

300677

13
29'



UNIVERSIDAD LA SALLE

Escuela de Ingeniería Incorporada a la
U.N.A.M.

CONTROL ESTADISTICO DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA PRINCIPAL EN INGENIERIA
INDUSTRIAL

Presenta

Gerardo Xicontecatl Gómez Morales

México, D. F., Octubre de 1986

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.

CONTROL ESTADISTICO DEL PROCESO

T E M A R I O

- I. INTRODUCCION
- II. SISTEMA DE CONTROL DE PROCESOS
 - A) Prevención vs. Detección
 - B) Variaciones en el Sistema
 - C) Acciones en el Sistema
- III. CAPACIDAD DEL PROCESO
 - A) Definición
 - B) Gráficas de Control
 - C) Beneficios de las Gráficas de Control
- IV. GRAFICAS DE CONTROL PARA VARIABLES
 - A) Gráficas \bar{X} R
 - B) Toma de Datos
 - C) Cálculos de los Límites de Control
- V. INTERPRETACION DE GRAFICAS
 - A) Para el Control del Proceso
 - B) Para la Capacidad del Proceso
 - C) Gráficas Auxiliares
- VI. EJEMPLO PRACTICO Y CONCLUSIONES
- VII. APENDICES Y BIBLIOGRAFIA

I

INTRODUCCION

Para progresar en el clima económico actual, la Industria Mexicana debe buscar constantemente los métodos más eficientes para producir servicios y productos que cumplan con los más altos niveles de calidad mundial. Uno de los objetivos primordiales en toda organización es el obtener el máximo de utilidades, para lograr esto existen principalmente dos métodos, uno aumentar la producción y dos reducir costos, el primero representa un incremento en el número a producir, es una solución obvia y comunmente utilizada pero normalmente requiere de una inversión, como son ampliaciones, compra de maquinaria, aumento de personal, turnos extras, etc., el segundo representa producir las mismas cantidades con mejor calidad y menor costo, lograr con un proceso más eficiente los mismos o mejores niveles de producción, recordando que en todo proceso existe siempre la capacidad de mejorar. Esta tesis pretende mostrar algunas de las necesidades en la efectividad de métodos, describiendo métodos de estadística básica para mejorar el análisis y la eficiencia de los procesos.

Está comprobado que el 85% de los problemas de calidad de un producto son causados por los niveles gerenciales

de una empresa y no por la gente involucrada directamente en la línea de producción, esto es debido a una toma de decisiones pobre o equivocada, provocada por una inadecuada información sobre el estado del proceso. En muchas ocasiones la gente responsable de la toma de decisiones no conoce el estado real de operación de la línea de producción, por lo tanto, el proceso debe ser capaz de documentar constantemente información obtenida directamente en el punto de operación y esta información debe ser acumulada y transmitida a la gerencia, para que se pueda tomar una decisión respecto a los cambios necesarios en la línea de producción. La calidad de un producto debe ser producida y no controlada, lo que se debe controlar son las operaciones. Hasta ahora siempre se ha utilizado un sistema de DETECCION, es decir el producir partes para luego inspeccionarlas, separar las defectuosas, reprocesarlas o destruirlas y aprobar y utilizar las que cumplan con las especificaciones de los clientes, todo esto es muy costoso y lento, esta tesis pretende mostrar un sistema ya existente y ampliamente utilizado en los países industrializados de PREVENCIÓN basado en el control de las etapas de un proceso, para detectar una tendencia a desviación y corregirla antes de producir un defecto.

El elemento esencial de estadística, consiste en reconocer que mientras se cuenta con sistemas de medición suficientemente sensibles, siempre existirá variación en un producto por bueno que este sea. Esta variación se encontrará dentro de un rango o amplitud el cual es constante y repetitivo y por lo tanto controlable. El primer paso para el Control de Proceso es el conocer la capacidad de nuestra máquina o herramienta, no entendiéndose por capacidad el número de piezas por unidad de tiempo que es capaz de producir, sino capacidad de máquina como, el conocer los extremos o límites de la variación dimensional durante la manufactura de

una pieza y si esta variación se encuentra dentro de las tolerancias especificadas por el cliente. Una vez conociendo la capacidad de máquina y cuando la producción ha comenzado, el operador directamente en la línea debe medir las características críticas del producto resultado de su estación, y vaciar los datos en tablas específicas, que serán analizadas y en el caso de existir tendencia hacia cualquiera de los extremos de variación, tomar una acción correctiva en el sistema.

Los métodos de estadística mostrados en esta tesis, incluyen aquéllos que están asociados con el control estadístico y el análisis de capacidad del proceso. Se darán conceptos importantes como son las causas de variación (comunes y especiales) y la introducción a las gráficas de control, herramientas muy efectivas en el control del proceso. Se describirá la construcción y el uso de gráficas de control para los datos variables (datos cuantitativos y/o medidas).

Los conceptos básicos para el uso de señales estadísticas con el fin de mejorar el comportamiento pueden ser aplicados a cualquier área donde se realiza una operación y donde el resultado final varía, exista el deseo de mejorar y se siga la filosofía de "Nunca Acabar de Mejorar".

II. Sistema de Control de Procesos

A).- Prevención vs. Detección

El enfoque tradicional de manufactura, es el depender de producción en hacer un producto y en control de calidad en inspeccionario y señalar los puntos que no cumplan con la especificación. El trabajo es constantemente checado y revisado para encontrar algún error o defecto. Esto se llama DETECCIÓN y está lleno de desperdicio ya que permite que se invierta tiempo y materiales que no son siempre reutilizables, con todo esto, la inspección es económicamente negativa, de alto costo y el desperdicio de producción ya ha sido creado.

Es mucho más efectivo el evitar en principio el desperdicio, el nunca producir material no utilizable, o sea, una estrategia de PREVENCIÓN.

Una estrategia de prevención puede sonar obvio a la mayoría de la gente, sin embargo se necesita un entendimiento de los elementos del sistema de control estadístico del proceso. Surgen las siguientes preguntas.

1. Que significa un sistema de control de proceso?
2. Como afecta la variación del proceso al producto?
3. Como pueden las técnicas de estadística decirnos si un problema es de naturaleza local o si es intrínseco del proceso?
4. Que quiere decir que un proceso se encuentre dentro de control estadístico?
5. Que significa que un proceso sea capaz y/o hábil?
6. Que son las gráficas de control y como se usan?
7. Que beneficios se pueden esperar del uso de gráficas de control?

Necesidad del Control de Proceso

Detección - Permite el desperdicio

Prevención - Evita el desperdicio

Un sistema de control de proceso puede ser definido como un sistema de retro-alimentación. Cuatro elementos principales de este sistema se sumarian a continuación.

- . El Proceso - Por proceso se quiere decir, toda la combinación de gente, equipo, materiales, métodos y medio ambiente que trabajen juntos para obtener y/o producir un rendimiento. El comportamiento total del proceso, la calidad del producto y la eficiencia de producción, depende de como fue diseñado y construido el mismo y de como este operando. El resto del sistema de control de proceso es tan sólo útil, si ayuda a mejorar el comportamiento de este.

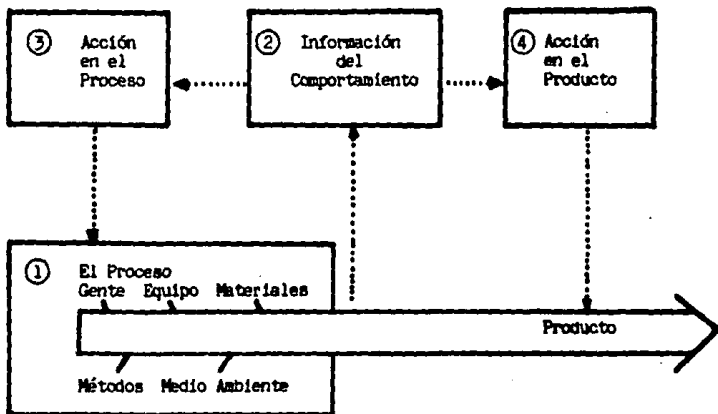
- . Información - Se puede aprender mucho acerca del comportamiento actual del proceso estudiando el producto. Desde un punto de vista más amplio, el producto de cualquier proceso, no es tan solo el producto terminado, sino también todo producto intermedio, que describe el estado de operación del proceso, como son temperaturas, tiempo de ciclos, etc. Si esta información es acumulada e interpretada correctamente puede mostrar si la acción a tomar es necesaria para corregir el proceso en general, o tan solo el producto de determinada etapa o fase del proceso. Es de extrema importancia tomar las acciones apropiadas en el tiempo necesario, de no ser así, todo el esfuerzo de acumular información ha sido desperdiciado.

- . Acción en el Proceso - la acción en el proceso es orientada a futuro, ya que es tomada cuando se necesita prevenir que se produzca fuera de especificación. Esta acción puede consistir en cambios en las operaciones o tan solo en los elementos básicos del proceso. Los efectos de la acción deben ser recopilados y futuros análisis y acciones deben ser tomadas si fuera necesario.
- . Acciones en el Producto - las acciones en el producto están orientadas al pasado, pues detectan las piezas fuera de especificación que ya fueron producidas. Desafortunadamente, si el producto actual no cumple constantemente con los requerimientos del cliente, será necesario seleccionar los productos y retrabajar o destruir todas las piezas que no cumplan con las especificaciones señaladas. Esto se continuará haciendo hasta que la acción correctiva para el proceso sea efectuada o hasta que las especificaciones del producto se hayan modificado.

Es obvio que la inspección en el producto, seguida de la acción es un substituto pobre para el desarrollo efectivo del proceso. Por lo tanto, lo que a continuación se detalla sirve tan solo para la acumulación y análisis de información, de tal manera que la acción se tome para corregir el proceso.

SISTEMA DE CONTROL

DEL PROCESO



II. Sistema de Control de Procesos

B).- Variaciones en el Sistema

Con el fin de usar efectivamente los datos obtenidos a través de la medición en el control del proceso, es importante entender el concepto de variación.

No existen dos productos o características que sean exactamente iguales, ya que ningún proceso tiene las mismas fuentes de variación. Las diferencias entre productos pueden ser grandes o pueden ser extremadamente pequeñas, pero siempre existen. Por ejemplo, el diámetro de una pieza maquinada será susceptible a una variación potencial provocada por la máquina, herramienta, material, operador, mantenimiento y medio ambiente.

Algunas fuentes de variación en el proceso causan diferencias en un período muy corto. Otras fuentes de variación tienden a causar cambios en el producto sólo después de un período de tiempo más amplio, ya sea gradualmente como ocurre con el uso del herramienta o irregularmente, como ocurre con un cambio en el medio ambiente como el corte de energía eléctrica. Por lo tanto, el período de tiempo y las condiciones durante las cuales los datos sean tomados afectarán la variación que se presente.

Desde el punto de vista de los requerimientos mínimos, la causa de variación es constantemente simplificada: partes dentro de las tolerancias especificadas son aceptadas, partes fuera de especificación son rechazadas; los reportes emitidos a tiempo son aceptados, los reportes que se emitan tarde son rechazados. Sin embargo, para manejar cualquier proceso y reducir variación, la variación debe ser analizada desde sus orígenes.

El primer paso consiste en diferenciar las causas comunes de las especiales de variación.

+ Causas Comunes, son aquellas muchas fuentes de variación en un proceso, que se encuentran dentro de control estadístico y que además se comportan como un sistema constante de causas de ocurrencia. Mientras los valores individuales obtenidos son todos diferentes, como grupo tienden a formar un patrón, que puede ser descrito como una distribución. Esta distribución puede ser caracterizada según.-

- Localización (valor típico)
- Longitud (cantidad por la cual el valor más pequeño difiere del valor mayor)
- Forma (El patrón de variación)

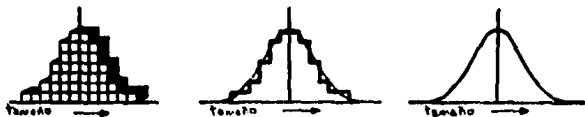
+ Causas Especiales, comúnmente también llamadas asignables, se refieren a cualquier factor que cause variación y que no puede ser explicado adecuadamente por ninguna distribución simple del proceso. A menos que todas las causas de variación sean identificadas y corregidas, continuarán afectando el producto en forma impredecible.

VARIACION - Causas Comunes y Especiales

Las piezas pueden variar una de la otra.-



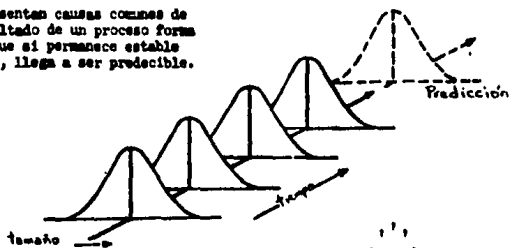
Pero forman un patrón tal que, si estable, se llama DISTRIBUCION.-



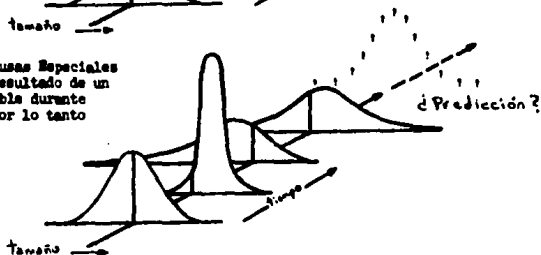
Las distribuciones pueden diferir en:



Si tan sólo se presentan causas comunes de variación, el resultado de un proceso forma una distribución que si permanece estable durante un periodo, llega a ser predecible.



Si se presentan Causas Especiales de variación, el resultado de un proceso no es estable durante ningún periodo y por lo tanto NO es predecible.



II Sistemas de Control de Procesos

C).- Acciones en el Sistema

Existe una relación importante entre las variaciones que acabamos de analizar y los tipos de acciones necesarias para reducir las.

Las Causas Especiales de Variación pueden ser detectadas por medio de técnicas simples de estadística, estas causas de variación no son comunes para todas las operaciones involucradas. El descubrimiento de una causa especial de variación y su eliminación es usualmente responsabilidad de alguien que está directamente involucrado con la operación, sin embargo la gerencia esta a veces en una mejor posición para corregir el problema. La solución de una causa especial de variación, requiere de Acción Local.

Las Causas Comunes de variación pueden ser mostradas por técnicas simples de estadística, pero se necesita un análisis mas a detalle para aislarlas. Usualmente es responsabilidad de la gerencia el resolver estas causas comunes de variación, pero muchas veces la gente que está en contacto directo con la operación puede identificarlas más facilmente y mostrarlas o señalarlas a la gerencia para que sean corregidas. Sin embargo el resolver las causas comunes de variación, requiere de Acciones en el Sistema.

Tan solo una parte relativamente pequeña de todos los problemas de un proceso (la experiencia industrial sugiere un 15%) es corregible localmente por la gente que esta en contacto directo con el proceso, la mayoría (el otro 85%) es corregible solo por la acción directa de parte de la gerencia en el sistema. Confusión en el tipo de acción a tomar es muy costoso para una organización, en términos de esfuerzo perdido, retraso en la solución definitiva del problema y agravamiento del mismo. Por ejemplo, sería equivocado tomar una Acción Local (ej. ajuste de una máquina) cuando la acción

de la gerencia es requerida (ej. seleccionar proveedores que proporcionen calidad constante).

Acciones Locales

- . Usualmente son requeridas para eliminar causas especiales de variación.
- . Pueden ser tomadas por gente cercana al proceso.
- . En promedio pueden corregir un 15% de los problemas de un proceso.

Acciones en el Sistema

- . Usualmente son requeridas para eliminar la variación provocada por causas comunes.
- . Casi siempre se requiere el involucramiento de la gerencia para su solución.
- . En promedio pueden corregir un 85% de los problemas de un proceso.

III.- Capacidad Del Proceso

A).- Definición

El objetivo de cualquier Sistema de Control de Proceso es el de tomar decisiones económicas respecto a las acciones a tomar que afecten el proceso. Esto significa el balancear el riesgo de tomar acciones cuando no se necesitan contra el no tomar acción cuando se necesita. Sin embargo, este riesgo debe ser manejado con el criterio de las dos fuentes de variación antes explicado y considerando las causas comunes y/o especiales.

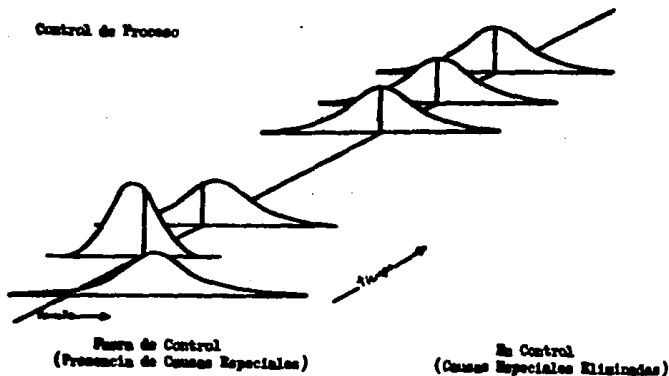
Se dice que un proceso esta operando dentro de control estadístico cuando la única fuente de variación proviene de una causa común. "El estar dentro de control estadístico no es el estado natural de un proceso de manufactura. Sino que es un logro, al que se llega por la eliminación una a una de las causas especiales de variación excesiva". Entonces la función inicial de un sistema de control de proceso es crear una señal estadística cuando se presenten causas especiales de variación, y el evitar dar señales falsas cuando estas no se presenten. Esto permitirá que se tomen medidas apropiadas para eliminar esas causas especiales y prevenir que vuelvan a surgir.

La Capacidad del Proceso se determina por la variación total que proviene de causas comunes. La variación mínima que se puede obtener despues de que todas las causas comunes han sido eliminadas. De esta manera, la capacidad representa el comportamiento del proceso por sí mismo, como se demuestra cuando el proceso esta operando dentro de un estado de control estadístico. La capacidad del proceso es comunmente interpretada como el porcentaje del producto que se encuentra dentro de las tolerancias especificadas.

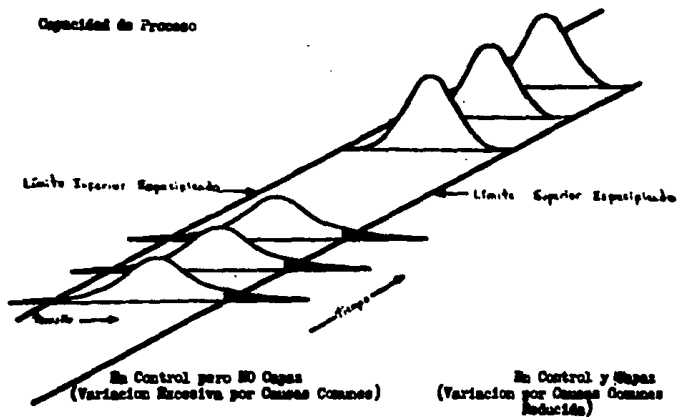
Como un proceso en control estadístico puede ser descrito por una distribución predecible, el porcentaje de piezas fuera de especificación puede ser calculado por medio de esta distribución. Mientras el proceso continúe dentro de control estadístico, continuará produciendo el mismo porcentaje o la misma proporción de piezas fuera de especificación. Se requiere de dirección gerencial para mejorar la habilidad del proceso y así cumplir constantemente con las tolerancias especificadas.

En resumen .- El proceso tiene que ser primero, traído a estar dentro de control estadístico, detectando y eliminando las causas especiales de variación. Así su comportamiento sera predecible y su capacidad para lograr lo que el cliente espera puede ser asegurada. Esto es la base para nunca acabar de mejorar.

Control de Proceso



Capacidad de Proceso



III. Capacidad del Proceso

B).- Gráficas de Control

Las gráficas de control son una herramienta muy poderosa para distinguir las causas especiales de variación de las causas comunes, inventadas en 1920 por el Doc. Walter Shewart de los Laboratorios Bell, han sido muy utilizadas, y con mucho éxito, en diferentes países como E.E.U.U. y Japón.

Diversos tipos de diagramas de control han sido diseñados con el fin de analizar tanto las variaciones como los atributos. Sin embargo, todos los diagramas de control tienen los mismos dos usos primordiales:

- . Como un juicio, para dar evidencia de que un proceso ha estado operando dentro de un estado de control estadístico, y así señalar la presencia de una causa especial de variación y poder tomar la acción correctiva.
- . Como una operación, para mantener el estado de control estadístico, extendiendo los límites de control como bases para el momento de la toma de decisiones.

El mejoramiento del proceso utilizando gráficas de control es un procedimiento reiterativo, repitiendo las fases fundamentales de colección, control y capacidad. Primero los datos son tomados y acumulados siguiendo un plan después, estos datos son utilizados para calcular los límites de control, los cuales son las bases para interpretar los datos de control estadístico. Cuando el proceso se encuentre dentro de control estadístico, puede ser utilizado para el análisis de la capacidad de proceso. Para medir las mejoras en el control y capacidad, el ciclo comienza de nuevo recopilando interpretando y utilizando más datos como la base para la toma de acciones.

III. Capacidad del Proceso

B).- Gráficas de Control

Las gráficas de control son una herramienta muy poderosa para distinguir las causas especiales de variación de las causas comunes, inventadas en 1920 por el Doc. Walter Shevart de los Laboratorios Bell, han sido muy utilizadas, y con mucho éxito, en diferentes países como E.E.U.U. y Japón.

Diversos tipos de diagramas de control han sido diseñados con el fin de analizar tanto las variaciones como los atributos. Sin embargo, todos los diagramas de control tienen los mismos dos usos primordiales:

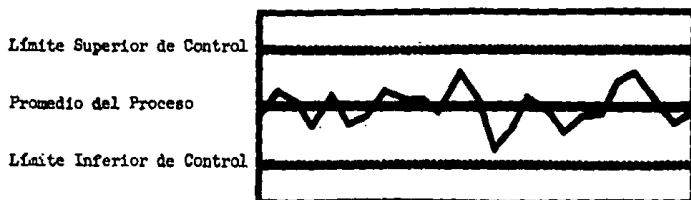
- . Como un juicio, para dar evidencia de que un proceso ha estado operando dentro de un estado de control estadístico, y así señalar la presencia de una causa especial de variación y poder tomar la acción correctiva.
- . Como una operación, para mantener el estado de control estadístico, extendiendo los límites de control como bases para el momento de la toma de decisiones.

El mejoramiento del proceso utilizando gráficas de control es un procedimiento reiterativo, repitiendo las fases fundamentales de colección, control y capacidad. Primero los datos son tomados y acumulados siguiendo un plan después, estos datos son utilizados para calcular los límites de control, los cuales son las bases para interpretar los datos de control estadístico. Cuando el proceso se encuentre dentro de control estadístico, puede ser utilizado para el análisis de la capacidad de proceso. Para medir las mejoras en el control y capacidad, el ciclo comienza de nuevo recopilando interpretando y utilizando más datos como la base para la toma de acciones.

3. Capacidad.- Después de que todas las causas especiales han sido corregidas y el proceso esta trabajando dentro de control estadístico, la capacidad del proceso puede ser determinada. Si la variación generada por causas comunes es excesiva, el proceso no es capaz de producir productos que cumplan constantemente con los requerimientos de los clientes. El proceso como tal, tendrá que ser inspeccionado y se requerirá acción por parte de la gerencia para mejorar el sistema.

Para un mejoramiento constante del proceso se repiten estas tres fases. Se obtienen más datos, trabajando con el fin de reducir la variación del proceso, operándolo bajo control estadístico y mejorando constantemente su capacidad.

GRAFICAS DE CONTROL



1.- Colección:

- Recoleccionar los datos y plasmarlos en la gráfica

2.- Control:

- Calcular los límites de control utilizando los datos del proceso y fórmulas simples.
- Identificar todas las causas especiales de variación, tomar acciones locales para corregir

3.- Capacidad:

- Cuantificar las causas comunes de variación y tomar acciones en el sistema.

Estas tres fases se repiten para el constante mejoramiento del proceso.

III. Capacidad del Proceso

C).- Beneficios de las Gráficas de Control

Es importante resumir algunos de los beneficios primordiales que pueden ser obtenidos a través del uso de las gráficas de control. La lista siguiente incluye puntos de la experiencia de diversos autores en este campo.

- . Los diagramas de control son una herramienta sencilla y efectiva para lograr el control estadístico. Es posible actualizarlos y mantenerlos directamente en la estación de trabajo y por el mismo operador. Le proporcionan a la gente cercana a la operación, información confiable en cuanto se requiere tomar una acción y cuando no se requiere.
- . Cuando un proceso se encuentra dentro de Control Estadístico, su comportamiento dentro de especificaciones es predecible. Por lo cual, tanto el productor como el consumidor pueden confiar en niveles constantes de calidad y en costos constantes de producción para lograr esa calidad.
- . Después de que un proceso se encuentra dentro de control estadístico, su comportamiento puede ser constantemente mejorado con el fin de reducir la variación. Los efectos esperados de tales mejoras pueden ser predeterminados, y los efectos reales o los cambios relativos pueden ser identificados por medio de los datos en los diagramas de control. Estas mejoras en el proceso lograrán:
 - Aumentar el porcentaje del producto que cumple con las especificaciones del cliente (mejora de la calidad).
 - Reducir la cantidad de producto que tiene que ser retrabajado o eliminado (mejora el costo por unidad buena producida), y
 - Aumenta la obtención total de productos aceptables durante todo el proceso (aumenta la capacidad efectiva).

- . Las gráficas de control proporcionan un lenguaje común para la comunicación respecto al comportamiento de un proceso. Ej. entre los dos o tres turnos que operan un proceso, entre la línea de producción (operador, supervisor) y las actividades auxiliares (mantenimiento, control de materiales, ingeniería del proceso, control de calidad); entre diferentes estaciones del proceso; entre el proveedor y el consumidor; entre manufactura e ingeniería del producto, etc.
- . Las gráficas de control, a través de la distinción entre las causas comunes de las especiales de variación, dan una buena indicación respecto a si los problemas pueden ser corregidos localmente o si se requiere la intervención de la gerencia. Esto minimiza la confusión, frustración y el costo excesivo de la mala dirección en el esfuerzo para solucionar un problema.

En los capítulos siguientes, se describen algunas técnicas involucradas en la construcción e interpretación de las gráficas de control. Mientras se lean estas recomendaciones y técnicas, es bueno mantener en mente los beneficios reales que pueden surgir si el uso de las gráficas de control es bien utilizado.

BENEFICIOS DE LAS GRÁFICAS DE CONTROL

Adecuadamente utilizadas, las gráficas de control pueden:

- . Ser utilizadas por los operarios para un control de proceso en el punto de operación
- . Ayudar al proceso a comportarse consistentemente y predecible en cuanto a calidad y costo.
- . Permite que el proceso logre:
 - Mejor Calidad
 - Menor Costo Unitario
 - Mayor Capacidad Efectiva
- . Proveen un lenguaje común para discutir el comportamiento de un proceso
- . Distinguir las causas especiales de las comunes de variación, como una guía para tomar acción localmente o involucrar a la gerencia

IV. Gráficas de Control para Variables

Las gráficas de control para variables, son una herramienta muy útil que puede ser utilizada cuando se tienen datos cuantitativos o medidas de un proceso. Ejemplos serían, el diámetro de un cojinete, el esfuerzo requerido para cerrar una puerta, o el tiempo que se lleva revisar un programa. Las Gráficas de Variables y en especial sus formas más comunes, la grafica \bar{X} (X-testada) y gráfica R representan la aplicación clásica de gráficas de control para el control del proceso.

Las Gráficas de Variables son particularmente útiles por diferentes razones:

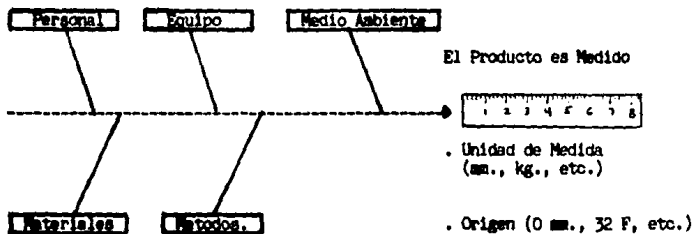
- 1.- La mayoría de los procesos y productos tienen características medibles, así que la posible aplicación es enorme.
- 2.- Un valor medido contiene más información que un simple "pasa-no-pasa" (Ej.- el diámetro es 16.45 mm. vs. el diámetro está fuera de especificación).
- 3.- A pesar de que el obtener los datos de las medidas de una pieza es generalmente más costoso que obtener piezas a través de un calibrador "pasa-no-pasa", se necesita checar menos piezas para obtener más información acerca del proceso, así que en algunos casos el costo total de inspección puede ser más bajo.
- 4.- Por el hecho de que menos piezas tienen que ser checadas antes de tomar una decisión, el tiempo entre la producción de partes y la acción correctiva, puede ser reducido.

- 5.- Con datos de variables, el desempeño de un proceso puede ser analizado aunque todos los valores individuales se encuentren dentro de los de los límites especificados, esto es importante cuando se persigue el "nunca acabar de mejorar".

Las gráficas de variables, pueden explicar los datos del proceso en sus dos formas: tamaño (variación de pieza a pieza) y localización (promedio del proceso). Casi siempre preparadas y analizadas en pares una gráfica para localización y otra para tamaño. El par más común son las gráficas \bar{X} R. \bar{X} es el promedio de los valores en pequeños subgrupos (una medida de localización), R es el rango de valores en cada subgrupo (la más alta menos la más baja) una medida de tamaño.

DATOS DE VARIABLES

Resultados de Medir Productos Intermedios o Finales



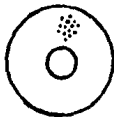
Ejemplos de Productos

Gráficos de Control

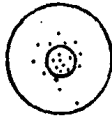
<ul style="list-style-type: none"> . Diámetro interior de Flecha (mm) . Profundidad de abocardado (pulg) . Resistencia del circuito (ampe) . Temperatura del tratamiento (C) . Horario del Transporte (horas) . Tiempo de ajuste de proceso (min) 	<ul style="list-style-type: none"> X para el promedio de medidas R para el rango de medidas
--	---

El método de medición debe producir un resultado preciso y acertado al paso del tiempo.

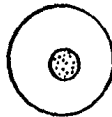
Preciso, No Acertado



Acertado, No Preciso



Acertado - Preciso



IV. Gráficas de Control Para Variables

A).- Gráficas \bar{X} R

Antes de que las gráficas \bar{X} R puedan ser utilizadas, se tienen que tomar varios pasos preparatorios.

- . Establecer un medio adecuado para la acción. Cualquier método de estadística fallará a menos que la gerencia haya preparado un medio adecuado. Temores dentro de la organización que detengan a la gente de participar deben ser eliminados. La gente que no conoce su trabajo debe ser entrenada. La gente debe ser evaluada no solo por la cantidad sino también por la calidad. La gerencia debe proveer recursos para soportar las acciones tomadas para mejorar.
- . Definir el proceso. El proceso tiene que ser comprendido en términos de su relación con otras operaciones-operarios y en términos de los elementos del proceso (gente, equipo, materiales, métodos y medio ambiente) que lo afecten en cada paso. Técnicas como el diagrama de "causa-efecto" ayudan a hacer esta relación visible y permiten la obtención de experiencia de la gente que entiende los diferentes aspectos del proceso.
- . Determinar las características a ser controladas. Los estudios se deben concentrar en aquellas características que prometan más el mejoramiento del proceso. Varias consideraciones son apropiadas
 - . Las necesidades del cliente. Esto se refiere tanto a la estación subsiguiente en un proceso que vaya a utilizar el producto, así como al consumidor del producto terminado. La comunicación de las necesidades de los dos tipos de consumidores al punto del proceso donde la mejoría puede ser realizada requiere de trabajo en equipo y mutuo entendimiento.

- . Areas actuales y potenciales de problema. Considerar la evidencia existente de desperdicio o bajo rendimiento y áreas de riesgo. Estas son oportunidades para mejorar, pero requieren la aplicación de disciplinas estrictas.
- . Correlación entre características. Para un estudio efectivo se debe tomar ventaja de la relación entre características. Por ejemplo, si la característica que nos interesa presenta dificultad de medición (volumen), persiga una característica correlacionada que sea más fácil de medir (peso). Así mismo, si varias características individuales de una pieza tienden a variar juntas, tal vez sea suficiente graficar solo una de ellas.
- . Defina el sistema de medición - La característica tiene que ser operacionalmente definida, de tal manera que las medidas puedan ser comunicadas y tengan el mismo sentido hoy igual que mañana. Esto requiere el especificar que información tiene que ser medida, donde, como, cuando y bajo que condiciones. El equipo de medición tiene que ser evaluable tanto en precisión como en exactitud, la calibración periódica no es suficiente. La definición de las características afectará el tipo de gráfica de control a ser utilizada.
- . Minimizar la variación innecesaria. Las causas externas innecesarias de variación deben de ser reducidas antes de que el estudio comience. Esto pudiera simplemente significar el observar que el proceso esta siendo operado como era la intención, o puede significar el llevar a cabo un estudio conociendo los materiales de alimentación, teniendo los ajustes controlados constantemente, etc. El propósito es el evitar los problemas obvios, que pueden y deben ser corregidos aún sin el uso de las gráficas de control; esto incluye los ajustes excesivos al proceso o el control excesivo. En todos los casos, debe llevarse un diario del proceso anotando todos los sucesos relevantes como son los cambios de herramienta, nuevos

lotes de materia prima, etc. Esto ayudara en los futuros análisis de problemas.

PREPARACION PARA EL USO DE

GRAFICAS DE CONTROL

- . Establecer un medio ambiente apropiado para la acción.
- . Definir el Proceso
- . Determinar las características a ser manejadas considerando:
 - . Las necesidades del cliente
 - . Areas de problemas actuales y potenciales
 - . Correlación entre características
- . Definir el sistema de medición.
- . Minimizar la variación innecesaria.

IV. Gráficas de Control Para Variables

B).- Toma de Datos

Las gráficas \bar{X} R, como un par, son desarrolladas por las medidas de características particulares de un producto. Estos datos son reportados en pequeños subgrupos de tamaño constante, usualmente incluyendo de 2 a 5 piezas consecutivas, con subgrupos tomados periódicamente (Ej. una vez cada 15 minutos, 2 veces por turno, etc.). El plan para la toma de datos debe ser desarrollado y utilizado como las bases para recolectar, grabar y vaciar los datos en las gráficas.

1. Seleccione el tamaño, frecuencia y número de subgrupos.
- Tamaño del subgrupo - El primer paso clave en las gráficas de control de variables es la determinación de "subgrupos racionales" - ellos determinarán la efectividad y eficiencia de la gráfica de control que los usa.

Los subgrupos deben ser seleccionados de tal manera que las oportunidades de variación entre las unidades que lo forman sean mínimas. Si la variación dentro de un subgrupo representa la variabilidad pieza a pieza en un período de tiempo muy corto, entonces cualquier variación inusual entre subgrupos proyectará cambios en el proceso que debieran ser investigados para tomar una acción apropiada. Para el estudio inicial de un proceso, los subgrupos pueden consistir típicamente de 4 o 5 piezas producidas consecutivamente representando una sola herramienta o molde. Esto quiere decir que las piezas de un subgrupo han sido producidas bajo condiciones de producción muy similares y en un intervalo muy corto, así en esencia, la variación dentro de cada subgrupo reflejará causas comunes. El tamaño de la muestra deberá permanecer constante para todos los subgrupos.

CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO Estampado	MAQUINA Prensa 3000 - 96	NUMERO DE PARTE EN3E-9615-AA Carter
CARACTERISTICA Runzando	ESPECIFICACION .50 a .99 mm	DISENO No 3845-17

LSC-	LIC-	PROMEDIOS	Muestra 5 <i>chicos x hora</i>
------	------	-----------	--------------------------------

COMIENZO	PAGO Y P. I.
----------	--------------

LSC-	LIC-	RANGOS
------	------	--------

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

- Frecuencia del subgrupo - El objetivo es el detectar cambios en el proceso durante algún tiempo. Los subgrupos deben ser recolectados con la frecuencia necesaria y en el momento apropiado para que puedan reflejar las posibilidades potenciales de cambio. Esas posibilidades potenciales pueden ser el cambio de patrones, el cambio de operarios, pérdidas de material, etc.

Durante el estudio inicial del proceso, los subgrupos son tomados consecutivamente o en intervalos pequeños, para detectar si el proceso cambia o muestra alguna inestabilidad durante pequeños lapsos. Así como el proceso demuestre estabilidad (o se logren mejoras al proceso), el período de tiempo entre los subgrupos puede ser incrementado.

- Número de subgrupos - El número de subgrupos debe satisfacer dos criterios. Desde el punto de vista del proceso, se deben de obtener un número suficiente de subgrupos tales que aseguren que las fuentes principales de variación han tenido la oportunidad de aparecer. Desde el punto de vista estadístico, 25 o más subgrupos conteniendo aproximadamente 100 o más lecturas individuales dan una buena muestra de estabilidad y una buena estimación de la localización del proceso y de su amplitud. En algunos casos, se pueden obtener datos existentes los cuales acelerarán esta primera fase del estudio. Sin embargo, solo deben ser utilizados si son recientes.

2. Preparación de las Gráficas de Control y Record de Datos Reales.

Normalmente las gráficas \bar{X} R son elaboradas con la gráfica \bar{X} sobre la gráfica R y con el grupo de datos al final de la hoja. Los valores de \bar{X} y R serán las escalas verticales mientras que la secuencia de subgrupos a través del tiempo será la escala horizontal. Los valores de los datos y la amplitud de la gráfica deberán ser alineados verticalmente.

CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO Estampado	MAQUINA Prensa 3000-96	NÚMERO DE PARTE E43E-9615-AA Carter
CARACTERÍSTICA Puntoneado	ESPECIFICACION .50 a .99 mm	DISEÑO No. 3845-17

I	LSC-	LIC-	PROMEDIOS	Muestra 5	Unidades hora.

II	LSC-	LIC-	RANGOS

Paso IV B 2 - Primeros 4 subgrupos

Fecha/Hora/h:B	1	2	3	4
1	.66	.72	.76	.62
2	.70	.86	.80	.70
3	.64	.72	.80	.70
4	.64	.85	.70	.76
5	.82	.65	.66	.65
sum	3.10	3.87	3.22	3.44
\bar{x}	.73	.77	.76	.68
R	.20	.20	.10	.12

Paso II B 3
 Para el primer subgrupo:
 $Sum = .66 + .72 + .76 + .62 = 3.50$
 $\bar{x} = 3.50/5 = .70$
 $R = .85 - .66 = .19$

* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

El block de datos deberá incluir espacios para cada lectura individual, (la forma anexa puede almacenar subgrupos conteniendo hasta 5 muestras). También deberá incluir un espacio para la suma de lecturas, el promedio (\bar{X}), el rango (R), y la fecha y hora o cualquier otra identificación del subgrupo. Mostrar los valores reales y la identificación para cada subgrupo.

3. Cálculo del promedio (\bar{X}) y del Rango (R) de cada subgrupo. Las características a ser vaciadas son el promedio de la muestra (\bar{X}) y el rango de la muestra (R) para cada subgrupo, estas reflejan el promedio y la variabilidad generales del proceso respectivamente.

Para cada subgrupo, calcular:

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

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

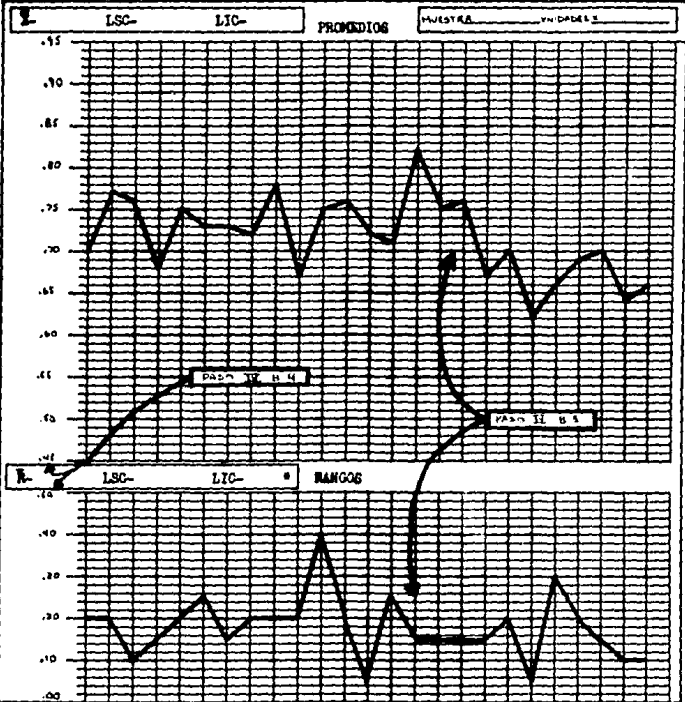
donde X_1, X_2, \dots, X_n , son los valores individuales en el subgrupo y n es el tamaño de la muestra.

4. Selección de escalas para las Gráficas de Control.

Las escalas verticales para ambas gráficas son para los valores medidos de \bar{X} y R respectivamente. Algunas guías generales para determinar las escalas pueden ser de gran ayuda, aunque algunas tengan que ser modificadas en circunstancias particulares. Para la gráfica \bar{X} la diferencia entre el valor mayor y el valor menor en la escala debe ser de cuando menos dos veces la diferencia entre el promedio mayor y el promedio menor del subgrupo (\bar{X}). Para la gráfica R, los valores deben extenderse desde un valor menor que cero hasta un valor de aproximadamente el doble que el rango mayor (R) encontrado durante el periodo inicial.

CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO Estampado	MAQUINA Presna 2000-96	NUMERO DE PARTE E43E-9615-AA Carter
CARACTERISTICA Punzones lo	ESPECIFICACION .50 a .99 mm.	DISEÑO No. 384547



MES/DIA	6-8	6-9	6-10	6-11	6-12	6-13	6-14	6-15	6-16	6-17	6-18	6-19	6-20	6-21	6-22	6-23	6-24	6-25	6-26	6-27	6-28	6-29	6-30		
1	.65	.75	.78	.69	.70	.65	.71	.60	.61	.69	.81	.70	.65	.92	.71	.77	.61	.60	.76	.60	.60	.65	.61		
2	.70	.81	.80	.70	.71	.75	.80	.70	.80	.70	.75	.71	.70	.84	.80	.70	.70	.65	.67	.61	.60	.61	.60	.70	
3	.61	.75	.80	.70	.61	.71	.61	.80	.67	.80	.78	.81	.71	.81	.89	.72	.90	.60	.65	.61	.61	.77	.65	.70	
4	.65	.81	.70	.71	.61	.81	.71	.75	.81	.80	.70	.61	.71	.75	.77	.89	.70	.78	.61	.60	.80	.61	.60	.60	
5	.61	.61	.75	.61	.80	.70	.70	.75	.71	.61	.81	.70	.70	.69	.81	.61	.80	.60	.70	.61	.65	.75	.65	.70	.61
Σ	3.00	3.15	3.40	3.00	3.15	3.65	3.00	3.70	3.15	3.15	3.72	3.30	3.60	3.21	4.10	3.71	3.81	3.21	3.30	3.18	3.10	3.45	3.54	3.14	3.70
\bar{x}	.70	.77	.76	.68	.75	.73	.71	.78	.67	.72	.76	.72	.71	.82	.77	.76	.67	.70	.62	.66	.68	.70	.64	.66	
R	.10	.10	.10	.11	.10	.11	.10	.10	.20	.10	.10	.10	.15	.11	.11	.11	.11	.11	.12	.20	.15	.13	.10	.10	

* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

5. Vaciado de los Promedios y de los Rangos en las Gráficas de Control.
Se vacían los Promedios y los Rangos en la gráfica respectiva. Se unen los puntos con líneas para facilitar la visualización de los patrones. Brevemente, se revisa la localización de los puntos checando sean razonables, si algún punto está notablemente más alto o más bajo que el resto, confirmar que los cálculos y/o el vaciado sean correctos. Hay que asegurarse que los puntos correspondientes en las gráficas \bar{X} R esten en la misma línea vertical.

IV. Gráficas de Control Para Variables

C).- Cálculo de los Límites de Control

Primero se generan los Límites de Control para la gráfica de rangos, y después aquellos para la gráfica de Promedios. El cálculo de los límites de control para las gráficas de variables utilizan constantes que aparecen en la fórmula que se muestra a continuación. Estos factores, que difieren dependiendo del tamaño del subgrupo (n), están mostrados en tablas que acompañan las fórmulas respectivas.

1. Cálculo del Promedio del Rango (\bar{R}) y del Promedio del Proceso ($\bar{\bar{X}}$) Para el periodo estudiado, calcule:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

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

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. Cálculo de los Límites de Control

Los límites de control son calculados para mostrar la extensión en la cual el promedio y el rango del subgrupo variarían si tan sólo se presentaran causas comunes de variación. Están basadas en el tamaño de la muestra del subgrupo y en la cantidad de variación reflejada en los rangos.

Cálculo de los límites de control (superior e inferior) para promedios y para rangos:

$$\begin{aligned} \text{Límite Superior de Control } R &- LSC_R = D_4 \bar{R} \\ \text{Límite Inferior de Control } R &- LIC_R = D_3 \bar{R} \\ \text{Límite Superior de Control } \bar{x} &- LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ \text{Límite Inferior de Control } \bar{x} &- LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{aligned}$$

donde D_4 , D_3 y A_2 son constantes obtenidas de tablas que varían según el tamaño de la muestra, con valores como los que se muestran a continuación

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	*	*	*	*	*	.08	.14	.18	.22
A_2	1.88	1.02	.73	.58	.48	.42	.37	.34	.31

*(Para tamaños de muestra menores que 7, el LIC_R sería técnicamente un número negativo, en esos casos no existe el Límite Inferior de Control esto quiere decir que para un subgrupo de tamaño 6, seis medidas idénticas no serían irrazonables).

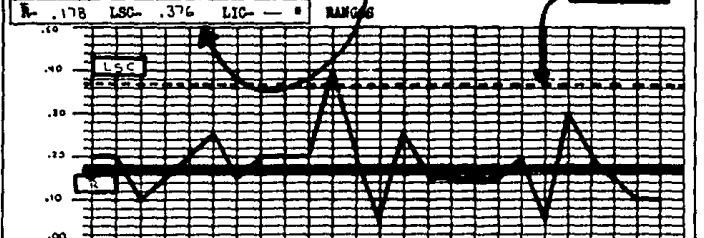
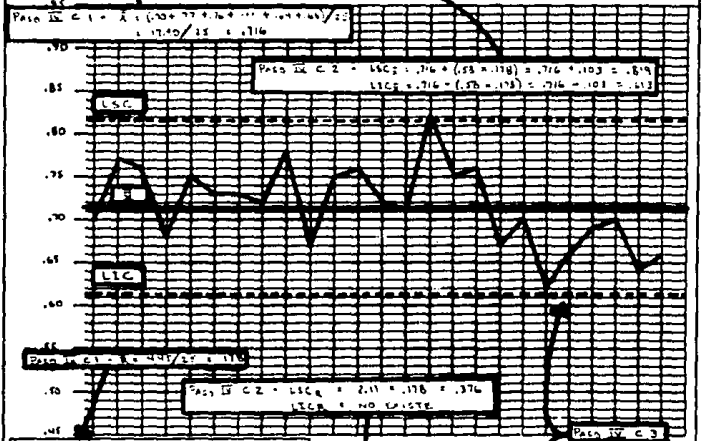
3. Dibujo de líneas para los promedios y los Límites de Control en las Gráficas

Se marca el Rango Promedio (\bar{R}) y el Promedio del Proceso ($\bar{\bar{X}}$) con una línea horizontal sólida, los límites de control (LSC_R , LIC_R , $LSC_{\bar{x}}$, $LIC_{\bar{x}}$) con líneas horizontales punteadas. Durante la fase inicial de estudio estos límites de control son considerados a prueba.

CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO Estampado	MAQUINA Presca 3000-96	NUMERO DE PARTE E43E-9615-AA Carter
CARACTERISTICA Punzonado	ESPECIFICACION .50 a .99 mm.	DISEÑO No. 384547

$\bar{x} = .716$ LIC = .613 PRO MEDIOS MUESTRA 5 UNIDADES 2 horas



MES/DIA	6-8	6-9	6-10	6-11	6-12	6-13	6-14	6-15	6-16	6-17	6-18	6-19	6-20	6-21	6-22	6-23	6-24	6-25	6-26	6-27	6-28	6-29	6-30		
1	.67	.71	.75	.69	.70	.65	.72	.69	.61	.69	.80	.75	.71	.70	.65	.83	.71	.72	.71	.61	.69	.69	.69	.65	.65
2	.70	.85	.80	.70	.71	.75	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80
3	.65	.75	.80	.70	.71	.75	.67	.80	.81	.60	.81	.65	.81	.82	.87	.72	.82	.80	.81	.65	.65	.65	.65	.65	.65
4	.67	.67	.70	.71	.81	.85	.71	.75	.81	.80	.70	.63	.71	.75	.75	.87	.70	.70	.62	.60	.80	.65	.65	.60	.60
5	.85	.65	.71	.65	.80	.72	.70	.75	.71	.67	.87	.70	.70	.68	.65	.65	.80	.60	.70	.65	.80	.75	.65	.70	.65
BAR	1.00	1.15	1.12	1.00	1.11	1.05	1.04	1.00	1.00	1.01	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
1	.70	.77	.76	.68	.75	.73	.73	.71	.78	.67	.72	.76	.72	.71	.82	.73	.76	.67	.70	.62	.66	.69	.70	.64	.66
2	.80	.89	.80	.75	.80	.81	.80	.82	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80	.80

* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

V. - Interpretación de Gráficas

A).- Para el Control de Proceso

Los límites de control pueden ser interpretados como sigue: Si la variación pieza a pieza del proceso y el promedio del proceso se mantuvieran constantes a sus niveles actuales (como fueron estimados por \bar{R} y $\bar{\bar{X}}$ respectivamente), los Rangos (R) y Promedios (\bar{X}) de los subgrupos presentarán variación pero muy rara vez irán más allá de los límites de control. El objetivo del análisis con gráficas de control, es el de identificar cualquier evidencia de que no están trabajando en un nivel constante (que uno o ambos están fuera de control estadístico) y el tomar una acción apropiada.

Gráfica de Rangos

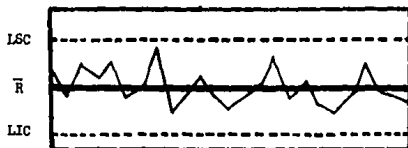
1.- Análisis del vaciado de datos en la Gráfica de Rangos.

Como la habilidad para interpretar el subgrupo de rangos o el subgrupo de promedios depende de la variación estimada pieza a pieza, la gráfica R es analizada primero. Los datos son comparados contra los límites de control, buscando puntos fuera de control o patrones inusuales.

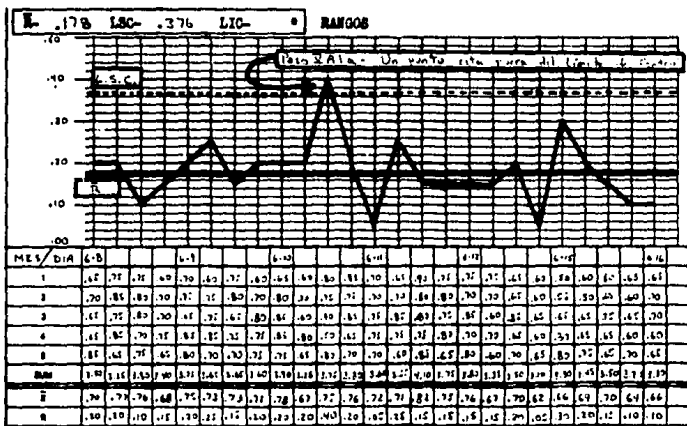
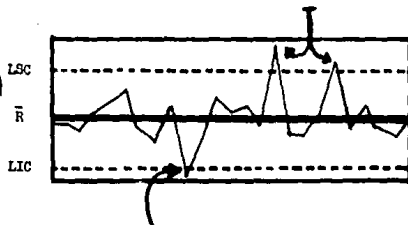
a) Puntos Fuera de los Límites de Control

La presencia de uno o más puntos fuera de cualquiera de los límites de control es la primera evidencia de no-control en ese punto. Como los puntos fuera de los límites de control se presentan muy rara vez si tan solo existe variación por causas comunes, se puede asumir que una causa especial ocurrió en el valor extremo. Por lo tanto, cualquier punto fuera de los límites de control es señal para un análisis inmediato de la operación buscando una causa especial. Un punto sobre el Límite Superior de Control de Rangos es generalmente una señal de:

Proceso en Control
Para Rangos



Proceso Fuera de Control
Para Rangos
(Puntos fuera de los
límites de control).



* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay límite inferior de control en Rangos

- El límite de control o el punto en la gráfica, fué mal calculado o mal ilustrado.
- La variación pieza-a-pieza o la magnitud de la distribución ha incrementado.
- El sistema de medición ha cambiado.

Un punto debajo de Límite Inferior de Control (para tamaño de muestras 7 o mayor) es generalmente un signo de:

- El Límite de Control o el vaciado de puntos en la gráfica estan en error.
- El tamaño de la distribución a decrecido.
- El sistema de medición cambio.

Patrones o Tendencias dentro de los Límites de Control.

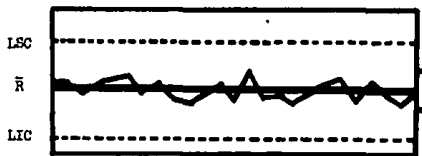
La presencia de tendencias inusuales aún cuando todos los rangos están dentro de los límites de control, pueden ser evidencia de no-control o cambios en la magnitud del proceso durante el período del patrón o tendencia. Esto puede dar la primera señal de condiciones no favorables que tienen que ser corregidas aún antes de que los puntos sean mostrados fuera de los límites de control. Por otro lado, algunas tendencias o patrones pueden ser favorables y deberán ser estudiadas para posibles mejoras permanentes del proceso.

b) Distancia de los puntos a \bar{R} .

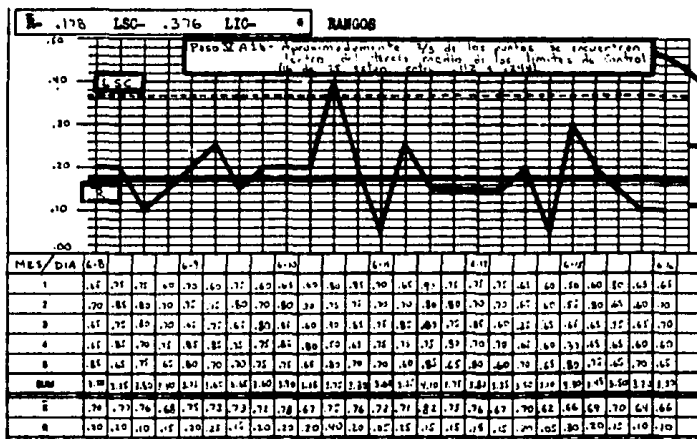
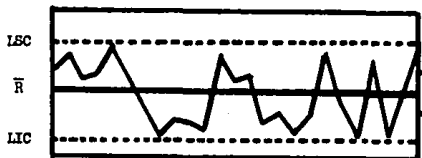
Aproximadamente 2/3 de los puntos de datos deberían postrarse dentro del tercio medio de la región entre los límites de control, aproximadamente 1/3 de los puntos se localizarán en los 2/3 extremos de la región. Si substancialmente más de 2/3 de los puntos se encuentran cerca de \bar{R} , revisar:

- Si los límites de control o el vaciado de puntos ha sido mal calculado o mal vaciado.
- El proceso o el método de muestreo esta hecho por estratos, sistemáticamente cada subgrupo contiene medidas de 2 o más corridas del proceso que tienen promedios muy diferentes.
- Los datos han sido editados (subgrupos con rangos que hubieran sido muy desviados, alterados o retirados del promedio).

Proceso Fuera de Control Para Rangos.
(Puntos muy cerca al rango promedio).



Proceso Fuera de Control Para Rangos.
(Puntos muy cerca a los límites de Control).



* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

Si subetancialmente menos de $2/3$ de los puntos se encuentran cerca de \bar{R} ,
chechar:

- Los Límites de Control o el vaciado de puntos fué mal calculado o mal vaciado.
- Si el proceso o el método de muestreo causan subgrupos sucesivos, que contienen medidas de dos o más corridas del proceso que tienen variaciones dramáticamente diferentes (Ej. mezcla excesiva de materia prima).
Si se encuentran diversas corridas de un proceso, deberán ser identificadas y checadas por separado.

c) Corridas.

Los siguientes son signos de que una corrida del proceso o una tendencia ha comenzado:

- Siete puntos continuos en un lado del promedio
- Siete punto continuos que estan creciendo o decreciendo constantemente.

Marque el punto que propicia una decisión, puede ser de ayuda como referencia del comienzo de la corrida. El análisis debe considerar el tiempo aproximado donde parezca que comenzó la tendencia o el turno.

Una corrida arriba del Rango promedio significa:

- Una diversificación mayor en los valores obtenidos, lo cual puede ser de una causa irregular (como es un mal funcionamiento del equipo) o por un cambio en uno de los elementos del proceso (Ej. un nuevo y menos uniforme lote de materia prima) estos problemas usualmente requieren corrección.
- Un cambio en el sistema de medición (nuevo inspector o nuevo instrumental).

Una corrida abajo del Rango promedio, significa:

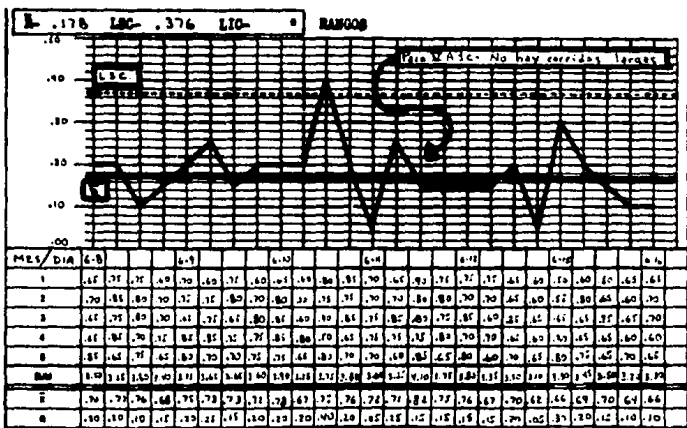
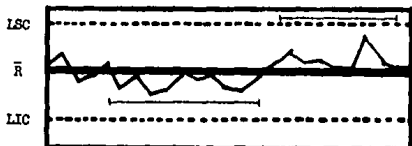
- Una diversificación menor en los valores obtenidos, que usualmente es una condición favorable que debería ser analizada para una mayor aplicación.
- Un cambio en el sistema de medición, que pudiera estar cubriendo los cambios reales del comportamiento.

Nota- Mientras el tamaño del subgrupo (n) es menor, la posibilidad de que corra abajo de \bar{R} aumenta.

Proceso Fuera de Control Para Rangos
(Corridas largas en ambos lados del Rango Promedio)



Proceso Fuera de Control Para Rangos
(Corrida larga arriba)



* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

2 - Encontrar y Corregir Causas Especiales (Gráfica de Rangos)

Por cada indicación de una causa especial en los rangos, se conduce un análisis de la operación del proceso para determinar la causa, corregir la condición, y prevenir su reincidencia. La Gráfica de Control es una guía en el análisis del problema, sugiriendo el comienzo de la condición y su duración. El tiempo es muy importante en el análisis de problemas, tanto para minimizar la producción de piezas no concordantes, como para obtener evidencia reciente para la diagnóstico. Por ejemplo, la presencia de un solo punto fuera de los límites de control, es razón suficiente para comenzar un análisis inmediato del proceso.

Debe ser enfatizado que la "solución al problema" es frecuentemente el paso más difícil y que más tiempo toma. Mientras los datos estadísticos tomados de la gráfica de control son utilizados como el punto de arranque, las explicaciones del comportamiento se basan en el proceso y en la gente involucrada en él.

3 - Recálculo de los Límites de Control (Gráfica de Rangos).

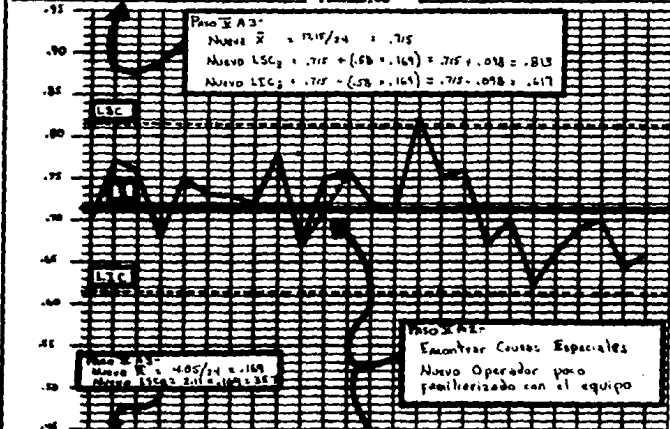
Cuando se lleva a cabo un estudio inicial del proceso o un chequeo de la capacidad del proceso, los límites de control deben ser recalculados para excluir los efectos de los períodos "fuera de control". Excluir todos los subgrupos afectados por causas especiales que han sido corregidas, después recalcular y vaciar el nuevo rango promedio (\bar{R}) y los límites de control. Confirmar que todos los puntos de rango muestran control cuando se comparan contra los nuevos límites, repitiendo la secuencia de identificación, corrección y recálculo si es necesario.

Si algún subgrupo fuera quitado de la gráfica R debido a la identificación de alguna causa especial, deberá ser excluido también de la gráfica \bar{X} , los datos \bar{X} y \bar{R} corregidos deberán ser utilizados para recalcular los límites de control para los promedios $\bar{X} \pm A_2\bar{R}$.

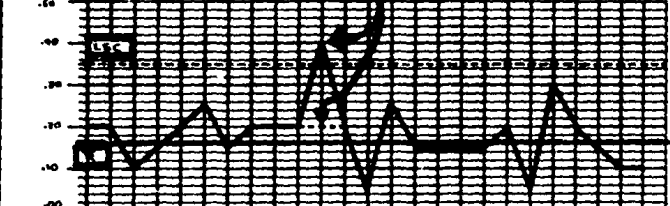
CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO Estampado	MAQUINA Prensa 3000-96	NUMERO DE PARTE E43E-9615-AA Carter
CARACTERISTICA Puntoneo	ESPECIFICACION .50 a .49 mm.	DISÑO N.º 384547

$\bar{x} = .715$ LSC = .813 LIC = .617 PROMEDIOS MUESTRA 5 - DAME 2 HORAS



$\bar{x} = .169$ LSC = .376 LIC = 0 RANGOS



MES/DIA	6-6	6-7	6-8	6-9	6-10	6-11	6-12	6-13	6-14	6-15	6-16	6-17	6-18	6-19	6-20	6-21	6-22	6-23	6-24						
1	.57	.71	.78	.69	.70	.60	.71	.60	.65	.69	.80	.71	.70	.65	.92	.71	.71	.61	.63	.76	.60	.65	.65		
2	.78	.88	.80	.70	.71	.71	.80	.70	.80	.71	.71	.70	.62	.86	.87	.70	.70	.67	.67	.80	.65	.60	.70		
3	.67	.71	.80	.70	.61	.71	.61	.80	.68	.60	.60	.61	.71	.82	.81	.71	.86	.60	.61	.61	.61	.57	.57	.70	
4	.67	.87	.70	.71	.84	.71	.71	.78	.84	.80	.70	.62	.76	.71	.77	.77	.70	.79	.67	.67	.67	.65	.60	.60	
5	.84	.68	.71	.65	.80	.70	.70	.72	.71	.61	.77	.70	.70	.67	.67	.65	.80	.60	.72	.61	.67	.71	.65	.70	.65
6	.80	.72	.70	.70	.71	.67	.67	.80	.70	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71
7	.70	.71	.70	.68	.71	.71	.71	.71	.67	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71
8	.70	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71	.71

* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

Nota- La exclusión de subgrupos representando condiciones inestables, no es tan sólo el deshacerse de "datos malos". Sino que, excluyendo los puntos afectados por causas especiales conocidas, tendremos una mejor estimación del nivel de variación anterior debido a causas comunes. Esto nos da las bases más apropiadas para los límites de control utilizados en detectar ocurrencias futuras de causas especiales de variación.

Gráfica de Promedios

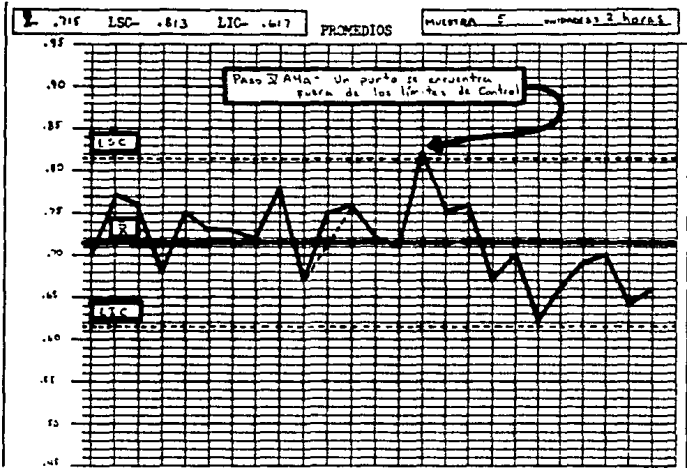
4 - Análisis del vaciado de datos en la Gráfica de Promedios

Cuando los rangos están en control estadístico el tamaño del proceso (la variación de los subgrupos), se considera estable. Los promedios pueden ser analizados para ver si la localización del proceso está cambiando con el tiempo. Si los promedios están en control estadístico, reflejan tan sólo la cantidad de variación mostrada en los rangos (las causas comunes de variación en el sistema). Si los promedios no están en control, algunas causas especiales de variación están haciendo la localización del proceso inestable.

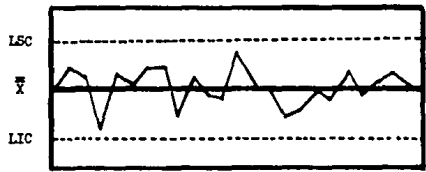
a) Puntos Fuera de los Límites de Control.

La presencia de uno o más puntos fuera de cualquiera de los límites de control es evidencia primaria de la presencia de causas especiales en ese punto. Es la señal para el análisis inmediato de la operación. Un punto fuera de los límites de control, es generalmente signo de:

- Los límites de control o el vaciado de puntos está en error.
- El proceso fué modificado, ya sea en el momento determinado o como parte de un cambio.
- El sistema de medición fue cambiado. (Ej. diferente instrumental u operador).



Proceso en Control
para Promedios.



Proceso Fuera de Control
para Promedios
(un punto fuera de los
límites de Control).



Patrones o Corrientes dentro de los Límites de Control.

La presencia de patrones o corrientes inusuales pueden ser evidencia de no control o cambio en la capacidad durante el período del patrón o corriente.

b).- Distancia de los puntos al promedio del proceso.

Aproximadamente 2/3 de los puntos de datos deben caer dentro del tercio medio de la región entre los límites de control, aproximadamente 1/3 de los puntos estará en los dos tercios extremos de la región, aproximadamente 1/20 se posara relativamente cerca de los límites de control.

Si substancialmente más de 2/3 de las \bar{x} se encuentran cerca de la línea promedio del proceso, revisar:

- Los límites de control o vaciado de puntos fue mal calculado o mal vaciado
- El proceso o el método de muestreo estan formando grupos y cada subgrupo contiene medidas de dos o más corrida del proceso que tienen diferentes promedios.

Si substancialmente menos de 2/3 de los puntos se encuentran cerca del promedio del proceso, revisar:

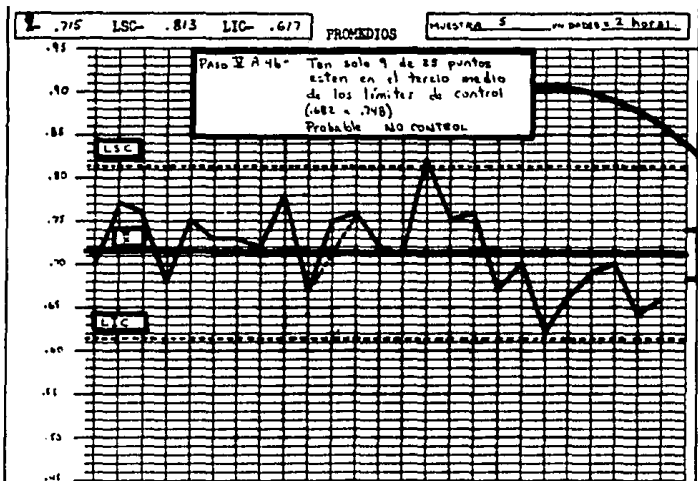
- Los límites de control o puntos fueron mal calculados o mal vaciados.
- El proceso o el método de muestreo causan subgrupos sucesivos que contienen medidas de dos o más corrientes muy diferentes del proceso (esto puede ser el resultado de sobre-control de un proceso ajustado donde los cambios del proceso son hechos en respuesta a la fluctuación en los datos del proceso).

Si se presentan diferentes corrientes del proceso, deben ser identificadas y perseguidas por separado.

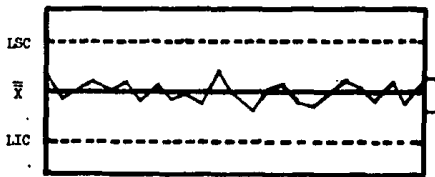
C).- Corridas

Las siguientes son muestras de que un turno o una corriente ha comenzado: 7 puntos consecutivos en un lado del proceso o 7 puntos consecutivos que estan constantemente creciendo o decreciendo.

Marcar el punto que propicie la decisión puede ayudar a extender una línea de referencia al punto donde la corrida comenzó. El análisis debe considerar el



Proceso Fuera de Control Para Promedios.
(Puntos demasiado cerca al promedio del proceso)



Puntos Fuera de Control Para Promedios.
(Puntos demasiado cerca a los límites de control).



momento donde parezca que la corriente o el turno comenzó.

Una corrida relativa a la corriente del proceso es generalmente un signo de:

- El promedio del proceso cambió y puede seguir cambiando, o
- El sistema de medición cambió.

5.- Encontrar y Corregir las Causas Especiales (Gráfica de Promedios)

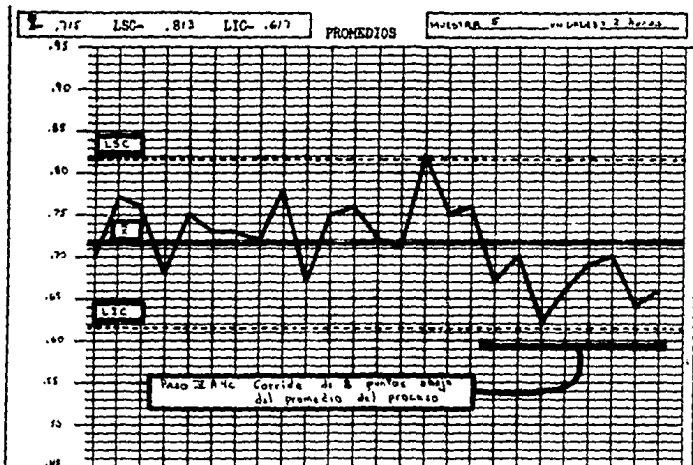
Por cada indicación de una condición fuera-de-control en los datos promedios, se conduce un análisis de la operación del proceso para determinar el motivo de la causa especial, se corrige esa condición y se previene su reincidencia. Se utilizan los datos en la gráfica como una guía para conocer cuando comenzó la condición del problema y cuanto duro. El tiempo en el análisis es importante tanto para el diagnóstico como para minimizar el producto no concordante.

6.- Recálculo de los Límites de Control (Gráfica de Promedios).

Quando se lleva a cabo un estudio inicial del proceso, o un estudio para confirmar la capacidad del proceso, se deben excluir todos los puntos fuera de control que fueron provocados por causas especiales. El promedio del proceso y los límites de control se recalculan y se plasman. Se confirma que todos los puntos se muestran dentro de control cuando son comparados contra los nuevos límites repitiendo la secuencia de identificación, corrección y recálculo si fuera necesario.

Nota: La intención de lo antes expuesto era dar una introducción funcional al análisis de las gráficas de control. Sin embargo existen otras consideraciones que pudieran ser muy útiles para el análisis. Una de las más importantes es el recordar que aún para los procesos que están dentro de control estadístico, entre más datos se revisen más grande es la probabilidad de obtener una señal falsa de Causa Especial.

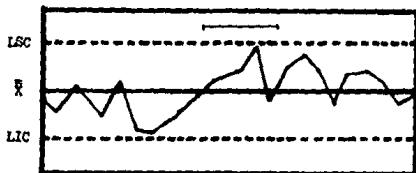
A pesar de que es inteligente el investigar todos los eventos señalados como evidencia posible de causas especiales, debe reconocerse que pudieron ser



Proceso Fuera de Control
 Para Promedios
 (Corridas largas arriba
 y abajo del promedio)



Proceso Fuera de Control
 Para Promedios
 (Corridas largas arriba).



provocadas por el sistema y puede ser que no exista problema en el proceso. Si no se encuentra una evidencia clara del problema en el proceso cualquier acción "correctiva" tan sólo servirá probablemente para aumentar en lugar de disminuir la variabilidad total en el producto del proceso.

7.- Extensión de los Límites de Control sobre el proceso

Cuando los datos iniciales o históricos están constantemente contenidos dentro de los límites demostrados de control se pueden extender los límites para cubrir períodos futuros. Estos límites serán utilizados para el control del proceso sobre la marcha, teniendo al operador y al supervisor local respondiendo inmediatamente a las señales de fuera-de-control tanto en la gráfica \bar{X} como en la R.

Un cambio en el tamaño de la muestra del subgrupo afectará el rango promedio y los límites de control para ambos, los promedios y los rangos. Esta situación puede ocurrir si, por ejemplo, se decide tomar muestras más pequeñas más frecuentemente, para así detectar turnos más largos del proceso más rápidamente sin aumentar el número de piezas muestreadas por día.

Para ajustar las líneas centrales y los límites de control para un nuevo tamaño de muestra de subgrupo los siguientes pasos son necesarios.

a).- Se estima la desviación estándar del proceso (se muestra como $\hat{\sigma}$ sigma testada estimada). Utilizando el tamaño de muestra existente se calcula:

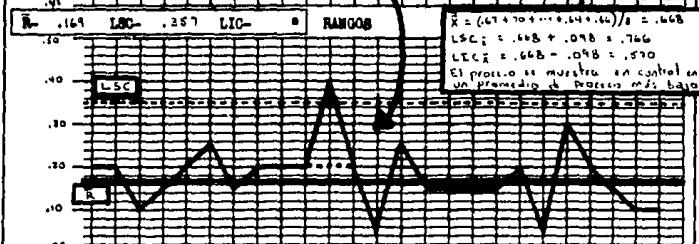
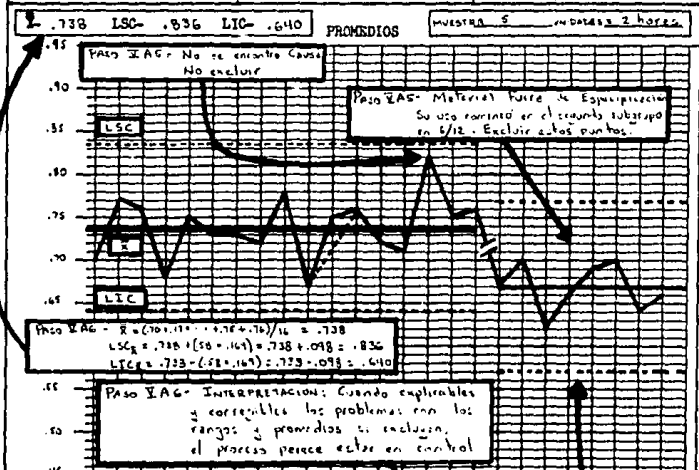
$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

donde \bar{R} es el promedio del rango del subgrupo (para períodos con el rango en control) y d_2 es una constante que varía según el tamaño de la muestra como se indica en la porción de tabla siguiente:

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

CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO Estampado	MAQUINA Prensa 3000-96	NUMERO DE PARTE 643E-9615-AA Carter
CARACTERISTICA Punzonado	ESPECIFICACION .50 a .49 mm.	DISEÑO No. 384547



MES / DIA	6-8	6-9	6-10	6-11	6-12	6-13	6-14	6-15	6-16
1	.65	.71	.71	.69	.70	.69	.69	.70	.65
2	.70	.85	.80	.72	.75	.80	.80	.79	.75
3	.67	.73	.69	.70	.67	.66	.69	.67	.67
4	.65	.67	.70	.71	.68	.75	.65	.68	.68
5	.65	.65	.75	.65	.63	.70	.75	.75	.65
6	.70	.65	.75	.65	.63	.70	.75	.75	.65
7	.65	.65	.75	.65	.63	.70	.75	.75	.65
8	.65	.65	.75	.65	.63	.70	.75	.75	.65
SUM	5.15	5.65	5.60	5.31	5.65	5.60	5.78	5.65	5.30
\bar{x}	.70	.70	.70	.66	.70	.70	.71	.70	.66
R	.30	.20	.10	.15	.19	.15	.15	.15	.10

* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

b)-. Usando los factores de tablas para d_2 , D_3 , D_4 y A_2 basandose en el nuevo tamaño de muestra se calcula el nuevo rango y los nuevos límites de control.

$$\bar{R}_{nueva} = \hat{\sigma} d_2$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}_{nueva}$$

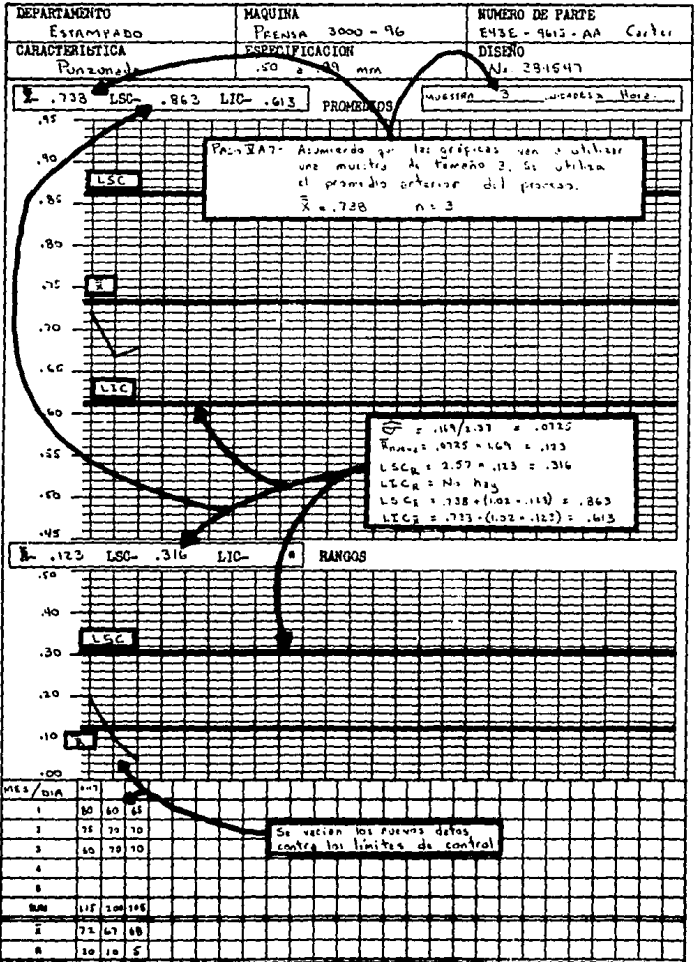
$$LIC_R = D_3 \bar{R}_{nueva}$$

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}_{nueva}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}_{nueva}$$

Los nuevos límites de control se vacían en la gráfica y sirven de bases para el control del proceso. Estos límites de control se deben extender hasta cubrir aproximadamente 20 a 25 futuros subgrupos. Mientras el proceso se mantenga en control a niveles constantes tanto en los promedios como en los rangos los límites pueden ser extendidos para periodos adicionales. Sin embargo si existe evidencia de que el promedio o el rango del proceso cambió (en cualquier dirección) los límites deberán ser recálculados basandose en el comportamiento actual.

CONTROL DE PROCESO



* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

V. Interpretación de Gráficas

B).- Para la Capacidad del Proceso

Habiendo determinado que el proceso está dentro de control estadístico, la pregunta sigue siendo si el proceso es capaz. ¿Es su comportamiento aceptable contra especificaciones? Si la capacidad no es aceptable, entonces se necesita un cambio radical para mejorar, ya que la capacidad refleja variación proveniente de causas comunes, las cuales casi siempre requieren de acciones de parte de la gerencia para corregir el sistema.

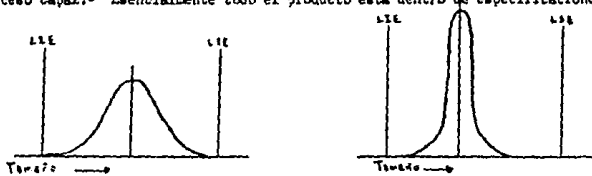
El procedimiento para estimar la capacidad del proceso comienza después de que los puntos de control reflejados en las gráficas \bar{X} R han sido resueltos (las causas especiales han sido identificadas, analizadas, corregidas y se ha prevenido su reincidencia) y las gráficas de control reflejan que el proceso está corriendo dentro de control estadístico, preferentemente para 25 o más subgrupos. Esto involucra el comparar la distribución del producto del proceso contra las especificaciones de ingeniería para decidir si las especificaciones se pueden lograr constantemente.

Existen un número de técnicas para calcular la capacidad de un proceso que se encuentra dentro de control estadístico. Algunos, tal como el método que se describe en esta tesis, asumen que el producto del proceso describe una distribución normal en forma de campana. Si no se sabe si la distribución es normal tendrán que hacerse pruebas para demostrarlo.

La técnica de evaluación de capacidad que se muestra, envuelve tan solo cálculos simples basados en los datos obtenidos de la gráfica de control. El promedio del proceso \bar{X} es utilizado como la localización de la distribución. Como una medida de amplitud, se utiliza la desviación estandar, calculada de

CAPACIDAD DEL PROCESO

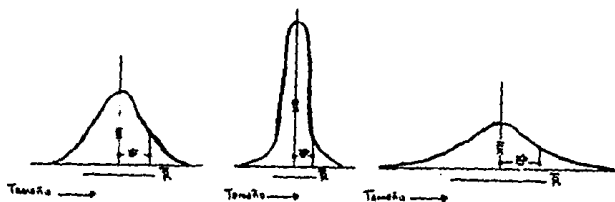
Proceso Capaz.- Esencialmente todo el producto está dentro de especificaciones.



Proceso NO Capaz.- El producto se encuentra fuera de especificación.

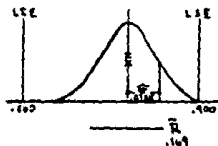


Desviación Estandar y Rango.- Para un tamaño de muestra dado, entre más grande el rango promedio \bar{R} , más grande la desviación estándar σ



Del Ejemplo.- Estimamos la desviación estándar del proceso del rango promedio.

$$\begin{aligned} \bar{R} &= .169 \\ n &= 5 \\ d_2 &= 2.33 \\ \sigma &= \bar{R}/d_2 = .169/2.33 = .0725 \\ \bar{X} &= .738 \\ LSE &= .500 \\ LSE &= .900 \end{aligned}$$



una fórmula simple que utiliza el rango promedio \bar{R} . Se asume que la forma es normal, si esto no es cierto, los resultados serán incorrectos.

1.- Cálculo de la desviación estandar del proceso.

Como la variabilidad del proceso dentro de los subgrupos está reflejada en el rango del subgrupo, la desviación estandar estimada del proceso ($\hat{\sigma}$) (sigma testada estimada) se puede basar en el promedio del rango (\bar{R}). Se calcula.

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

donde \bar{R} es el promedio de los rangos del subgrupo (para períodos con los rangos en control) y d_2 es una constante que varía dependiendo del tamaño de la muestra, como se señala en la siguiente porción de tabla.

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d2	1.13	1.69	2.06	2.33	2.53	2.70	2.85	2.97	3.08

Este estimado de la desviación estandar del proceso ($\hat{\sigma}$) puede ser utilizado para la evaluación de la capacidad del proceso, siempre y cuando ambos, los rangos y los promedios esten dentro de control estadístico.

2.- Cálculo de la Capacidad del Proceso

La capacidad puede ser descrita en términos de la distancia entre el promedio del proceso y los límites especificados en unidades de desviación estandar, Z.

*Para tolerancias unilaterales, se calcula:

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

donde: LE = límite especificado

\bar{X} = promedio del proceso

$\hat{\sigma}$ = desviación estandar del proceso

• Para tolerancias bilaterales, se calcula.-

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}}$$

$$Z_{LIE} = \frac{\bar{X} - LIE}{\hat{\sigma}}$$

$$Z_{\min} = Z_{LSE} \text{ ó } Z_{LIE}$$

mínima

donde: LSE = Límite Superior Especificado

LIE = Límite Inferior Especificado

Z puede ser utilizada en conjunto con una tabla de distribución normal estandar (ver apéndice II) para estimar la proporción de producto que estará fuera de especificación (asumiendo que el proceso está dentro de control estadístico y cuenta con una distribución normal).

• Para tolerancias unilaterales, se localiza el valor de Z en la tabla (apéndice II), buscando las unidades y decimales en el extremo izquierdo y las centésimas a lo largo de la tabla. El número localizado en la intersección renglón-columna es la proporción fuera de especificación (P_g). Ej. para $Z=1.95$, la intersección del renglón 1.5 y la columna .05 nos da $P_g = .0594$

• Para tolerancias bilaterales, se calcula por separado la proporción fuera de los límites superior e inferior especificados.

Si $Z_{LSE} = 2.21$ y $Z_{LIE} = 2.05$, el total fuera de especificación es:

$$P_{Z_{LSE}} + P_{Z_{LIE}} = .0136 + .0022 = .0158$$

El valor de Z_{\min} también puede ser convertido a un Índice de Capacidad C_{pk}

que se define como:

$$C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3} = \text{Mínimo de } \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}} \text{ o } \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}}$$

donde: LSE y LIE son los límites superior e inferior especificados por ingeniería, \bar{X} es el promedio del proceso, $\hat{\sigma}$ es la desviación estandar del proceso.

Un proceso con $Z_{min} = 3$ puede ser descrito con capacidad de $\pm 3\sigma$ y tendrá un Índice de Capacidad $C_{pk} = 1.00$. Si $Z_{min} = 4$ el proceso tendrá $\pm 4\sigma$ de capacidad y $C_{pk} = 1.33$

• Ejemplo del Cálculo de la Capacidad de Proceso:

De los datos anteriores :

$$\bar{X} = .738$$

$$\hat{\sigma} = .0725$$

$$LSE = .900$$

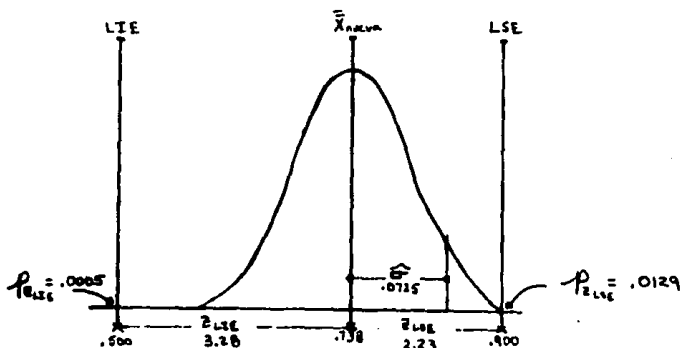
$$LIE = .500$$

Como el proceso tiene tolerancias bilaterales:

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}} = \frac{.900 - .738}{.0725} = 2.23$$

$$Z_{LIE} = \frac{\bar{X} - LIE}{\hat{\sigma}} = \frac{.738 - .500}{.0725} = 3.28$$

$$Z_{min} = 2.23$$



la proporción fuera de especificación será.-

$$P_{eLSE} = .0129 \text{ (de tabla en apéndice II)}$$

$$P_{eLSE} = .0005 \text{ (de tabla en apéndice II)}$$

$$P_{Total} = .0134$$

El índice de capacidad será.-

$$C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3} = \frac{2.23}{3} = .74$$

Si este proceso pudiera ser ajustado, la proporción de partes fuera de los límites especificados pudiera ser reducida, aún sin cambios en $\hat{\sigma}$.

Por ejemplo, si se confirma con las gráficas de control que $\bar{X}_{nueva} = .700$ (centrada), entonces:

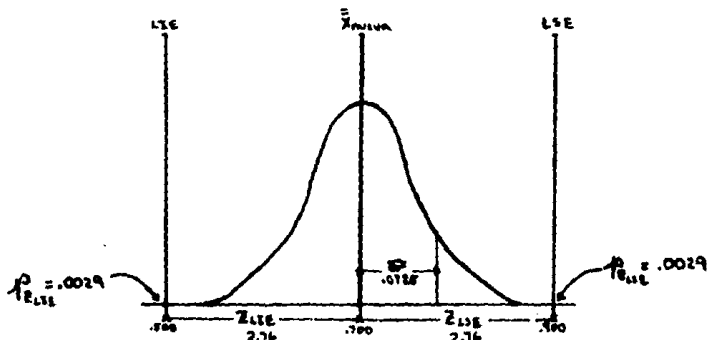
$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}_{nueva}}{\hat{\sigma}} = \frac{.900 - .700}{.0725} = 2.76$$

$$Z_{LSE} = \frac{\bar{X}_{nueva} - LIE}{\hat{\sigma}} = \frac{.700 - .500}{.0725} = 2.76$$

La proporción total fuera de especificación será.-

$$P_{eLSE} + P_{eLSE} = .0029 + .0029 = .0058$$

El índice de capacidad será.- $C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3} = \frac{2.76}{3} = .92$



3.- Evaluación de la Capacidad del Proceso

Hasta aquí, el proceso fué puesto dentro de Control Estadístico, y su capacidad ha sido descrita en términos de Zain o C_{pk} . El siguiente paso es evaluar la capacidad del proceso en términos de "cumplir con las necesidades del cliente". El objetivo fundamental es el nunca acabar de mejorar el desarrollo del proceso, sin embargo a corto plazo, las prioridades se deben fijar de acuerdo a cual proceso recibirá atención primero. Esta es esencialmente una decisión económica, y las circunstancias varían de caso a caso dependiendo de la naturaleza de cada proceso en particular y del comportamiento de otros procesos que hayan sido candidatos para acción inmediata. Mientras cada decisión puede ser tomada individualmente, comunmente es de gran ayuda el utilizar guías más extensas para delimitar prioridades y promover consistencia en los esfuerzos de mejoramiento. Cuando existe un criterio de capacidad, la regla de decisión se simplifica, el proceso que no cumple con el criterio requiere acción inmediata. En estas situaciones hay un grupo limitado de acciones disponibles.-

- . Seleccionar el producto y retrabajar o destruir cualquier pieza que no cumpla con las especificaciones (un procedimiento costoso y poco confiable que tolera el desperdicio), o
- . Solicitar que las tolerancias especificadas del producto sean alteradas para ser consistentes con la actual capacidad del proceso (una acción administrativa que no mejora directamente el producto y que será aprobada sólo si el diseño no se ve afectado),o
- . Mejorar la capacidad del proceso por medio de la reducción de variación causada por causas especiales (la solución a largo plazo - mejorar continuamente).

Aún cuando no existe un criterio explícito de capacidad, siempre habrá beneficios que serán logrados con el continuo mejoramiento del proceso y la reducción de variación por causas comunes.

De nuestro ejemplo:

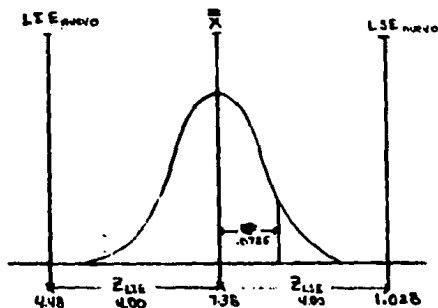
Si el criterio de capacidad fuera $\pm 4\sigma$ ($Z_{min} \geq 4$) el desarrollo actual sería inaceptable ya que $Z_{min} = 2.22$, aún si pudiera ser centrado $Z_{min} = 2.76$. Se requiere una acción.-

- Si todo el producto fuera chequeado, aproximadamente 1.4% (por lo menos .6% cuando está centrado) deberá ser desechado o retrabajado, esto es costoso y desconfiable.
- Es posible cambiar las especificaciones del producto, siempre y cuando se mantenga la intención del diseño.

Si el proceso no va a ser modificado, las nuevas especificaciones a $\pm 4\sigma$

$$\begin{aligned} \text{serán.- } X \pm 4\sigma &= .738 \pm 4 \cdot .0725 = .738 \pm .290 \\ &= .448 \text{ a } 1.028 \end{aligned}$$

Redondeando = .45 a 1.03

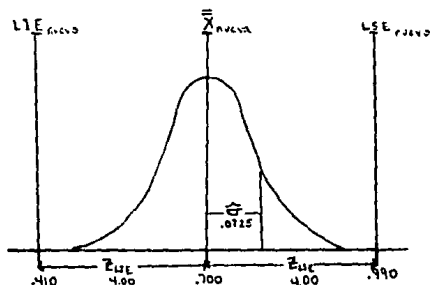


Si el proceso ha sido ajustado y ha sido confirmado por las gráficas de control que $\bar{X}_{nueva} = .700$ (centrada), las nuevas especificaciones a $\pm 4 \sigma$ serán.-

$$\bar{X}_{nueva} \pm 4 \sigma = .700 \pm 4(.0725) = .738 \pm .290$$

$$= .440 \text{ a } 1.028$$

Redondeando = .40 a 1.00



Para mejorar el actual comportamiento (lo cual es nuestro objetivo a largo plazo), la variación proveniente de causas comunes debe ser reducida, esto será medido como una σ más pequeña.

El promedio actual del proceso \bar{X} es utilizado para calcular la magnitud o el alcance necesario para una capacidad de $\pm 4 \sigma$ en especificaciones existentes.

$$\sigma_{nueva} = \frac{LSE - \bar{X}}{Z_{min_{nueva}}}$$

o

$$\sigma_{nueva} = \frac{\bar{X} - LIE}{Z_{min_{nueva}}}$$

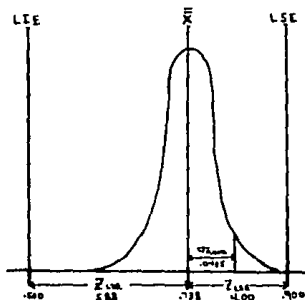
dependiendo de cual límite especificado está más cercano al promedio del proceso,

En este ejemplo el Límite Superior Especificado es el más cercano, por lo tanto:

$$\sigma_{nueva} = \frac{.900 - .738}{4}$$

$$\sigma_{nueva} = .0405$$

Esto quiere decir que se deben tomar acciones para reducir la desviación estandar del proceso de .0725 a .0405 aproximadamente 44% en mejora.



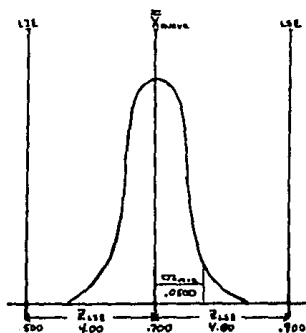
Se se confirma con las gráficas de control que el proceso se ha centrado, y que $\bar{X}_{nueva} = .700$, la amplitud necesaria para una capacidad de $\pm 4 \sigma$ con las especificaciones existentes será.-

$$\sigma_{nueva} = \frac{LSE - \bar{X}_{nueva}}{Z}$$

$$\sigma_{nueva} = \frac{.900 - .700}{4}$$

$$\sigma_{nueva} = .0500$$

Con ajustes en el proceso al centro de las especificaciones, se necesitarán acciones para reducir la desviación estandar del proceso de .0725 a .0500 o aproximadamente 31%.



4.- Mejoramiento de la Capacidad del Proceso

Los problemas causantes de una capacidad de proceso inaceptable son usualmente causas comunes. Acciones tienen que ser dirigidas hacia el sistema, hacia los factores intrínsecos que son causantes de la variabilidad del proceso, como son el comportamiento de máquina, consistencia en materias primas, los métodos básicos de operación, métodos de entrenamiento, o el medio ambiente de trabajo. Como regla general, estas causas relacionadas al sistema de no capacidad de proceso están fuera de la habilidad de corregir del operador y/o su supervisor local. En cambio, requieren de intervención gerencial para hacer los cambios básicos, proveer recursos, y otorgar la coordinación necesaria para mejorar el comportamiento del proceso. Intentos de corregir el sistema con soluciones locales y a corto plazo serán fructuosos. Sin embargo el uso de métodos más avanzados de análisis de problemas incluyendo técnicas estadísticas pueden ser necesarias para lograr reducciones significantes.

Para mejorar el comportamiento crónico del proceso, se tienen que concentrar en las causas comunes que afectan todos los períodos. Esto, usualmente requiere de intervención de la gerencia en el sistema.

5.- Gráficas y Análisis del Proceso Revisado

Cuando se tomaron acciones sistemáticas en el proceso sus efectos deberán mostrarse en las gráficas de control, especialmente en términos de reducción de rangos. Las gráficas se convierten en un método de verificación de la efectividad de la acción tomada.

Mientras se vaya implementando el cambio al proceso, la gráfica de control deberá ser chequeada cuidadosamente. Este período de cambio puede provocar desorden en las operaciones, causando potencialmente nuevos problemas de

control que pudieran obscurecer los efectos del cambio del sistema.

Después de que las inestabilidades del período de cambio han sido resueltas, la nueva capacidad del proceso puede ser calculada y utilizada como la base para los nuevos límites de control en futuras operaciones.

Se confirma la efectividad de los cambios del sistema, a través del continuo monitoreo de las gráficas de control.

V. Interpretación de Gráficas

C).- Gráficas Auxiliares

1.- Gráficas \bar{X} s

Las gráficas \bar{X} s, tal como las gráficas $\bar{X}R$, son desarrolladas gracias a los datos obtenidos del producto del proceso, y siempre son utilizadas en pares. Las gráficas de Rangos R fueron creadas como medidas de la variación del proceso, ya que el rango es fácil de calcular y relativamente eficiente para tamaños de muestra de subgrupos pequeños (especialmente menores que 8). La Desviación Estándar "s" de una muestra es un indicador más eficiente de la variabilidad del proceso, especialmente con tamaños de muestras más grandes. Sin embargo, son más complejas de calcular y son menos sensitivas en detectar causas especiales de variación que provocan un valor único e inusual en un subgrupo. Típicamente se utilizan las gráficas "s" en lugar de las R, cuando:

- Los datos son grabados y/o plasmados por computadora, así el cálculo rutinario de "s" es integrado más fácilmente, o,
- Se cuenta con una calculadora en la línea, esto hace que el cálculo de "s" sea rutinario, o,
- Cuando se utilizan tamaños de muestra de subgrupos muy grandes y la más eficiente medida de variación es apropiada.

FIGURA I

Recolección de Datos

Espesor de Pintura (mil)

Tamaño de Muestra: 10 piezas consecutivas 2 veces al día.

	1-11		1-12		1-13		1-14		1-15		1-18		1-19	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1.50	1.01	1.22	1.08	.98	1.12	.72	1.04	1.08	1.20	1.25	1.24	1.15	1.08
2	1.10	1.10	1.05	1.12	1.30	1.30	1.10	1.14	.92	1.13	.91	1.34	1.16	1.31
3	1.20	1.15	.93	1.11	1.31	1.01	1.13	1.18	1.11	1.11	.92	1.40	1.12	1.12
4	1.25	.97	1.08	1.28	1.12	1.20	1.02	1.12	1.20	1.16	1.04	1.26	1.22	1.18
5	1.05	1.25	1.15	1.00	1.08	1.11	.93	1.00	1.02	1.03	.93	1.13	1.12	1.15
6	.95	1.12	1.27	.95	1.10	.93	1.17	1.02	1.04	1.25	1.08	1.15	1.07	1.17
7	1.10	1.10	.95	1.15	1.15	1.02	1.24	1.05	.94	1.20	1.24	1.08	1.04	.98
8	1.16	.90	1.11	1.14	1.35	1.25	.78	1.34	1.05	1.24	1.42	1.02	1.28	1.05
9	1.37	1.04	1.12	1.28	1.12	1.05	1.34	1.12	1.12	1.10	1.10	1.05	1.12	1.00
10	.98	1.08	1.10	1.31	1.26	1.10	1.12	1.05	1.06	1.03	1.00	1.18	1.10	1.26
\bar{x}	1.15	1.07	1.10	1.14	1.18	1.11	1.18	1.11	1.06	1.15	1.10	1.14	1.14	1.13
s	.136	.098	.106	.120	.121	.115	.136	.101	.086	.079	.170	.125	.070	.107
	1-20		1-21		1-22									
	1	2	1	2	1	2								
1	1.08	1.14	1.06	1.14	1.07	1.13								
2	1.26	1.02	1.12	1.22	1.05	.90								
3	1.13	1.14	.94	1.18	.97	1.12								
4	.94	.94	1.12	1.27	1.05	1.04								
5	1.30	1.30	1.20	1.17	1.16	1.40								
6	1.15	1.08	1.02	1.26	1.02	1.12								
7	1.07	.94	1.14	1.15	1.02	1.15								
8	1.02	1.12	1.03	1.07	1.14	1.01								
9	1.22	1.15	1.02	1.02	1.07	1.30								
10	1.18	1.36	1.09	1.36	1.00	1.14								
\bar{x}	1.14	1.12	1.08	1.18	1.06	1.13								
s	.111	.117	.074	.099	.054	.141								

Paso X C 1

Las instrucciones para el vaciado de las gráficas \bar{X}_s , son muy similares a aquellas para las gráficas $\bar{X}\bar{R}$, seguiremos los mismos pasos haciendo referencia a sus correspondientes y mostrando tan sólo las diferencias principales.

Paso 1: Toma de datos (Ver capítulo IV - B, pag. 29)

- Si los datos numéricos son excesivos, usualmente se registran en una hoja de datos donde tan sólo aparecen los subgrupo de \bar{X} y s . (Figura I).
- Se calcula la desviación estandar de cada muestra del subgrupo "s" utilizando una de las siguientes fórmulas equivalentes:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad \sigma$$

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

donde: X_i, \bar{x}, n representan los valores individuales, los valores promedios y el tamaño de muestra de los subgrupos.

- La escala utilizada en la gráfica "s" deberá ser la misma que en su correspondiente gráfica \bar{X} .

Paso 2.- Cálculo de los Límites de Control (Ver Capítulo IV-C, pag. 36).

- Se calculan los límites superiores e inferiores de control tanto para la desviación estandar como para los promedios ($LSC_s, LIC_s, LSC_{\bar{x}}, LIC_{\bar{x}}$)

$$LSC_s = B_4 \bar{s} \qquad LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s}$$

$$LIC_s = B_3 \bar{s} \qquad LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s}$$

donde.- \bar{s} es el promedio de la desviación estandar de la muestra de un subgrupo individual, B_4, B_3 y A_3 son constantes que varían según el tamaño

de la muestra, como se aprecia en la porción de tabla siguiente (Apendice I):

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B4	3.27	2.57	2.27	2.09	1.97	1.88	1.82	1.76	1.72
B5	*	*	*	*	.03	.12	.19	.24	.28
A3	2.66	1.95	1.63	1.43	1.29	1.18	1.10	1.03	.98

* la desviación estandar no tiene límite inferior de control en muestras de tamaño menor que 6.

Paso 3.- Interpretación para el Control de Proceso

Se efectúa lo mismo que lo indicado para la gráfica de rangos (Capítulo V-A pag. 39).

Paso 4.- Cálculo de la Desviación Estandar del Proceso

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{s}}{C_4}$$

donde \bar{s} es el promedio de la desviación estandar de la muestra (para períodos con la desviación estandar en control) y C_4 es una constante que varía según el tamaño de la muestra, con valores para tamaños de muestras de 2 a 10 como se aprecia en la porción de tabla siguiente (Apendice I).

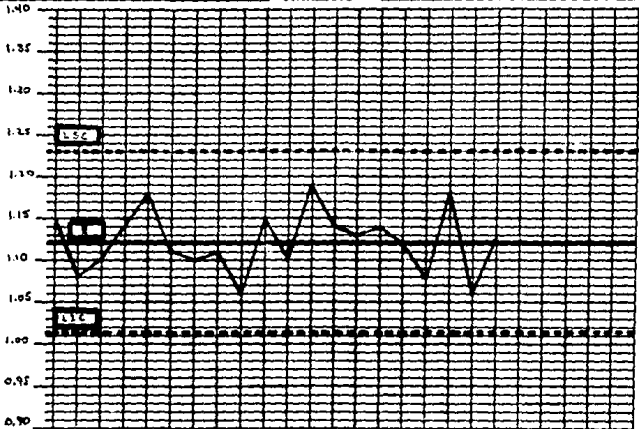
N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C4	.798	.886	.921	.940	.952	.959	.965	.969	.973

Si el proceso tiene una distribución normal el estimado de σ puede ser utilizado directamente en el cálculo de la capacidad del proceso siempre y cuando estos, el promedio y la desviación estandar se encuentren dentro de control estadístico.

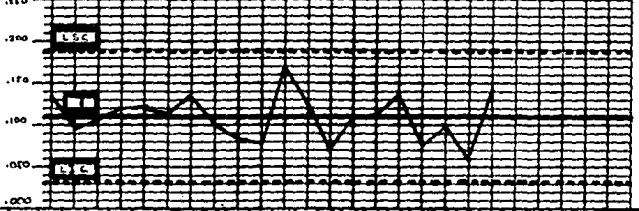
CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO Pintura	MAQUINA Sistema Primer	NÚMERO DE PARTE ETA-12AB06 - Soporte
CARACTERÍSTICA Espesor	ESPECIFICACION 1.00 mm. mínimo	DISEÑO

1.122 LSC- 1.230 LIC- 1.014 PROMEDIOS MUESTRAS 10 UNIDADES 2/día.



$\bar{s} = .110$ LSC- .164 LIC- .031 DESVIACION ESTANDAR



SEMANA	HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
SUM																			
2		1.18	1.06	1.10	1.14	1.13	1.10	1.10	1.15	1.06	1.17	1.10	1.09	1.13	1.14	1.15	1.06	1.16	1.13
5		1.16	1.06	1.08	1.20	1.11	1.13	1.05	1.06	1.09	1.12	1.05	1.11	1.17	1.07	1.09	1.17	1.11	1.11

2.- Gráficas de Medianas

Las Gráficas de Medianas son alternantes con las gráficas \bar{X} R para el control de procesos con valores medibles, éstas aportan conclusiones similares pero cuentan con algunas ventajas específicas.

- + Las gráficas de medianas son fáciles de usar y no requieren de cálculos diarios. Esto aumenta la aceptación del uso de gráficas de control entre los operadores y gente en las plantas.
- + Como se vacían valores individuales (al igual que medianas), las gráficas de medianas muestran la amplitud del producto del proceso y dan una referencia constante de la variación del proceso.
- + Como una sola gráfica muestra tanto la mediana como la amplitud del proceso, puede ser utilizada para comparar el producto de diversos procesos, o del mismo proceso en diferentes etapas.

Las instrucciones para la construcción de gráficas de medianas son similares a las dadas para las gráficas \bar{X} R, a excepción de lo que se señala a continuación.-

Paso 1.- Toma de Datos (Capítulo IV-B pag. 29)

- . Típicamente, las gráficas de medianas son utilizadas con subgrupos de tamaño 10 o menor, tamaños de muestra noes son más convenientes.
- . Solo se vacía una gráfica la escala se calcula de tal manera que
 - a) Incluya la mayor tolerancia especificada del producto más una porción para las lecturas fuera de especificación, o

b) 1 1/2 a 2 veces la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de las lecturas individuales. El instrumental utilizado, debe dividir la tolerancia del producto cuando menos en 20 incrementos, y la escala en la gráfica debe estar de acuerdo con este instrumental.

- Se vacían las medidas individuales de cada subgrupo en una columna, se circula la mediana de cada subgrupo (el valor medio), para facilitar la interpretación posterior se pueden unir las medianas con una línea.
- Se anota la Mediana (\bar{X}) y el Rango (R) de cada subgrupo en una tabla.

Paso 2.- Cálculo de los Límites de Control (Capítulo IV-C pag. 36)

- Se encuentra el promedio de las medianas del subgrupo y se dibuja como una línea central en la gráfica y se marca como $\bar{\bar{X}}$.
- Se localiza el Rango promedio \bar{R} .
- Se calculan los Límites Superior e Inferior de Control tanto para los Rangos como para las Medianas (LSC_R , LIC_R , $LSC_{\bar{X}}$, $LIC_{\bar{X}}$):

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

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

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + \bar{A}_2 \bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - \bar{A}_2 \bar{R}$$

donde D_1 , D_3 y \bar{A}_2 son constantes que varían según el tamaño de la muestra, con valores para muestras de tamaño 2 a 10 como se indica a continuación.- (Apendice I).

N	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D4	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D3	*	*	*	*	*	.08	.14	.18	.22
\bar{A}_2	1.88	1.19	.80	.69	.55	.51	.43	.41	.36

* No existe límite inferior de control para rangos en muestras de tamaño menor que 7.

Se vacían los límites de Control de Medianas en la gráfica.

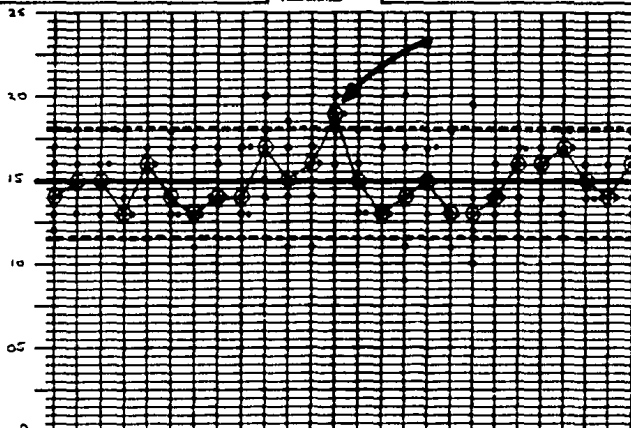
Paso 3.- Interpretación Para el Control de Proceso (Capítulo V-A pag. 39)

- Se comparan los LSC_R y LIC_R con cada rango calculado. Alternamente, se marca una tarjeta blanca con los puntos correspondientes a los límites de control para rangos, y se comparan estas marcas con la distancia entre los valores mayor y menor de cada subgrupo, señalando cualquier subgrupo con rango excesivo.
- Se marca cualquier mediana de subgrupo que se encuentre fuera de los límites de control, y se analiza la amplitud 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.
- Se toma la acción apropiada en el proceso para causas especiales que están afectando los rangos o las medianas.

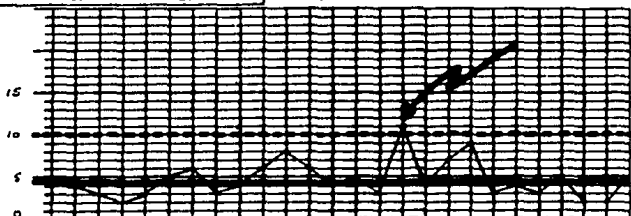
CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO Maquinado	MAQUINA Corte 050	NUMERO DE PARTE 3223-AB Varilla
CARACTERISTICA Longitud	ESPECIFICACION 46.05 a 46.25 mm.	DISÑO

\bar{x} 14.9 LSC- 16.1 LIC- 11.6 MEDIANAS Muestra 5 UNIDADES = Hora



\bar{R} 4.7 LSC- 9.9 LIC- 0 RANGOS



Muestra	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	16	16	16	15	16	13	13	14	15	16	11	17	20	18	12	11	17	13	19	14	13	16	18	14	15	17
2	14	15	13	13	17	13	11	16	13	14	15	16	14	16	12	20	17	13	12	14	17	17	18	15	14	17
3	13	13	16	12	16	14	12	17	14	17	14	14	18	13	15	14	14	18	16	16	17	14	17	16	16	18
4	12	15	15	13	14	13	17	14	13	20	15	13	17	11	12	17	13	11	12	14	16	17	17	16	14	13
5	17	17	15	14	17	18	13	14	13	18	17	16	16	16	13	13	9	15	13	14	13	14	16	13	14	16
6	14	15	15	13	16	14	13	14	17	17	15	16	19	15	13	14	15	13	13	14	16	16	17	17	15	16
7	5	4	3	2	3	5	6	3	4	6	6	6	4	5	3	11	4	7	9	3	4	3	5	2	5	

* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Límite Inferior de Control en Rangos

Paso 4.- Interpretación para la Capacidad del Proceso (Capítulo V-B pag. 56)

- Se estima la desviación estandar del proceso.

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

donde \bar{R} es el promedio de los rangos de la muestra (para períodos con el Rango en control) y d_2 es una constante que varía según el tamaño de la muestra, con valores para muestras de tamaño de 2 a 10 como se indican en la siguiente tabla.- (Apendice I - cont.).

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

- Si el proceso tiene una distribución normal, este estimado de σ puede ser utilizado directamente para el cálculo de la capacidad de proceso, siempre y cuando las medianas y los rangos se encuentren dentro de control estadístico.

Nota.- Para control del proceso donde los límites de control estan basados en datos anteriores, el sistema para graficar puede ser simplificado de la siguiente manera.

- Unicamente se utiliza una gráfica, con escalas graduadas igual que el instrumental de medición y con la línea central y los límites de control para medianas ya marcados.
- Una tarjeta es utilizada, marcada con los límites de control para Rangos.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

- . El operador plasma en la gráfica cada medida individual, pero no es necesario conservar los valores numéricos.
- . Para cada subgrupo, el operador compara la tarjeta de rangos contra los valores mayor y menor del subgrupo, cualquier subgrupo que tenga un Rango fuera de los límites de la tarjeta se marca.
- . El operador localiza la mediana de cada subgrupo y la encierra en un círculo, cualquier mediana fuera de los límites de control se señala.
- . Para Rangos y medianas fuera de los límites de control, el operador toma las acciones apropiadas para ajustar o corregir el proceso o para avisar a la supervisión.

3).- Gráficas de Individuales

En algunos casos es necesario para el control del proceso, basarse en lecturas individuales en lugar de en subgrupos. Esto ocurre típicamente cuando las mediciones son costosas (pruebas destructivas) o cuando el producto tiende a ser en cierto momento homogéneo (Ej. El pH de una solución química). En estos casos se pueden construir gráficas de control individuales, sin embargo, cuatro precauciones deben tomarse.

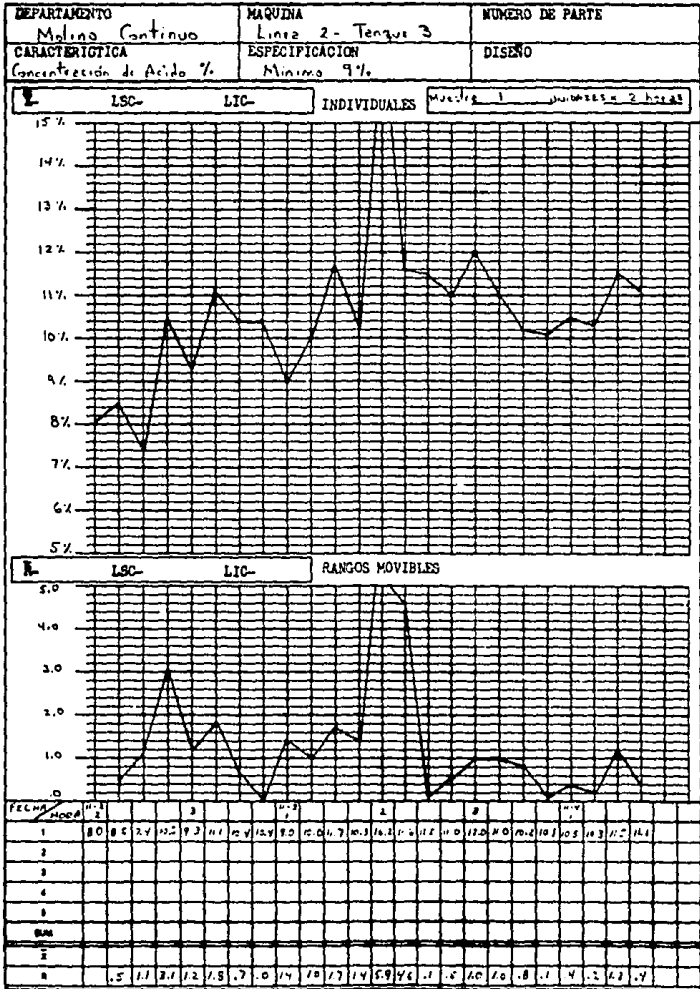
- . Las gráficas de individuales no son tan sensitivas a los cambios del proceso como las gráficas \bar{X} R.
- . Se debe tener mucho cuidado en la interpretación de las gráficas de individuales si la distribución del proceso no es simétrica.
- . Las gráficas de individuales no separan la repetición pieza a pieza del proceso. En muchas aplicaciones, puede ser mejor el utilizar una gráfica \bar{X} R convencional con un tamaño pequeño de muestra de subgrupo (2 a 4) a pesar de que esto requiera un periodo mayor entre subgrupos.
- . Ya que es tan solo un individuo singular por subgrupo, los valores de \bar{X} y $\hat{\sigma}$ pueden tener variaciones substanciales (aún cuando el proceso es estable) hasta que el número de subgrupos sea igual o mayor que 100.

Las instrucciones para la construcción de gráficas de individuales son similares a las dadas para las gráficas \bar{X} R a excepción de lo que se señala a continuación:

Paso 1 - Toma de Datos (Capítulo IV-B pag. 29)

- . Las lecturas individuales son plasmadas de izquierda a derecha en la gráfica.
- . Se calcula el rango móvil (R) entre individuales. Normalmente es mejor marcar la diferencia entre cada par de lecturas sucesivas (diferencia entre la primera y segunda lectura, la segunda y tercer lectura, etc.), habrá un rango menos de lo que hay lecturas individuales (25 lecturas nos dan 24

CONTROL DE PROCESO



rangos). Nótese que a pesar de que las medidas son mostradas individualmente, es el número de lecturas agrupado para formar el rango móvil lo que determina el tamaño de la muestra nominal n.

- Se selecciona la escala para la gráfica de individuales (X) que sea igual que la mayor: (a) tolerancia especificada del producto más una porción para las lecturas fuera de especificación, o (b) 1 1/2 a 2 veces la diferencia entre el valor mayor y el valor menor de las lecturas individuales. La escala para la gráfica de rangos (R) debe ser igual a la de la gráfica X.

Paso 2 - Cálculo de los límites de Control (Capítulo IV - C pag. 36)

- Se calcula y se vacía el promedio del proceso (\bar{X}) y se calcula el rango promedio (\bar{R}), habiendo siempre un valor menos para rangos (R) que el número de lecturas individuales (X).
- Se calculan los límites de control.

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

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

$$LSC_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}$$

$$LIC_X = \bar{X} - E_1 \bar{R}$$

donde \bar{R} = promedio del rango móvil

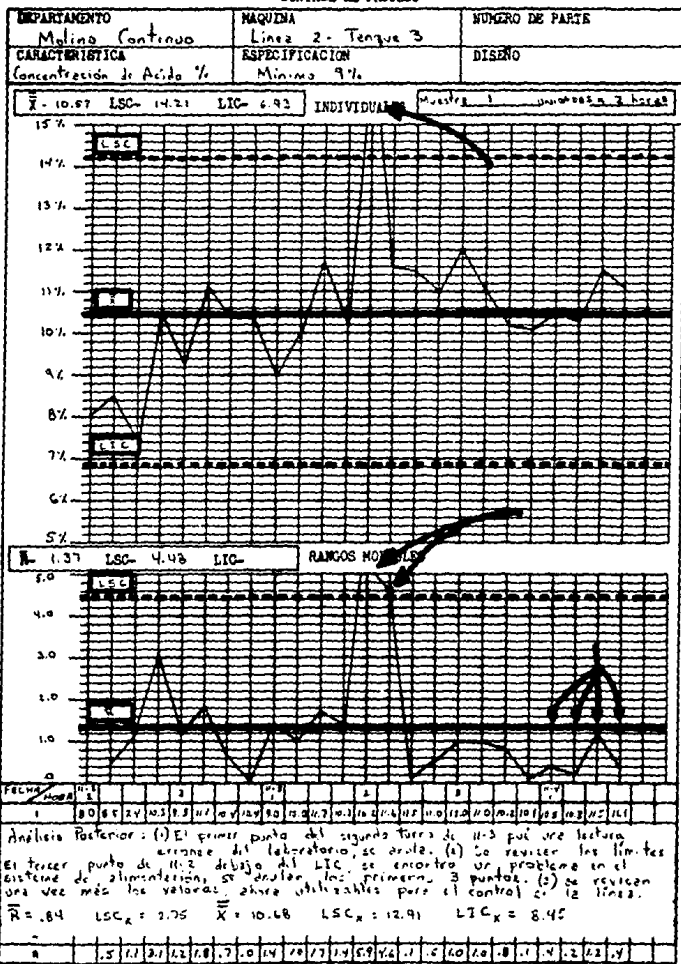
\bar{X} = promedio del proceso.

D_4 , D_3 , E_2 son constantes que varían de acuerdo al tamaño de la muestra utilizada en la agrupación de los rangos móviles como se muestra en la porción de tabla siguiente (Apendice I cont.)

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	3.27	2.57	2.28	2.11	2.00	1.92	1.86	1.82	1.78
D	*	*	*	*	*	.08	.14	.18	.22
E	2.66	1.77	1.46	1.29	1.18	1.11	1.05	1.01	.98

*No hay límite inferior de control para rangos en muestras de tamaño menor que 7.

CONTROL DE PROCESO



Paso 3 - Interpretación para el Control del Proceso (Capítulo V-A pag. 39)

- Se revisa la gráfica de rangos buscando puntos fuera de los límites de control como un signo de la existencia de causas especiales.
- La gráfica de individuales puede ser analizada en busca de puntos fuera de los límites de control, amplitud de los puntos dentro de los límites, patrones o tendencias. Sin embargo, si la distribución del proceso no es simétrica la regla señalada anteriormente para gráficas \bar{X} puede dar señales de causas especiales no existentes.

Paso 4 - Interpretación para la Capacidad del Proceso (Capítulo V-B Pag. 57)

- Como en las gráficas \bar{X} R, la desviación estandar del proceso puede estimarse por medio de:

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

donde \bar{R} es el promedio de los rangos móviles y d_2 es una constante que varía según el tamaño de la muestra, como se aprecia en la porción de tabla siguiente (Apendice I cont.)

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

- Si el proceso tiene una distribución normal, esta $\hat{\sigma}$ estimada puede ser utilizada directamente en el cálculo de la capacidad del proceso siempre y cuando el proceso se encuentre dentro de control estadístico.

VI - Ejemplo Práctico Y Conclusiones

1- Se trata de determinar el comportamiento de una operación de ensamble que tiene las siguientes Especificaciones de Ingeniería del Producto.

Torque = 75 a 115 lbs/pie

Tolerancia = 40 lbs/pie

Se considera como torque el necesario para reiniciar movimiento de amarre una vez que la pieza ha sido ensamblada.

Se utiliza la especificación de ingeniería para encontrar el promedio del proceso deseado (\bar{X} deseada) y se vacía en una gráfica de promedios.

$$\bar{X}_{\text{deseado}} = \frac{75 + 115}{2} = 95$$

Checamos el torque de por lo menos 25 muestras, cada muestra consistente de 5 medidas de 5 diferentes tornillos y se vacían los datos en la gráfica.

Medidas en la muestra

$$100 + 95 + 100 + 105 + 100 = 500$$

$$\bar{X} = \frac{500}{5} = 100$$

Calculamos el Rango

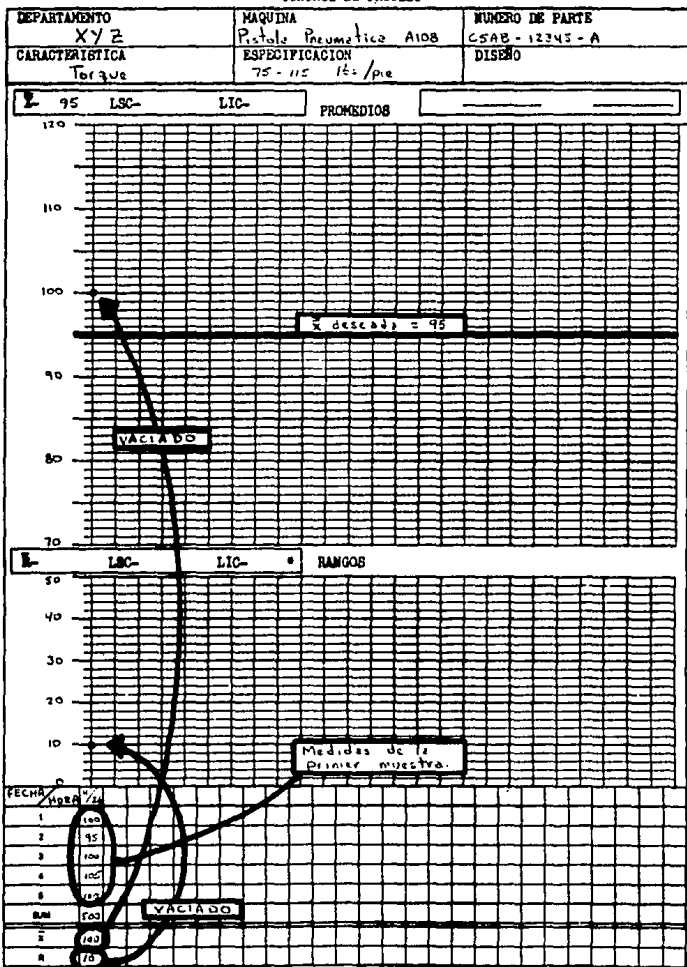
$$R = \left(\begin{array}{c} \text{medida} \\ \text{mayor} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{c} \text{medida} \\ \text{menor} \end{array} \right)$$

$$R = 105 - 95$$

$$R = 10$$

Se vacían los datos en la gráfica, y se hace lo mismo con los siguientes subgrupos.

CONTROL DE PROCESO



* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Limite Inferior de Control en Rangos

Se determinan los límites de control para los promedios (\bar{X}) y para los Rangos (R) basandose en las datos obtenidos de las 25 muestras.

(a) El promedio del proceso

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum x}{n} = \frac{2446}{25}$$

$$\bar{\bar{X}} = 97.84$$

(b) El Rango Promedio

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{n} = \frac{285}{25}$$

$$\bar{R} = 11.40$$

(c) Límites de Control para Promedios

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 R$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 R$$

donde A_2 es un factor de tablas del Apéndice I

$$LSC_{\bar{X}} = 97.84 + .577 (11.40)$$

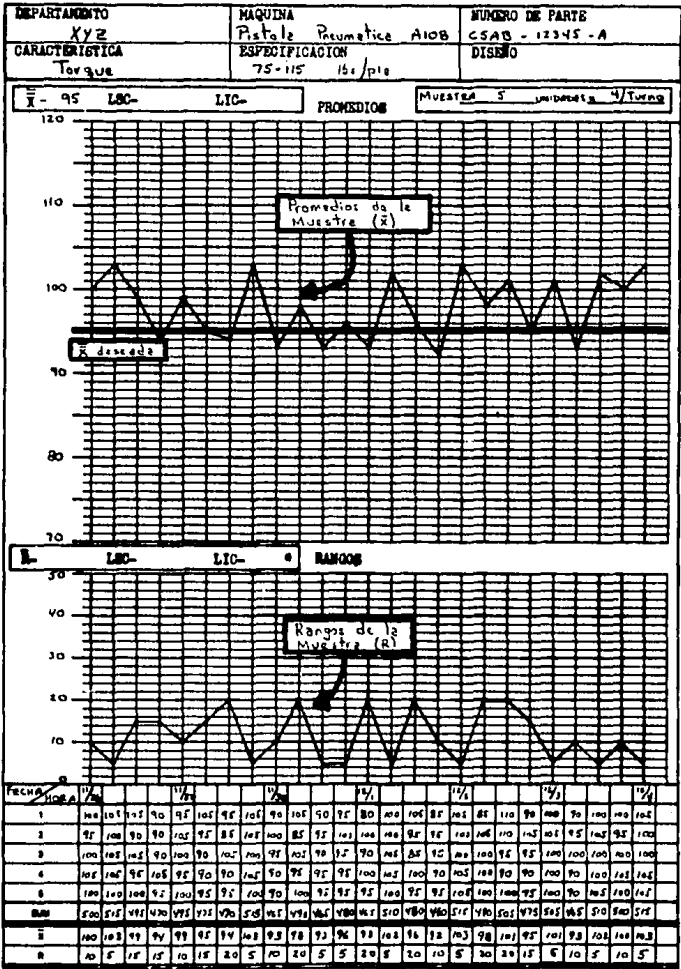
$$= 104.42$$

$$LIC_{\bar{X}} = 97.84 - .577 (11.40)$$

$$= 91.26$$

donde .577 es el factor para muestras de tamaño 5.

CONTROL DE PROCESO



* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Limite Inferior de Control en Rangos

(d) Límites de Control para Rangos

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

Donde D_4 es un factor de tablas del Apéndice I

$$LSC_R = 2.114 (11.40)$$

$$LSC_R = 24.10$$

donde 2.114 es el factor para muestras de tamaño 5

Se plasman los límites de control en la gráfica para evaluar la estabilidad del proceso, comparándolos contra los 25 puntos.

El proceso se considera estable si todos los puntos \bar{X} R se encuentran dentro de los límites de control y si no se muestra la existencia de tendencias o patrones, lo cual es el caso en este ejemplo, por lo tanto nuestro proceso es estable y está dentro de control.

Como la estabilidad del proceso ha sido verificada se determina si el proceso es capaz, calculando la desviación estándar del proceso ($\hat{\sigma}$)

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

donde d_2 es un valor de tablas del Apéndice I

$$\hat{\sigma} = \frac{11.40}{2.326} = 4.90$$

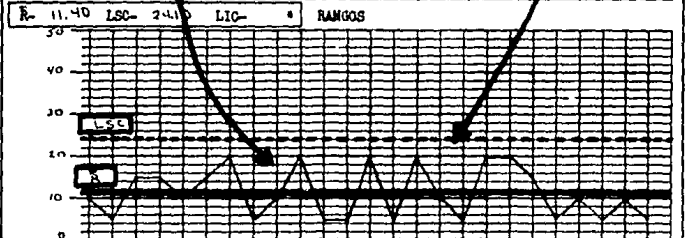
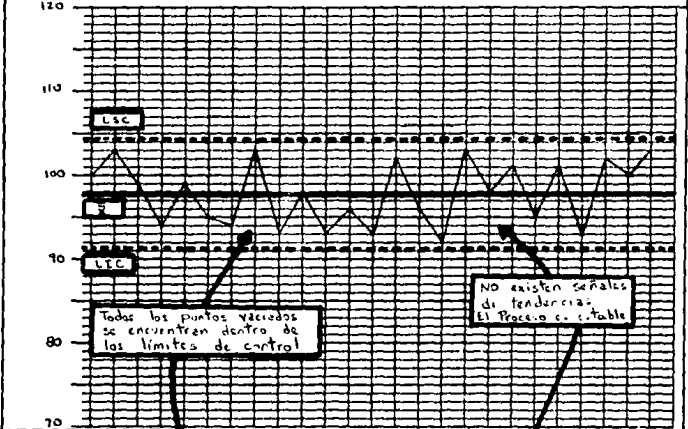
utilizando la fórmula para capacidad a corto plazo en un proceso con tolerancias bilaterales.

$$\hat{\sigma} < \frac{LSE - LIE}{8}$$

CONTROL DE PROCESO

DEPARTAMENTO XYZ	MAQUINA Pistola Pneumatica A10B	NUMERO DE PARTE CSAB - 12345 - A
CARACTERISTICA Torque	ESPECIFICACION 75-115 16g/plg	DISENO

X 97.84 LSC-104.42 LIC-91.26 PROMEDIOS MUESTRA 5 UNIDADES 4/TORNOS



FECHA	HORA	1/24	2/24	3/24	4/24	5/24	6/24	7/24	8/24	9/24	10/24	11/24	12/24	13/24	14/24	15/24	16/24	17/24	18/24	19/24	20/24	21/24	22/24	23/24	24/24	
1	110	105	108	90	92	102	98	106	90	105	90	92	80	100	105	85	102	82	110	95	100	90	100	110	110	110
2	92	100	90	90	102	92	85	103	100	85	92	103	103	105	98	96	100	105	110	105	101	95	100	98	100	100
3	100	105	105	90	100	90	102	100	92	102	90	92	90	105	85	92	100	100	95	92	100	100	100	100	100	100
4	105	102	98	105	95	90	105	90	96	92	95	100	105	120	90	100	100	100	90	90	100	90	100	100	100	100
5	100	110	100	92	110	92	92	100	100	92	95	92	100	92	92	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
BAN	500	515	495	490	515	515	490	505	495	490	495	495	490	510	490	515	495	502	495	505	495	500	500	515	500	515
6	100	103	93	94	99	98	94	103	93	98	93	96	93	103	94	98	103	98	101	95	101	93	101	101	101	103
7	10	5	15	15	10	15	20	5	10	20	5	5	20	5	20	10	5	20	20	15	5	10	5	10	5	10

* Para muestras de tamaño menor que siete, NO hay Limite Inferior de Control en Rangos

donde: LSE = Límite Superior Especificado

LIE = Límite Inferior Especificado

Capacidad a Corto Plazo

$$\hat{C}_p \leq \frac{LSE - LIE}{6s}$$

$$4.90 < 5$$



∴ El proceso es capaz a corto plazo.

Calculamos la capacidad real del proceso (Z) utilizando la fórmula para un proceso con tolerancias bilaterales

$$Z_{LSE} = \frac{LSE - \bar{X}}{s}$$

$$Z_{LSE} = \frac{115 - 97.84}{4.9}$$

$$Z_{LSE} = 3.5$$

$$Z_{LIE} = \frac{\bar{X} - LIE}{s}$$

$$Z_{LIE} = \frac{97.84 - 75}{4.9}$$

$$Z_{LIE} = 4.66$$

El índice de capacidad del proceso será.

$$C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3} = \frac{4.66}{3} = 1.55$$

El proceso cuenta con un índice de capacidad de 1.55 y la capacidad del proceso es de ± 4.66 el proceso es capaz.

Asumiendo que el proceso esta dentro de control estadístico y cuenta con una distribución normal, podemos estimar la proporción de producto que estará fuera de especificación, buscando los valores de Z_{LSE} y Z_{LIE} en tablas del Apéndice II.

$$Z_{LSE} = 3.5 \text{ de tablas } P_{Z_{LSE}} = .00023$$

$$Z_{LIE} = 4.66 \text{ de tablas } P_{Z_{LIE}} = .00000$$

$$P_2 = P_{Z_{LSE}} + P_{Z_{LIE}} = .00023 + .00000$$

$$P_2 = .00023 = 0\%$$

La proporción de producto que estará fuera de especificación será 0%.

Conclusiones

La industria Mexicana tiene que mejorar la calidad de sus productos si quiere competir en los mercados internacionales. Para lograrlo, se pueden utilizar metodos de estadística basica para mejorar el análisis y la eficiencia de sus procesos y garantizar a traves de controles estadísticos que el 100% de la producción se encuentre dentro de especificaciones sin tener que recurrir a la tediosa y poco eficiente inspección al 100%. Hacerlo bien y tener la capacidad de saber que se esta haciendo bien. Lograr que los procesos industriales tengan la capacidad de documentar constantemente información obtenida directamente en el punto de operación, acumularla y transmitirla a los niveles gerenciales para lograr que las decisiones tomadas que afecten al proceso sean las economicamente adecuadas.

Se debe establecer una filosofía de "Prevención" de defectos en lugar de "Detección" de defectos como se ha venido utilizando hasta ahora. La calidad de un producto debe ser producida y no controlada.

El primer paso para lograr el control del proceso es el conocer la capacidad de maquina y los extremos de variación dimensional durante la manufactura de una pieza. Para esto se requiere implementar un sistema de retro-alimentación que nos mantenga constantemente informados sobre el estado del proceso.

Sabemos que si se cuenta con un sistema de medición suficientemente sensible siempre se encontrara variación en un producto y que esta variación puede ser generada por Causas Comunes o por Causas Especiales, donde las Causas Comunes de Variación son las que interesan al Control Estadístico del Proceso, pues estas se encuentran dentro de un rango o amplitud constante y repetitivo y por lo tanto predecible.

Así pues se tiene primero que detectar y eliminar todas las Causas Especiales de Variación logrando que la única fuente de variación provenga de Causas Comunes, trayendo así al proceso a estar dentro de Control Estadístico y después utilizando la ayuda de las Gráficas de Control predecir su comportamiento, evitando el producir piezas defectuosas y logrando que su capacidad para cumplir con los requerimientos del cliente sea totalmente asegurada lo cual es nuestro objetivo.

Esto es la base para "Nunca Acabar de Mejorar".

Apendice I

Tabla de Constantes y Fórmulas Para las Gráficas de Control

Tamaño del Subgrupo n	Gráficas \bar{X} *				Gráficas \bar{X} s *			
	Gráfica de Promedios (\bar{X})		Gráfica de Ranges (R)		Gráfica de Promedios (\bar{X})		Gráfica de Desviación Estándar (s)	
	Factores para Límites de Control		Factores para Estimar la Desviación Estándar		Factores para Límites de Control		Factores para Estimar la Desviación Estándar	
	A ₂	a ₂	D ₃	D ₄	A ₃	C ₄	B ₃	B ₄
2	1.880	1.128		3.267	2.699	0.7979		3.267
3	1.023	1.693		2.574	1.954	0.8862		2.568
4	0.729	2.059		2.282	1.628	0.9213		2.226
5	0.577	2.326		2.114	1.427	0.9400		2.089
6	0.483	2.534		2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.405	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572

$$\begin{aligned} LSC_{\bar{X}} &, LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R} \\ LSC_R &= D_4 \bar{R} \\ LIC_R &= D_3 \bar{R} \\ \bar{c} &= \bar{R}/d_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} LSC_{\bar{X}} &, LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{s} \\ LSC_s &= B_4 \bar{s} \\ LIC_s &= B_3 \bar{s} \\ \bar{c} &= \bar{s}/c_4 \end{aligned}$$

Apéndice I (cont.)

Tabla de Constantes y Fórmulas Para las Gráficas de Control

Tamaño del Subgrupo n	Gráficas \bar{X} *				Gráficas \bar{X} *			
	Gráfica de Promedios (\bar{X})		Gráfica de Rangos (R)		Gráfica de Promedios (\bar{X})		Gráfica de Desviación Estándar (s)	
	Factores para Límites de Control	Estimar la Desviación Estándar	Factores para Límites de Control		Factores para Límites de Control	Estimar la Desviación Estándar	Factores para Límites de Control	
	A_2	d_2	D_3	D_4	A_1	C_4	B_3	B_4
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.568	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.778	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

* De la publicación ASTM, "Manual on the Presentation of Data and Control Analysis"

Apéndice I (cont.)

Tabla de Constantes y Fórmulas Para las Gráficas de Control

Tamaño del Subgrupo	Gráficas de Medianas *				Gráficas de Individuales *			
	Gráfica de Medianas (X)	Gráfica de Rangos (R)		Gráfica de Individuales (X)	Gráfica de Rangos (R)			
		Divisores para Estimar la Desviación Estándar			Divisores para Estimar la Desviación Estándar			
	Factores para Límites de Control	Factores para Límites de Control	Factores para Límites de Control	Factores para Límites de Control	Factores para Límites de Control	Factores para Límites de Control	Factores para Límites de Control	Factores para Límites de Control
A_2	D_4	D_3	D_4	A_2	D_4	D_3	D_4	
2	1.880	1.128		3.267	2.660	1.128		3.267
3	1.187	1.693		2.574	1.772	1.693		2.574
4	0.796	2.059		2.282	1.457	2.059		2.282
5	0.691	2.326		2.114	1.290	2.326		2.114
6	0.548	2.534		2.004	1.184	2.534		2.004
7	0.508	2.704	0.076	1.924	1.209	2.704	0.076	1.924
8	0.433	2.847	0.136	1.864	1.054	2.847	0.136	1.864
9	0.412	2.970	0.184	1.816	1.010	2.970	0.184	1.816
10	0.362	3.078	0.223	1.777	0.975	3.078	0.223	1.777

$$\begin{aligned}
 LSC_{\bar{X}} &, LIM_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R} \\
 LSC_R &= D_4 \bar{R} \\
 LIM_R &= D_3 \bar{R} \\
 \bar{c} &= R/d_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 LSC_X &, LIM_X = \bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R} \\
 LSC_R &= D_4 \bar{R} \\
 LIM_R &= D_3 \bar{R} \\
 \bar{c} &= R/d_2
 \end{aligned}$$

APENDICE II

Distribucion Estandar Normal

P_2 = la proporción del producto fuera del valor de interes (límites especificados), que estan separados z unidades de desviación estandar del promedio del proceso.
 Ej.- Si $z = 2.17 \rightarrow P_2 = .0150$ o 15%



z	x.x0	x.x1	x.x2	x.x3	x.x4	x.x5	x.x6	x.x7	x.x8	x.x9
0.0	.00003									
3.9	.00003	.00003	.00004	.00004	.00004	.00004	.00004	.00004	.00003	.00003
3.8	.00007	.00007	.00007	.00007	.00006	.00006	.00006	.00006	.00005	.00005
3.7	.00011	.00010	.00010	.00010	.00009	.00009	.00008	.00008	.00008	.00008
3.6	.00016	.00015	.00015	.00014	.00014	.00013	.00013	.00012	.00012	.00011
3.5	.00023	.00022	.00022	.00021	.00020	.00019	.00019	.00018	.00017	.00017
3.4	.00034	.00032	.00031	.00030	.00029	.00028	.00027	.00026	.00025	.00024
3.3	.00048	.00047	.00045	.00043	.00042	.00040	.00039	.00038	.00036	.00035
3.2	.00069	.00066	.00064	.00062	.00060	.00058	.00056	.00054	.00052	.00050
3.1	.00097	.00094	.00090	.00087	.00084	.00082	.00079	.00076	.00074	.00071
3.0	.00135	.00131	.00126	.00122	.00118	.00114	.00111	.00107	.00104	.00100
2.9	.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
2.8	.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
2.7	.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
2.6	.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
2.5	.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
2.4	.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
2.3	.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
2.2	.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.1	.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
2.0	.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
1.9	.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
1.8	.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
1.7	.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.6	.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.5	.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.4	.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.3	.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
1.2	.1151	.1131	.1112	.1093	.1073	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.1	.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.0	.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
0.9	.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
0.8	.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.7	.2420	.2389	.2358	.2327	.2297	.2266	.2236	.2204	.2177	.2148
0.6	.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.5	.3085	.3030	.3013	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.4	.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.3	.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
0.2	.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
0.1	.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.0	.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

VII. Bibliografía

- + Quality, Productivity and Competitive Position.

Doc. Edwards Deming.
Massachusetts Institute of Technology

- + Process Capability and Continuing Process Control.

Oficina de Metodos Estadísticos.
Ford Motor Company.

- + Statistics can be Utile.

Mr. Wendell H. Abbott.
Cleveland, Ohio.

- + El uso de Gráficas \bar{X} R

Departamento de Manufactura Staff.
Ford Motor Company.

- + El Pensamiento Estadístico para el Control en Procesos de Manufactura.

American Supplier Institute.
Detroit, Michigan.

- + Process Quality Control.

Mr. Ellis R. Ott
McGraw-Hill Inc. 1985

- + Manual Q101 de Sistemas de Aseguramiento de la Calidad.

Oficina de Calidad del Producto
Ford Motor Company.