier tipo de proceso: estampado, impresión, soldadura, tratamiento térmico, fundición, forja, formado, embutido, maquinado, ensamble, medición, etc.

El análisis del modo y efecto de la falla no es una carga más en el trabajo del Ingeniero, representa una disciplina que permite que el Ingeniero de procesos desempeñe su labor de manera más eficiente. Un AMEF efectivo es un documento que tendrá que reflejar continuamente las últimas acciones en los procesos de producción, y los últimos niveles de diseño de la parte.

Resumiendo un AMEF elaborado correctamente deberá cumplir con los siguientes aspectos:

- 1) Identificación de los modos de falla potenciales.
- 2) Identificación de las causas y los efectos de cada modo de falla.

- 3) Cálculo del número de prioridad de riesgo (NPR) de cada causa de falla identificada, de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia y de detección en conjunto con el criterio de severidad.
- 4) Seguimiento del problema y determinación de las acciones correctivas recomendadas.

INSTRUCCIONES PARA EL AMEF DE LOS PROCESOS.

La efectividad de un AMEF en un proceso dependerá de la aportación coordinada que brinden las áreas de diseño del producto, manufactura y control de calidad (aprovechando sus experiencias) - en el desarrollo y uso de los formatos para AMEF de procesos (el formato se anexa al final de la explicación de las instrucciones).

A continuación se da la explicación detallada del llenado del formato para AMEF de procesos. El número de cada instrucción corresponde a aquel circunscrito en el formato.

1.- PROCESO

Identifique la operación del proceso que está siendo analizada.

2.- RESPONSABILIDAD PRIMARIA DEL PROCESO

Indique la división de manufactura y la planta que tenga la responsabilidad principal de la máquina, equipo u operación del proceso que esté siendo analizado.

3.- OTRAS DIVISIONES DE INGENIERIA INVOLUCRADAS

En los casos en donde más de una oficina de ingeniería del producto este involucrada en el diseño de la parte o componente, identifique las otras oficinas. También indique las otras divisiones de manufactura o plantas involucradas.

4.- PROVEEDORES EXTERNOS AFECTADOS

Identifique a los proveedores externos involucrados, estos se pueden involucrar como una fuente de diseño ó de manufactura de algún componente del conjunto.

5.- PRODUCCION/AÑO CALENDARIO

Registre el año calendario de fabricación. Es una identificación del período de producción.

6.- LIBERACION PROGRAMADA DEL PRODUCTO

Indique la fecha en la que el proceso ó la parte este programado para liberarse. Si el conjunto incluye varios componentes -- con diferentes fechas de liberación, anote la última fecha.

7.- INGENIERO

Anote el nombre del ingeniero encargado del proceso. Y/o del ingeniero encargado del diseño.

8.- SUPERVISOR

Anote el nombre del supervisor encargado del proceso. Y/o del ingeniero del producto.

9.- FECHA DEL AMEF

Anote la fecha del primer AMEF realizado sobre el proceso ó la parte y la última fecha de revisión.

10.- NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE

Anote el nombre y el número de parte; de cada parte que se este analizando. Describa el nivel de diseño por medio de sufijos -- y/o letras de cambio, si es necesario.

11.- FUNCION DEL PROCESO.

Indique de la manera mas precisa posible la función del proceso o de la parte que este siendo analizada.

12.- MODO DE LA FALLA POTENCIAL

Describe cada modo de falla posible. El Ingeniero de procesos debe preguntarse asimismo y debe ser capaz de contestar las siguientes preguntas:

¿Que podría estar mal posiblemente en el proceso?

¿Como podría fallar el proceso ó la parte y no cumplir con las especificaciones?

Se debe dirigir la atención a la posibilidad de "¿Como podría fallar?", oponiéndose a la pregunta "¿Fallará o no fallará?", es decir nos debemos concentrar en las diferentes formas posibles de falla (modos de falla), asumiendo que la falla podría ocurrir, pero no necesariamente ocurrirá.

Un ejemplo sería en el caso de una parte ¿Podría esta quebrarse, deformarse, corroerse, doblarse, etc.? La posibilidad se puede presentar en el proceso de manufactura o en el período de servicio.

A continuación se dan algunos modos de falla típicos de una parte.

- Deformado
- Doblado
- Rugoso
- Agrietado
- Duro
- Poroso
- Desbalanceado
- Descalibrado
- Desalineado

- Mal ensamblado
- Mal soldado
- Mal remachado
- Descentrado
- Cristalizado
- Cóncavo
- Más grande o más chico
- Dañado

13.- EFECTO(S) DE LA FALLA POTENCIAL.

Asumiendo que la falla ha ocurrido, el Ingeniero de procesos debe describir el efecto de la falla en relación a lo que el cliente podría notar o experimentar. Por lo mismo, se tendrá que hacer la siguiente pregunta:

¿Qué ocasionará el modo de la falla identificado?. La descripción tiene que ser tan específica como sea posible.

Por ejemplo; un circuito mal soldado causaría en un medidor un mal funcionamiento, una superficie rugosa causaría desgaste excesivo, la porosidad en un tubo causaría fugas con el tiempo, etc.

A continuación se dan algunas descripciones típicas de los efectos de las fallas, en el caso específico de un vehículo.

- Esfuerzos de operación excesivos.
- Eficiencia del vehículo reducida.
- Arranque del vehículo deficiente.
- Fugas de combustible.
- Escape de humo altamente contaminante.
- Calentamiento excesivo.
- Ruido excesivo.
- Vibraciones.

- Paros frecuentes del vehículo.
- Pérdida rápida de las condiciones óptimas.
- Corrosión prematura de la lámina.
- Inseguridad.
- etc.

14.- CARACTERISTICAS DE CONTROL (V)

Identifique todas las características de control (V) con el símbolo apropiado. Son basicamente las que tienen un NPR mayor.

15.- CAUSA (S) DEL MODO DE LA FALLA POTENCIAL.

Haga una lista de todas las causas posibles asignables a cada modo de falla. El Ingeniero indicado deberá contestar la siguiente pregunta:

"¿Qué variables del proceso podrían ocasionar cada modo de falla?"

Asegúrese de que la lista sea lo más completa posible, de tal forma que las acciones de corrección a tomar sean dirigidas a todas las variables.

Por ejemplo un sistema de operación manual podría ser la causa de la producción de piezas de baja calidad, un inadecuado sistema de medición (calibradores de baja precisión) podría ser la causa de producciones no controladas, etc.

A continuación se dan algunas causas típicas de la falla potencial.

- Mantenimiento inadecuado o falta de mantenimiento preventivo de las máquinas.

- Lubricación inadecuada o falta de esta.
- Herramientales dañados, desgastados o incorrectos.
- Mal manejo de materiales.
- Sistema de medición inadecuado.
- Sobre calentamiento de las máquinas.
- Desajustes en la operación.
- Presión mal ajustada.
- Alimentación incorrecta.
- Capacidad de máquina excedida.
- Velocidad incorrecta.
- Sistema de control inadecuado.
- Materia prima deficiente.
- Personal mal capacitado y con conocimientos deficientes.
- Etc.

16.- CONTROLES ACTUALES.

Haga una lista de todos los controles variables del proceso que estén dirigidos a prevenir las causas de las fallas o que estén dirigidos a detectar los defectos solamente.

17.- OCURRENCIA.

El Ingeniero de procesos también debe estimar la probabilidad de ocurrencia de las causas de la falla potencial en una escala del 1 al 10 tal como se define más adelante. Esta estimación debe basarse en el conocimiento y experiencias que tenga el Ingeniero de procesos.

GRADO DE OCURRENCIA.

Cuando se esté estimando el grado de ocurrencia, considere se la probabilidad de que la causa de la falla potencial -

ocurra, resultando en el modo de la falla indicado. Para esto se deberá tomar en cuenta los controles actuales de los que se disponga para así apreciar si es poco o muy probable de acuerdo a estos controles que la causa suceda.

A continuación damos un sistema de puntuación del grado de ocurrencia para AMEF'S. Como se dijo anteriormente el número de ocurrencia de la causa de la falla asignado a un grado en particular es dado a criterio del Ingeniero indicado. En algunos casos es recomendable que el Ingeniero de procesos consulte con la actividad responsable de la calidad para determinar la puntuación adecuada del grado de ocurrencia. NOTA: El sistema de puntuación seleccionado debe ser consistente a través de todo el AMEF. El sistema de puntuación puede cambiarse y establecerse de acuerdo a las necesidades propias de cada empresa.

Las escalas estadísticas mostradas abajo son únicamente direccionales y para efecto de explicación.

CRITERIO	PUNTUACION
REMOTA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA.	
La habilidad del proceso muestra $\bar{x} \pm 4\sigma$ dentro de especificaciones.	1
	2
BAJA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	3
La habilidad del proceso muestra $\bar{x} \pm 3\sigma$ dentro de especificaciones.	4
MODERADA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA. Generalmente asociada con	5

procesos similares a procesos anteriores que han experimentado fallas ocasionales, pero no de mayores proporciones. Proceso bajo control estadístico.	6
ALTA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA. Generalmente asociada -- con procesos similares a procesos anteriores que frecuentemente han fallado. Proceso fuera de control estadístico.	7 8
MUY ALTA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA. Es casi seguro que -- la causa de la falla ocurra.	9 10

Si la causa de la falla del proceso o componente recibe una alta puntuación de ocurrencia, se debe realizar un análisis preciso para indicar las acciones correctivas- adecuadas para disminuir la probabilidad de ocurrencia.

18.- SEVERIDAD

Estime la severidad de los "efectos de la falla" en una escala del 1 al 10. El número 1 indicará un efecto poco severo, mientras que el número 10 indicará un efecto muy severo. Como una consecuencia de efectos severos tendríamos por ejemplo: un motor inoperativo, un vehículo que no arranca, frenos inseguros, etc.

En pocas palabras la severidad es el factor que repre--

senta la gravedad de la falla (después de que esta ha ocurrido) para el cliente.

Debido a que la severidad esta únicamente basada sobre el efecto de la falla, todas las causas potenciales de falla para un efecto particular, recibirán la misma puntuación de severidad.

El grado de severidad para los efectos dentro de la planta de producción puede ser incrementado, dependiendo del efecto de falla en operaciones subsecuentes del proceso.

GRADO DE SEVERIDAD

CRITERIO	PUNTUACION
MUY BAJO GRADO DE SEVERIDAD. Ilógico, exagerado esperar que la naturaleza de esta falla menor causaría algún efecto notable en el comportamiento del producto. El cliente seguramente no será capaz de detectar la falla.	1 2
BAJO GRADO DE SEVERIDAD. Debido a la naturaleza menor de la falla, causará únicamente una ligera molestia al cliente. Este mismo probablemente solo notará una muy pequeña degradación en el comportamiento del producto	3 4
NIVEL MEDIO DE SEVERIDAD. Falla moderada -- que causa alguna insatisfacción del cliente. El cliente se incomodará o molestará por la falla. Por ejemplo, se darían grados medios de severidad a efectos tales como: alto ni-	5 6

vel de ruido, vibración, etc. Definitivamente se notará alguna degradación en el comportamiento del producto.

ALTO GRADO DE SEVERIDAD.- Habrá un alto grado de insatisfacción por parte del cliente, debido a la naturaleza de la falla, por ejemplo - un vehículo ó producto de comodidad inoperante (esfuerzos de operación excesivos, la caja de velocidades no realiza el cambio correctamente, etc.).

MUY ALTO GRADO DE SEVERIDAD. Cuando el modo de la falla involucra problemas potenciales de seguridad y/o cumplimiento con reglamentos gubernamentales, como por ejemplo si tenemos frenos lentos e inseguros, un motor altamente contaminante, etc. En general los modos de la falla que reciben un muy alto grado de severidad, con grado de ocurrencia mayores de 4 - deben ser designados inmediatamente por ingeniería del producto como características de control (V).

19.- DETECCION

Estime la probabilidad de detectar el defecto causado por la falla identificada, antes de que el producto llegue al cliente. Aquí también utilizamos una escala del 1 al 10 - para evaluar la probabilidad. El número 1 indicará una -- muy alta posibilidad de detectar el defecto antes de que el cliente reciba el producto, mientras que el número 10- indicará una muy baja posibilidad de detectar el defecto-

antes de que el cliente lo descubra.

Aquí suponemos que la causa de la falla ha sucedido. Por consiguiente evaluaremos la eficiencia de todos los controles actuales que se tengan para evitar el embarque de productos defectuosos.

GRADO DE DETECCION

Para estimar el grado de detección es necesario llevar un muestreo hecho sobre una base estadística, lo cual es un control de detección válido, opuestamente a las inspecciones al azar realizadas por el departamento de control de calidad las cuales no inspeccionan uniformemente el proceso.

A continuación tenemos un criterio desarrollado para seleccionar el grado de detección de acuerdo con la actividad responsable de la calidad.

CRITERIO

PUNTUACION

REMOTA PROBABILIDAD DE QUE LA PARTE SE EMBARQUE TENIENDO ESE DEFECTO. El defecto es una característica funcionalmente obvia fácilmente detectada en una operación subsecuente. -	1
Por ejemplo una carcaza con 4 barrenos en lugar de los 6 que indica el diseño ocasiona que no ensamble en la operación de ensamblado, etc. La fiabilidad de detección es casi-segura.	2

BAJA PROBABILIDAD DE QUE LA PARTE SE EMBARQUE

TENIENDO EL DEFECTO. Esto sucede cuando se inspecciona uniformemente el proceso y se establecen revisiones periódicas, dando como resultado una mayor posibilidad de detectar defectos a intervalos frecuentes.	3 4
MODERADA PROBABILIDAD DE QUE LA PARTE SE EMBARQUE TENIENDO EL DEFECTO. Esto sucede cuando no se inspecciona uniformemente el proceso y se establecen revisiones esporádicas, dando como resultado una menor posibilidad de detectar defectos aislados.	5 6
ALTA PROBABILIDAD DE QUE LA PARTE SE EMBARQUE TENIENDO EL DEFECTO. El defecto es una característica oculta ó intermitente. Por ejemplo fracturas que son visibles solamente con aparatos ópticos, etc.	7 8
MUY ALTA PROBABILIDAD DE QUE LA PARTE SEA EMBARCADA TENIENDO EL DEFECTO. Esto sucede cuando la característica no es inspeccionada o no es verificable (el defecto está latente).	9 10

20.- NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO (NPR)

Calcule el NPR multiplicando las puntuaciones dadas a la probabilidad de ocurrencia, detección y a la severidad para todas las causas de falla. El NPR establece un indicador relativo de la prioridad de todas las causas de los modos de falla. A los NPR y grados de ocurrencia más altos, será necesario clasificarlos como características de control --

para darles prioridad, tanto para llevar a cabo acciones correctivas, así como para implantar el control estadístico - del proceso por medio de gráficas de control (por atributos y/o por variables).

21.- ACCION(ES) RECOMENDADA(S)

Describe brevemente las acciones correctivas recomendadas.- Si no requiere acción correctiva, escriba las iniciales NR- (No requiere)

Un análisis del modo y efecto de la falla desarrollado correctamente y pensado minuciosamente tendrá un valor aún - limitado si no contempla acciones correctivas, positivas y - efectivas. Estas correcciones generalmente se realizan en - los diseños o sobre los procesos.

Para llevar a cabo las acciones correctivas será necesario asignar la responsabilidad a todas las actividades afectadas para que en conjunto establezcan programas efectivos para implantar todas las recomendaciones.

Las acciones recomendadas basadas en el análisis deben lograr lo siguiente:

- Reducir la probabilidad de ocurrencia. Para lograr esto - se requiere de revisiones al diseño o al proceso. Una acción orientada al estudio de un proceso mediante el uso - de técnicas estadísticas, deberá implantarse y soportarse con una retroalimentación de información continua para - así lograr el sistema de prevención de defectos.
- Reducir la "severidad" del efecto del modo de la falla. - En algunas ocasiones es posible reducir la severidad del efecto modificando el diseño del producto.

- Incrementar la probabilidad de detección. Para lograr es to pueden establecerse cambios en los sistemas de control actuales para incrementar la probabilidad de detección. Pero debe evitarse lo siguiente:

- a) Generalmente un aumento de los controles de detección es costoso e ineficaz para mejorar la calidad.
- b) Un incremento en la frecuencia de inspección por parte del Departamento de Control de Calidad no es una acción correctiva positiva y debe utilizarse únicamente como último recurso o medida temporal.

Sin embargo es importante señalar que en general se busca la prevención de defectos en lugar de su detección. Es decir se busca reducir la probabilidad de ocurrencia en lugar de incrementar la probabilidad de detección.

Lo anterior se podrá lograr teniendo un control estadístico del proceso, en lugar de técnicas de muestreo al azar llevadas únicamente por el Departamento de Control de Calidad.

22.- ACCION(ES) TOMADA(S)

Indique el estado de las acciones tomadas, fechas de promesas o fechas de cumplimiento, etc. Una vez que la acción correctiva ha sido llevada a cabo, se deberá actualizar la información, volviendo a estimar el grado de ocurrencia, severidad y detección para la causa de la falla analizada. Hecho este nuevo análisis será necesario actualizar el nivel de re visión (9).

23.- GRADOS RESULTANTES.

Recalcule el número de prioridad de riesgo NPR. Anote los grados revisados después de la terminación de la acción co

orrectiva.

24.- ACTIVIDAD RESPONSABLE.

Anote la persona y el departamento responsable de la implan
tación de la acción correctiva recomendada.

ANALISIS DEL MODO Y .
EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL
(AMEF DE PROCESO)

EJEMPLO NUMERO 1

PROCESO: BALANCEO LINEA DE DISCO
RESP. PRIMARIA DEL PROC. MFA Y PRODUCCION
OTRAS DIV. U OFNAS. DE INGR. INV. P. C. / ING. P.

PROV. EXTERNOS AFECTADOS NINGUNO
PRODUCCION AÑO CALENDARIO 1986
LIG. PROG. DE PRODUCCION 1-V-1985

INGENIERO G. TENA FERRIGNO
SUPERVISOR A. GARCIA HDEZ.
FECHA DE AMEF (ORIG) 1-11-85 REV 1

NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE	FUNCION DEL PROCESO	MODO DE LA FALLA POTENCIAL	EFECTOS DE LA FALLA POTENCIAL	CAUSAS DE LA FALLA POTENCIAL	CONDICIONES EXISTENTES				ACCIONES RECOMENDADAS	RESULTADOS				ACTIVIDAD RESPONSABLE		
					CONTROLES ACTUALES					ACCIONES TOMADAS						
					SUBSTRATO	EXTRINSECO	INTRINSECO	(Nº PRIORIDAD DE RIESGO)		SUBSTRATO	EXTRINSECO	INTRINSECO	(Nº PRIORIDAD DE RIESGO)			
DISCO DE EMBRAGUE 7-8967-II	BALANCEO	DESBALANCEO	VIBRACION	ERRORES DEL OPERADOR DE BALANCEO	INSPECCION DE DETECCION DEL DEPTO DE CTROL DE C.	5	5	6	150	ESTABLECER GRAFICAS DE CTROL POR VARIABLES EN LA OPERACION	GRAFICAS X-S EN EL PROCESO	3	5	3	45	DEPTO DE PRODUCCION
				MALA SENSIBILIDAD DE LA MAQUINA BALANCEADORA	PROCEDIMIENTO DE AJUSTE 1 POR TURNO.	5	5	5	120	VERIFICACION DE AJUSTE CADA 3 HORAS	REPORTES DIARIOS DE LA VERIFICACION DE LA SENSIBILIDAD	1	5	2	10	DEPTO DE CTRL DE CALIDAD
				MANEJO DE MATERIALES DEFICIENTE	INSPECCION VISUAL Y CON CALIBRADOR DE LOS CONTRAPESOS QUE SE VAN A UTILIZAR EN EL BALANCEO AL INICIAR Y AL FINALIZAR LA PRODUCCION	6	5	4	120	CONTROL DE LOS CONTRAPESOS Y DEMAS COMPONENTES DE ENSAMBLE EN EL ALMACEN	RECIBO DE MATERIALES SOLO CON TARJETA DE IDENTIFICACION DE CADA PARTE. E INSPECCION INICIAL DE LOS COMPONENTES POR PARTE DE CONTROL DE CALIDAD	2	5	3	30	DEPTO DE ALMACEN

ANALISIS DEL MODO Y
EFECTO DE LA FALLA POTENCIAL
(AMEF DE PROCESO)

EJEMPLO NUMERO 2

PROCESO: ESPESOR BAJO CARGA
RESP. PRIMARIA DEL PROC. N.º 184 Y PRODUCCION
OTRAS DIV. U OFNAS. DE INGRIA. INV. C.C/ING. DEL P.

PROV. EXTERNOS AFECTADOS: ROV. DE LAMINA
PRODUCCION AÑO CALENDARIO 1986
LIB. PROG. DE PRODUCCION 1-V-85

INGENIERO A. GARCIA HDEZ.
SUPERVISOR G. TENA FERRIGNO
FECHA DE AMEF (ORIG) 1-11-85 RE10

NOMBRE Y NUMERO DE LA PARTE	FUNCION DEL PROCESO	MODO DE LA FALLA POTENCIAL	EFECTOS DE LA FALLA POTENCIAL	CAUSAS DE LA FALLA POTENCIAL	CONDICIONES EXISTENTES				ACCIONES RECOMENDADAS	RESULTADOS				ACTIVIDAD RESPONSABLE		
					CONTROLES ACTUALES	OCCURRENCIA	SEVERIDAD	DIFICULTAD		ACCIONES TOMADAS	OCCURRENCIA	SEVERIDAD	DIFICULTAD		IMPACTO DE LOS RESULTADOS	
DIRCO DE ENDRAGUL 10-1628H	ESPESOR BAJO CARGA	ESPESOR BAJO CARGA MAYOR O MENOR AL DISEÑADO	NO DESEMORAGA CORRECTAMENTE	✓ JELLE A-MORTIGUADORA FUERA DE ESPESOR Y/O ALTURA ESPECIFICADOS	AJUSTE DE ALTURA AL INICIAR LA PRODUCCION	8	8	9	576	INSPECCION EN RECIBO DE MATERIALES (RECIBO DE LAMINA PARA LAS MUELLES) Y ESTABLECER GRAFICAS DE CTROL X-R PARA CONTROLAR LA ALTURA	SE MANTIENEN AL DIA LOS REPORTES DE RECIBO Y LAS GRAFICAS	3	0	2	48	DEPTO DE COMPRAS Y DEPTO DE PRODUCCION
				✓ PASTAS FUERA DE ESPESOR ESPECIFICADO	INSPECCION POR MUESTRO CADA HORA	6	8	5	240	GRAFICAS X-R EN EL PROCESO DE LIJADO Y LIMPIEZA DE LA MAQUINA LIJADORA	SE MANTIENEN AL DIA LAS GRAFICAS X-R Y LA LIMPIEZA DE LA MAQUINA	4	8	2	64	DEPTO DE PRODUCCION
				✓ PRESION DE AIRE INADECUADA PARA DAR LA CARGA	AJUSTE DE PRESION AL INICIAR CADA TURNO	5	8	3	120	VERIFICACION DE LA PRESION DEL COMPRESOR 3 VECES POR TURNO	SE MANTIENE EL CHEQUEO DE LA PRESION DEL AIRE 3 VECES POR TURNO	3	0	1	24	DEPTO DE MANTENIMIENTO

C A P I T U L O IV

ANALISIS DE CASOS DONDE SE MUESTRAN LOS BENEFICIOS DEL SISTEMA

En terminos generales el control estadístico del proceso (gráficas de control) establece los siguientes beneficios:

- Las gráficas de control pueden ser utilizadas directamente por los operadores para que éstos tengan bajo control su proceso de producción.
- Permite que el rendimiento del proceso sea consistente y predecible.
- Permite que el proceso alcance: a) Una mejor calidad, b) Un costo por unidad menor y c) Un mayor rendimiento.
- Un lenguaje común para estudiar y analizar la operación del proceso.
- Distingue la diferencia entre las causas especiales y comunes de variación para así tomar acciones locales ó acciones sobre el sistema respectivamente para corregir los problemas.

Independientemente de los beneficios generales, a continuación --- ejemplificaremos cuatro casos diferentes en donde se muestran los beneficios del sistema. En los casos presentados se analizan algunos de los problemas comunes que suelen aparecer en la operación de una planta productiva.

CASO I

Análisis de un proceso de formado de una cubierta en prensa mecánica.

En la gráfica 1A se muestra la situación inicial de donde se obtuvieron los siguientes resultados del cálculo de la habilidad del proceso.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{SUMA DE } \bar{X}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{29.828}{12} = 2.486 \qquad \bar{R} = \frac{\text{SUMA DE } R}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{.075}{12} = .006$$

$$\text{LCS}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 2.486 + .58 (.006) = 2.489$$

$$\text{LCI}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 2.486 - .58 (.006) = 2.482$$

$$\text{LCS}_R = D_4 \bar{R} = 2.11 (.006) = .013$$

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.006}{2.33} = .0026$$

NOTA: A_2 , D_4 , y d_2 (De tablas).

$$Z_1 = \frac{\bar{X} - \text{LIE}}{\bar{\sigma}} = \frac{2.486 - 2.47}{.0026} = 6.15$$

$$Z_S = \frac{\text{LSE} - \bar{X}}{\bar{\sigma}} = \frac{2.49 - 2.486}{.0026} = 1.54$$

Porcentaje defectuoso = $P_Z = P_{Z_1} + P_{Z_S}$ (Ver tabla de área bajo la curva normal).

$$P_Z = 0 + .0618 = .0618$$

$$P_Z = .0618 \times 100 = 6.18\%$$

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{2.49 - 2.47}{6(.0026)} = 1.282$$

$$C_{PK} = \frac{z_{\min}}{3} = \frac{1.54}{3} = .513$$

Es decir $C_p > 1$ El proceso es potencialmente hábil

$C_{PK} < 1$ El proceso no es realmente hábil

A partir de estos resultados nos damos cuenta de que no se esta -- aprovechando correctamente la habilidad del proceso. En otras pala -- bras tenemos un C_p aceptable pero el C_{PK} del proceso es muy defici -- ente. Ante esto es necesario actuar por medio del análisis de la -- gráfica \bar{X} -R, para poder determinar la acción o las acciones neces -- arias para mejorar el proceso.

La gráfica 1A nos muestra un proceso bajo control estadístico tan -- to para la gráfica de medias como para la de rangos. El problema -- fundamental radica en que las lecturas observadas marcan una loca -- lización muy cercana al límite superior de especificación (LSE) y -- retirada por lo tanto del límite inferior de especificación (LIE), -- es decir un descentramiento en relación a los límites especifica -- dos.

Revisando el proceso a través del tiempo, la gráfica de medias nos -- indica que la altura superior del formado se mantiene muy cerca del -- límite superior especificado por lo que es fácilmente deducible -- que el problema radica en el ajuste de presión de la máquina que -- realiza el formado (prensa de troquelado). Es decir simplemente se -- procuraba ajustar la presión de la prensa para obtener alturas por -- debajo del límite superior especificado, sin buscar un valor de -- presión adecuado en el ajuste. Por lo tanto aumentando un poco la -- presión de la prensa se obtuvieron los valores que se muestran en -- la gráfica 1B. En esta gráfica observamos que el proceso continúa -- bajo control estadístico por lo que a continuación mostramos los --

resultados de la habilidad del proceso modificado.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{SUMA DE } \bar{X}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{29.761}{12} = 2.480$$

$$\bar{R} = \frac{\text{SUMA DE } R}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{.072}{12} = .006$$

$$LCS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 2.48 + .58 (.006) = 2.483$$

$$LCI_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 2.48 - .58 (.006) = 2.476$$

$$LCS_R = D_4 \bar{R} = 2.11 (.006) = .013$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.006}{2.33} = .0026$$

$$Z_I = \frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{\sigma} = \frac{2.48 - 2.47}{.0026} = 3.85$$

$$Z_S = \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{\sigma} = \frac{2.49 - 2.48}{.0026} = 3.85$$

Porcentaje defectuoso = $P_Z = P_{Z_I} + P_{Z_S}$ (ver tabla)

$$P_Z = .00006 + .00006 = .00012$$

$$P_Z = .00012 \times 100 = .012\%$$

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{2.49 - 2.47}{6(.0026)} = 1.282$$

$$C_{PK} = \frac{Z_{\min}}{3} = \frac{3.85}{3} = 1.283$$

Por lo tanto $C_p > 1$ El proceso es potencialmente hábil

$C_{PK} > 1$ El proceso es realmente hábil

Obviamente el proceso ha sido mejorado, y esto se observa desde la misma gráfica de medias en donde el conjunto de datos se agrupa -- más cerca de la media especificada. En esta ocasión estamos aprovechando mejor la habilidad del proceso, sin embargo no solo se busca alcanzar que el C_{PK} sea ≥ 1 para $\pm 3\sigma$ ≥ 1.33 para $\pm 4\sigma$ se debe buscar siempre el mejoramiento continuo.

CEP

GRAFICA DE CONTROL $\bar{X}-R$

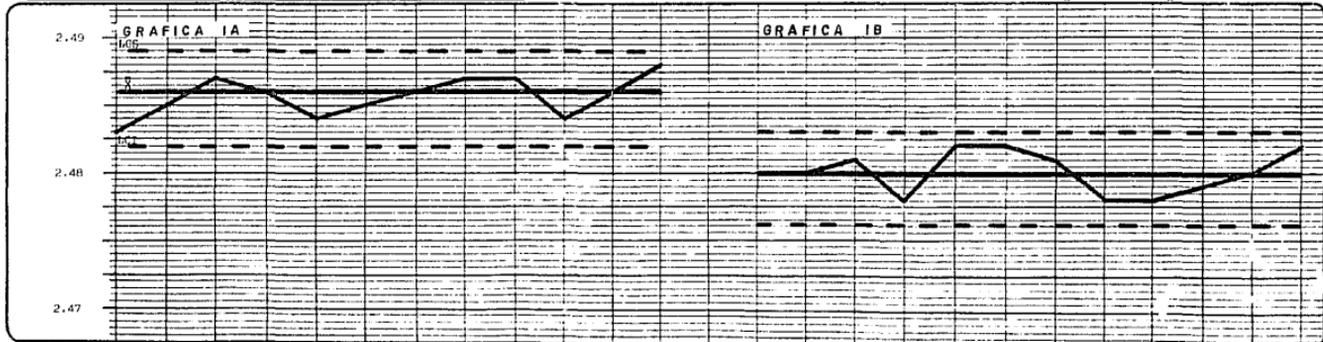
-CC. N°OL DE CALIDAD-

DEPARTAMENTO:	MANUFACTURA	MAO. N°	233	NÚMERO DE PARTE:	123432	OP. N°:	3°	CARACTERÍSTICA CHECADA:	ALTURA SUPERIOR	GRAFICA N°:	1
				NOMBRE PARTE:	CUBIERTA	NOMBRE OPERACION:		FORMADO (2° EXBUTIDO)	TOLERANCIA:	2.480 \pm .011	ELABOR:

FECHA	S												G												
HORA	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	2.484	2.485	2.488	2.486	2.483	2.489	2.487	2.485	2.490	2.489	2.484	2.480	2.483	2.483	2.482	2.480	2.482	2.470	2.484	2.477	2.480	2.476	2.484	2.483	
2	2.481	2.483	2.486	2.486	2.483	2.482	2.488	2.489	2.485	2.480	2.485	2.488	2.479	2.483	2.477	2.477	2.475	2.481	2.480	2.478	2.477	2.477	2.476	2.476	2.485
3	2.480	2.486	2.487	2.488	2.482	2.483	2.485	2.490	2.488	2.483	2.486	2.486	2.479	2.477	2.483	2.476	2.483	2.484	2.484	2.475	2.477	2.481	2.481	2.478	2.478
4	2.486	2.489	2.483	2.481	2.486	2.488	2.489	2.484	2.487	2.484	2.486	2.486	2.481	2.480	2.482	2.476	2.482	2.480	2.479	2.480	2.482	2.480	2.478	2.479	2.482
5	2.483	2.480	2.489	2.490	2.485	2.486	2.482	2.487	2.485	2.486	2.487	2.487	2.480	2.478	2.481	2.482	2.480	2.485	2.478	2.483	2.476	2.482	2.483	2.485	2.485
SUMA	12.414	12.423	12.433	12.431	12.419	12.427	12.431	12.435	12.434	12.422	12.428	12.414	12.402	12.401	12.405	12.398	12.409	12.408	12.403	12.392	12.392	12.395	12.401	12.410	12.410
PROMEDIO \bar{X}	2.483	2.485	2.487	2.486	2.484	2.485	2.486	2.487	2.487	2.484	2.486	2.488	2.480	2.480	2.481	2.478	2.482	2.482	2.481	2.478	2.478	2.479	2.480	2.482	2.482
RANGO R	.006	.009	.006	.009	.004	.007	.007	.006	.009	.005	.003	.004	.004	.006	.006	.007	.003	.006	.006	.008	.005	.006	.008	.007	.007
NOTAS																									

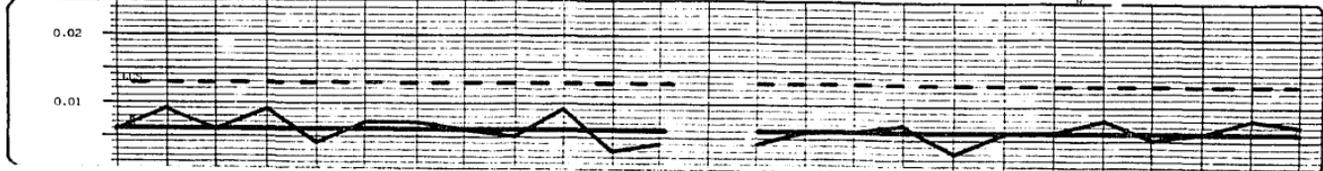
$\bar{X} = 2.486$ $LCS_{\bar{X}} = 2.489$ $LCI_{\bar{X}} = 2.482$

GRAFICA DE PROMEDIOS \bar{X} $\bar{X} = 2.48$ $LCS_{\bar{X}} = 2.483$ $LCI_{\bar{X}} = 2.476$



$R = 0.006$ $LCS_R = 0.013$

GRAFICA DE RANGOS R $\bar{R} = 0.006$ $LCS_R = 0.013$



CASO II

Análisis de un proceso de balanceo.

A continuación se analiza un proceso de balanceo de un cierto tipo de neumático. En la gráfica 2A observamos un proceso bajo control estadístico, sin embargo al observar detenidamente la gráfica de rangos nos damos cuenta de que la dispersión es muy grande debido a que el valor del límite de control superior de rangos es casi el mismo valor del límite de especificación. Esta alta dispersión afecta directamente el valor del C_{PK} como se muestra a continuación:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{SUMA DE } \bar{X}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{2.07}{12} = .17 \qquad \bar{R} = \frac{\text{SUMA DE } R}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{1.93}{12} = .16$$

$$LCS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = .17 + .58(.16) = .26$$

$$LCI_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = .17 - .58(.16) = .08$$

$$LCS_R = D_4 \bar{R} = 2.11(.16) = .34$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.16}{2.33} = .068$$

NOTA: A_2 , D_4 , y d_2 (De tablas)

Para una tolerancia unilateral:

$$z = \frac{LE - \bar{\bar{X}}}{\sigma} = \frac{.35 - .17}{.068} = 2.65$$

Porcentaje defectuoso = $P_Z = P_{Z1} + P_{ZS}$ (Ver tabla de área bajo la curva normal).

$$P_Z = .004$$

$$P_Z = .004(100) = .4\%$$

$$C_P = \frac{LE}{3\bar{\sigma}} = \frac{.35}{3(.068)} = 1.71$$

$$C_{PK} = \frac{Z}{3} = \frac{2.65}{3} = .88$$

Es decir $C_P > 1$ El proceso es potencialmente hábil

$C_{PK} < 1$ El proceso no es realmente hábil

Para corregir este problema es necesario disminuir la dispersión en el balanceo de los neumáticos, por consiguiente no solo debemos cumplir con la tolerancia especificada sino que también debemos revisar constantemente que la dispersión sea mínima.

En la gráfica 2B tenemos nuevas lecturas de balanceo, las cuales muestran una variación mucho menor por subgrupo que las observadas en la gráfica 2A. Además la gráfica de medias en su conjunto se encuentra más cerca del valor óptimo de cero.

Reducida la dispersión en el balanceo se obtuvieron los siguientes resultados.

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\text{SUMA DE } \bar{x}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{1.45}{12} = .12$$

$$\bar{R} = \frac{\text{SUMA DE } R}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{1.01}{12} = .08$$

$$LCS_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R} = .12 + .58(.08) = .17$$

$$LCI_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R} = .12 - .58(.08) = .07$$

$$LCS_R = D_4 \bar{R} = 2.11(.08) = .17$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.08}{2.33} = .034$$

Para una tolerancia unilateral:

$$z = \frac{LE - \bar{X}}{\sigma} = \frac{.35 - .12}{.034} = 6.76$$

Porcentaje defectuoso = P_z (Ver tabla)

$$P_z = 0\%$$

$$C_p = \frac{LE}{3\sigma} = \frac{.35}{3(.034)} = 3.43$$

$$C_{PK} = \frac{z}{3} = \frac{6.76}{3} = 2.25$$

Por lo tanto $C_p > 1$ El proceso es potencialmente hábil

$C_{PK} > 1$ El proceso es realmente hábil

El C_{PK} aumento considerablemente con lo que el porcentaje de piezas defectuosas se redujo del .4% a 0%, con lo cual logramos un proceso totalmente y realmente hábil.

CEP

GRAFICA DE CONTROL \bar{X} -R

-CONTROL DE CALIDAD-

DEPARTAMENTO: ENSAMBLE	MAQ. NR 90	NUMERO DE PARTE: 12432	OP. NR: 6°	CARACT. RISTICA CHECADA: DESBALANCE	GRAFICA NR: 2
		NOMBRE PARTE: PNEUMATICO	NOMBRE OPERACION: BALANCEO	TOLERANCIA: 0.35 0 ₂ -1 ₁ Max.	LABORO: 2

FECHA	D ₂	J	C	I	E	M	B	R	E		2		D	I	C	I	E	M	B	R	E		3		
HORA	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	
N#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	.12	.21	.07	.25	.20	.10	.23	.25	.13	.14	.08	.19	.11	.15	.19	.18	.16	.05	.13	.07	.14	.10	.12	.07	
2	.17	.30	.16	.10	.23	.04	.17	.21	.24	.13	.16	.14	.13	.18	.14	.10	.15	.14	.17	.09	.09	.18	.05	.15	
3	.08	.05	.17	.21	.18	.18	.24	.06	.17	.14	.15	.29	.17	.12	.19	.13	.10	.13	.16	.11	.17	.19	.07	.07	
4	.16	.13	.07	.23	.14	.29	.24	.13	.21	.17	.24	.21	.08	.08	.12	.11	.08	.12	.12	.09	.06	.18	.08	.14	
5	.29	.07	.14	.05	.28	.19	.27	.23	.16	.10	.20	.19	.11	.11	.13	.09	.09	.12	.09	.13	.17	.14	.11	.09	
SUMA	.82	.76	.61	.84	1.03	.80	1.15	.86	.91	.68	.83	1.02	.60	.64	.77	.61	.57	.56	.67	.49	.63	.79	.43	.51	
PROMEDIO \bar{X}	.16	.15	.12	.17	.21	.16	.23	.18	.18	.14	.17	.20	.12	.13	.15	.12	.11	.11	.13	.10	.13	.16	.09	.10	
RANGO R	.21	.25	.10	.20	.14	.25	.10	.19	.11	.07	.16	.15	.09	.10	.07	.09	.08	.09	.08	.06	.11	.09	.07	.08	
NOTAS																									

$\bar{X} = 0.17$

$LCS_{\bar{X}} = 0.26$

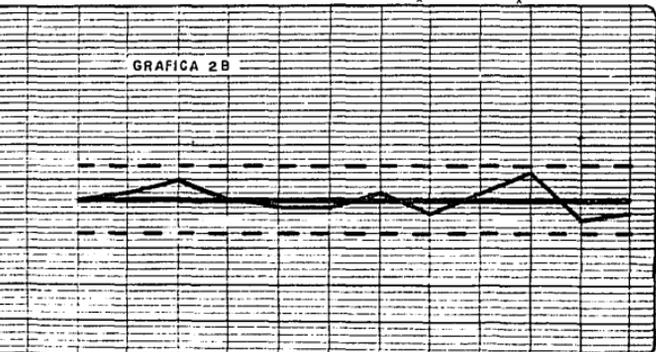
$LCI_{\bar{X}} = 0.08$

GRAFICA DE PROMEDIOS \bar{X}

$\bar{X} = 0.12$

$LCS_{\bar{X}} = 0.17$

$LCI_{\bar{X}} = 0.07$



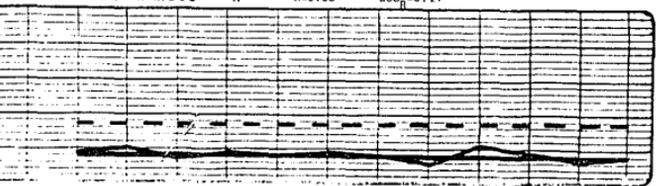
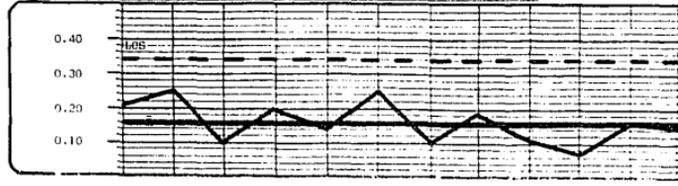
$\bar{R} = 0.16$

$LCS_R = 0.34$

GRAFICA DE RANGOS \bar{R}

$\bar{R} = 0.08$

$LCS_R = 0.17$



CASO III

Mencionamos anteriormente que el objetivo principal del control estadístico del proceso de producción es buscar la mejora continua de la calidad del producto. Sin embargo la calidad del producto -- tendrá que estar totalmente acorde al concepto de calidad que mencionamos en el capítulo I, el cual establece un balance entre el costo del producto y el servicio que debe rendir, es decir se busca que la producción se realice en los niveles más económicos posibles alcanzando al mismo tiempo la completa satisfacción por parte del cliente.

A continuación analizaremos un proceso de balanceo, teniendo como propósito principal el dejar bien claro el equilibrio que debe haber entre la calidad y el costo del producto.

El proceso de balanceo consiste en lo siguiente:

- OPERACION 1. Montar pieza en la máquina balanceadora.
- OPERACION 2. Balancear con contrapesos tipo "A", checando el balanceo en la caratula de la máquina.
- OPERACION 3. Sacar pieza de la máquina balanceadora y montar en máquina soldadora.
- OPERACION 4. Soldar contrapesos.
- OPERACION 5. Sacar pieza de la máquina soldadora y montar nuevamente en la balanceadora.
- OPERACION 6. Se repite la secuencia del 2 al 5 pero ahora con contrapesos de diferente tipo.

Contrapesos tipo A = 20 g

" " B = 15 g

" " C = 10 g

" " D = 05 g

En un principio y conforme a la búsqueda del mejoramiento continuo de la calidad se llegaron a utilizar hasta cuatro diferentes tipos de contrapesos cada vez más ligeros, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados a partir de la gráfica 3A.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{SUMA DE } \bar{X}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{1.91}{12} = .16 \quad \bar{R} = \frac{\text{SUMA DE R}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{1.06}{12} = .09$$

$$\text{LCS}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = .16 + .58(.09) = .21$$

$$\text{LCI}_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = .16 - .58(.09) = .11$$

$$\text{LCS}_R = D_4 \bar{R} = 2.11(.09) = .19$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.09}{2.33} = .0386$$

NOTA: A_2 , D_4 , y d_2 (De tablas)

Para una tolerancia unilateral:

$$Z = \frac{\text{LE} - \bar{\bar{X}}}{\sigma} = \frac{.55 - .16}{.0386} = 10.1$$

Porcentaje defectuoso = P_Z (Ver tabla de área bajo la curva normal)

$$P_Z = 0\%$$

$$C_P = \frac{\text{LE}}{3\sigma} = \frac{.55}{3(.0386)} = 4.75$$

$$C_{PK} = \frac{Z}{3} = \frac{10.1}{3} = 3.36$$

El valor del C_{PK} refleja un proceso de balanceo totalmente hábil y mejorado conforme al valor mínimo de $C_{PK} > 1$ para $\pm 3\sigma$. Sin embargo la operación de este proceso invertía muchas horas-hombre, produciendo alrededor de 400 piezas por turno. Por lo que el costo de producción resultaba alto.

A partir de esta situación la dirección general decidió investigar una alternativa para aumentar aun más la productividad sin afectar la calidad del producto. Por lo tanto se encargo al departamento de ingeniería del producto que realizará pruebas con los contrapesos A, B, C y D de manera que utilizando solo dos tipos de los contrapesos se alcanzará una calidad aceptable. Este departamento realizó pruebas con las diferentes combinaciones de los contrapesos (de dos en dos, siendo el segundo contrapeso más ligero que el primero), obteniéndose los mejores resultados con la combinación de los contrapesos "A" y "C", es decir balanceando primero con el contrapeso A = 20 g y repitiendo la secuencia con el contrapeso C = 10 g . Los resultados se muestran a continuación analizando la gráfica 3B.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\text{SUMA DE } \bar{X}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{4.24}{12} = .35$$

$$\bar{R} = \frac{\text{SUMA DE R}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{1.03}{12} = .09$$

$$LCS_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R} = .35 + .58(.09) = .40$$

$$LCI_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R} = .35 - .58(.09) = .30$$

$$LCS_R = D_4\bar{R} = 2.11(.09) = .19$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{.09}{2.33} = .0386$$

Para una tolerancia unilateral:

$$z = \frac{LE - \bar{X}}{\sigma} = \frac{.55 - .35}{.0386} = 5.18$$

Porcentaje defectuoso = P_z

$$P_z = 0\%$$

$$C_p = \frac{LE}{3\sigma} = \frac{.55}{3(.0386)} = 4.75$$

$$C_{PK} = \frac{z}{3} = \frac{5.18}{3} = 1.72$$

Por lo tanto $C_p > 1$ El proceso es potencialmente hábil

$C_{PK} > 1$ El proceso es realmente hábil

Como observamos el proceso siguió dentro de control estadístico y con una habilidad arriba del 100%, habiendo reducido el tiempo de la operación del proceso a la mitad, aumentando por consiguiente la productividad al doble de 400 piezas a 800 piezas por turno.

Obviamente el costo del producto será menor al emplearse menos horas-hombre y menos horas-máquina por pieza producida.

CEP

GRAFICA DE CONTROL \bar{X} -R

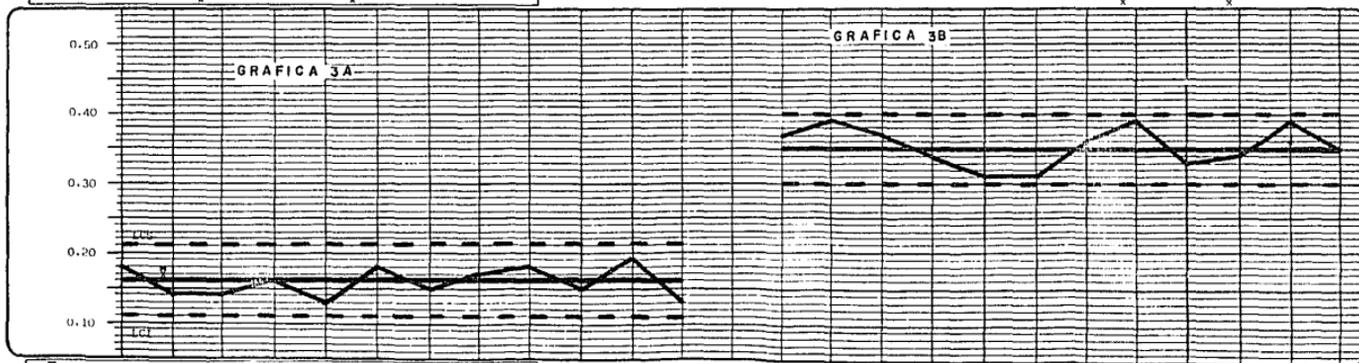
-CONTROL DE CALIDAD-

DEPARTAMENTO: ENSAMBLE	MAD. NR 102	NUMERO DE PARTE: 145211	OP. NR: 8	CARACTERISTICA CHECADA: DESBALANZO	GRAFICA NR: 3
NOMBRE PARTE: DISCO		NOMBRE OPERACION: BALANEO		TOLERANCIA: 0.55 \pm -ln Max.	ELABORO:

FECHA	D	I	C	I	E	M	B	R	E	S		D	I	C	I	E	M	B	R	E	S				
HORA	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1	.21	.16	.11	.17	.14	.15	.13	.12	.19	.15	.19	.14	.38	.39	.37	.35	.31	.35	.36	.40	.34	.31	.35	.36	
2	.17	.17	.19	.14	.16	.20	.17	.21	.23	.18	.21	.18	.39	.42	.36	.29	.33	.27	.39	.33	.32	.39	.39	.34	
3	.18	.09	.15	.22	.13	.16	.16	.15	.19	.13	.17	.07	.37	.39	.40	.32	.29	.31	.41	.41	.31	.35	.40	.37	
4	.16	.08	.18	.18	.08	.18	.11	.14	.12	.13	.23	.10	.31	.36	.39	.36	.33	.30	.34	.38	.29	.28	.36	.40	
5	.20	.19	.09	.10	.15	.21	.18	.24	.18	.14	.15	.14	.40	.40	.37	.36	.27	.32	.30	.42	.39	.37	.43	.28	
SUMA	.92	.69	.72	.81	.66	.90	.75	.86	.91	.73	.85	.64	1.85	1.86	1.87	1.68	1.53	1.55	1.80	1.94	1.65	1.70	1.92	1.75	
PROMEDIO \bar{X}	.18	.14	.14	.16	.13	.18	.15	.17	.18	.15	.19	.13	.37	.39	.37	.34	.31	.31	.36	.39	.33	.34	.39	.35	
RANGO R	.05	.11	.10	.12	.08	.06	.07	.12	.11	.05	.08	.11	.09	.06	.06	.07	.06	.08	.11	.09	.10	.11	.08	.12	

NOTAS

$\bar{X} = 0.16$ $LCS_{\bar{X}} = 0.21$ $LCI_{\bar{X}} = 0.11$ **GRAFICA DE PROMEDIOS \bar{X}** $\bar{X} = 0.35$ $LCS_{\bar{X}} = 0.40$ $LCI_{\bar{X}} = 0.30$



$R = 0.09$ $LCS_R = 0.19$ **GRAFICA DE RANGOS R** $\bar{R} = 0.09$ $LCS_R = 0.19$



CASO IV

Análisis de un proceso de maquinado de una fundición (plato), el cual es un componente de un ensamble.

En un torno de control numerico se realizan cuatro operaciones de maquinado al mismo tiempo, las características maquinadas son: el ángulo (chaflán) del diametro exterior del plato, la superficie del plato, el diametro interior y el diametro exterior. En un principio y de acuerdo a las exigencias del cliente se designaron a éstas cuatro características como características de control (V), lo cual se determinó arbitrariamente sin ninguna base.

En el caso específico del ángulo del diámetro exterior del plato se decidió utilizar gráficas de control por lecturas individuales (X-R), debido a la dificultad de medir el ángulo frecuentemente.

Dado que la tolerancia de la especificación emitida por el cliente para el ángulo fué de $45^{\circ} \pm 5^{\circ}$ y debido a que el torno de control numerico estaba herramentado para dar un ángulo de 50° se obtuvieron los resultados que se muestran en la gráfica 4A. A continuación se desarrolla el cálculo de la habilidad de este proceso.

$$\bar{X} = \frac{\text{SUMA DE X}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{621}{12} = 51.75 \qquad \bar{R} = \frac{\text{SUMA DE R}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{33}{11} = 3$$

$$LCS_X = \bar{X} + A_5 \bar{R} = 51.75 + 2.66(3) = 59.73$$

$$LCI_X = \bar{X} - A_5 \bar{R} = 51.75 - 2.66(3) = 43.77$$

$$LCS_R = D_4 \bar{R} = 3.27(3) = 9.81$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{3}{1.13} = 2.65$$

NOTA: A_5, D_4 y d_2 (De tablas)

$$Z_I = \frac{\bar{X} - LIE}{\sigma} = \frac{51.75 - 40}{2.65} = 4.43$$

$$Z_S = \frac{LSE - \bar{X}}{\sigma} = \frac{50 - 51.75}{2.65} = -.66 \approx 0$$

Porcentaje defectuoso = $P_Z = P_{Z_I} + P_{Z_S}$ (Ver tabla de área bajo la curva normal).

$$P_{Z_I} = 0 + .5000 = .5$$

$$P_{Z_S} = .5(100) = 50\%$$

$$C_P = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} = \frac{50 - 40}{6(2.65)} = .63$$

$$C_{PK} = \frac{z_{\min}}{3} = 0$$

Es decir $C_P < 1$ El proceso no es potencialmente hábil

$C_{PK} < 1$ El proceso no es realmente hábil

Como se observa este proceso no es hábil en absoluto, conforme a la tolerancia de especificación emitida por el cliente. Dada esta situación se decidió en primera instancia, herramientas el torno de control numerico para dar un angulo de 45° , sin embargo al alterar esta operación de maquinado también se alteraban sin poder evitarlo las otras tres operaciones de maquinado de la superficie del plato, el diametro interior, y el diametro exterior.

A partir de esta problemática se optó por investigar si las características maquinadas eran realmente características de control -- (características que requieren controles adicionales para que la parte alcance totalmente el cumplimiento de reglamentos gubernamentales, de seguridad, funcionalidad y durabilidad principalmente) por lo que se decidió utilizar la técnica analítica denominada "Análisis del modo y efecto de la falla (AMEF)", la cual si es un medio válido para designar las características de control (V) en base a un análisis minucioso del producto en cuestión. A continuación presentamos el AMEF realizado para las cuatro operaciones del proceso de maquinado del torno de control numerico.

AMEF DEL PRODUCTO

NOMBRE Y NÚMERO DE LA PARTE	FUNCION DEL PROCESO	MODO DE LA FALLA POTENCIAL	EFECTOS DE LA FALLA POTENCIAL	CAUSAS DE LA FALLA POTENCIAL	CONDICIONES EXISTENTES				ACCIONES RECOMENDADAS
					CONTROLES ACTUALES	PREVALENCIA	SEVERIDAD	DETECTABILIDAD	
FUNCIÓN 100-76.	DESASTE MAQUINADO.	ANGULO DEL CHAFLAN FUERA DE ESPECIFICACION.	NINGUNO ESTA CARACTERISTICA NO AFECTA LA FUNCIONABILIDAD DE LA PARTE.	NAL AJUSTE DEL TORNO DE CONTROL NUMERICO.	GRAFICAS DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES X-R.	5	2	40	AL NO SER UNA CARACTERISTICA CRITICA NO ES INMEDIATAMENTE NECESARIO LLEVAR GRAFICAS DE CONTROL. BASTARIA CON INSPECCIONES PERIODICAS.
		SUPERFICIE DE LA PISTA DEL PLATO RUGOSA.	DESgaste - PREMATURO.	MEMBRANITA DE CORTE DE SAFILACA O DESCALIFADA.	INSPECCION POR MUESTREO CADA 2 HORAS.	1	5	100	INSTALAR GRAFICAS DE CONTROL POR LECTURAS INDIVIDUALES PARA ESTA CARACTERISTICA.
		DIAMETRO EXTERIOR DEL PLATO MAYOR O MENOR AL ESPECIFICADO.	NO ENCAMBLA CORRECTAMENTE.	NAL AJUSTE DEL TORNO DE CONTROL NUMERICO.	VERIFICACION DEL AJUSTE TRES VECES POR TURNO. E INSPECCION POR LOTE.	4	8	70	INSTALAR GRAFICAS DE CONTROL X-R PARA ESTA CARACTERISTICA.
		DIAMETRO INTERIOR DEL PLATO MAYOR O MENOR AL ESPECIFICADO.	NO ENCAMBLA CORRECTAMENTE.	NAL AJUSTE DEL TORNO DE CONTROL NUMERICO.	VERIFICACION DEL AJUSTE TRES VECES POR TURNO. E INSPECCION POR LOTE.	4	8	70	INSTALAR GRAFICAS DE CONTROL X-R PARA ESTA CARACTERISTICA.

De este análisis se determinó que el ángulo (chafilán) del diámetro

exterior del plato no es una característica de control, pues su número de prioridad de riesgo (NPR = 40) muy bajo, así lo indica. -- Por lo que el departamento de ingeniería del producto negoció variar la tolerancia especificada de esta característica emitida por el cliente de $45 \pm 5^\circ$ a $50 \pm 10^\circ$ (tolerancia de especificación consistente con la habilidad actual del proceso), respaldándose en el análisis realizado, el cual se mostro a el cliente para demostrarle que la operación que maquina el chaflán a $50 \pm 10^\circ$ sin ninguna dificultad no afecta a el diseño ni a la funcionabilidad del componente, además de no alterar las otras tres características maquinas en el mismo proceso, las cuales si son características de control de acuerdo al "análisis del modo y efecto de la falla" realizado.

Finalmente mostramos el calculo de la habilidad del proceso con -- los nuevos límites especificados $50 \pm 10^\circ$ (gráfica 4B).

$$\bar{X} = \frac{\text{SUMA DE X}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{603}{12} = 50.2 \qquad \bar{R} = \frac{\text{SUMA DE R}}{\text{NUMERO DE MUESTRAS}} = \frac{38}{11} = 3.4$$

$$\text{LCS}_X = \bar{X} + A_5 \bar{R} = 50.2 + 2.66(3.4) = 59.2$$

$$\text{LCI}_X = \bar{X} - A_5 \bar{R} = 50.2 - 2.66(3.4) = 41.2$$

$$\text{LCS}_R = D_4 \bar{R} = 3.27(3.4) = 11.1$$

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{3.4}{1.13} = 3$$

NOTA: A_5 , D_4 y d_2 (De tablas)

$$z_1 = \frac{\bar{X} - \text{LIE}}{\sigma} = \frac{50.2 - 40}{3} = 3.40$$

$$z_S = \frac{LSE - \bar{X}}{\bar{\sigma}} = \frac{60 - 50.2}{3} = 3.27$$

Porcentaje defectuoso = $P_Z = P_{Z1} + P_{ZS}$ (Ver tabla de área bajo la curva normal)

$$P_Z = .00034 + .00054 = .00088$$

$$P_Z = .00088(100) = .088\%$$

$$C_P = \frac{LSE - LIE}{6\bar{\sigma}} = \frac{60 - 40}{6(3)} = 1.1 \quad C_{PK} = \frac{z_{\min}}{3} = \frac{3.27}{3} = 1.1$$

Por lo tanto $C_P > 1$ El proceso es potencialmente hábil

$C_{PK} > 1$ El proceso es realmente hábil

Como se observa, simplemente se adaptaron los límites especificados con la habilidad actual del proceso (compare la gráfica 4A -- con la gráfica 4B). En terminos generales esta situación solamente se puede permitir cuando sea absolutamente necesario requerir -- que las tolerancias de las especificaciones sean alteradas y sean consistentes con la habilidad actual del proceso, siempre y cuando el AMEF demuestre que el diseño no este comprometido en ninguna de sus características.

CEP

GRAFICA DE CONTROL

-CONTROL DE CALIDAD-

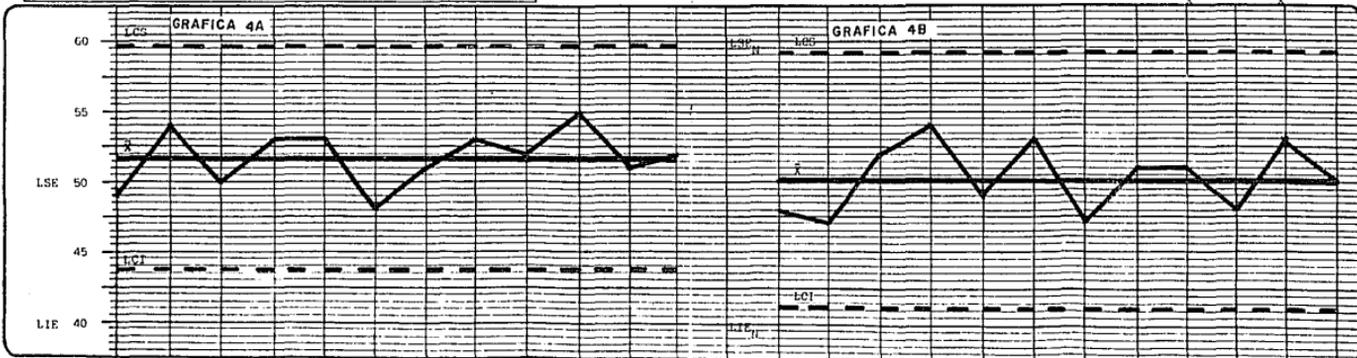
DEPARTAMENTO: MAQUINADOS	MAQ. NR 100	NUMERO DE PARTE: 100-7B	OP. NR: 3	CARACTERISTICA CHECADA: ANGULO DEL CHAFLAN DEL DIAMETRO EXTERIOR	GRAFICA: 4
NOMBRE PARTE: FUNDICION		NOMBRE OPERACION: MAQUINADO EN TORNO DE CONTROL NUMERICO		TOLERANCIA: 45°±5° / 50°±10°	ELABORO:

FECHA	A	B	R	I	L	A	B	R	I	L	A	B	R	I	L	A	B	R	I	L	15				
HORA	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	
Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
I	49	54	50	53	53	48	51	53	52	55	51	52	48	47	52	54	49	53	47	51	51	48	53	50	
MOVIL R	5	4	3	0	6	3	2	1	3	5	1			1	5	2	5	4	6	4	0	3	5	3	

NOTAS

$\bar{X} = 51.7$ $LCS = 59.7$ $LCI = 43.7$

GRAFICA DE LECTURAS INDIVIDUALES $\bar{X} = 50.2$ $LCS = 59.2$ $LCI = 41.2$



$R = 3$ $LCS_r = 9.6$

GRAFICA DE RANGOS MOVILES $R_w = 3.4$ $LCS_r = 11.1$



C A P I T U L O V

1.- CONCLUSIONES

En años anteriores y no muy lejanos, la política general acerca del control de calidad en la industria nacional se redujo a una simple labor de inspección del producto. Esta política fué y ha sido hasta la fecha la causa principal de la baja calidad en -- nuestros productos y servicios que nos ha impedido competir -- fuertemente en los mercados internacionales. En la inspección - del producto simplemente se revisa la producción después de que esta ha sido manufacturada para separar los productos malos de los considerados buenos conforme a una tolerancia de especificación con lo cual no hay posibilidades de mejorar. Desafortunadamente este enfoque propicia el que haya desperdicio, debido a - que primero tenemos que hacer el producto y luego revisar y corregir el proceso en base a la información proporcionada por el producto desechado o reparado, esto representa gastos adicionales puesto que toma los mismos recursos el hacer un producto deficiente, como el producir un producto bien hecho, e incluso en el caso del primero, necesitamos agregar trabajo extra en reparaarlo o en el peor de los casos hay que desecharlo.

Ante este problema y dada la situación actual en la que la competencia en la calidad de los productos es cada vez mayor, debido a las exigencias y expectativas también cada vez mayores de los clientes, los cuales hoy en día determinan el nivel de calidad del producto, y así mismo dada la escasez de recursos de - la cual también se sufre actualmente, se tiene la necesidad de mejorar en todos los aspectos si se desea competir en los mercados Internacional y Nacional.

La única alternativa que tenemos para lograr ser competitivos,-

es mejorar tanto la calidad de los productos y servicios, así como nuestra productividad. Este objetivo solo puede ser factible controlando y mejorando nuestros procesos de producción, en lugar de inspeccionar el producto final, es decir solo controlando y disminuyendo la variación inherente del proceso se puede alcanzar un resultado conforme a las expectativas del cliente, lo cual aumenta automáticamente la productividad al eliminar los rechazos y retrabajos y reduce los costos de producción al mismo tiempo.

Una herramienta que nos ayuda a lograr lo anterior es el "Control estadístico del proceso", el cual es un nuevo sistema de control de calidad que establece que la producción económica de bienes debe basarse en la prevención de defectos en lugar de su detección. Este enfoque requiere un sistema de control del proceso de producción, el cual únicamente puede ser implantado con efectividad a través de las técnicas de estadística conocidas como gráficas de control.

Las gráficas de control son técnicas confiables que nos ayudan a percibir tendencias en los procesos, de manera que pueda predecirse el comportamiento de un proceso en el plazo inmediato y se puedan tomar acciones correctivas para las causas de variación del proceso que afecten la calidad del producto manufacturado. Consecuentemente las gráficas de control nos ayudan a establecer medidas preventivas permanentes, que además de evitar la producción de artículos defectuosos permiten ir mejorando el proceso gradualmente. En otras palabras las gráficas de control estadístico nos indican las fallas en el proceso, deduciendo al mismo tiempo sus causas, además de ayudarnos a tomar decisiones de acciones correctivas al proceso cuando sea necesario y en donde sea necesario. El C.E.P. no busca separar las partes buenas de las malas, sino controlar y mejorar continuamente el proceso proporcionando los insumos necesarios.

Puede decirse que el C.E.P. es básicamente un sistema de reunir in formación acerca del comportamiento de un proceso de una manera coherente y consistente para poder estar en condiciones de modificar los factores del proceso que nos permitan obtener un resultado con forme a las expectativas.

Es lógico suponer que los elementos o factores de un proceso causan variaciones y estos a su vez causan defectos. Estas variaciones -- pueden venir de causas como; materia prima fuera de especificación, malos ajustes de máquinas, métodos de trabajo equivocados, errores del operador de la máquina, etc. En general las variaciones del -- proceso provienen de dos tipos de causas: las comunes, las cuales se atribuyen a fallas del sistema y su corrección son responsabilidad de las Gerencias, son problemas tales como; materia prima -- fuera de especificación, diseño equivocado, proceso mal planeado, maquinaria inadecuada para el producto en cuestión, etc. y las cau sas especiales, las cuales se atribuyen a fallas locales y su co rrección son responsabilidad de las personas cercanas a la línea - de producción (supervisores, operadores, etc.) son problemas tales como; herramienta equivocada o desafilada, operación equivocada, - mal montaje, etc.

Por lo antes descrito es obvio que la calidad de producción y la - eficiencia productiva dependen de la forma en que se haya diseñado el proceso y de como se este operando y controlando. De ahí que el C.E.P. juegue un papel muy importante en el control del proceso.

Desde el punto de vista de que la calidad de un producto no se ins pecciona, sino que se elabora a través de todo el sistema de fabri cación, operación por operación; desde el diseño del producto, la adquisición de la materia prima etc., hasta su manufactura, se necesita del apoyo y soporte del personal de todos los niveles y --

áreas de una empresa. Todo el personal debe comprometerse con la calidad de los productos y debe participar en la solución de los problemas que se presenten. Por lo que es determinante que todo el personal entienda y conozca las técnicas del C.E.P., aunque el departamento de producción con sus operadores sea el encargado de utilizar directamente las gráficas de control en las diferentes operaciones de los diferentes procesos de producción.

En términos generales el objetivo principal de cualquier empresa en conjunto debe ser desarrollar, diseñar y producir con auxilio de las técnicas estadísticas un producto de calidad que sea más-económico, más útil y que siempre alcance la satisfacción del -- cliente.

Los requerimientos básicos para lograr este objetivo son los siguientes:

- 1.- En una condición de control estadístico: El proceso debe -- ser estable.
- 2.- Una vez lograda la estabilidad del proceso: El proceso debe ser hábil.
- 3.- Alcanzados los dos puntos anteriores: El proceso deberá mostrar una mejora continua.

Es decir el proceso primeramente debe tenerse bajo control estadístico, detectando y eliminando las causas especiales de variación. Una vez que el proceso es estable y predecible se podrá -- evaluar su habilidad para detectar y disminuir las causas comunes de variación para lograr las expectativas de los clientes. Estas es la base para una mejora continua.

El control estadístico del proceso no va a remediar todos los --

problemas de una empresa, pero es un camino racional, lógico y organizado que tenemos para alcanzar buenos resultados en la calidad y en la productividad de una planta productiva.

Por lo tanto la incorporación de las técnicas de C.E.P. en las diferentes empresas es algo que no debe esperar, es necesario utilizarlas a la brevedad posible para poder exportar productos y poder competir con otras industrias importantes como las Japonesas las cuales son sinónimo de excelente calidad, en un futuro no muy lejano.

Como ejemplo tenemos actualmente a la industria automotriz, la cual exige a todos sus proveedores la implementación del C.E.P. como requisito para aceptar sus productos. En un futuro inmediato se espera que otras industrias de diferentes ramas a la automotriz utilicen el C.E.P. y establezcan esta misma política con sus proveedores.

2.- GLOSARIO DE TERMINOS.

AMEF.- Análisis del modo y efecto de la falla. Analiza simultáneamente las características del diseño y el ó los procesos -- que manufacturan esas características para determinar las prioridades que tienen cada una de estas para controlarse por medio del control estadístico del proceso. Es decir esta técnica analítica designa las características de control (V), las cuales tendrán prioridad para controlarse con el C.E.P.

Atributos.- Son datos cualitativos que pueden ser contados para su registro y análisis. Como ejemplo se pueden tener características tales como la presencia o no de una etiqueta y la instalación o no de todos los tornillos requeridos. Otros ejemplos pueden ser características que son medibles (que pueden ser tratadas como variables), pero donde los resultados son registrados con un simple sí o no cumple, tales como la acepta--

ción de un diámetro de flecha cuando se mide con un calibrador pasa/no pasa. Cartas p, np, c y u son utilizadas para atributos.

Características de Control (\bar{V}).- Son practicamente las que -- tienen el número de prioridad de riesgo (NPR) más alto. En otras palabras son las características más importantes para contro-- larse.

Causa Común.- Es una fuente de variación que siempre esta presente; es parte de la variación normal inherente al proceso -- mismo. Su origen puede ser usualmente rastreado hasta un elemen-- to del sistema, el cual solo la gerencia puede corregir.

Causa Especial.- Es una fuente de variación que es intermitente, impredecible, inestable; algunas veces llamada causa asignable. Está señalada por un punto fuera de los límites de control, o por tendencias u otros patrones de puntos no casuales dentro - de los límites de control.

Consecutivas.- Son piezas producidas sucesivamente, son la ba-- se para seleccionar las muestras en los subgrupos.

Control Estadístico.- Es la condición que describe un proceso-- en el cual todas las causas especiales de variación han sido - eliminadas y solamente permanecen las causas comunes; ésto se-- evidencia en la gráfica de control por la ausencia de puntos - fuera de los límites de control y por la ausencia de patrones-- no casuales o tendencias dentro de los límites de control.

Defectos.- Son imperfecciones encontradas en el producto como-- podrían ser poros, ralladuras, manchas, partículas de polvo en la pintura, etc. En este caso se registrará el número de defec-- tos por artículo producido, debiéndose interpretar como produc

to siempre la misma unidad. Cuando no se trate de una pieza o en samble completos, las unidades deberán seleccionarse siempre como una pieza afectada por los mismos factores: por ejemplo, si se está juzgando el número de partículas de impurezas en una superficie pintada podría tomarse como la unidad toda la superficie, si es pintada por un solo operador, o si una mitad es pintada por un operador y la otra mitad por otro, la unidad deberá -- ser siempre la misma mitad y ambas mitades juzgarse individualmente. Lo característico de los datos por defectos, es que puede existir mas de un defecto por unidad; entonces, su registro estará dado en defectos/unidad. Los datos por defectos deberán referirse siempre al mismo tipo de defecto, para que la información sea de utilidad, el número de defectos se especifica mediante la letra "c".

Defectuosos.- Ello se refiere al número de piezas defectuosas, esto es que el artículo completo es inaceptable, debido a la aparición de uno o más defectos, por ejemplo, un circuito que no opera, una flecha con menor diámetro al especificado, una pieza rota, etc. Lo característico en este caso es que no pueden existir más defectuosos que piezas, el número de piezas, unidades o artículos defectuosos se simboliza con "np".

Desviación Estándar.- Es una medida de la dispersión de la producción del proceso o de la dispersión de una muestra estadística tomada del proceso (p.e. de promedios de subgrupos); se denota por la letra griega σ y por S respectivamente.

Distribución.- Es una forma de describir los resultados de un sistema de variación por causas comunes, en la cual el comportamiento de los valores individuales no es predecible pero cuyos resultados como conjunto tienen un patrón que puede ser descrito por su ubicación.

Distribución Binomial.- Es una distribución de probabilidades para atributos que se aplica en el caso de unidades defectuosas y sobre la cual se basan las gráficas p y np.

Distribución Normal.- Es una distribución por variables, simétrica y con forma de campana que subyace en las gráficas de control por variables.- Cuando los datos se distribuyen normalmente, alrededor del 68.26% de las mediciones individuales estarán comprendidas entre más y menos una desviación estándar de la media; alrededor del 95.44% entre más y menos dos desviaciones estándar y alrededor -- del 99.73% entre más y menos tres desviaciones estándar de la media. Estos porcentajes son la base para los límites de control y el análisis de las gráficas de control (dado que los promedios de los -- subgrupos se distribuyen normalmente a pesar de que no se distri-- buya así la población), y para la toma de decisiones sobre habilidad (dado que los resultados de muchos procesos industriales siguen la distribución normal estándar).

Distribución de Poisson.- Es una distribución de probabilidades -- para atributos que se aplica a los defectos y que subyace en las -- gráficas c y u.

Especificaciones.- Es el requerimiento de ingeniería que permite -- juzgar la aceptabilidad de una característica en particular. Se se -- lecciona de acuerdo a los requerimientos funcionales del producto -- o del cliente, una especificación puede ser consistente o no con -- la habilidad demostrada del proceso (si no lo es, seguramente par -- tes fuera de especificación serán fabricadas). Una especificación -- no debe ser confundida con un límite de control.

Estabilidad.- Es la ausencia de causas especiales de variación o -- sea, la propiedad de estar bajo control estadístico.

Estadístico.- Es un valor basado o calculado con los datos de un --

muestreo (p.e. rangos o promedios de subgrupos, usado para hacer análisis sobre el proceso que produjo los datos).

Estratificación.- Es la selección de muestras de manera que cada subgrupo contenga datos provenientes de dos o más flujos de proceso con diferentes características de desarrollo.

Fallas Locales.- Es una fuente de variación asociada al operador, máquina, etc., que puede ser solucionada por el operador mismo, el supervisor o personal de servicio en la planta. Es una condición asociada a la forma en que el proceso es operado, más que al diseño y construcción del mismo y se identifica generalmente con una causa especial de variación en la gráfica de control. Las fallas localizadas constituyen el 15% aproximadamente de los problemas de calidad de manufactura.

Fallas del Sistema.- Es una fuente de generación de variación que es característica de varias operaciones, máquinas, etc., constante a través del tiempo y que requiere de la acción de la gerencia para su corrección. Es una condición asociada al diseño y construcción del proceso, más que la forma en que es operado; siendo esta última una parte de las causas comunes de variación. Las fallas del sistema constituyen el 85% aproximadamente de los problemas de calidad de manufactura.

Gráfica de Control.- Es una representación gráfica de una característica de un proceso, mostrando valores graficados de algún estadístico obtenido de esa característica y uno o dos límites de control. Tiene dos usos básicos; como un juicio para determinar si el proceso estuvo dentro de control y como una ayuda para lograr y mantener el control estadístico.

Habilidad de un Proceso.- Puede ser determinada solamente después

de que el proceso esté bajo control estadístico. Cuando el promedio del proceso calculado tomando como base las lecturas individuales ± 3 desviaciones estandar esté localizado dentro de los límites especificados (datos por variables), o cuando al menos el 99.73% de los resultados individuales obtenidos estén dentro de especificación (datos por atributos) se dice que el proceso es hábil. Sin embargo los esfuerzos para mejorar la habilidad deben de continuar siguiendo el proceso de operación hacia una mejoría continua de la calidad y la productividad.

Implementación.- Establecimiento de un plan estructurado.

Límite de control.- Es una línea (6 líneas) de una gráfica de control usada como base para juzgar el significado de variación de subgrupo a subgrupo. La variación fuera del límite de control es evidencia de que causas especiales de variación están afectando al proceso. Los límites de control son calculados a partir de los datos del proceso y no deben de ser confundidos con los límites especificados por ingeniería.

Línea central.-Es la línea que representa el valor promedio o mediana de las mediciones indicadas en una gráfica de control. Generalmente se indica con una línea continua.

Media.- Es el promedio de los valores de un grupo de mediciones.

Mediana.- Es el valor central de un grupo de mediciones, cuando el mismo esta ordenado de menor a mayor. Si la cantidad de valores es par, por convención la mediana es el promedio de los dos valores centrales. Es una medida de posición en una distribución y se utiliza como línea central en las gráficas de medianas. Las medianas son identificadas a través de un tilde (~) sobre el símbolo de los valores individuales: \tilde{x} es la mediana de un subgrupo; $\tilde{\bar{x}}$ es la mediana del proceso.

Modo de Falla.- Son las diferentes formas posibles de falla.

Número de Prioridad de Riesgo.- Es el producto que resulta de multiplicar las puntuaciones dadas a la probabilidad de ocurrencia, de detección y al criterio de severidad para cada causa de falla y potencial. El NPR establece la prioridad que tiene cada característica.

Prevención.- Enfoque dirigido hacia el futuro, el cual mejora la calidad y la productividad por medio del análisis del proceso, corrigiendo al mismo tiempo sus fallas. Este enfoque busca siempre la mejora continua del proceso.

Probabilidad de Detección.- Es la probabilidad de detectar el defecto causado por la falla identificada antes de que el producto llegue al cliente.

Probabilidad de Ocurrencia.- Considerese la probabilidad de que la causa de la falla potencial ocurra, tomando en cuenta los controles actuales de los que se disponga para de esta forma apreciar si es poco ó muy probable de acuerdo a estos controles que la causa suceda.

Proceso.- Es la combinación de mano de obra, máquinas y equipo, materia prima, métodos y medio ambiente que producen un producto dado o servicio.

Promedio.- Es la suma de los valores de las mediciones dividida por la cantidad (tamaño de muestra) de mediciones y se indica con una barra sobre el símbolo de los valores que son promediados: -- p.e., \bar{x} es el promedio de los valores de x de un subgrupo; $\bar{\bar{x}}$ es el promedio de los subgrupos.

Rango.- Es la diferencia entre el mayor y menor valor de un subgrupo.

Serie.- Sucesión de puntos que presentan una característica particular, tal como puntos por arriba del promedio del proceso o puntos de valor decreciente. Cuando solo se presentan causas comunes de variación se puede predecir el comportamiento de series típicas dentro de ciertos límites. El alejamiento de este patrón de comportamiento aleatorio es evidencia de la existencia de causas especiales de variación.

Severidad.- Es el factor que representa la gravedad de la falla para el cliente, después de que esta ha ocurrido.

Sistema de Control de Procesos.- Es un método para administrar la operación de un proceso basado en la retroalimentación, que incluye la obtención de información del proceso y sus resultados y la utilización de dicha información para modificarlo o ajustarlo según la necesidad. El uso de técnicas estadísticas, tales como las gráficas de control en la interpretación de la información del proceso, es la clave para un sistema de control de proceso exitoso.

Subgrupo.- Es una cantidad de valores muestrales elegidos de manera que sean representativos del proceso, en un período o momento en el tiempo en particular y que se analizan en conjunto.

Subgrupos Racionales.- Son subgrupos elegidos de manera tal que la variación dentro de los mismos sea lo menor posible resultante del proceso (representa la variación por causas comunes), de manera tal que cualquier cambio en el desarrollo del proceso -- (causas especiales) aparecerá como diferencia entre los subgrupos. Los subgrupos racionales son generalmente determinados en base a piezas consecutivas y a pesar de que a veces se utilizan muestras aleatorias o estratificadas en forma intencional.

Variables.- Son aquellas características de una parte que pueden ser medidas. Como ejemplos se tiene la longitud en milímetros, - una resistencia en ohms, esfuerzo de cierre de una puerta en kilogramos y el par de apriete de un tornillo en Newton-metro.

3.- SIMBOLOGIA.

AMEF - Análisis del modo y efecto de la falla.

A₂ - Es un factor de multiplicación de \bar{R} utilizado para calcular los límites de control de la gráfica de medias.

A₄ - Es un factor de multiplicación de \bar{R} utilizado para calcular los límites de control de la gráfica de medianas.

A₃ - Es un factor de multiplicación de \bar{S} utilizado para calcular los límites de control de la gráfica de modias en las gráficas \bar{X} -S.

A₅ - Es un factor de multiplicación de \bar{R} utilizado para calcular los límites de control de la gráfica de lecturas individuales.

B₃, B₄ - Factores de multiplicación de \bar{S} utilizados para calcular los límites de control inferior y superior respectivamente en la gráfica de desviación estándar.

C - Es la cantidad de defectos en la muestra, en muestras de tamaño constante n.

C₄ - Es un divisor de \bar{S} utilizado para estimar la desviación - estándar del proceso.

- C_p - Índice de habilidad potencial del proceso.
- C_{pk} - Índice de habilidad real del proceso.
- d_2 - Es un divisor de \bar{R} utilizado para estimar la desviación estándar del proceso.
- D_3, D_4 - Son factores de multiplicación de \bar{R} , utilizados para calcular los límites de control inferior y superior respectivamente de la gráfica de rangos.
- K - Es la cantidad de subgrupos utilizados para calcular los límites de control.
- LCS - Es el límite de control superior: $LCS_{\bar{x}}$, LCS_r , LCS_p , etc., - son respectivamente los límites de control superior de las medias, rangos, proporción de piezas defectuosas, etc.
- LCI - Es el límite de control inferior: $LCI_{\bar{x}}$, LCI_r , LCI_p , etc., - son respectivamente los límites de control inferior de las medias, rangos, proporción de piezas defectuosas, etc.
- LES - Es el límite de especificación superior.
- LEI - Es el límite de especificación inferior.
- LE - Es el límite unilateral de tolerancia especificada.
- n - Es la cantidad de mediciones en un subgrupo o sea, el tamaño de muestra del subgrupo.
- \bar{n} - Es el promedio del tamaño de muestra de los subgrupos.

- np - Es la cantidad de unidades defectuosas en la muestra, en muestras de tamaño constante n.
- NPR - Es el número de prioridad de riesgo.
- P - Es la proporción de unidades defectuosas en la muestra, en muestras de tamaño variable n.
- P_z - Es el porcentaje de piezas fuera de un límite especificado (porcentaje defectuoso); z ó más unidades de desviación estándar fuera del promedio del proceso.
- R - Es el rango del subgrupo (Valor mayor menos valor menor).
- \bar{R} - Es el rango promedio de una serie de subgrupos de tamaño constante.
- S - Es la desviación estándar del subgrupo.
- \bar{S} - Es la desviación estándar promedio de una serie de subgrupos de tamaño constante.
- u - Es la proporción de defectos en la muestra, en muestras de tamaño variable n.
- x - Es un valor individual.
- \bar{x} - Es la media de los valores individuales de un subgrupo.
- $\bar{\bar{x}}$ - Es la media de las medias de los subgrupos. Es el promedio medido del proceso.
- \tilde{x} - Es la mediana de los valores individuales de un subgrupo.

$\bar{\bar{X}}$ - Es el promedio de las medianas de los subgrupos. Es la mediana estimada del proceso.

Z - Es la habilidad del proceso expresada en el número de unidades de desviación estándar del promedio del proceso a un límite especificado; Z_{min} es la distancia al límite especificado más cercano.

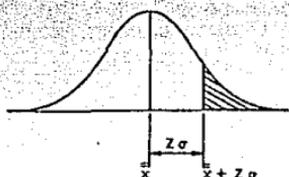
σ - Es la desviación estándar del proceso.

$\hat{\sigma}$ - Es la estimación de la desviación estándar del proceso.

$\sigma_{\bar{x}}, \sigma_R, \sigma_p, etc.$ - Son respectivamente la desviación estándar de la distribución de las medias de los subgrupos, la desviación estándar de la distribución de los rangos de los subgrupos, la desviación estándar de la distribución de la proporción defectuosa, etc.

\bar{c} - Característica de control

4. TABLAS

AREAS BAJO LA CURVA NORMAL MAS ALLA DEL VALOR $\bar{x} + z \sigma$
(PARA CALCULOS POR SIMETRIA)

Z	x.x0	x.x1	x.x2	x.x3	x.x4	x.x5	x.x6	x.x7	x.x8	x.x9
4.0	.0003									
3.9	.0005	.0005	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0004	.0003	.0003
3.8	.0007	.0007	.0007	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005
3.7	.0011	.0010	.0010	.0010	.0009	.0009	.0008	.0008	.0008	.0008
3.6	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014	.0013	.0013	.0012	.0012	.0011
3.5	.0023	.0022	.0022	.0021	.0020	.0019	.0019	.0018	.0017	.0017
3.4	.0034	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026	.0025	.0024
3.3	.0048	.0047	.0045	.0044	.0042	.0040	.0039	.0038	.0036	.0035
3.2	.0069	.0066	.0064	.0062	.0060	.0058	.0056	.0054	.0052	.0050
3.1	.0097	.0094	.0090	.0087	.0084	.0082	.0079	.0076	.0074	.0071
3.0	.0135	.0131	.0126	.0122	.0118	.0114	.0111	.0107	.0104	.0100
2.9	.0181	.0178	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146
2.8	.0236	.0232	.0228	.0224	.0220	.0216	.0212	.0208	.0204	.0200
2.7	.0305	.0301	.0297	.0293	.0289	.0285	.0281	.0277	.0273	.0269
2.6	.0387	.0383	.0379	.0375	.0371	.0367	.0363	.0359	.0355	.0351
2.5	.0482	.0478	.0474	.0470	.0466	.0462	.0458	.0454	.0450	.0446
2.4	.0590	.0586	.0582	.0578	.0574	.0570	.0566	.0562	.0558	.0554
2.3	.0710	.0706	.0702	.0698	.0694	.0690	.0686	.0682	.0678	.0674
2.2	.0843	.0839	.0835	.0831	.0827	.0823	.0819	.0815	.0811	.0807
2.1	.0989	.0985	.0981	.0977	.0973	.0969	.0965	.0961	.0957	.0953
2.0	.1258	.1254	.1250	.1246	.1242	.1238	.1234	.1230	.1226	.1222
1.9	.1587	.1583	.1579	.1575	.1571	.1567	.1563	.1559	.1555	.1551
1.8	.1985	.1981	.1977	.1973	.1969	.1965	.1961	.1957	.1953	.1949
1.7	.2466	.2462	.2458	.2454	.2450	.2446	.2442	.2438	.2434	.2430
1.6	.2938	.2934	.2930	.2926	.2922	.2918	.2914	.2910	.2906	.2902
1.5	.3409	.3405	.3401	.3397	.3393	.3389	.3385	.3381	.3377	.3373
1.4	.3881	.3877	.3873	.3869	.3865	.3861	.3857	.3853	.3849	.3845
1.3	.4353	.4349	.4345	.4341	.4337	.4333	.4329	.4325	.4321	.4317
1.2	.4825	.4821	.4817	.4813	.4809	.4805	.4801	.4797	.4793	.4789
1.1	.5297	.5293	.5289	.5285	.5281	.5277	.5273	.5269	.5265	.5261
1.0	.5769	.5765	.5761	.5757	.5753	.5749	.5745	.5741	.5737	.5733
0.9	.6241	.6237	.6233	.6229	.6225	.6221	.6217	.6213	.6209	.6205
0.8	.6713	.6709	.6705	.6701	.6697	.6693	.6689	.6685	.6681	.6677
0.7	.7185	.7181	.7177	.7173	.7169	.7165	.7161	.7157	.7153	.7149
0.6	.7657	.7653	.7649	.7645	.7641	.7637	.7633	.7629	.7625	.7621
0.5	.8129	.8125	.8121	.8117	.8113	.8109	.8105	.8101	.8097	.8093
0.4	.8601	.8597	.8593	.8589	.8585	.8581	.8577	.8573	.8569	.8565
0.3	.9073	.9069	.9065	.9061	.9057	.9053	.9049	.9045	.9041	.9037
0.2	.9545	.9541	.9537	.9533	.9529	.9525	.9521	.9517	.9513	.9509
0.1	.9917	.9913	.9909	.9905	.9901	.9897	.9893	.9889	.9885	.9881
0.0	.9999	.9995	.9991	.9987	.9983	.9979	.9975	.9971	.9967	.9963

**TABLA DE CONSTANTES
PARA EL CALCULO DE
LOS LIMITES DE CONTROL Y LA DESVIACION ESTANDAR
ESPERADA ($\hat{\sigma}$)**

TAMAÑO DE MUESTRA	A ₂	D ₄	D ₃	A ₃	B ₄	B ₃	A ₄	A ₅	d ₂	c ₄
2	1.880	3.267		2.659	3.267		1.880	2.660	1.128	0.7979
3	1.023	2.574		1.954	2.568		1.187	1.772	1.693	0.8862
4	0.729	2.282		1.628	2.266		0.796	1.457	2.059	0.9213
5	0.577	2.114		1.427	2.089		0.691	1.290	2.326	0.9400
6	0.483	2.004		1.287	1.970	0.030	0.548	1.184	2.534	0.9515
7	0.419	1.924	0.076	1.182	1.882	0.118	0.508	1.109	2.704	0.9594
8	0.373	1.864	0.136	1.099	1.815	0.185	0.433	1.054	2.847	0.9650
9	0.337	1.818	0.184	1.032	1.761	0.239	0.412	1.010	2.970	0.9693
10	0.306	1.777	0.223	0.975	1.716	0.284	0.362	0.975	3.078	0.9727
11	0.285	1.744	0.256	0.927	1.679	0.321			3.173	0.9754
12	0.266	1.717	0.283	0.886	1.646	0.354			3.259	0.9778
13	0.249	1.693	0.307	0.850	1.618	0.382			3.336	0.9794
14	0.235	1.672	0.328	0.817	1.594	0.406			3.407	0.9810
15	0.223	1.653	0.347	0.789	1.572	0.428			3.472	0.9823
16	0.212	1.637	0.363	0.763	1.552	0.446			3.532	0.9835
17	0.203	1.622	0.378	0.739	1.534	0.466			3.588	0.9845
18	0.194	1.608	0.391	0.718	1.518	0.482			3.640	0.9854
19	0.187	1.597	0.403	0.698	1.503	0.497			3.689	0.9862
20	0.180	1.585	0.415	0.680	1.490	0.510			3.735	0.9869
21	0.173	1.575	0.425	0.663	1.477	0.523			3.778	0.9876
22	0.167	1.566	0.434	0.647	1.466	0.534			3.819	0.9882
23	0.162	1.557	0.443	0.633	1.455	0.545			3.858	0.9887
24	0.157	1.548	0.451	0.619	1.445	0.555			3.895	0.9892
25	0.153	1.541	0.459	0.606	1.435	0.565			3.931	0.9896

5.- BIBLIOGRAFIA.

- . American National Standards Institute, "Control Chart Method of Controlling Quality During Production" (ASQC Standard B3-1958/ANSI Z1.3.-1958 revised 1975).
- . Chrysler de México, "Manual de Aseguramiento de Calidad a -- Proveedores" (SQA), 1986.
- . Crosby, Philip B., "Quality is Free", Mc Graw-Hill Book Company, 1979.
- . Crosby, Philip B., "Quality Without Tears", Mc Graw-Hill Book Company, 1984.
- . Deming W. Edwards, "Quality, Productivity and Competitive Position", Massachusetts Institute of Technology, Center For -- Advanced Engineering Study, 1982.
- . Duncan A.J., "Quality Control and Industrial Statistics", Richard D. Irwin, Inc. Fourth Edition, 1974.
- . Eagle, A.R., "A Method for Handling Errors in Testing and Measuring", Industrial Quality Control, March, 1954.
- . Feller, W., "An Introduction to Probability Theory and Its -- Applications", Vol. 1, Third Edition, New York, Wiley, 1968.
- . General Motors de México, "Manual de Calidad para Proveedores", Agosto 1985.
- . Grant L. Eugene, Leavenworth S., "Control Estadístico de Calidad", Mc Graw-Hill, Inc. Tercera Edición, 1979.

- . Grubbs, F.E., "errors of Measurement, Precision, Accuracy and The Statistical Comparison of Measuring Instruments", Technometrics, Vol. 15, February, 1970.
- . Hahn, J.H. and Nelson, W., "A Problem in the Statistical Comparison of Measuring Devices", Technometrics, Vol. 12, No. 1, - February, 1970.
- . Ishikawa, Kaoru, "Guide to Quality Control", Asian Productivity Organization, Second Revised Edition, 1982.
- . Juran J.M., Gryna Frank M., Jr. and Binham R.S., Jr., "Quality Control Handbook", Mc Graw-Hill, Inc., Third Edition, 1979.
- . Manoley, C.J. and Rostogi, S.C., "Significance Test for Grubbs Estimators", Biometrics, 26 December, 1970.
- . Mandel, J., "Repeatability and Reproducibility", Journal of -- Quality Technology, Vol. 4, No. 2, April, 1972.
- . Mc Caslin, J.A. and Gruska, G.F., "Analysis of Attribute Gage-System", ASQC Technical Conference Transactions.
- . Mendenhall W., Reinmuth J.E., "Statistics for Management and - Economics", Third Edition Duxbury Press, North Scitvate, Massachusetts, 1978.
- . Traver, R.W., "Measuring Equipment Repeatability-The Rubber Ruler", 1962 ASQC, Convention Transaction.
- . Wonnacott, T.H. and Wonnacott, R.J., "Introductory Statistics", New York, Wiley, 1969.