Capítulo 6
Procesos e instrumentos de la calidad.

6.1 Concepto de un proceso.

Un proceso se puede definir como la interacción muy específica de máquinas, métodos, herramientas, materiales y personas con el objeto de producir bienes o servicios. En sí todo es un proceso, también lo podemos entender como una serie de actividades que se llevan a cabo para transformar insumos en productos .

Un insumo se puede tener en forma de datos, materia prima, unidades a medio terminar, partes recién compradas, productos o servicios y hasta el medio ambiente.Y a los pasos que se siguen para transformar el insumo se le llama técnica o método. Puede entenderse una organización como un conjunto de subprocesos y cada cliente puede verse afectado por uno o varios procesos, normalmente en una organización todos somos clientes y proveedores.

Un objetivo de la administración de calidad total es crear procesos por medio de los cuales el individuo haga las cosas bien desde la primera ,vez para que hagan bien lo que se debe hacer esto último significa satisfacer o superar las expectativas de los clientes. Implica también para la organización la supresión del desperdicio de las rectificaciones así como de los defectos.

Los procesos pueden clasificarse de la siguiente manera :

•Proceso administrativo.

Es todo lo relativo a la metodología aplicada por la gerencia con objeto de llevar a cabo sus funciones y esto se refiere específicamente a la planificación organización y control.

•Proceso funcional.

Compuesto de los métodos que utiliza la gente para alcanzar objetivos que también son de tipo funcional.

•Proceso transfuncional.

Son los métodos empleados para alcanzar objetivos pero que necesitan la participación o insumos de varios grupos o individuos.

Durante el proceso cada cliente interno aportará insumos intermedios o recibirá productos intermedios y estos serán empleados para lograr el resultado final de la empresa. Como todos atienden a un cliente o, a alguna otra persona que sirve a un cliente entonces todos los miembros de la organización forman parte de una cadena de clientes y proveedores.

6.2 Como manejar los datos de los diferentes procesos.

Datos son los hechos concretos relativos a un proceso , servicio, producto, persona o máquina y dichos datos se pueden clasificar en atributos y variables. El atributo se define como la característica acerca de la calidad del producto o proceso y que se puede contar así, es que un dato de atributo se considera como dato contable o discreto, de este tipo de datos se dice por ejemplo: si o no, pasa o no pasa, va o no va .

Y en contraparte los datos variables requieren de mediciones donde obtenemos por ejemplo, cantidades, tamaño o duración esto visto en una escala se podría observar que puede haber un número infinito de incrementos por lo que se consideran datos continuos.

Estos datos se pueden ser presentados o descritos visualmente con una tabla o por medio de representaciones gráficas o bien númericamente por medio de fórmulas así como usando métodos de estratificación donde los datos se dividen en subgrupos relacionados más pequeños para que el análisis sea más claro y preciso.

Para el manejo de datos primero se deberá conocer la naturaleza de los mismos con objeto de no incurrir en errores al seleccionar por ejemplo, el modelo probabilístico correspondiente.

6.3 Control estadístico de proceso.

6.3.1 Introducción.

El control estadístico de proceso es una excelente metodología donde se emplean gráficas de control con objeto de ayudar a los operadores, supervisores así como a los administradores a estar monitoreando continuamente la producción de un proceso esto con la idea de observarlo así como de eliminar las causas especiales de variación, es bien sabido que con esta metodología puede evitarse grandes cantidades de desperdicio, reproceso y así aumentar la productividad. El control estadístico de proceso es aplicable también con objeto de conocer la capacidad de un proceso. El control estadístico de proceso lo podemos entender como la aplicación de los principios y técnicas estadísticas en todas las etapas de producción con el objetivo de lograr la manufactura más económica de un producto. Entre los beneficios de emplear un control estadístico de proceso se encuentran las siguientes:

a) El control estadístico de proceso es útil para determinar cuando se deben emprender acciones con objeto de hacer un ajuste a nuestro proceso cuando éste se ha salido de control.

b) El control estadístico de proceso también indica que no deben hacerse ajustes y esto evitará variaciones mayores.

c) Incremento de la producción sin la necesidad de inversiones en el equipo o en la expansión de la planta.

d) Considerable ahorro de materia prima y energéticos.

e) Eficientar la producción, reducir los rechazos, emplear mejor el equipo, menor desperdicio y retrabajo.

f) Menor inspección de producto e incremento en aseguramiento de calidad.

g) Precisión en dimensiones así como en cumplimiento de especificaciónes.

h) Diseño del producto a través de investigación de mercado que se puede llevar a cabo mediante diseño de muestreo y diseño de experimentos.

i) Calidad, producto uniforme y precios establecidos conforme a necesidades de mercado.

j) Control de precio, calidad, uniformidad.

k) Uso del lenguaje internacional estandarizado.

Se dice que existe un proceso en control estadístico si las variaciones entre los resultados muestrales observadas en este se pueden atribuír a un sistema constante de causas aleatorias. Podemos entender a un proceso bajo control cuando tiene las siguientes características:

- Cuando el sistema es estable, o sea, que su comportamiento es constante, es decir, predecible, cuantificable y medible.

- Cuando la producción, variables de proceso y características de calidad tiene una dispersión homogénea.

- Cuando se puede descubrir preveer y corregir con rapidez y confiabilidad cambios adversos al proceso.

- Permite predecir los costos y la calidad.

En sí a la palabra control le podemos atribuir los siguientes significados :

- Mantener un rumbo o dirección.
- Poder de decisión sobre lo que sucede .
- Hacer las cosas siempre igual y con el mismo resultado.

Definitivamente que el control estadístico de proceso emplea técnicas estadísticas con objeto de conocer el comportamiento del proceso para poder determinar las variables que lo afectan y así reducir las causas de la variación y si estamos seguros de que se

eliminaron las causas llamadas especiales y si solo tenemos causas llamadas comúnes podemos afirmar con certeza que nuestro proceso se encuentra en control estadístico. El doctor Deming mencionó lo siguiente: que los procesos muestran un estado natural de control estadístico, pero un estado de control estadístico no es un estado natural para un proceso de manufactura. Si no que más bien es un logro al cual se llega por la eliminación una por una de las causas de la variación.

Cuando se aplica el control estadístico de proceso tendremos un nivel pequeño de variación o bien de defectos, la variación no puede ser eliminada pero sí se mantendrá dentro de ciertos límites.

Debe de tenerse en mente lo que significa **uniformidad y dispersión**.

El término de calidad no tiene ningún sentido sin el concepto de "uniformidad".

- Por ejemplo productos con gran tecnología, pero sin uniformidad, no son productos de buena calidad.

- Insumos baratos sin uniformidad, causan mayores dificultades en la producción porque tendrá que ajustarse continuamente el proceso.

Para poder tener uniformidad, se debe de tener claro lo que es el concepto de dispersión, asi por ejemplo, un proceso con menor "dispersión":

- Disminuye costos.
- Disminuye retrabajos.
- Ayuda a conocer mejor el proceso.

En un histograma de frecuencias no se toma en cuenta la dimensión tiempo la cual es muy importante debido a que las causas especiales de variación se van a presentar de forma esporádica en el tiempo, así por ejemplo los materiales de diversos lotes que nos llegan pudieran variar o pudiera ser que tuviéramos un operador de proceso de relevo o que simplemente la herramienta se desgaste.

6.3.2 Aspectos relevantes en el diseño de una gráfica de control.

Existen consideraciones importantes que se deben revisar cuando se tiene por objeto crear una gráfica de control y son las siguientes:

a) La muestra y su tamaño.

Una muestra deberá ser seleccionada de la manera mas homogénea posible para que esta pueda reflejar si hay una causa común en el sistema, así como si hay una causa asignable. En el caso de que haya una causa asignable será alta la probabilidad de observar diferencias entre muestras y baja la probabilidad de observar diferencias dentro de la misma muestra. Cuando una muestra satisface el criterio anteriormente expuesto se le llama subgrupo racional, una manera de tener esto es utilizar mediciones que sean consecutivas de una máquina en un periódo que sea corto. Lo anteriormente expuesto tiene la finalidad de reducir al mínimo la probabilidad de variación dentro de la muestra y al mismo tiempo detectar la variación entre muestras, este procedimiento es útil cuando se emplean gráficas de control para localizar un cambio de nivel del proceso.

Otra manera de proceder será tomar una muestra aleatoria de todas las unidades producidas a partir de que se tomó la última muestra, lo cual puede permitir llegar a una decisión sobre aceptar las unidades que se produzcan desde que se tomó la última muestra, el riesgo de utilizar este método es que un cambio en el nivel del proceso haría que los puntos de la gráfica **R** quedaran fuera de control aún cuando no hubiera cambio en la variabilidad real del proceso. Es importante definir la manera en que se tomará la muestra para que no tengan sesgo los resultados que se obtengan.

También el tamaño de la muestra es un asunto fundamental, es conveniente que el tamaño sea pequeño para evitar mucha variación dentro de la misma muestra esto debido a causas especiales, con esto tendríamos un costo de muestreo relativamente bajo. Es bien sabido que los límites de control se basan en hipótesis de distribución normal de promedios que son muestrales pero en el caso de que el proceso no tenga distribución normal la hipótesis anterior solo trabaja para muestras grandes, y con dichas muestras se pueden detectar con más probabilidad cambios menores en las características del proceso.

Prácticamente es aceptado que muestras de 5 artículos trabajan perfectamente bien para descubrir cambios del proceso de dos desviaciones estándar o mayores y para detectar cambios menores el tamaño de la muestra que se recomienda será de 15 a 25. Si se trabajan con datos de atributos un tamaño de la muestra haría que la gráfica **p** no tuviera sentido, por eso es que algunas personas han sugerido que al menos deben emplearse 100 observaciones pero será necesario determinar estadísticamente el tamaño de la muestra, sobre todo cuando es pequeña la fracción verdadera de artículos defectuosos. Cuando se observe que **p** es pequeña entonces **n** deberá ser suficientemente grande como para poder detectar al menos una pieza defectuosa.

Existen otros métodos para determinar los tamaños de muestra para datos de atributos tal como escoger **n** lo suficientemente grande como para tener un 50% de probabilidad de encontrar un desplazamiento del proceso de determinada cantidad especificada , o también escoger **n** de tal forma que la gráfica de control tenga un límite inferior de control positivo.

b) Frecuencia del muestreo.

Sería deseable muestrear con relativa frecuencia y que las muestras fueran grandes pero esto sería poco económico. Lo que se recomienda es que las muestras sean suficientemente cercanas para que podamos encontrar cambios en la características del proceso, tan pronto como sea posible, esto para reducir las posibilidades de que se produzca producto defectuoso en gran cantidad y que no cumpla con las especificaciones, el criterio que hay que tomar en cuenta es que el costo de muestreo no debe de superar lo beneficios que pudieran lograrse.

c) Localización de límites.

Este asunto es primordial para hacer una evaluación correcta. Cuando se llega a la conclusión incorrecta de que se tiene una causa especial, se dice que se esta cometiendo un error llamado "tipo uno" , esto implica el costo de tratar de localizar el problema. Por otra parte tenemos un error "tipo dos" cuando hay causas especiales pero no se localizan en la gráfica de control por quedar los puntos dentro de los límites de control por casualidad y a consecuencia de ésto, tenemos un costo debido a que se producirán artículos que no cumplan con las especificaciones. Así por ejemplo, un error del "tipo

uno" dependerá de los límites de control que se empleen, y entre más amplios, lógicamente habrá menos probabilidad de que un punto quede fuera de esos límites, pero también tendremos menos oportunidad de incurrir en un error tipo uno, en cambio en el error "tipo dos", este depende de la amplitud de los límites de control, del tamaño de la muestra, y del grado en el que el proceso está fuera de control. Y para un tamaño muestral fijo el límite de control más amplio aumenta el riesgo de incurrir en un error tipo dos. Si se emplea el método tradicional de límites tres sigma, entonces se presupone de manera implícita que el costo de un error tipo uno es grande en relación con el del error "tipo dos", pero en escencia se reduce al mínimo el error tipo uno, lo cual no siempre sucede. Los costos que están implícitos en los errores del "tipo uno y dos" son los siguientes, si se trata de un error "tipo uno", forzosamente habrá que hacer investigación innecesaria para tratar de encontrar alguna causa asignable, y este costo pudiera tener implícito el tiempo muerto de producción. El "error tipo dos" es más crítico todavía, porque si no logramos identificar que el proceso ha quedado fuera de control las piezas defectuosas producidas ocasionarán costos de desecho y reproceso, o bien, si los productos llegan al consumidor. Es muy difícil, más bien dicho, casi imposible estimar el costo de error porque esto es función de la cantidad de artículos que no cumplen con la especificación, pero desconocemos esta cantidad. Si se cambiaran el tamaño de los límites de control, entonces mientras más estrechos fueran, mayor será la probabilidad de que una muestra indique que el proceso está fuera del control, y entonces aumentará el costo de un error "tipo uno" conforme se van reduciendo los límites de control, y también por otra parte, los límites de control más estrechos reducen el costo del error "tipo dos" ya que vamos a identificar más fácilmente los estados fuera de control, reduciendo con esto la cantidad de artículos defectuosos.

Existen también costos que se relacionan con el muestreo, como son el tiempo que emplea el operador al hacer las mediciones de la muestra, los cálculos y ubicar los puntos en la gráfica de control, además de que si la prueba es de tipo destructivo, habrá que incluir el costo de los artículos dañados. Los tamaños de muestra grandes y la mayor frecuencia de muestreo, desde luego que producirán mayores costos porque al aumentar el tamaño de la muestra, o la frecuencia, se van a reducir los errores "tipo uno" y "tipo dos" y se tendrá mayor información lo cual facilitará la toma de decisiones.

Raymont R, Mayer en su libro " Selección de Limites de Control " de la editorial Quality Progress recomienda tomar en cuenta las siguientes consideraciones de costos que están implícitos en la toma de decisiones y son los siguientes:

1) Si el costo de investigar una operación para localizar la causa de un estado fuera de control es significativo entonces el error tipo uno importa y será conveniente adoptar límites más amplios de control, pero si el costo es bajo, entonces deberán de seleccionarse límites más estrechos.

2) Si es considerable el costo de la producción defectuosa que genera una operación, entonces el error "tipo dos" es grave y deberemos de usar límites más estrechos de control, pero si no es así, entonces se deben de seleccionar límites más amplios.

3) Cuando son importantes los costos de los errores "tipo uno" y "tipo dos" a la vez, se deberán de utilizar límites más amplios de control y se considerará la reducción del riesgo de un error tipo dos aumentando el tamaño de la muestra, y es recomendable tomar muestras más frecuentes con objeto de reducir la duración de cualquier condición fuera de control que se pudiera presentar.

4) Si el fuera de control en una operación es frecuente, se deberán de favorecer límites más estrechos de control para que no haya tanta oportunidad de cometer un error "tipo dos". Y en caso de que sea pequeña la probabilidad de tener un fuera de control entonces deberemos de preferir límites más amplios.

6.3.3 Metodología empleada para la elaboración y uso de las gráficas de control.

Con respecto a la manera de preparar una gráfica de control se deberá de seleccionar la variable o atributo, el tamaño de la muestra y la frecuencia de muestreo, cuando se tengan recopilados los datos, se harán cálculos estadísticos de promedios y amplitudes y deberán de anotarse los resultados en la gráfica. Para determinar los límites de control se calcularán el promedio general y la amplitud para las gráficas $\bar{x}$ y **R**, así como la proporción promedio si se trata de una gráfica **P** trazaremos los ejes centrales de los gráficos y calcularemos los límites superior e inferior de control. Con respecto al análisis e interpretación de nuestra gráfica de control, deberemos de observar si la gráfica está en control, eliminar los puntos fuera de control, recalcular los límites de control y determinar la capacidad del proceso. La gráfica de control es una herramienta para la solución de problemas y deberá de continuarse la recopilación y graficación de los datos y una vez que se hayan identificado puntos fuera de control, se podrán hacer acciones de corrección.

Desde el punto de vista de control de un proceso quiere decir que se identifiquen y corrijan las causas asignables, es importante emprender acciones si la gráfica de control aumenta su variabilidad. Es mucho muy importante tomar en cuenta que la gráfica de control necesita mantenimiento, esto quiere decir, que periódicamente haya que actualizar los límites de control como elementos de cambio del proceso, y a medida que se eliminen las causas asignables.

Es primordial evaluar la exactitud de los instrumentos de medición y calibración, su repetibilidad y reproducibilidad antes de que se ponga a trabajar el control estadístico de proceso.

Si se desea establecer el control estadístico de proceso se deberá tomar en cuenta los siguiente:

6.3.4 Fundamento Estadístico de las Gráficas de Control.

A continuación se describe el sustento estadístico del juego de reglas utilizado para la interpretación de las gráficas de control.

a) El gráfico de control para variables.

A continuación en la figura 6.1 se muestra la secuencia lógica para establecer el control estadístico de proceso.

Si se tiene un proceso controlado entonces la distribución de medidas individuales para variables deberá de tener un promedio μ y una varianza σ_x^2 en el supuesto de que se seleccione una muestra de tamaño **n** la distribución de muestreo de $\bar{x}$ también tendrá promedio μ pero su varianza será :

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_x^2}{n}$$

Acontinuación a la figura 6.1 se muestra la secuencia lógica para establecer el control estadístico de proceso.

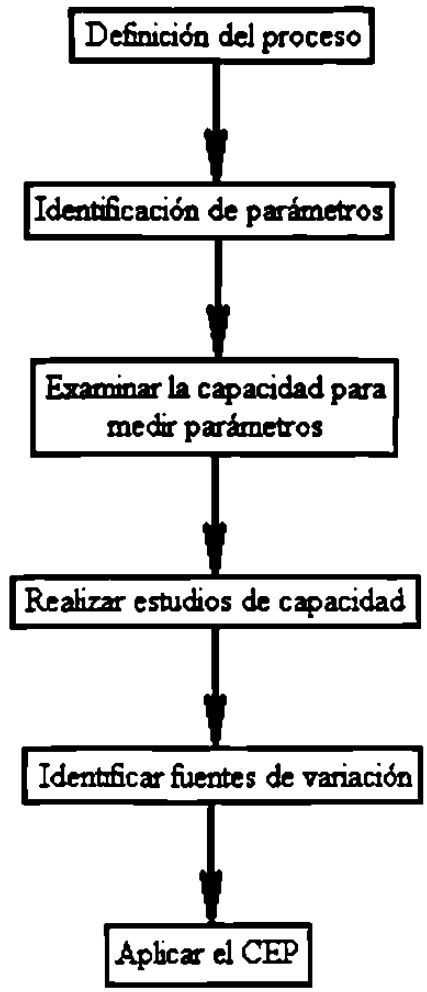


Figura 6.1. Secuencia lógica para el establecimiento del Control Estadístico de Proceso.

En el caso de que la distribución de medidas individuales original sea normal entonces la distribución de los promedios también será normal, y para el caso de que no lo sea, se puede utilizar el teorema del límite central, claro que generalmente se supone normalidad al elaborar las gráficas de control para variables para tamaños grandes de muestras, pero como las muestras de las gráficas de control son pequeñas generalmente $n = 4$ o $n = 5$, no se puede tener plena confianza en el teorema de límite central, por eso como se comentó anteriormente se supone normalidad. En el marco de las hipótesis planteadas se espera que $100(1-\alpha)$ por ciento de los promedios de muestra queden entre $\mu - z_{\alpha/2}\,\sigma_x$ y $\mu + z_{\alpha/2}\,\sigma_x$ y estos valores se convertirán en los límites inferior y superior de control y normalmente se selecciona $z_{\alpha/2} = 3$ obteniendo de esta manera los límites $6\,\sigma$ donde $\alpha/2 = 0.0014$ esperando por lo tanto que nada mas el 0.3% de las observaciones de la muestra queden fuera de los límites mencionados. Se puede observar que si se tiene un proceso en estado de control la probabilidad de que una muestra quedara fuera de los límites de control es extremadamente pequeña y se deberá

de tener cuidado de que no haya desplazado el promedio verdadero ya que la probabilidad sería mucho mayor. Por eso es que lo anteriormente mencionado es el sustento de aplicar los límites de control tres sigma. El valor $\alpha/2$ se puede seleccionar en forma abitraria. En E.U. se emplea el valor de tres, pero en Inglaterra se selecciona $z_{\alpha/2}$ primero estableciendo la probabilidad que exista un valor del tipo I, y normalmente se selecciona $\alpha/2 = 0.001$ de tal manera que $z_{0.001} = 3.09$. Esto será empleado para los establecimiento de los limites de control a los cuales se les llamará límites de probabilidad.

b) La gráfica R.

Normalmente se emplea **R** como sustituto de la desviación estándar por cuestión de sencillez. Es común que se emplee el factor d_2 tomado de la tabla de factores para gráficos de control con objeto de relacionar la amplitud con la desviación estándar que realmente tiene un proceso. El factor d_2 se podría calcular de la siguiente manera: si por ejemplo se tiene un experimento en el que se toman muestras de tamaño **n** provenientes de una distribución normal con desviación estándar σ_x que ya se conoce de tal manera que si se cálcula la amplitud **R** de cada muestra se podría determinar la distribución de la medida estadística R/σ_x así que el valor esperado de la medida estadística sería el factor d_2, así que:

$$E\left(R/\sigma_x\right) = d_2$$

pero como **R** es la variable aleatoria y se conoce σ_x entonces:

$$E(R)/\sigma_x = d_2$$

El experimento se podría llevar a cabo para cada **n** y es posible calcular los valores correspondientes de d_2 y la hipótesis que se probaría en la gráfica **R** sería: $H_0 : R = E(R)$. Se estimará el valor esperado de **R** mediante la amplitud de la muestra R, de tal manera que $\bar{R}/d_2$ es una estimación de la desviación estándar del proceso σ_x y para establecer los límites de control de la gráfica **R** será necesario estimar la desviación estándar de la variable aleatoria **R** que es σ_R y a partir de la distribución de la medida

estadística R/σ_x se puede calcular la relación σ_R/σ_x para cada **n**. Y esto va a definir una constante d_3 tabulada también, así que se tiene $\sigma_R = d_x \sigma_3$. Y si se substituye la estimación de σ_x que es $\bar{R}/d_2$ en esa ecuación tendremos que $d_3\ \bar{R}/d_2$ es una estimación de σ_R . Y los límites de control para la gráfica **R** se basarán en tres desviaciones estándar con respecto a la estimación del promedio, entonces:

$$LCS_R = \bar{R} + 3\, d_3\, \bar{R}/d_2 = (1 + 3\, d_3/d_2)\bar{R} = D_4\, \bar{R}$$

$$LCI_R = \bar{R} - 3\, d_3\, \bar{R}/d_2 = (1 - 3\, d_3/d_2)\bar{R} = D_3\, \bar{R}$$

Es común que se definan d_4 y d_3 como las constantes $1 + 3\, d_3/d_2$ y $1 - 3\, d_3/d_2$ así es que los límites de control para la gráfica **R** se basan en la distribución de la desviación estándar del proceso pero ajustada para que corresponda a la amplitud.

c) Gráfica $\bar{x}$.

Ahora se verá la gráfica $\bar{\bar{x}}$, la medida estadística $\bar{\bar{x}}$ es una estimación del promedio de la población μ y como $\bar{R}/d_2$ es una estimación de σ_x . Entonces una estimación de la desviación estándar de la muestra será :

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

Así que los límites tres sigma de $\bar{x}$ están expresados por:

$$\bar{\bar{x}} \pm \frac{3\bar{R}}{d_2 \sqrt{n}}$$

Así que con $A_2 = 3/d_2 \sqrt{n}$, se obtendrán los límites de control:

$$LCS_x = \bar{\bar{x}} + A_2\, \bar{R}$$
$$LCI_x = \bar{\bar{x}} - A_2\, \bar{R}$$

d) La Gráfica p.

La gráfica **P** tiene su sustento teórico en la distribución de tipo binomial, ésto es debido a que los atributos suponen sólo uno de dos posibles valores, tales como cumplir con la especificación o no cumplir con esta. En el caso de que **p** represente la probabilidad de producir un artículo con defectos y se selecciona una muestra de **n** artículos entonces la distribución binomial quedará de la siguiente forma:

$$f(x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \qquad x = 0,1,2...,n$$

Esto indica la probabilidad que de que se encuentren **x** artículos con defecto en una muestra. Por otra parte la medida estadística $\bar{p}$ de la muestra será una estimación del parámetro **p** de la población. Y una estimación de la desviación estándar σ_p tendrá la siguiente forma:

$$\sigma_p = \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$$

así que los límites tres sigma del parámetro **p** seran:

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

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

Es muy importante tomar en cuenta para el uso de la gráfica **p** la probabilidad siempre constante de tener una pieza defectuosa y la independencia de los ensayos o inspecciones. Si no se tiene cuidado de que las hipótesis sean seguras, entonces no será adecuado el empleo de la gráfica **p**.

Un formato para trabajar atributos se muestra en la tabla 6.1.

Planta:	p np	c u	Nombre: # Parte:
Departamento:	No. y nombre de operacion:		ITEM de control (A) SI / NO
Promedio:	LSC =	LIC =	Tamaño Muestra: Frecuencia:

Tamaño muestra		
Rechazos	Cantidad (np.c)	
	Proporción (p,u)	
Fecha:		

Cualquier cambio en la mano de obra, materiale, métodos o maquinaria debe de ser anotado.
Estas anotaciones le ayudaran a tomar acciones cuando lo indiquen las cartas de control.

Fecha:	Hora:	Observaciones:

Tabla 6.1.Formato de Atributos.

6.3.5. Construcción de los gráficos de control.

a) Consideraciones sobre el gráfico de control para datos variables.

Los datos de variables son los que se pueden medir en una escala continua, y el gráfico más empleado es el $\bar{x} - R$. El gráfico $\bar{x}$ sirve para estar monitoreando el centrado del proceso y el gráfico **R** auxilia en la supervisión de la variación que ocurre en el proceso estas dos gráficas se emplean juntas para analizar datos de variables, la amplitud se emplea como una medida de la variación sobre todo cuando se hacen los cálculos a mano de las gráficas de control por los operarios pero cuando la muestra es grande y se pueden analizar datos con programas de computo se recomienda usar la desviación estándar como la medida de variabilidad. Hay tres funciones básicas de las gráficas de control:

a) Hacer un monitoreo del proceso e indicar cuando se sale de control.
b) Establecer un estado de proceso bajo control estadístico.
c) Determinación de la capacidad del proceso usando la gráfica de control.

A continuación se detalla la manera en que se puede construir una gráfica de control de variables y de esta forma establecer el control estadístico.

b) Construcción de la gráfica de control de variables.

La gráfica de control de promedios y rangos ($\bar{x} - R$) es una gráfica cronológica que nos permite observar los cambios que experimentan los datos a través del tiempo. Su propósito principal será determinar sí cada punto del gráfico es normal o anormal y también nos permitirá conocer los cambios operados en el proceso del que se han obtenido las muestras.

Lo primero que debe de hacerse para construir una gráfica ($\bar{x} - R$) es obtener la materia prima del estadístico, esto consiste en recopilar los datos, se recomienda trabajar de 25 a 30 muestras y lo más común es que se empleen tamaños de muestras de 3 a 10 elementos donde lo más usual es emplear 5 elementos. En este gráfico $\bar{x}$ representa los promedios de la muestra y **R** las amplitudes o desviaciones, ésto es, el primer término

indica cualquier cambio en la medida, y el segundo verifica cualquier cambio en la dispersión o variación del proceso.

A continuación se describe el procedimiento para la elaboración de las gráficas $\bar{x}$ - **R** así como para las gráficas $\bar{x} - \sigma$. Hay que recordar que normalmente el tamaño de **n** debe de ser igual para todos los subgrupos si esto no sucede así deben efectuarse ajustes adicionales.

Pasos de elaboración:

1) Obtener los datos y recopilarlos en una hoja de chequeo, hay que asegurarse que los datos estén distribuidos a manera de subgrupos, además de que deben de ser recopilados bajo las mismas condiciones técnicas.

2) Calcular $\bar{x}$ y **R** para cada subgrupo de acuerdo a:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 , + \ldots + x_n}{n} \quad \text{y} \quad R = x_{max} - x_{min}.$$

3) Obtenga $\bar{\bar{x}}$ y R (promedio total y rango promedio).

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_3 , + \ldots + \bar{x}_k}{k} \quad \text{y} \quad \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \ldots R_k}{k}.$$

4) Calcule los límites de control.

Gráfica $\bar{x}$

$$LC = \bar{\bar{x}}$$

$$L\ CS = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$$

$$L\ C\ I = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$$

Gráfica $\bar{x}$

$$L\,C = \bar{x}$$

$$L\ CS = \bar{\bar{x}} + A_1\bar{\sigma}$$

$$L\ C\ I = \bar{\bar{x}} - A_1\bar{\sigma}$$

Gráfica R

$$L\,C = \bar{R}$$

$$L\,C\ S = D_4\ \bar{R}$$

$$L\,C\ I = B_3\ \bar{R}$$

Gráfica σ

$$L\,C = \bar{\sigma}$$

$$L\,C\ S = B_4\ \bar{\sigma}$$

$$L\,C\ I = B_3\ \bar{\sigma}$$

LCS es el límite superior de control y LCI es el límite inferior las constantes d_3 y d_4 y A_2 dependen del tamaño que tiene la muestra y se pueden encontrar en el apéndice llamado "Factores para Gráficas de Control".

5) Se construye la gráfica de control $\bar{x} - R$ ó $\bar{x} - \sigma$ el valor central se recomienda trazar con línea continua y los límites con líneas punteadas.

6) Anote los valores de $\bar{x}$, **R** o σ de cada subgrupo en la gráfica correspondiente y unalos con líneas punteadas.

Es bien sabido que los límites de control definen el intervalo o amplitud en la que esperamos que estén contenidos todos los puntos cuando el proceso está dentro del control estadístico y cuando queden puntos fuera de los límites de control o si se observan comportamientos extraños podemos entonces pensar que una causa asignable está impactando nuestro proceso el cual debe de revisarse minuciosamente para determinar dicha causa, si existieran causas especiales entonces no serán representativas del estado verdadero de control estadístico y se van a sesgar los cálculos del eje central así como de los límites de control y habrá que eliminar los puntos correspondientes y se deberán calcular nuevos valores para $\bar{x}$, **R** y los límites de control. Cuando se desea saber si un proceso esta bajo control estadístico, se debe de analizar primero la gráfica **R** ya que como los límites de control en la gráfica $\bar{x}$ dependen de la amplitud promedio entonces podría haber causas especiales en la gráfica **R** que pudieran producir

comportamientos extraños en la gráfica $\bar{x}$ aún cuando el centrado del proceso este bajo control. Por eso es que una vez que se estableció el control estadístico para la gráfica **R** se deberá de trabajar con la gráfica $\bar{x}$. Deberá de emplearse un formato para la elaboración de la gráfica de control como se muestra en la siguiente página en la figura 6.2.

c) Gráfica especial de control empleada para trabajar con datos de variables.

Gráfica $\bar{x} - s$.

Algunos autores consideran la gráfica $\bar{x} - s$ como una gráfica especial. Comúnmente se emplea la amplitud porque requiere menos trabajo de cálculo y es mas fácil de comprender por los operadores de línea, pero la ventaja de usar s en lugar de **R** se debe a que la desviación estándar de la muestra es un indicador más sensible y mejor de la variabilidad del proceso y todavía más conveniente cuando se emplean tamaños de muestras relativamente grandes, si se quiere tener un control bien estricto de la variabilidad se debe de emplear s así que definitivamente s es mucho mejor opción que **R.**

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

Es necesario para construir la gráfica σ calcular la desviación estándar de cada una de las muestras y posteriormente se debe de calcular la desviación estándar promedio s con el promedio de las desviaciones estándar de las muestras pequeñas y este cálculo será similar al cálculo de $\bar{R}$ y los cálculos de los límites de control para la gráfica s quedan como:

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

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

Donde B_3 y B_4 se deberán de localizar en el apéndice anterior para la gráfica $\bar{x}$ asociada los límites de control que se obtienen de la desviación estándar general son:

CARTA DE CONTROL DE VARIABLES ($\bar{x} - R$)

Parte No.: | Parte: | Carta:

Operador: | Máquina: | Operación: | Gage: | Medida: | Límites de especificación:

DATOS:

TIEMPO:	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	26
MUESTRA 1																										
MUESTRA 2																										
MUESTRA 3																										
MUESTRA 4																										
MUESTRA 5																										
Suma:																										
Promedio, $\bar{x}$																										
Rango, R																										
Notas:																										

PROMEDIO

RANGO

Tabla 6.2.Formato de Variables.

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

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

Así que A_3 también puede leerse en el apéndice llamado factores para gráficos de control. Las fórmulas para los límites de control son equivalentes a las de las gráficas $\bar{x}$ y **R** con la diferencia de que las constantes no son iguales.

Con la intención de ejemplificar el uso de la gráfica $\bar{x} - s$ se tienen los datos que aparecen en la tabla 6.3.

Muestra No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	9	0	1	-3	-6	-3	0	2	0
2	8	4	8	1	-1	2	-1	-2	0	0
3	6	0	0	0	0	0	0	-3	-1	-2
4	9	3	0	2	-4	0	-2	-1	-1	-1
5	7	0	3	1	0	2	-1	-2	-3	-1
6	9	0	1	1	1	-1	-1	1	0	0
7	2	3	2	2	0	2	-3	-3	1	-1
8	7	4	0	0	-2	0	0	0	-3	-2
9	9	8	2	0	0	-3	-2	-3	-1	-2
10	7	3	3	1	-2	0	-2	-2	0	0
Promedio	6.5	3.4	1.9	0.9	-1.1	-0.4	-1.5	-1.5	-0.6	-0.9
Desviación estándar	2.83822	3.13404	2.46981	0.73786	1.59513	2.50333	1.08012	1.43372	1.57762	0.87559

Muestra No.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	-3	-12	-6	-3	-1	-1	-2	0	0	1
2	-2	2	-3	-5	-1	-2	2	4	3	2
3	2	0	0	5	-1	-2	-1	0	-3	1
4	-1	-4	0	0	-2	0	0	0	3	1
5	1	-1	-8	-5	-1	-4	-1	0	3	-3
6	-2	4	-4	1	0	0	-1	3	1	2
7	-2	2	-6	5	-2	-2	2	0	0	1
8	-1	-3	-1	-4	-1	-4	-1	0	1	-2
9	1	-4	-1	-1	0	-1	1	1	2	3
10	1	0	-2	-5	-1	0	-2	0	-2	0
Promedio	-0.6	-1.6	-3.1	-1.2	-1	-1.6	-0.3	0.8	0.8	0.6
Desviación estándar	1.712609	4.52646	2.80673	3.91010	0.66666	1.50554	1.49443	1.47572	2.09761	1.83787

Muestra No.	21	22	23	24	25					
1	1	-1	0	1	2					
2	2	0	0	0	2					
3	2	2	-1	0	1					
4	1	-1	0	1	2					
5	2	2	1	1	-1					
6	2	2	0	2	2					
7	1	-1	0	0	2					
8	1	0	0	0	1					
9	1	0	-1	-1	-1					
10	2	-1	0	0	2					
Promedio	1.5	0.2	-0.1	0.4	1.2					
Desviación estándar	0.52704	1.31656	0.56764	0.84327	1.22927					

Tabla 6.3. Ejemplo $\bar{x} - s$

Los datos de esta tabla muestran las mediciones de desviaciones respecto a una especificación nominal. Se emplearon muestras de tamaño **10** y para cada muestra se a calculado el promedio y la desviación estándar. El promedio general tiene un valor $\bar{x} = 0.108$ y la desviación estándar promedio es $s = 1.791$ sabiendo que el tamaño de la muestra es **10**, se tiene entonces que el $B_3 = 0.284$, $B_4 = 1.716$, y $A_3 = 0.975$,

todo esto obtenido del apéndice factores para gráficas de control. Donde los límites de control para la gráfica s son:

$$LIC_s = (0.284)(1.791) = 0.509$$

$$LCS_s = (1.716)(1.791) = 3.073$$

y para la gráfica $\bar{x}$ los límites de control son :

$$LIC_{\bar{x}} = (0.108) - (0.975)(1.791) = -1.638$$

$$LCS_{\bar{x}} = (0.108) + (0.975)(1.791) = 1.854$$

Las gráficas $\bar{x}$ y s se muestran en las figuras 6.2 y 6.3, y puede apreciarse que el proceso no esta bajo control y que se necesita una investigación acerca de las razones de la variación, en especial de la grafica $\bar{x}$.

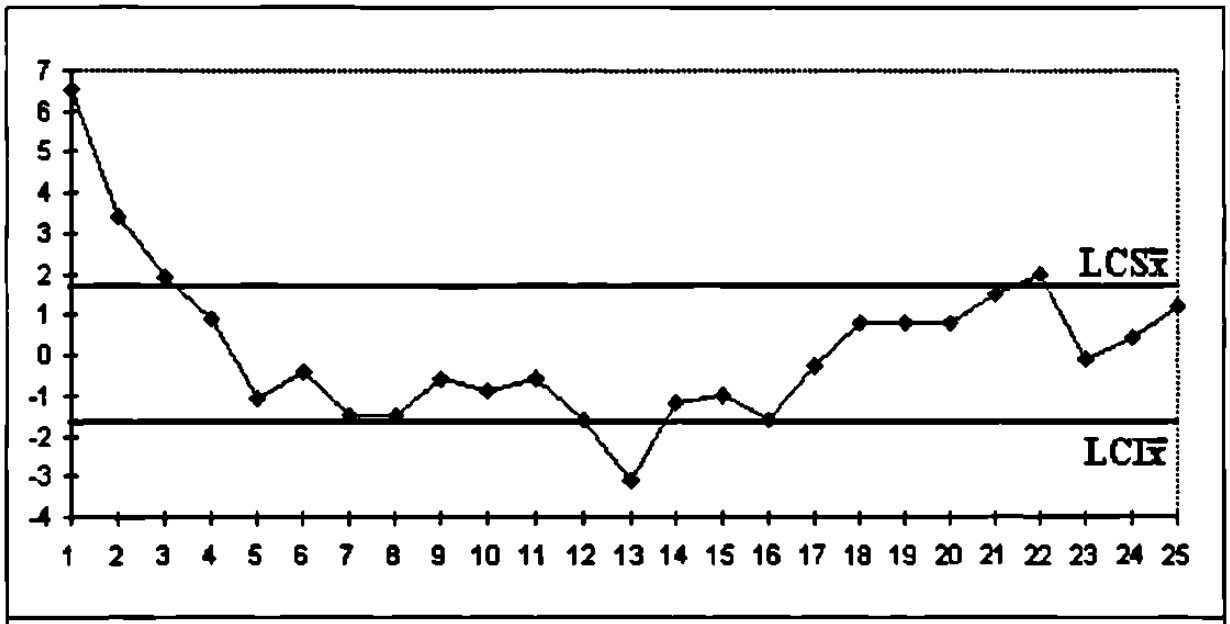


Figura 6.2. Gráfica $\bar{x}$.

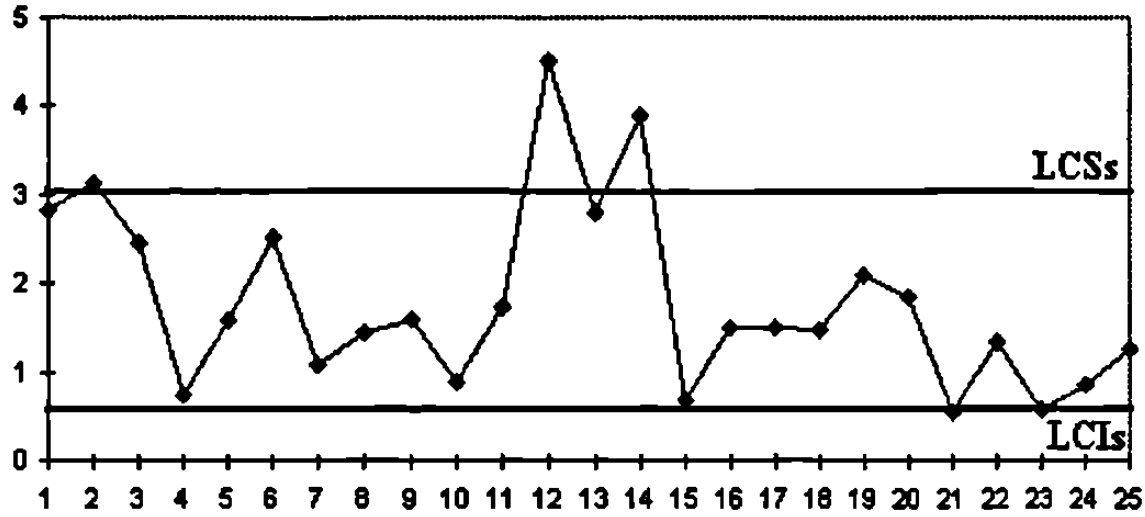


Figura 6.3. Gráfica s.

6.4 Patrones en las gráficas de control.

Es necesario desarrollar la habilidad para reconocer patrones sistemáticos que no sean aleatorios y que se presentan en nuestra gráfica de control para posteriormente identificar cual es la razón de este comportamiento. Será necesario entender bien el proceso para que una vez que se tenga un determinado patrón poder distinguir si se trata de una causa asignable.

El Western Electric Handbook sugiere unas reglas prácticas con objeto de determinar patrones que se deben a causas asignables y hace la siguiente recomendación para poder concluir si un proceso está fuera de control, de tal forma que el fuera de control se asocia con las siguientes características:

1.- La existencia de un punto que esté fuera de los límites **3s.**

2.- Dos de tres puntos consecutivos están mas allá de los límites usados como advertencia de **2s.**

3.- Cuatro de cinco puntos consecutivos se localizan a una distancia del **s** o más allá de la línea central.

4.- Existen ocho puntos consecutivos localizados en un lado de la línea central.

Si cuando revisamos un proceso y éste está bajo control entonces deberá de ocurrir lo siguiente:

1.- No habrá puntos fuera de los límites de control.

2.- Será aproximadamente igual el número de puntos arriba y abajo del eje central.

3.- Parecerá que los puntos se distribuyen aleatoriamente arriba y abajo del eje central.

4.- La mayor parte de los puntos se encontrarán cerca del eje central y muy pocos cerca de los límites de control.

Tipos de patrones:

Son comúnes algunos tipos de comportamientos o patrones a continuación se enlistan los más importantes.

Existencia de un punto fuera de los límites de control.

Cuando se tiene sólo un punto que esté fuera de los límites de control muy probablemente esto sea producto de una causa especial, un error en el cálculo de $\bar{x} - R$ se recomienda comprobar los cálculos cuando suceda esto, las causas posibles de esto son alguna herramienta que esté rota , algún error de medición o una operación incompleta o que se haya omitido en el sistema, como se muestra en la figura 6.4

Brusco desplazamiento del promedio del proceso.

Podemos apreciar que ocurrió un desplazamiento del promedio del proceso cuando se tiene un número de puntos poco usual que caen a un lado del eje central, tal vez esto sea por una causa externa, si estamos trabajando con la gráfica $\bar{x}$ o con la gráfica **R**. Esto puede deberse a un operador nuevo, o nuevo inspector, máquina recién ajustada o

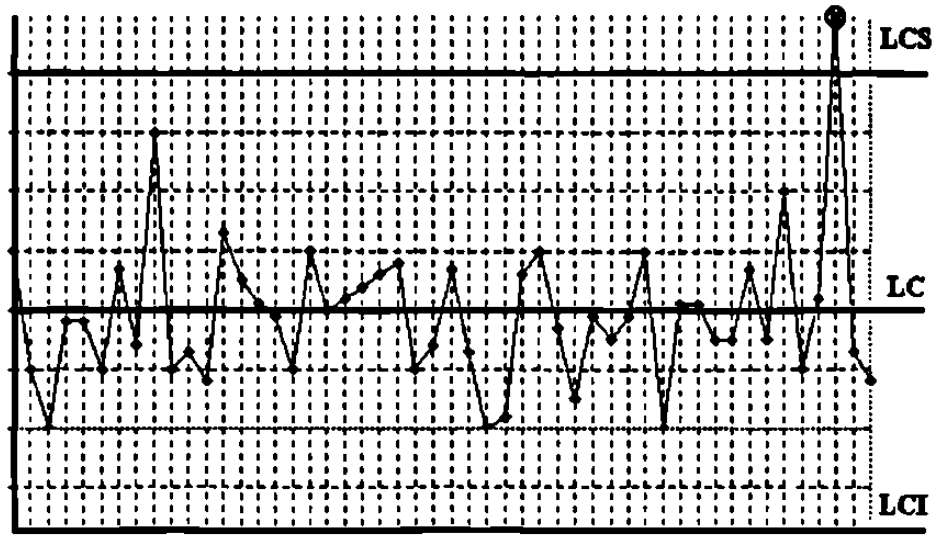


Figura 6.4. Un punto fuera de los límites de control.

tal vez a un cambio de método. Existen dos posibilidades, por ejemplo un cambio hacia arriba en una gráfica **R** significará que el proceso se ha hecho menos uniforme y las causas más comúnes son un accesorio que necesite ser reparado, mal mantenimiento o el descuido de los operadores . Pero si el desplazamiento es hacia abajo, ésto indica que ha mejorado la uniformidad del proceso y tal vez se deba a mejor mano de obra o quizás mejores máquinas o materiales y en todo caso habrá que detectar el motivo de la mejora y mantenerlo como se observa en la figura 6.5.

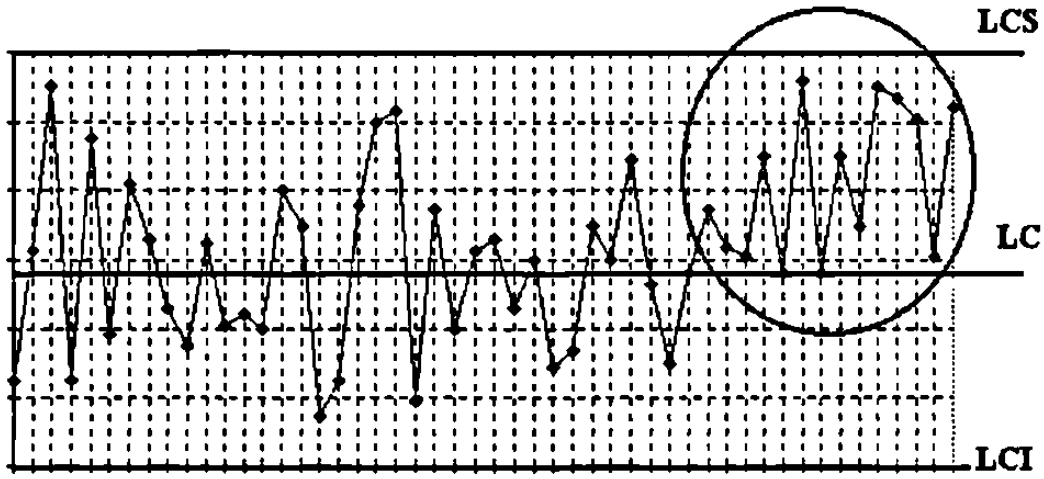


Figura 6.5. Promedio del proceso desplazado.

Existen tres reglas sencillas para detectar el desplazamiento de un proceso y son las siguientes :

a) Cuando existan ocho puntos consecutivos a un lado del eje central.

b) Al quedar dos o tres puntos consecutivos en la zona del tercio exterior entre el eje y uno de los límites de control.

c) Cuando cuatro o cinco puntos consecutivos caen en la región de los dos tercios exteriores, en la figura 6.6 y 6.7 pueden observarse dos tipos de procesos.

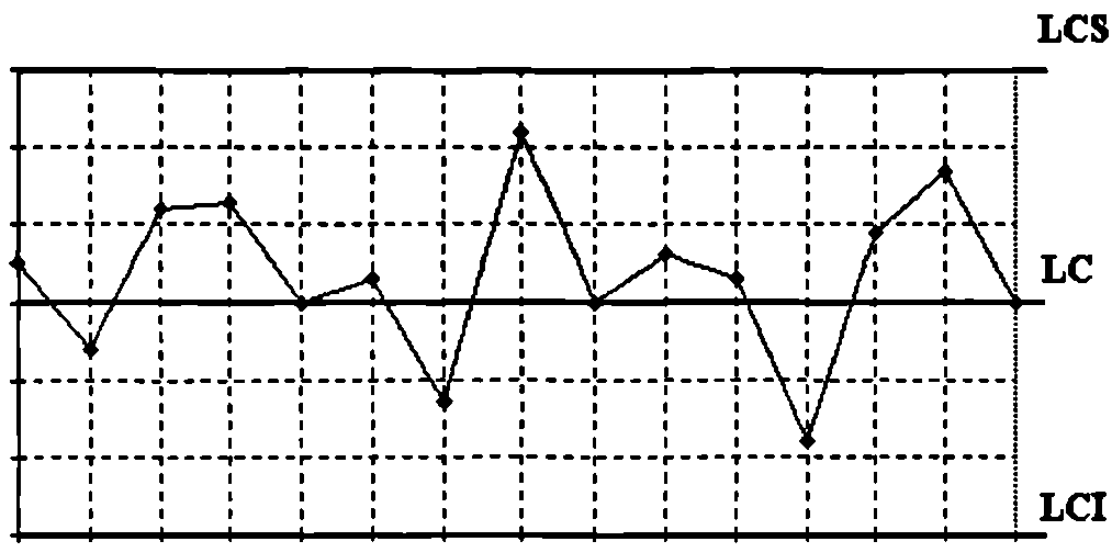
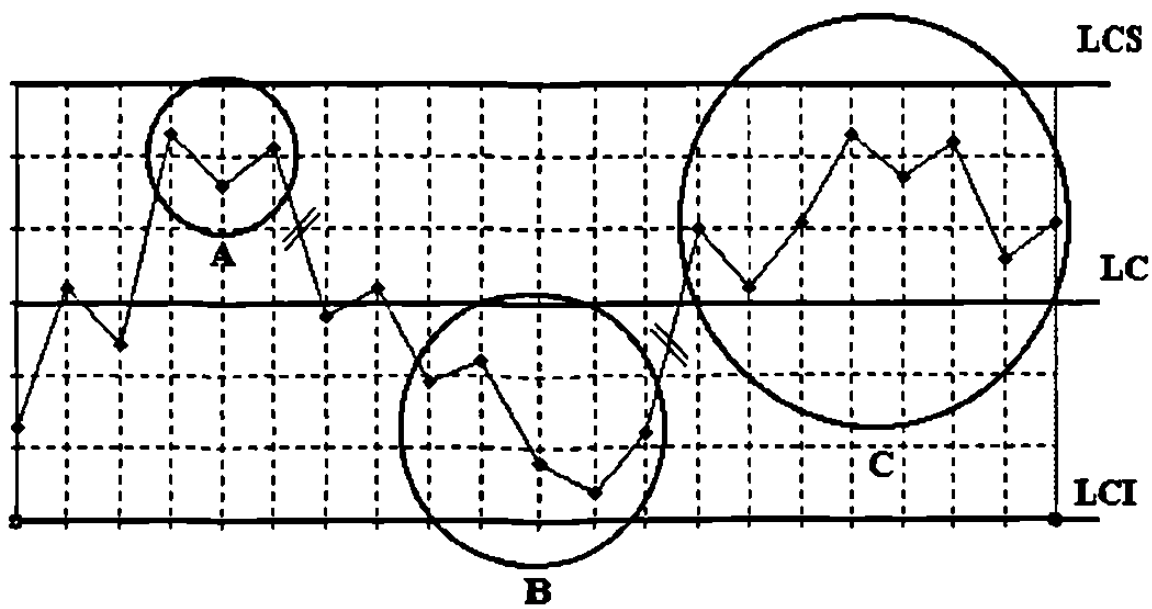


Figura 6.6. Proceso bajo control.



Figuar 6.7. Estados fuera de control.

A) Dos o tres puntos por encima del error estándar.
B) Cuatro o cinco puntos por debajo del error estándar.
C) Ocho puntos por encima del eje central.

Ciclos.

A una secuencia corta y repetida en una gráfica que tenga picos y además valles alternados, se le llama ciclo y éste es resultado de causas que vienen y van con cierta regularidad así por ejemplo en la gráfica $\bar{x}$ (figura 6.8)los ciclos son el resultado de rotación o bien fatiga del operador, o bien deberse a que el turno llego a su parte final diferentes calibradores que usen diversos inspectores, cambios climáticos de estación como temperatura y humedad y también a diferencias entre turno diurno y nocturno, pero en una gráfica **R** los ciclos se pueden deber a programas de mantenimiento, rotación de accesorios o calibradores, diferencias entre turnos o bien a la fatiga de los operadores.

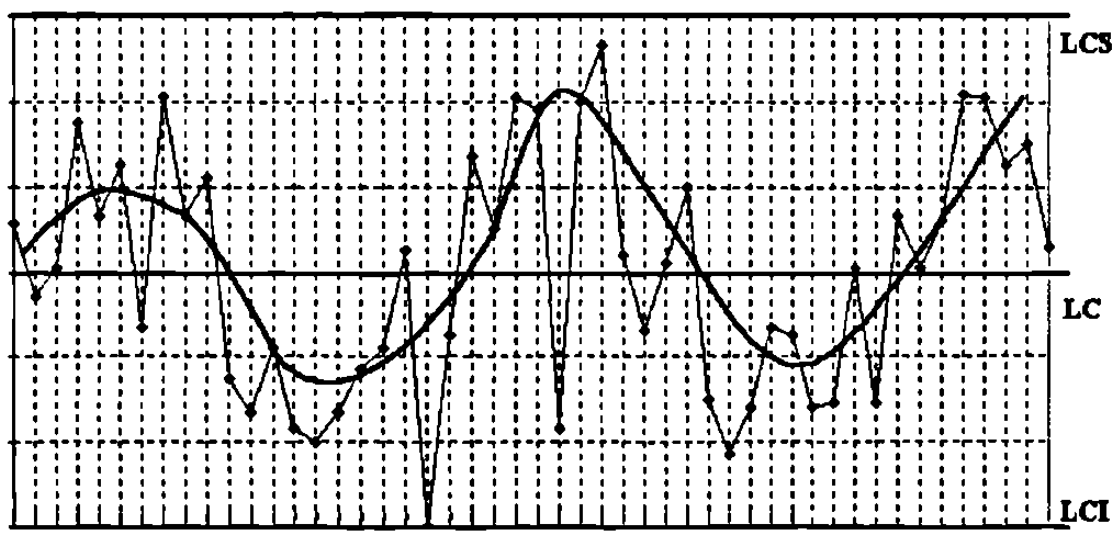


Figura 6.8. Ciclos.

Tendencias.

Una tendencia es el producto de alguna causa que afecta de manera gradual las características de calidad del producto haciendo que los puntos de la gráfica de control queden localizados gradualmente hacia arriba o hacia abajo del eje central . Esto puede ocurrir cuando están adquiriendo experiencia los operadores, o a consecuencia de que esté mejorando el mantenimiento a través del tiempo. Así en la gráfica $\bar{x}$ (figura 6.9) las tendencias se pueden deber a la mejoría de la habilidad del operador o a que los accesorios se llenaron de tierra o rebaba, cambios de temperatura, húmedad , fatiga del operador, que una herramienta se halla desafilado o tal vez que un accesorio o herramienta se aflojó de manera gradual. En ocasiones una tendencia decreciente puede deberse a que mejoró la habilidad del operador, mejores métodos de trabajo, mejores materiales o tal vez a que el mantenimiento fué más frecuente.

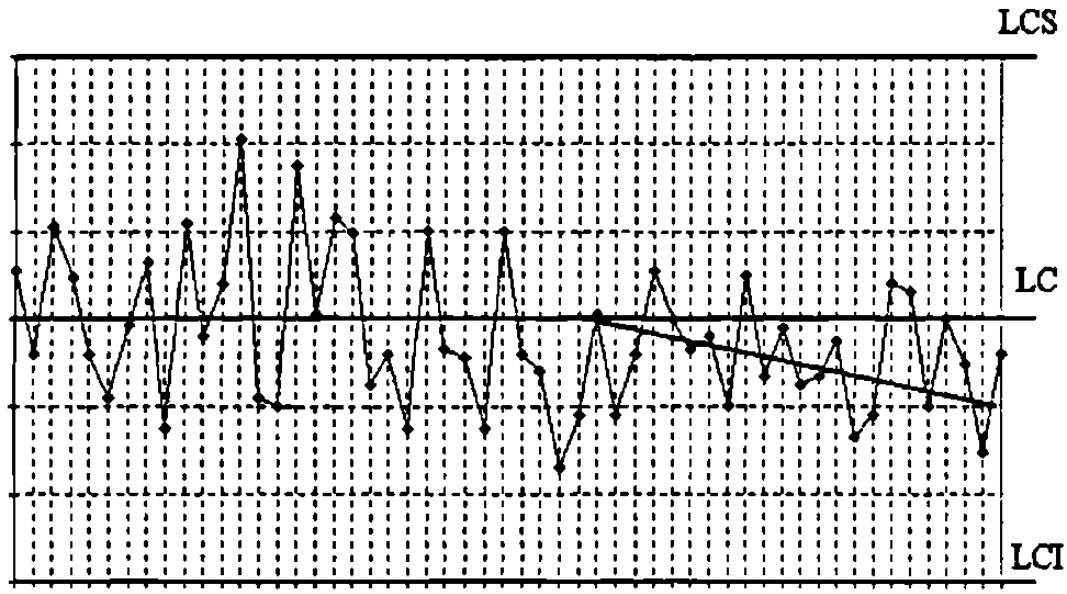


Figura 6.9. Tendencia gradual.

Acercamiento central .

Cuando casi todos los puntos se acercan al eje central, se dice que hay acercamiento central y en la gráfica de control da la impresión de que los límites fueron muy amplios, en ocasiones, ésto puede deberse a que la muestra es tomada seleccionando de manera sistemática sólo un artículo de cada una de las máquinas, operadores, husillos. En el caso de que haya gran variación en las partes individuales, los promedios muestrales no

siempre la reflejarán y sería conveniente hacer una gráfica de control para cada husillo, máquina u operador, una causa que frecuentemente no se toma en consideración con respecto a este comportamiento, son los errores al calcular los límites de control quizá porque se usó un factor equivocado de la tabla o por error en el punto decimal a la hora de los cálculos, como se ve en la figura 6.10.

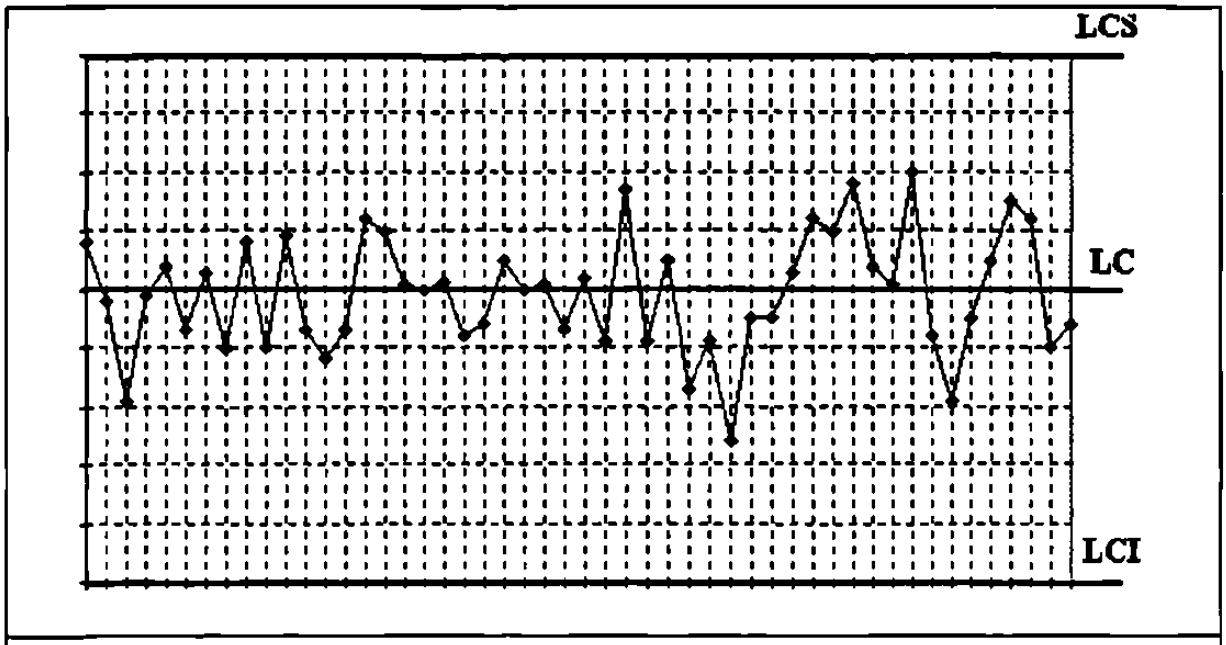


Figura 6.10. Acercamiento al Eje Central.

Acercamiento a los límites de control.

Este comportamiento se presenta cuando muchos puntos quedan cerca de los límites de control pero pocos en el intermedio a ésto se le llama frecuentemente mezcla y se debe a una combinación de dos comportamientos distintos en la misma gráfica (gráfica 6.11). La mezcla se pudiera descomponer en dos patrones separados

El comportamiento mezclado se puede deber al uso de diferentes lotes de material que se emplean en un proceso o bien cuando diversas máquinas producen los artículos pero estas llegan a un punto común de inspección.

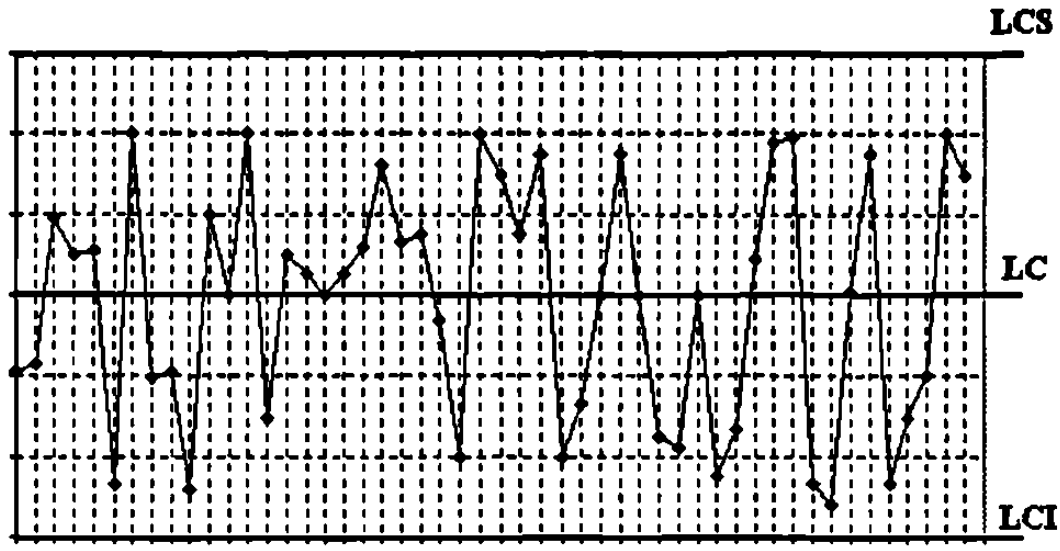


Figura 6.11. Acercamiento a los límites de control.

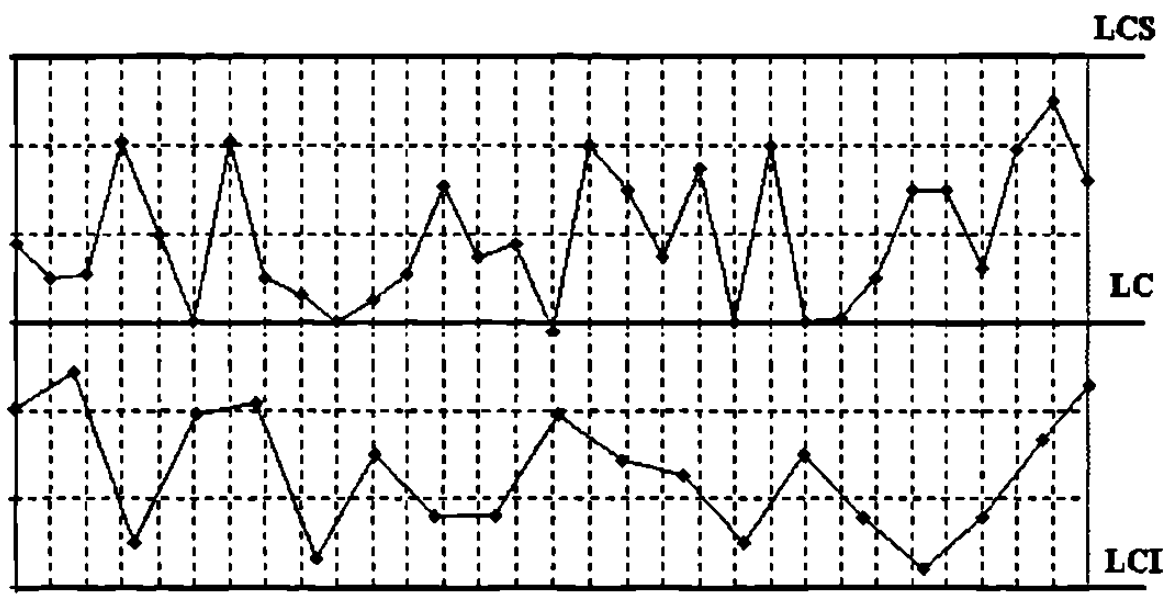


Figura 6.12. Descomposición de una mezcla en dos patrones.

Inestabilidad.

Cuando durante cierto tiempo existen fluctuaciones erráticas y no naturales a ambos lados de la gráfica entonces tenemos un problema de inestabilidad. Y es frecuente que los puntos queden fuera de los límites superior e inferior de control sin tendencia consistente. Es difícil en este caso identificar las causas asignables frecuentemente la inestabilidad es causada por el sobre ajuste de una máquina o las mismas causas que provocan el acercamiento a los límites de control como anteriormente se mencionó debe de analizarse primero la gráfica **R** que la gráfica $\bar{x}$ ésto porque algunas de las causas que ocasionan descontrol en la gráfica **R** pudieran causar condiciones para que haya una salida de control en la gráfica $\bar{x}$ .En la figura 6.12 se puede observar una tendencia bastante drástica hacia abajo en la amplitud y revisando la gráfica $\bar{x}$ se observará que los últimos puntos parecen estar acercándose a el eje central.

Conforme vaya disminuyendo la variabilidad del proceso todas las observaciones muestrales quedarán cerca del promedio de población así que $\bar{x}$ no variará mucho de muestra a muestra pudiendo identificar esta reducción en la variación y sí se puede controlar entonces, habrá que hacer el cálculo de nuevos límites de control para ambas gráficas.

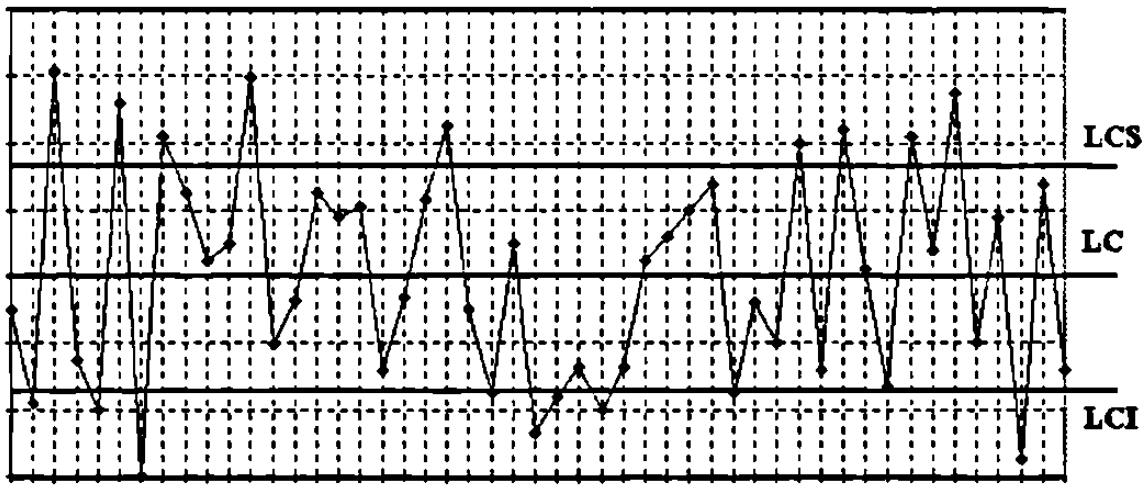


Figura 6.13. Inestabilidad.

Vigilancia y control de un proceso.

Si ya se determinó que un proceso esta bajo control será necesario usar gráficas diariamente para hacer un seguimiento de la producción, e identificar alguna causa especial y llevar a cabo las correcciones que fueran necesarias, la gráfica nos dará información de cuando el proceso no debe de tener cambios ya que como se comentó anteriormente el ajuste innecesario al proceso causa una mano de obra improductiva, menor producción y también que haya mayor variabilidad en los artículos producidos. Se puede incrementar la productividad haciendo que los mismos operadores tomen muestras y grafiquen los datos para que puedan reaccionar con rapidez a los cambios del proceso para poder hacer ajustes instantáneos. Se recomienda que las empresas implementen un programa de capacitación para que operadores y supervisores conozcan los métodos más elementales del control estadístico de calidad y con ésto el personal adquiere una mayor conciencia de la calidad.

Las gráficas de control también necesitan mantenimiento y será conveniente revisar periódicamente los límites de control y determinar la nueva capacidad del proceso a medida que se lleven a cabo las mejoras. De acuerdo a la filosofía del control estadístico de proceso serán los operadores los que interactuarán con las gráficas de control ya que son éstos, quienes pueden reaccionar con rapidez a las causas especiales de variación. A veces se emplea con más frecuencia la amplitud en lugar de la desviación estándar para que el personal pueda hacer los cálculos con más facilidad.

6.5 Gráficas de control para atributos .

Cuando existen datos que asumen dos valores como pueden ser bueno o malo, pasa o no pasa entonces a estos datos se les llama datos de atributos no pueden medirse pero si contarse y son de bastante utilidad en muchos casos prácticos. Los datos de atributos se obtienen como producto de una inspección visual el inconveniente de trabajar con estos datos es que se requiere de muestras grandes para obtener resultados estadísticos válidos. Será conveniente tener en cuenta la diferencia que existe entre el término defecto y el término defectuoso, así por ejemplo un defecto se puede definir como una característica única de la poca calidad al cumplir con las especificaciones de un artículo y en cambio el termino defectuoso se refiere a artículos que tienen uno o más defectos se hace esta aclaración debido a que existen gráficas de atributos para artículos defectuosos y otras para defectos.

a) La gráfica p (Porcentaje de unidades defectuosas).

Con esta herramienta se puede vigilar la proporción de artículos que no cumplen con las especificaciones en un lote producido, el otro nombre que recibe la gráfica **p** es el de gráfica de la fracción que no cumple las normas o fracción de defectuosos. Similarmente a como se hacía con los datos de variables una gráfica **p** se puede formar reuniendo de 25 a 30 muestras del atributo que se ha de medir (contar) y será conveniente que el tamaño de cada una de las muestras sea lo suficientemente grande como para que tenga varios artículos defectuosos y sospechando que la probabilidad de encontrar un artículo que no cumpla con las específicaciones sea pequeña entonces será necesario una muestra grande y estas muestras deben ser obtenidas en periodos para poder identificar las causas especiales.

En el supuesto de que se tomarán **k** muestras y que cada una tuviera un tamaño **n** y si **y** representa el número de artículos defectuosos en una cierta muestra la proporción de los que no cumplen con las normas es **y/n** . De tal forma que π es la fracción de artículos defectuosos en la iésima muestra, la fracción promedio de los que no cumplen las especificaciones para el grupo **k** es entonces:

$$\bar{p} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \ldots + p_k}{k}$$

Esta medida estadística refleja la capacidad del proceso se puede esperar que un gran porcentaje de las muestras tuvieran una fracción de defectuosos dentro de tres desviaciones estándar de $\bar{p}$ y la estimación de la desviación estándar es:

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

Así que los límites superior e inferior de control son:

$$LSC_p = \bar{p} + 3\, s_p$$

$$LIC_p = \bar{p} - 3\, s_p$$

En el caso de LIC_p sea menor que cero entonces se adopta el valor cero. Una gráfica **p** se analiza de manera semejante a la gráfica **R** o $\bar{x}$ y los puntos que estén fuera de los límites de control definitivamente representarán un caso fuera de control. Será conveniente el tratar de identificar las causas especiales de comportamientos y tendencias pero teniendo en cuenta lo siguiente, que si un punto **p** quedara abajo del límite inferior de control o si se observara una tendencia abajo de la línea central entonces tal vez esto se deba a una mejora del proceso porque lo que se busca es cero artículos defectuosos.

Entre los beneficios de emplear la gráfica están :

-Detectar los puntos que están fuera de control sobre los cuales hay que trabajar.

-Detectar puntos fuera de control que indican formas de inspección relajadas, así como causas irregulares de mejora de calidad

-Saber cúal es la proporción media defectuosa de artículos sometidos a inspección.

Será conveniente usar un formato como el mostrado en la figura 4.13.

A continuación se muestra un ejemplo de aplicación de la gráfica **p**.

Durante diez días se ha llevado un registro del número de piezas que no cumplen con las especificaciones sugeridas, los datos se presentan a continuación. Elabore una gráfica de control **p** y comente sobre la estabilidad del proceso.

Día	n	Número de piezas "No pasa"	Fracción p
1	50	3	0.06
2	50	5	0.1
3	50	2	0.04
4	50	4	0.08
5	50	6	0.12
6	50	1	0.02
7	50	3	0.06
8	50	7	0.14
9	50	3	0.06
10	50	4	0.08
	Total: 500	38	

El porcentaje promedio de unidades que no cumplen las especificaciones es:

$$p = \frac{38}{500} = 0.076$$

La desviación estándar es:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{0.076(1-0.076)}{50}} = 0.037$$

Los límites de control están dados por:

$$LCS_p = p + 3\,\frac{\sqrt{p\,(1-p)}}{n} = 0.076 + 3\,(0.037) = 0.187$$

$$LCI_p = p - 3\,\frac{\sqrt{p\,(1-p)}}{n} = 0.076 - 3\,(0.037) = -0.035$$

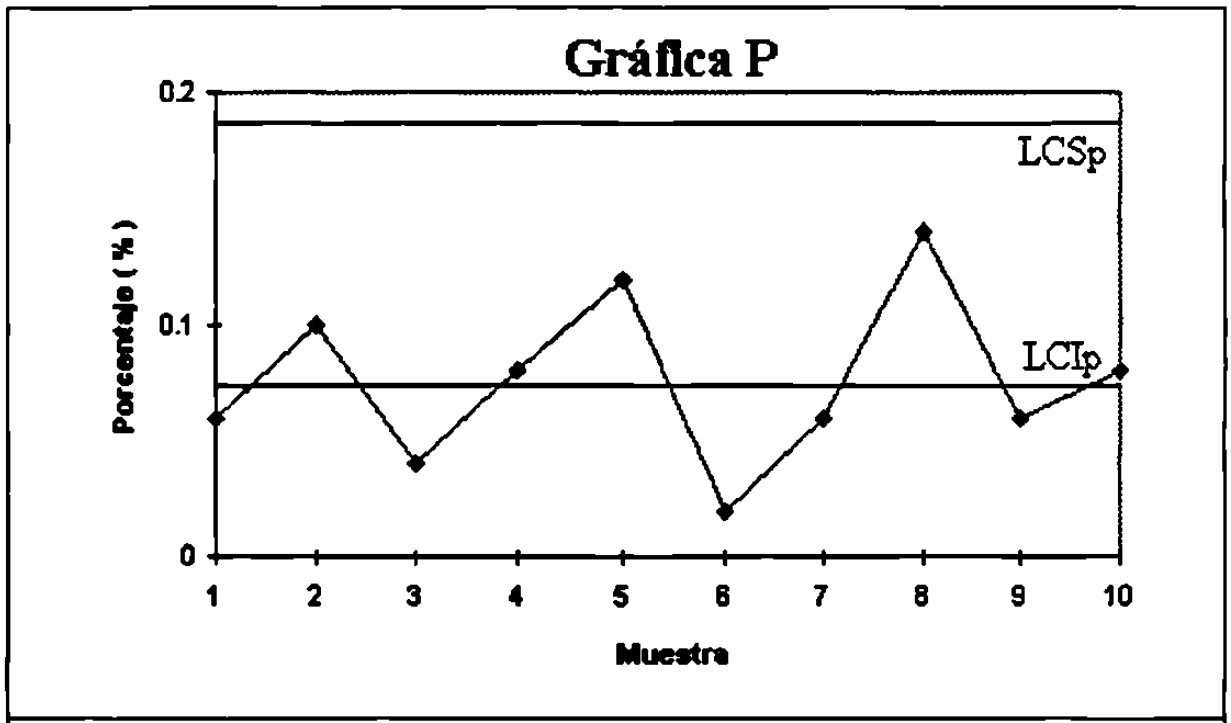


Figura 6.14. Ejemplo de gráfica P.

Debido a que el porcentaje de piezas que están fuera de especificación no puede ser negativa, es por eso que el límite inferior de control se toma de valor cero.

b) Gráfica np (Número de unidades defectuosas).

La gráfica **np** es la gráfica especial de control empleada para el número de unidades disconformes, éste es el instrumento que se emplea cuando queremos gráficar únicamente las unidades disconformes y no el porcentaje que éstas representan, siempre que el tamaño de la muestra sea constante. Será necesario establecer la frecuencia para la toma de datos, y considerar que intervalos cortos permiten una rápida retroalimentación del proceso.

Si se multiplicara a ambas partes de la ecuación $p_i = y_i/n$ por **n** se tendría la ecuación:

$$y_i = n\,p_i$$

lo cual quiere decir que el número de artículos defectuosos será igual al tamaño de la muestra multiplicado por la proporción de artículos defectuosos y así que en vez de usar una gráfica para la fracción de artículos defectuosos se puede usar como opción una gráfica del número de artículos defectuosos y ésta es precisamente la gráfica **np.**

En el caso de que analizáramos dos muestras de diferente tamaño y que hubiera el mismo número de artículos defectuosos en cada una, entonces evidentemente esto se reflejaría en una gráfica **p** pero en una gráfica **np** no habría diferencia entre las muestras por lo cual para tener una base común de medición serán necesarios tamaños iguales de muestra. Y ésto no es necesario en las gráficas **p** debido a que la fracción de artículos defectuosos es invariable respecto al tamaño de la muestra, por ejemplo una gráfica **p** con tamaño variable de muestra tendrá límites variables de control así que será preferible tener muestras del mismo tamaño.

Para este tipo de gráficas la muestra debe de ser suficientemente grande con la finalidad de encontrar una o varias unidades disconformes en cada grupo se recomienda que el tamaño de la muestra no sea menor que 50 unidades.

La gráfica **np** es una buena opción para la gráfica **p** debido a que la entiende mejor el personal de producción ya que el término número de artículos defectuosos tiene más significado que una fracción y como sólo se requiere de contar esto, hace más simple el cálculo. Tanto en la gráfica **np** como en la gráfica **p** los límites de control están basados en la distribución binomial de probabilidad y el eje central es el número promedio de

artículos defectuosos en la muestra representado con $n\bar{p}$ y se cálcula tomando M muestras de tamaño n sumando el número de piezas defectuosas y_i en cada muestra y dividiendo entre M así tenemos:

$$n\bar{p} = \frac{y_1 + y_2 + \ldots + y_M}{M}$$

así que una estimación de la desviación estándar tendrá la siguiente fórmula:

$$s_{n\bar{p}} = \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

donde $\bar{p} = (n\bar{p}/n)$. Con los límites tres sigma, como antes, los límites de control quedan especificados mediante:

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

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

LSC y LIC son los límites superior e inferior de control, respectivamente.

Las ventajas de usar el gráfico **np** son:

- Tener registro de una o varias características de la operación.

- Saber cuales son las causas que aumentan el reproceso.

- Detecta causa especiales que no se pueden visualizar con la gráfica de promedios y rangos.

- Se puede saber cúal es la tendencia de un defecto o de un grupo de estos.

Los datos de la inspección realizada en el departamento de forja de piezas de chapa metálica aparecen en la tabla adjunta.

LOTE	n	np
1	300	12
2	300	15
3	300	17
4	300	21
5	300	40
6	300	0
7	300	25
8	300	31
9	300	27
10	300	0
11	300	11
12	300	13
Sum.:	3600	212

La línea central de la gráfica está dada por el promedio de unidades disconformes:

$$\overline{np} = \frac{\sum_{i=1}^{k} (np)_i}{k} = \frac{212}{12} = 17.67$$

El porcentaje promedio de unidades defectuosas es:

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^{k} (np)_i}{nk} = \frac{212}{3600} = 0.059$$

Los límites superior e inferior de control toman los siguientes valores:

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

$$LCS_{np} = 17.67 + 3\sqrt{17.67\,(1-0.059)} = 29.9$$

$$LCI_{np} = \overline{np} - 3\sqrt{\overline{np}\,(1-\overline{p})}$$

$$LCI_{np} = 17.67 - 3\sqrt{17.67\,(1-0.059)} = 5.4$$

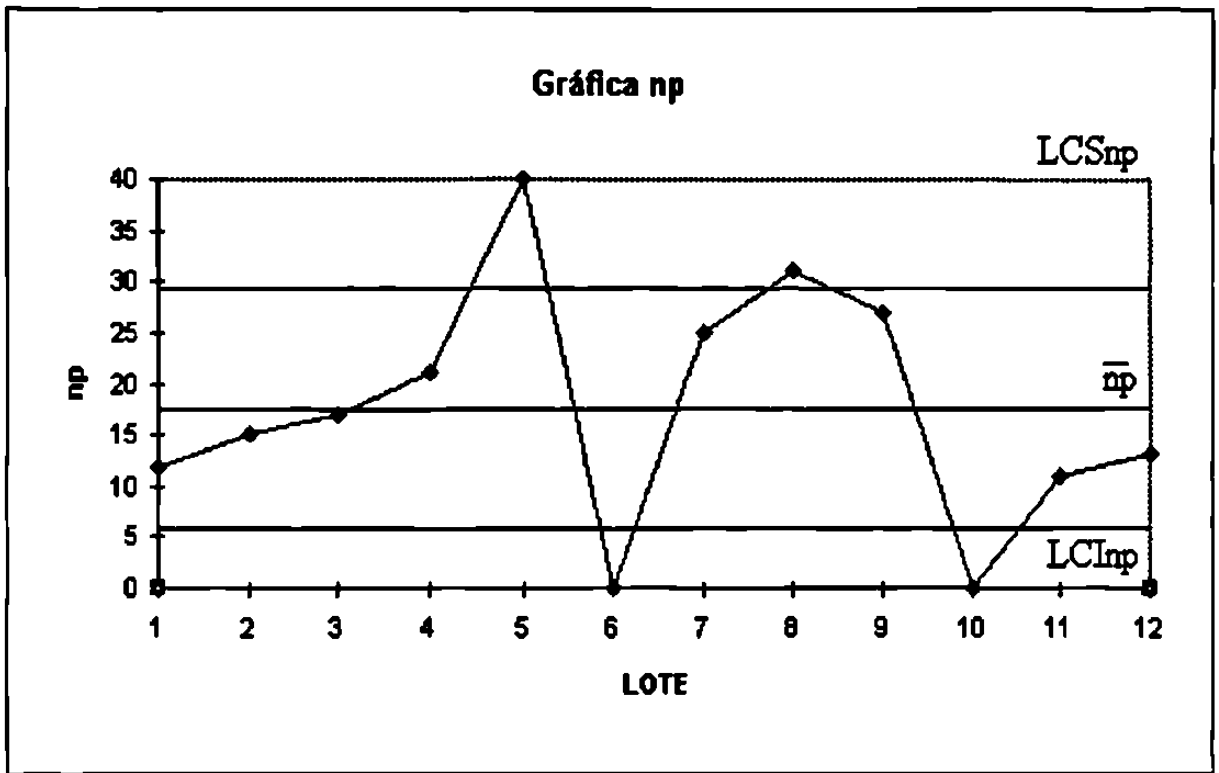


Figura 6.15. Ejemplo de gráfica NP.

Se puede observar en la gráfica que los puntos correspondientes a los lotes 5,6,8 y 10 se encuentran fuera de control, y la gerencia debe investigar la razón de la aparición de causas especiales en el proceso.

Gráfica c (Número de defectos).

A veces lo que nos interesa saber es el número de defectos que tiene un artículo, no sólo saber si el artículo es defectuoso. Y si éste es el caso deberá de emplearse una gráfica c llamada para defectos, este tipo de gráfica se emplea para controlar el número total de defectos por unidad cuando el tamaño del subgrupo es constante. La gráfica se basa en la distribución de probabilidad de Poisson será conveniente para la construcción estimar el número promedio de defectos por unidad $\overline{c}$, esto será seleccionando por lo

menos 25 muestras de igual tamaño contando el número de defectos por muestra y calculando el promedio. Así que como la desviación estándar de la distribución de Poisson que es la raíz cuadrada del promedio, entonces tenemos la siguiente expresión $s_c = \sqrt{\bar{c}}$

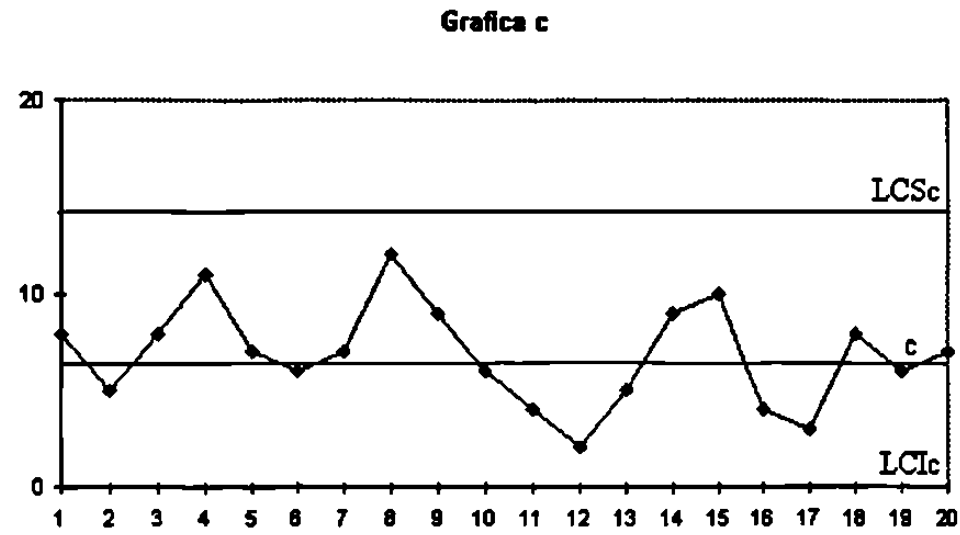


Figura 6.16. Ejemplo de gráfica C.

De tal forma que los límites de control 3 sigma quedan como:

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

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

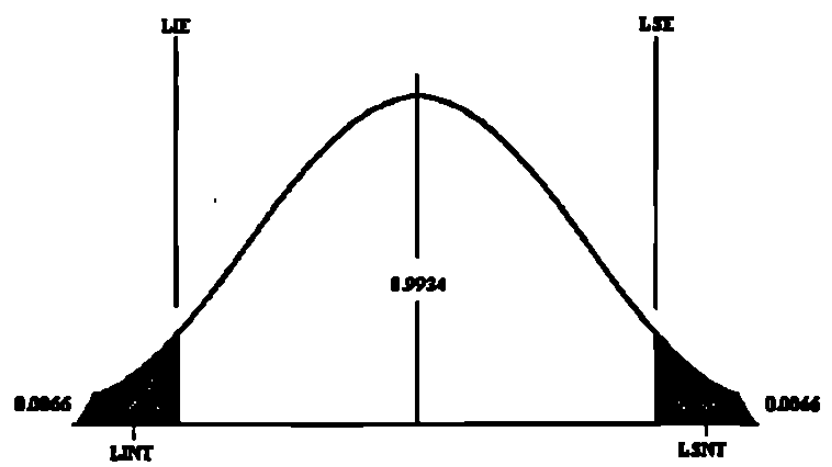


Figura 6.17. Cálculo de la habilidad del proceso usando curva normal.

Este tipo de gráfica se puede emplear para dar continuidad al control o bien para observar que tan eficaz es un programa de mejoramiento de la calidad.

La gráfica c deberá de emplearse únicamente cuando el área de oportunidad de encontrar defectos permanezca constante así que las muestras serán de la misma longitud, la misma área , cantidad que deberá haber sido fijada con anterioridad.

Los beneficios de emplear la gráfica c son los siguientes:

-La administración y los supervisores de producción sabrán sobre el nivel de calidad del proceso.

-Se reducirá el costo relativo al reproceso.

-Se podrá determinar cúales son los tipos de defectos que no son permisibles en un producto y podremos saber sobre la probabilidad de ocurrencia de los defectos en una unidad.

La tabla muestra el número de errores de impresión que se encontraron al examinar 20 folletos de inducción al tema de Control Total de Calidad.

Folleto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Error	8	5	8	11	7	6	7	12	9	6	4	2	5	9	10	4	3	8	6	7

El total de defectos para los 20 folletos es 137, de donde la línea central de la gráfica está dada por el número medio de defectos por folleto.

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=k}^{n} c_i}{k} = \frac{137}{20} = 6.85$$

Los límites de control son entonces:

$$LCS_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 6.85 + 3\sqrt{6.85} = 14.70$$

$$LCI_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 6.85 - 3\sqrt{6.85} = -1.00$$

Como el número de efectos por unidad no puede ser negativo, entonces $LIC_c = 0$

En la gráfica anterior no existen puntos fuera de control, pero la gráfica indica un patrón de comportamiento anormal en forma de ciclos.

Los límites son muy amplios, por lo que la consistencia del proceso es mala; la gerencia debe investigar el sistema y llegar a establecer medidas que conduzcan a la disminución de la variabilidad.

Gráfica u. (Número de defectos por unidad-porcentaje).

Básicamente la gráfica **u** es una variación de la gráfica **c** es recomendable que si el área de oportunidad para la ocurrencia de defectos no permanece constante entonces la gráfica **u** debe usarse en lugar de la gráfica **c** donde cada punto graficado corresponde al valor **u = c/n** , donde **n** es el número de unidades inspeccionadas y **c** el número de defectos encontrados en las **n** unidades. Cuando **n** es constante se puede emplear la gráfica **u** o la gráfica **c** pero cuando **n** varía se deberá de utilizar la gráfica **u**.

En ocasiones el tamaño del subgrupo no es constante o bien la naturaleza del proceso de producción no arroja unidades medibles discretas si se considera por ejemplo el caso de una ensambladora de autos donde se producen diferentes modelos que varían en su área superficial entonces el número de defectos no tendría comparación válida entre los diversos modelos y en este caso será conveniente emplear una unidad patrón de medida tal como número de defectos por unidad de área, así que la gráfica de control recomendada en estos casos es la gráfica **u** .La variable **u** representa al número promedio de defectos por unidad de medida así que **u=c/n** donde **n** es el tamaño del subgrupo(tal como unidad de área) y se puede calcular el eje central **u** para **M** muestras cada una de tamaño n quedando la siguiente expresión:

Recomendaciones de uso para la gráfica u:

-Si varía el tamaño muestral habrá que usar esta gráfica y los límites de control pueden ser límites variables empleando tamaños muestrales individuales o límites constantes empleando el promedio del tamaño muestral cuando los tamaños no difieran grandemente.

-Se puede emplear en sustitución de la gráfica **c** cuando el tamaño muestral constante contenga más de una unidad de inspección y que se quiera gráficar el número de defectos por unidad de inspección

La variable **u** representa el número promedio de defectos por unidad de medida, ésto es $u = c/n$ donde **n** es el tamaño del subgrupo, com pueden ser pies cuadrados, entonces se calcula el eje central $\bar{u}$ para **M** muestras cada una de tamaño n_i, quedando la siguiente expresión:

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \ldots + c_M}{n_1 + n_2 + \ldots + n_M}$$

La desviación estándar de la i-ésima muestra se estima mediante:

$$s_u = \sqrt{\bar{u}/n_i}$$

Los límites de control, basados en tres sigma para la i-ésima muestra son, entonces,

$$LSC_u = \bar{u} + 3\sqrt{\bar{u}/n_i}$$

$$LIC_u = \bar{u} - 3\sqrt{\bar{u}/n_i}$$

al variar el tamaño del subgrupo desde luego que varía el límite de control, ésto es parecido a lo que sucede a la gráfica **p** con tamaños variables de muestra, y siempre que varía el tamaño de **n**, los límites de control también variarán.

La tabla adjunta muestra los resultados de la inspección de 20 lotes de tres tamaños diferentes: 20, 25 y 40.

Lote	n	c	u	Lote	n	c	u
1	20	72	3.60	11	25	47	1.88
2	20	38	1.90	12	25	55	2.20
3	40	76	1.90	13	25	49	1.96
4	25	35	1.40	14	25	62	2.48
5	25	62	2.48	15	25	71	2.48
6	25	81	3.24	16	20	47	2.35
7	40	97	2.42	17	20	41	2.05
8	40	78	1.95	18	20	52	2.60
9	40	103	2.58	19	40	128	3.20
10	40	56	1.40	20	40	84	2.10
			Total:		580	1334	

La ecuación de la línea central es:

$$\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^{k} u_i}{k} = \frac{1334}{580} = 2.30$$

Se calculan enseguida los límites de control para cada uno de los 3 valores de **n:**

para **n = 20**

$$+LCS_c = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{u}{n}} = 2.30 + 3\sqrt{\frac{2.30}{20}} = 3.32$$

$$LCI_c = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{u}{n}} = 2.30 - 3\sqrt{\frac{2.30}{20}} = 1.28$$

Para **n = 25**

$$LCS_c = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{u}{n}} = 2.30 + 3\sqrt{\frac{2.30}{25}} = 3.21$$

$$LCI_c = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = 2.30 - 3\sqrt{\frac{2.30}{25}} = 1.39$$

Para n = 40

$$LCS_c = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = 2.30 + 3\sqrt{\frac{2.30}{40}} = 3.02$$

$$LCI_c = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = 2.30 - 3\sqrt{\frac{2.30}{40}} = 1.58$$

Los lotes Nos. 1, 6, 10 y 19 se encuentran fuera de sus límites de control respectivos, por los que se tiene que efectuar un estudio acerca de qué fué lo que perturbó al sistema.

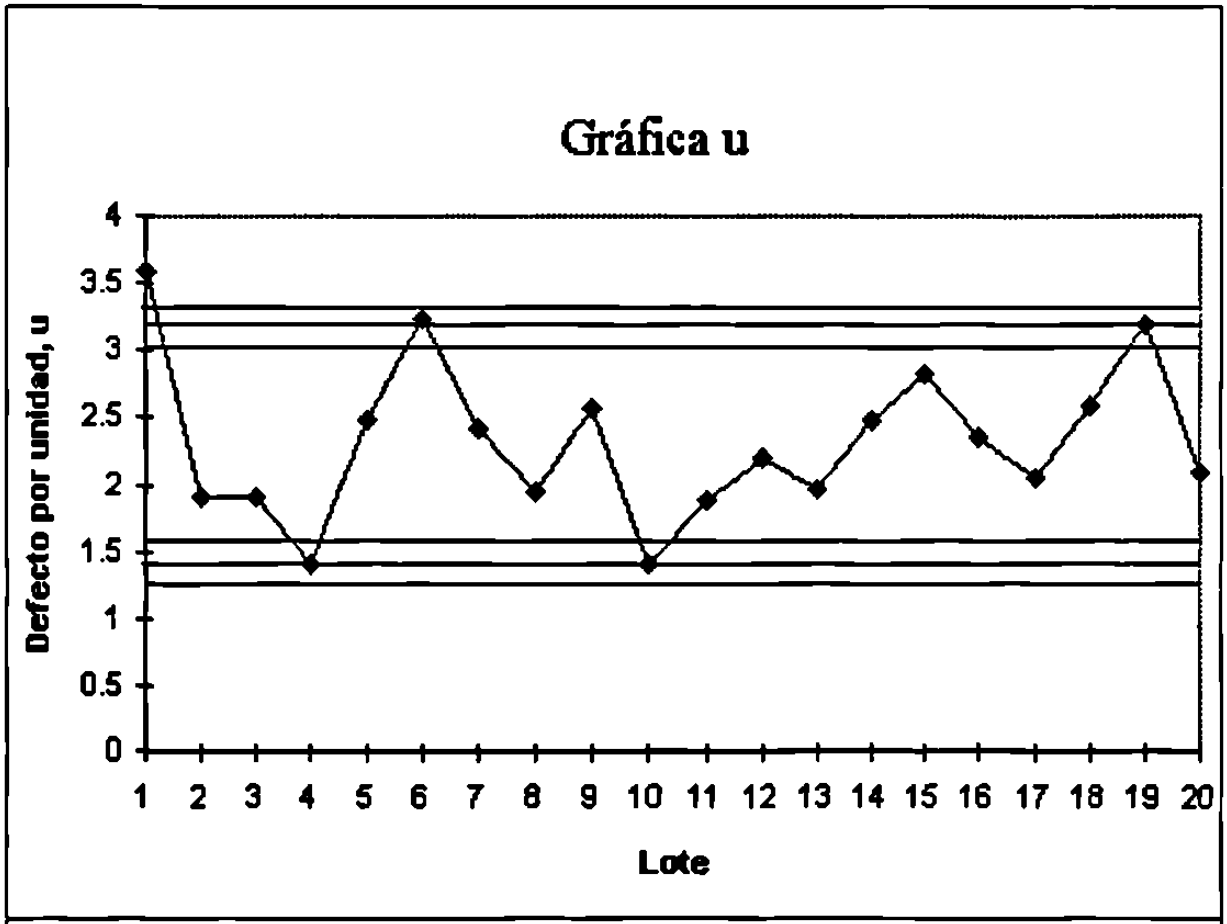


Figura 6.18. Especificación Bilateral.

6.4 Determinacion de la habilidad del proceso.

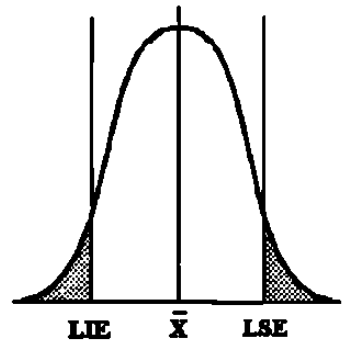


Figura 6.19. Especificación Bilateral.

La habilidad o capacidad de un proceso son los límites dentro de los cuales se tiene la variación natural del proceso determinada por la causas comúnes del sistema. La habilidad de un proceso se interpreta como la variación que se mide y que es propia del producto obtenido del proceso. También puede definirse la habilidad como el grado con el cual el proceso va a producir una salida, un informe dentro de ciertos estándares definidos esto nos puede mostrar que tan capaz es el proceso de producir unidades dentro de los límites de especificación. Un producto puede estar bien diseñado pero una compañía sólo tendrá éxito cuando los procesos de fabricación del producto sean capaces de cumplir con las especificaciones del mismo. Una mejora del proceso tiene como consecuencia reducir costos y desperdicios y así aumentar la productividad .

La determinación de la habilidad del proceso es una medida de la uniformidad del mismo proceso y esta habilidad se mide con la proporción de la producción que es posible fabricarse dentro de las especificaciones de diseño. Será requisito que el proceso se encuentre en control estadístico y que se hayan eliminado las causas especiales para poder medir la capacidad del proceso.

Por medio de los estudios de capacidad del proceso es posible predecir en forma cuantitativa que también cumple el proceso con las especificaciones y también se pueden especificar los requisitos del equipo. Cuando un proceso no cumple con las especificaciones de diseño los administradores de la empresa pudieran tomar tres decisiones como desechar las partes que no se ajusten a lo especificado, nueva tecnología para hacer mejor el proceso o bien cambiar las especificaciones de diseño. Para tomar decisiones con respecto a lo anterior se deberá cuidar el aspecto económico así por ejemplo habrá que considerar que si se hizo la inversión de mano de obra y materiales y

si el producto sale defectuoso, tendremos probablemente desecho y reproceso, si hay errores de inspección tendremos artículos defectuosos, con respecto a la nueva tecnología habría que ver si la compañía puede hacer la inversión, y otra consideración como un cambio de diseño puede producir un producto de menor calidad y habría que cuidar el aspecto adecuación al uso .

Para aceptar contratos es importante tomar en cuenta la capacidad del proceso en el diseño del producto. Es común que las empresas pidan datos de capacidad del proceso a sus proveedores .

La menor variabilidad se ha convertido en una clara ventaja competitiva en nuestros días.

La habilidad del proceso está determinada por los límites entre los cuales los valores individuales producidos por cualquier proceso serían normalmente esperados en el caso de que solo la variación natural estuviera presente.

Hay dos especificaciones en un proceso que se encuentra bajo control estadístico y que cumple con las especificaciones y son las siguientes:

-Cuando se debe de producir por arriba del límite inferior y por debajo de un límite superior ésta es llamada especificación bilateral, como se muestra en la figura 6.20.

-Cuando sólo se pide que el producto se encuentre por arriba o por debajo de un sólo límite de especificación a lo cual se le llama especificación unilateral.

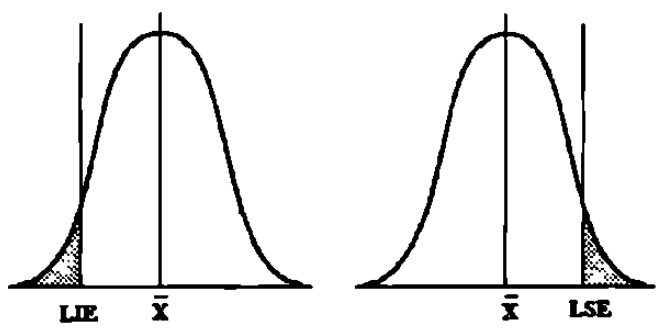


Figura 6.20 Especificación unilateral.

En términos estadísticos la habilidad de un proceso implica un intervalo de variación dentro del cual caen todos o casi todos los valores de una distribución de datos

y es costumbre tomar la dispersión seis sigma como una medida de la habilidad del proceso de tal manera que si queremos que una característica de calidad que se comporte según una distribución normal con media μ y desviación estándar σ entonces los límites naturales de tolerancia del proceso caeran en $\mu + 3\sigma$ y $\mu - 3\sigma$ por lo que:

$$LSTN = \mu + 3\sigma$$

$$LITN = \mu - 3\sigma$$

Para una distribución que sea normal los límites de tolerancia de 3σ incluyen 99.73% de la variable asi es que tendríamos .27% o 2700 partes por millón de disconformes caerán fuera de los límites de tolerancia natural.

Por ejemplo si se tuviera un proceso con un promedio de 36 y una desviación estándar de 3.8 cual sería la habilidad de este proceso.

Entonces:

$$LSTN = \mu + 3\sigma = 36 + 3 * 3.8 = 47.4$$

$$LITN = \mu - 3\sigma = 36 - 3 * 3.8 = 24.6$$

lo cual significa que el proceso será capaz de producir piezas dentro del intervalo 24.6, 47.4 con una probabilidad del 99.73%.

No debe de ser confundida la habilidad de un proceso con la tolerancia del mismo, la habilidad del proceso es inherente tiene un cáracter dinámico se puede medir del proceso y gráficamente la podemos representar como un intervalo de longitud igual a seis desviaciones estándar de la variable con distribución normal.

Mientras que la tolerancia del proceso es prácticamente una petición por parte del cliente o del diseñador acerca de una determinada característica de calidad del producto.

Es bien sabido que el estudio de la habilidad del proceso mide usualmente los parámetros funcionales del producto y no el producto mismo de tal forma que cuando alguien observa el proceso y puede controlar o monitorear la actividad de recolección de

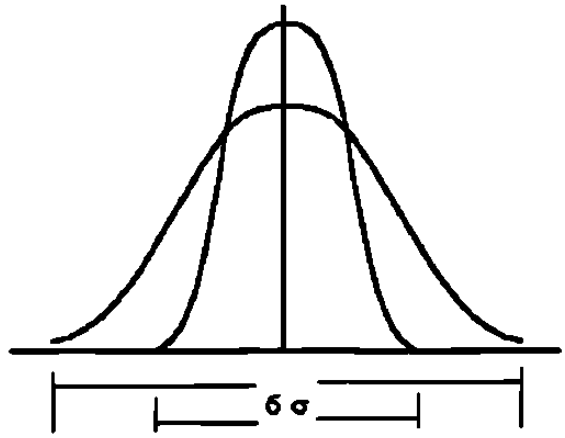


Figura 6.21. Habilidad.

datos esto se convierte prácticamente en un estudio de la habilidad del proceso, controlando la recolección de datos y conociendo la secuencia temporal de los datos se podrán hacer inferencias sobre la estabilidad del proceso a lo largo del tiempo pero cuando sólo se tienen muestras de unidades del producto que se obtuvieron por inspección, y recibidas del proveedor y que no hay una observación directa del proceso o la historia temporal de la producción entonces a ésto se le llama estudio de la caracterización del producto y en este tipo de estudio sólo se puede estimar la distribución de la característica de calidad o el producto en sí pero nada se puede saber acerca del comportamiento dinámico del proceso o de su estado de control estadístico.

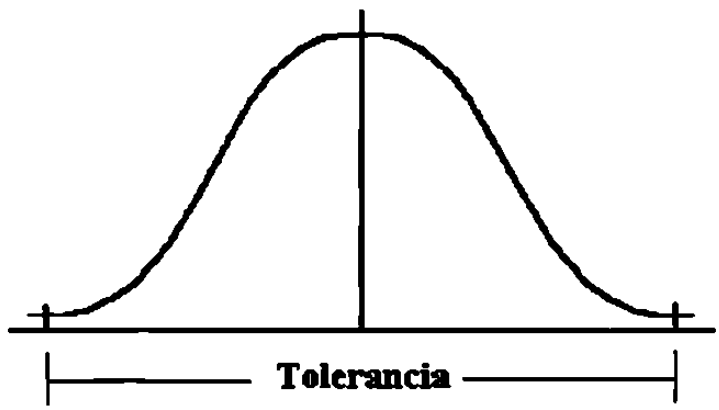


Figura 6.22. Tolerancia.

Por ejemplo, si se sabe que las especificaciones para una pieza de un motor son 73 y 79 miligramos y un análisis del proceso muestra un peso medio de 76 miligramos y una desviación estándar de 1.21 miligramos. Los límites de tolerancia natural de 3σ están dados por:

$$LSTN = 76 + 3\,(1.21) = 79.63 \text{ mg}$$
$$LITN = 76 - 3\,(1.21) = 72.37 \text{ mg}$$

La habilidad del proceso determinada por el intervalo de tolerancia natural excede los límites de especificación por lo que cabe esperar un porcentaje de piezas fuera de especificación y este porcentaje se muestra en la gráfica como la región sombreada bajo la curva normal.

Mediante la tabla de áreas bajo la curva normal encontramos que el área sombreada es de 0.0132, ésto es, 1.32% de piezas disconformes, sí este porcentaje es alto habrá que realizar acciones encaminadas a cambiar el proceso, cambiar las especificaciones o en última instancia diseñar un plan de inspección para encontrar tantos de estos artículos disconformes como sea posible.

Una maquinaria o proceso tiene capacidad para producir partes dentro de las especificaciones, existen varios metódos para medir la capacidad de una máquina o proceso y estos metódos son: el metódo gráfica promedio y rango y el diagrama de probabilidades se recomienda el empleo conjunto de éstas dos técnicas.

CARTA DE CONTROL DE VARIABLES ($\bar{x} - R$)																												
																										Parte:	Carta:	
Parte No.:										Operación:																Límites de especificación:		
Operador:					Máquina:								Gage:				Medida:											
DATOS:		6/2	6/5	6/12	6/15	6/16	19	21	22	26	29	30	7/7	10	12	14	17	18	19	24	25	26	27	31	8/2	3		
TIEMPO:																												
MUESTRA	1	22	19	20	25	31	24	15	29	18	39	33	37	43	24	21	20	39	30	27	31	26	20	27	26	31		
	2	41	43	17	17	28	28	26	32	47	25	25	34	31	45	31	50	25	38	41	26	35	25	16	30	30		
	3	19	27	31	31	24	26	24	21	40	33	22	34	48	7	41	40	28	21	26	27	35	37	48	8	38		
	4	21	42	28	28	18	18	41	51	24	42	45	25	25	42	17	17	40	24	43	42	32	32	51	35	34		
	5	18	46	28	28	34	26	14	26	25	18	48	21	37	22	22	24	28	30	13	19	21	42	48	31	26		
Suma:		121	177	124	143	135	122	120	159	154	157	173	151	184	140	132	151	160	143	150	145	149	156	182	130	159		
Promedio, $\bar{x}$		24.2	35.4	24.8	28.6	27.	24.4	24	31.8	30.8	31.4	34.6	30.2	36.8	28.	26.4	30.2	32	28.6	30	29	29.8	31.2	36.4	26	31.8		
Rango, R		23	27	14	6	16	10	27	30	29	24	26	16	23	38	24	33	15	17	28	23	14	22	35	27	12		
Notas:																												
		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	26	

Las técnicas que se emplean para la determinación de la capacidad de la maquinaria y la capacidad del proceso son casi iguales y la diferencia está en la manera en que se obtienen las medidas.

Por ejemplo en la tabla anterior se muestra una gráfica de promedio y rango que se desarrolló para determinar la capacidad de proceso de un sistema donde se midió la alineación relativa o excentricidad de dos diámetros en un cigüeñal, donde la especificación es 0.60" lo cual es la lectura total del indicador. Las lecturas se obtuvieron en un período de 2 meses.

La gráfica de control muestra que el proceso sí es estadísticamente estable, en un primer período el sistema parece estar en un primer nivel, y posteriormente este se mueve a otro nivel en otro período.

Esta variación tal vez se deba a un nuevo lote de materiales, nuevas herramientas, o reparaciones, pero esto no provocó desestabilización, ni puntos fuera de control.

6.7 Capacidad de Maquinaria.

El estudio de capacidad de maquinaria se debe desarrollar en un sólo equipo u operación y las medidas utilizadas deberán de indicar la variación causada por la máquina y no las que provocan otras partes del proceso como pueden ser operario, método, materiales o medio ambiente como no se pueden eliminar totalmente los efectos de estos otros factores, entonces se podrán minimizar reuniendo las medidas durante el período mas corto y práctico posible con objeto de hacer la mejor estimación posible de la capacidad de la maquinaria.

A continuación se describe el método de la gráfica de promedio y rango para determinar la capacidad de la maquinaria.

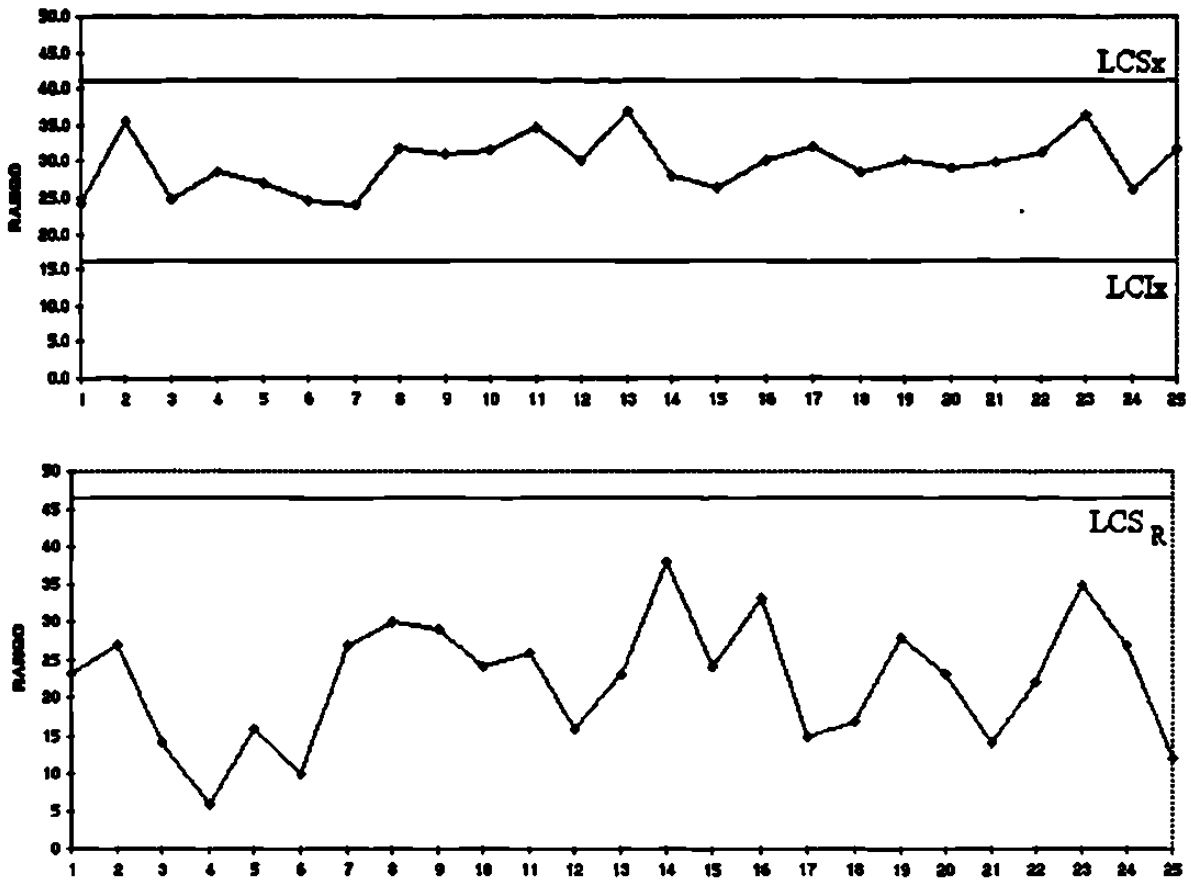


Figura 6.23. Ejemplo del Gráfico $\overline{x} - R$.

6.7.1 Método de la gráfica de promedio y rango.

El estudio de la capacidad de la máquina se deberá realizar en una dimensión y en un sólo producto. Se deberán utilizar mediciones de partes de la operación que se está estudiando y son necesarias las mediciones porque es conveniente conocer la estabilidad de la operación al estimar la capacidad, la estimación de la capacidad será en base a las estadísticas que se obtienen si las condiciones de operación son normales o estables y un excelente manera para determinar la estabilidad es emplear una gráfica de promedio y rango y buscar causas asignables o bien problemas que se puedan solucionar en piso, sí en la gráfica se obtienen puntos que estén fuera de control será suficiente como para determinar que una causa asignable está alterando la distribución normal de la dimensión y lo más conveniente en este caso, es eliminar dicha causa de ser posible para que el estimado de capacidad sea más exacto. Como se comentó anteriormente se puede usar un

histograma de frecuencia para estudiar el promedio de una dimensión y la dispersión que esta tiene en torno al mismo y también se puede anotar la especificación de diseño en el histograma y de esta manera estimar la capacidad de la máquina. El histograma es una buena herramienta para hacer una revisión rápida cuando haya certeza de la ausencia de causas asignables, pero es mas confiable y precisa la gráfica de promedio y rango para predecir la capacidad de una máquina.

La información de la habilidad del proceso puede usarse para diversas cuestiones como:

- El diseñador tendrá información para establecer sus límites de especificación, según el grado de variabilidad del proceso.

- Saber de diversos procesos y seleccionar el mejor para que se cumplan las tolerancias.

- Cuando existan procesos secuenciales se podrá saber si un proceso no distorsiona al otro.

- Tener base cuantitativa para elaborar programa de verificaciones de control periódico.

- Seleccionar las máquinas que sean más adecuadas para cada trabajo.

- Probar teorías de las causas de defectos.

- Que sirvan como base para la especificación de los requerimientos de calidad para las máquinas nuevas.

Por ejemplo, en la siguiente figura, se muestra la gráfica de control desarrollada durante un estudio de capacidad de maquinaria. Aquí se codificarón las medidas usando 2.670" como cero, así por ejemplo, cuando una parte mide 2.673" se notará 3 en la gráfica. Se midieron 125 partes en forma consecutiva siguiendo el orden de producción en el período más corto posible para mantener baja la variación debida a causas ajenas a la prensa de ensamblaje.

CARTA DE CONTROL DE VARIABLES ($\bar{x} - R$)																												
																										Parte:	Carta:	
Parte No.:										Operacion:																Límites de especificación:		
Operador:					Máquina:								Gage:				Medida:											
DATOS:	2-9-82																											
TIEMPO:																												
MUESTRA 1	9	5	7	5	4	3	6	8	11	6	9	7	6	5	6	11	6	5	3	8	4	11	5	6	9			
MUESTRA 2	7	10	6	5	7	3	4	9	2	4	7	7	5	8	6	7	6	5	5	8	6	5	10	11	4			
MUESTRA 3	9	4	6	7	7	3	5	7	9	6	5	5	5	8	1	6	9	4	10	8	6	5	6	6	6			
MUESTRA 4	4	3	6	4	8	4	4	8	9	9	5	7	6	8	6	2	3	8	6	6	10	3	6	7	3			
MUESTRA 5	6	4	6	4	6	4	5	8	9	6	4	9	4	8	10	5	5	5	3	4	6	3	6	6	4			
Suma:	33	26	31	25	32	17	24	40	40	31	30	35	26	37	29	31	29	27	27	34	32	27	33	36	26			
Promedio, $\bar{x}$	6.6	5.2	6.2	5	6.4	3.4	4.8	8	8	6.2	6	7	5.2	7.4	5.8	6.2	5.8	5.4	5.4	6.8	6.4	5.4	6.6	7.2	5.2			
Rango, R	5	7	1	3	4	1	2	2	9	5	5	4	2	3	9	9	6	4	7	4	6	8	5	5	6			
Notas:																												
	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	26		

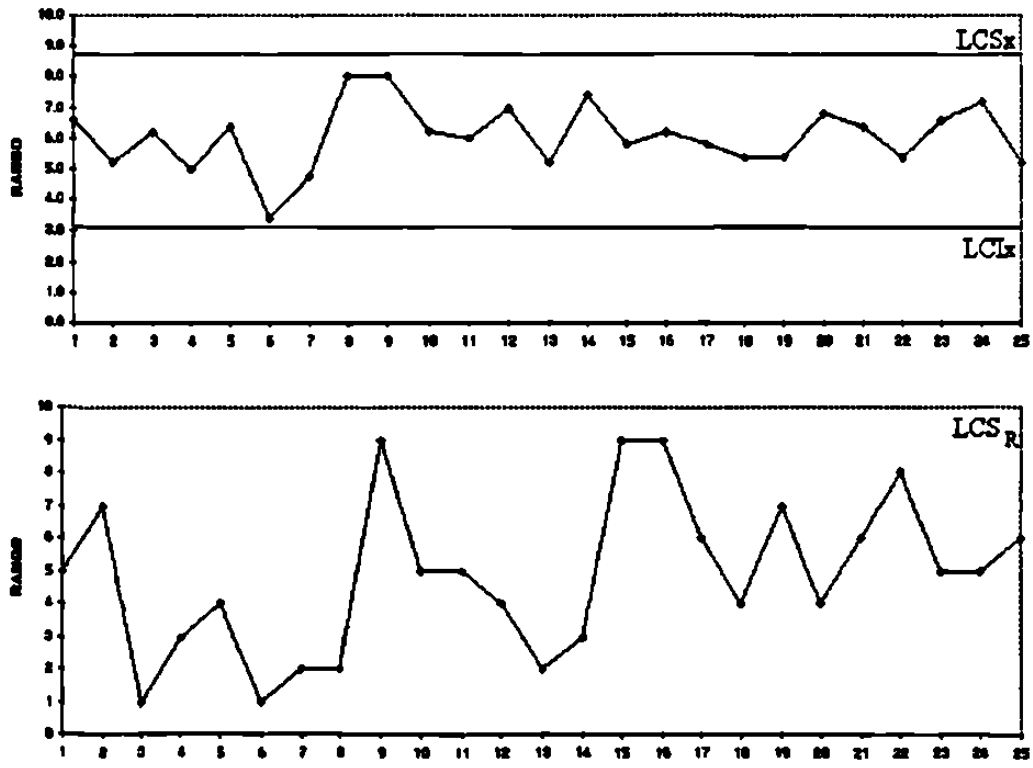


Figura 6.24. Ejemplo gráfico $\bar{x} - R$.

El anterior análisis es típico de un estudio de capacidad de maquinaria, las mediciones se tomarón sobre base continua para minimizar la variación debida a fuentes externas, de tal manera que la variación mostrada se debe a la máquina, pero como ningún punto quedó fuera de los límites de control, entonces se consideró la operación suficientemente estable.

6.8 El pre-control.

El pre-control esta basado en técnicas estadísticas y su objeto es detectar las condiciones del proceso así como los cambios que pudieran ocasionar defectos, esta técnica se centra en el control de la conformancia con las especificaciones y no en el control estadístico.

El precontrol inicia un proceso centrado entre los límites de especificación y detecta los cambios que puedan resultar al hacer algunas partes fuera del límite, para obtener la información de control sólo se requiere de tres mediciones. Esta técnica emplea la curva de la distribución normal al determinar los cambios significativos ya sea en la meta o en la dispersión del proceso de producción .

La técnica de pre-control se demuestra suponiendo la peor condición que se puede aceptar de un proceso que sea capaz de una producción de calidad o sea cuando la tolerancia natural es la misma que la permitida y cuando el proceso está centrado y cualquier cambio dará como resultado un trabajo defectuoso. Dibujando dos rectas de pre-control cada una a un cuarto hacia adentro de la distancia total entre los límites de tolerancia es fácilmente demostrable que 86% de las partes estarán dentro de las líneas de pre-control con 7% en cada sección exterior , lo cual indica que 7% o sea una parte de cada catorce caen fuera de las líneas de pre-control para circunstancias normales. La implicación práctica de esto es que se tiene la probabilidad de que dos medidas caigan fuera de las líneas de precontrol con un valor de (1/14) (1/14) =1/196 de tal manera que sólo una por cada 200 mediciones .

Esperaremos que dos seguidas caigan en una banda exterior dada. Se recomienda restablecer el proceso al centro, es altamente improbable obtener una medición fuera de una línea de pre-control y la siguiente también fuera, antes de continuar el proceso deberá solucionarse el problema.

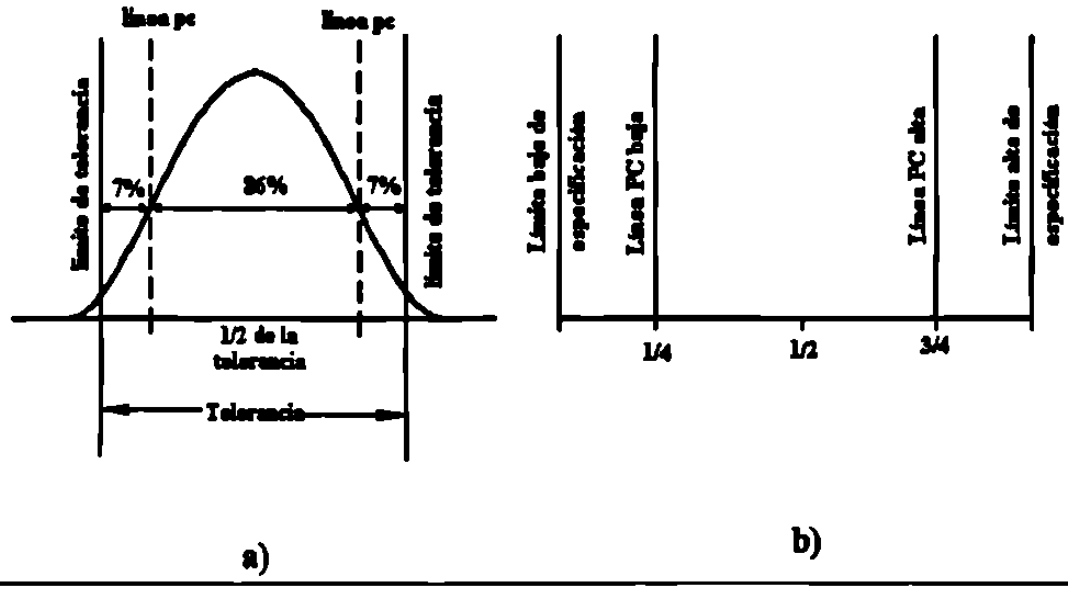


Figura 6.25. Pre-control y localización de las líneas de pre-control.

Si definimos la zona dentro de las líneas de pre-control como zona verde y entre estas líneas y los límites de especificación se encuentra la zona amarilla y fuera de los límites de especificación esta la zona roja.

Consideraciones para calificar un proceso para pre-control.

-Sobre una característica se toman mediciones individuales hasta que cinco mediciones queden dentro de la zona verde.

-Al ocurrir una amarilla reiniciar el conteo.

-A las dos amarillas consecutivas ajustar el proceso.

-Cuando se haga una ajuste o que ocurra un cambio en el proceso se debe calificar el proceso.

Una vez que el proceso ya está calificado se aplicarán las siguientes reglas de pre-control al proceso en operación.

-Usar una muestra de dos medidas consecutivas A y B . Si A es verde el proceso debe continuar corriendo y si A es amarilla se tomará la segunda medida B.

- Si A y B son amarillas se deberá detener el proceso e investigar.

En cualquiera de las etapas o corridas de calificación al ocurrir una medida roja se deberá de detener el proceso e investigarse. La mayoría de los procesos requieren de ajustes periódicos para poder permanecer dentro de las especificaciones. Se deberán de observar seis pares A,B de medidas entre ajustes y estas serán suficientes para que ningún producto quede fuera de especificaciones. Así se recomienda que si un proceso requiere un ajuste cada dos horas aproximadamente entonces por lo menos cada 20 minutos será conveniente tomar un par de medidas A,B. Cuando se establece un pre-control prácticamente se está haciendo una calibración de límite estrecho.

6.8.1 La calidad seis sigma.

Este concepto quiere decir que mientras se define la variación natural de un proceso mediante • 3 s la tolerancia del diseño debe ser • 6 s ésto quiere decir el doble que la tolerancia natural lo cual prácticamente implica 2.7 defectos por cada mil artículos o bien 2700 por millón en términos de la calidad 3 s mientras que la calidad 6 s implica 3.4 defectos por millón. En la actualidad partes por millón es una norma de uso mundial para la medición de la calidad. Las especificaciones de un producto y la capacidad del proceso forman un enlace entre diseño manufactura y calidad. Si lo que se especifica de un producto con respecto a sus partes y componentes son buenas las unidades de manufactura emplearán la capacidad de su proceso y equipo en la fabricación de partes de alta calidad, pero para especificaciones de producto demasiado severas la fabricación del producto será muy difícil con las unidades de manufactura que se cuente y se obtendrá un porcentaje alto de producto que no cumpla con las especificaciones.

Si por otra parte las especificaciones de producción son poco rigurosas será simple alcanzar la capacidad del proceso y el armado del producto pero esto impactará negativamente en su adecuación al uso por lo cual habrá descomposturas frecuentes.

6.9 Como entender la variación de los procesos.

Como se comentó anteriormente la variación siempre existirá en un proceso y estas variaciones se pueden rastrear por dos tipos de causas a) causa común o aleatoria b) causa especial o atribuible. Cuando la variación exceda los límites de control estadístico tendremos una señal de alarma de que una causa especial esta afectando al proceso y

habrá que investigar las causas de esa variación excesiva. Por otra parte la variación aleatoria dentro de los límites de control implica que solo hay causas comunes o aleatorias por lo tanto la variación se ha estabilizado y se recomienda hacer ajustes menores al proceso para no desestabilizarlo. Por variación se puede entender que no existirán dos artículos que sean perfectamente ídenticos.

CAPÍTULO 7
Descripción del caso práctico seleccionado.

7.1 Antecedentes.

A la empresa Maquinados Industriales S.A. de C.V. llegó un cliente con el plano mostrado a continuación en la figura 7.1 solicitando la fabricación de una llave de tuercas tipo española, fija de doble boca con medidas específicas para uso particular en armado de calentadores de agua.

El cliente nos hizo saber que las dimensiones que consideraba como críticas son 0.440" y 0.378" ya que en su caso requiere que la llave que va a remover las tuercas no entre muy ajustada o con demasiada holgura. Las tolerancias proporcionadas también por el cliente son 0.004", por lo cual el límite inferior de especificación (LIE) para una dimensión crítica es 0.374" y para la otra 0.436". El límite superior de especificación (LSE) resultó ser 0.382" y 0.444".

Desde luego esto partiendo de las dimensiones nominales que son: 0.378" y 0.440". El cliente solicitó en su pedido un tiraje de fabricación de 2500 piezas, para este caso específico.

Además también el cliente solicitó que se le mostraran los documentos de certificación de la calibración de nuestro equipo de medición, así como la fecha última de dicha verificación. Certificando el cliente que se cumple con dichos requistos se aceptan las condiciones.

Cumpliendo con todos los requisitos exigidos por ambas partes se elaboró el contrato de fabricación .

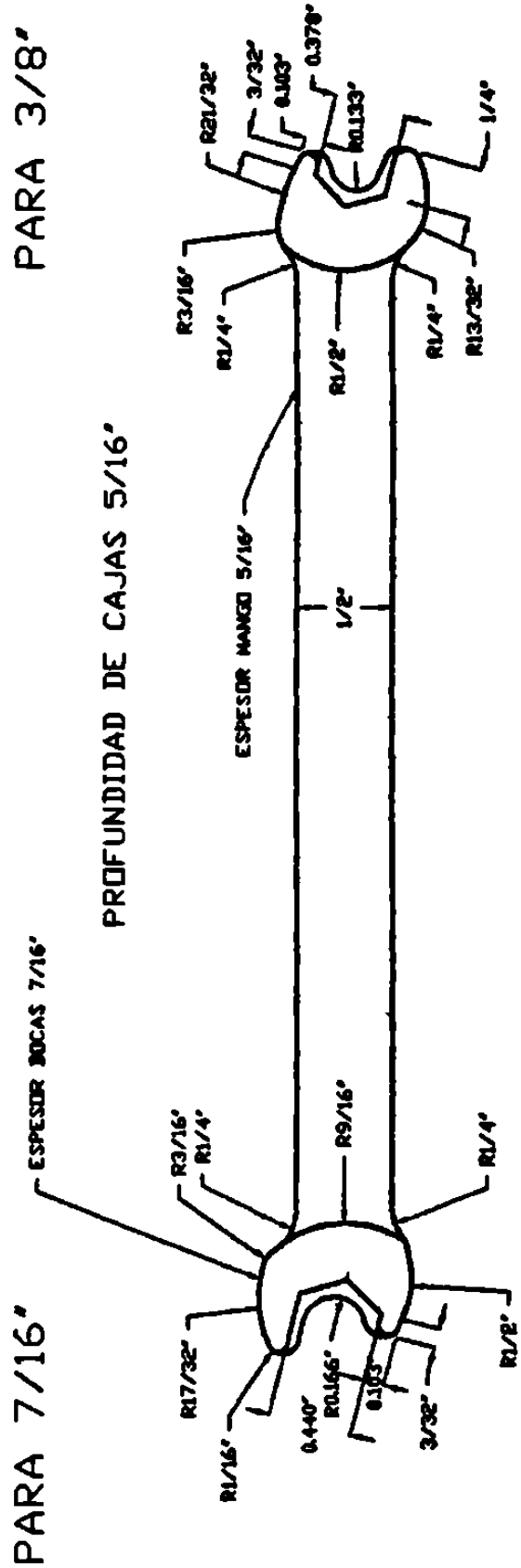


Figura 7.1. Plano de acotaciones de llave especial.

7.2 Determinación del tamaño de la muestra.

En la etapa inicial del diseño de un diagrama de control, el primer paso consiste en especificar el tamaño de la muestra. Es bien sabido que grandes muestras facilitan la detección de cambios pequeños en el proceso, al seleccionar el tamaño de la muestra se puso énfasis en el tamaño del cambio que se deseaba detectar ya que para un cambio relativamente grande se usan tamaños muestrales más reducidos de los que se tendrían que emplear para cambios relativamente pequeños. Desde el punto de vista de detección de cambios se consideró conveniente tomar muy a menudo muestras grandes pero ésto no es económicamente factible, por lo que se tomó la desición de distribuir la frecuencia de muestreo, ésto es tomando muestras pequeñas a intervalos cortos o bien muestras grandes a intervalos largos. Es común la práctica industrial de tomar muestras pequeñas pero con más frecuencia, y ésto aplica en procesos de manufactura que tienen un gran volumen de producción y en donde pueden presentarse una gran cantidad de causas atribuibles de diferentes tipos. Es por eso que para nuestro caso en estudio se tomaron 100 datos individuales repartidos en 25 subgrupos cada uno de tamaño de muestra igual a 4 .

7.3 Consideraciones para la selección de un método estadístico para el control y mejora del proceso en estudio.

Se diseñó un plan de calidad con el objeto de contar con una metodología que nos asegurara que las expectativas dadas por el cliente, en forma de requerimientos de diseño del producto se controlen totalmente en el proceso de manufactura, a fin de minimizar la variación e incrementar la habilidad del proceso para producir piezas dentro de especificación.

Como parte de este plan de calidad se implementó el Control Estadístico de Proceso, el cual tiene como finalidad ayudarnos en la percepción de tendencias de nuestro proceso de fabricación para poder predecir el comportamiento de éste, en el plazo inmediato, y así tomar acciones correctivas sobre estas causas de variación. También nos sirve para establecer medidas preventivas permanentes para evitar la fabricación de productos defectuosos y así entrar en un proceso de mejora continua que mantenga nuestra fabricación en un nivel óptimo.

Justificación del empleo de control estadístico de proceso.

El control estadístico de proceso es una manera de documentar conocimientos y experiencia de una manera consistente para poder valorar el comportamiento de un proceso, por lo cual es importante señalar lo siguiente:

a) No es natural el control estadístico en un proceso de producción.

b) Con el control estadístico de proceso se disminuirá la variación debida a causas asignables.

c) Con el empleo de las cartas del control estadístico de proceso podemos hacer girar él circulo de Deming.

A continuación se procedió a determinar la secuencia lógica que debía de usarse para efectuar nuestro control estadístico de proceso de fabricación, resultando lo siguiente:

a) Se acudió a un laboratorio de metrología para certificar los instrumentos de medición que serán utilizados en el proceso de fabricación de las llaves.

b) Efectuar la demostración de la habilidad del proceso.

En la figura 7.2 se observa un diagrama que muestra como se puede hacer girar el círculo de Deming con el control estadístico de proceso.

El Control Estadístico de Proceso básicamente lo empleamos para la prevención de los problemas que se puedan presentar, más que para la detección de los mismos.

La forma de operar para fabricar piezas dentro de la especificación se muestra en la figura 7.3.

En el caso del material que va a utilizar para la elaboración de la llave el cliente específica que se requiere que sea de acero para herramienta 1045. Nuestro ingeniero en calidad solicita a nuestro proveedor una certificación de que el material que nos proveerá

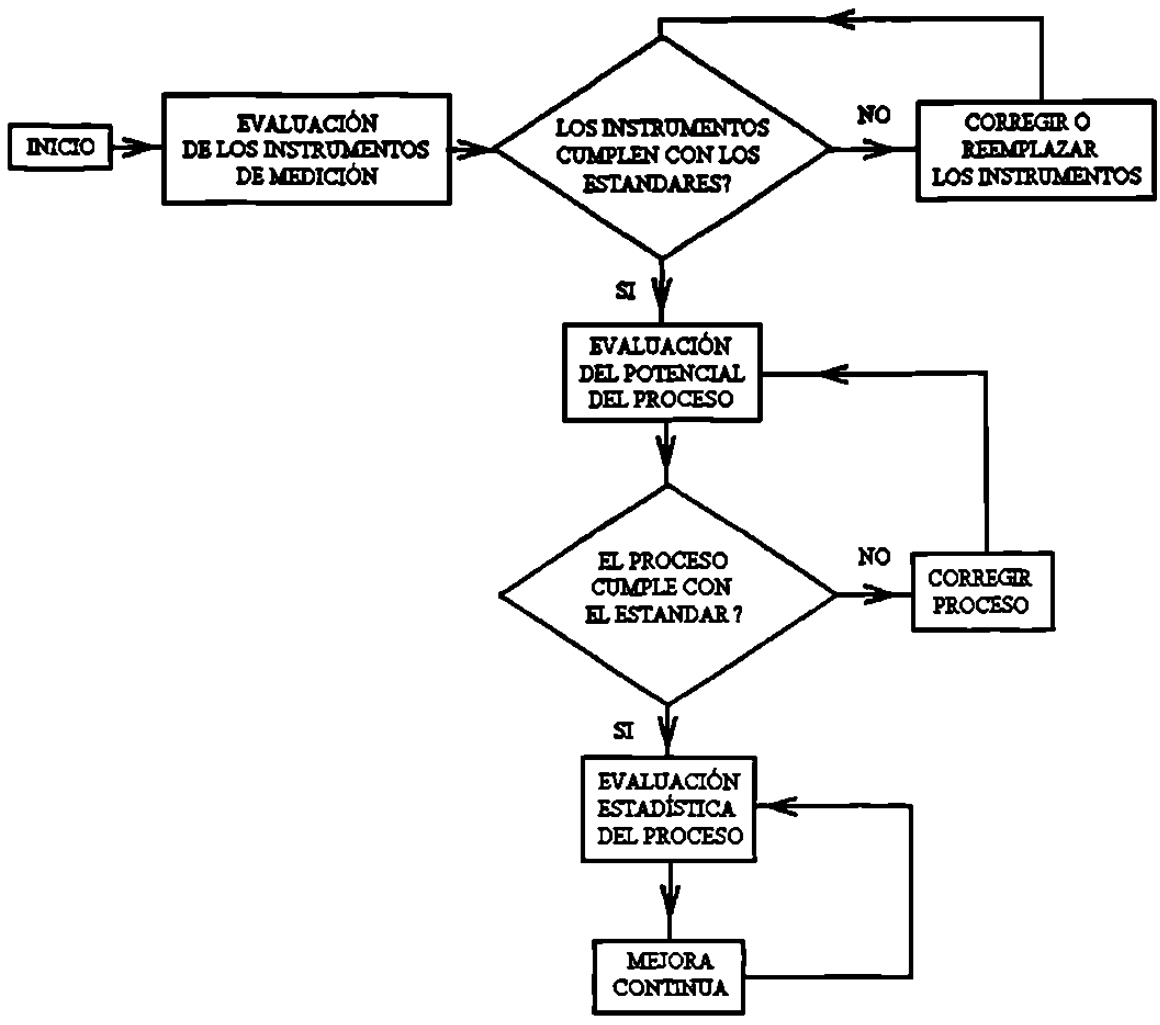


Figura 7.2. Secuencia de Operación de C.E.P.

cumple con los requerimientos solicitados. También nuestro laboratorio somete dicho material a las pruebas básicas de dureza Rockwell, en un muestreo de aceptación y nos arroja por resultado un valor de 18 a 22 índice de dureza Rockwell. Una vez cumplido este requisito el material es aceptado y se remite al centro de maquinado para la elaboración de nuestras piezas.

Después de elaborada la pieza, se determinó someter a un proceso de inspección las dimensiones críticas, obteniendo así nuestra base de datos con la cual vamos a elaborar las cartas de control, y de ésta manera verificar que nuestro sistema o proceso está o no está dentro de un control, y que además se cumple con los índices de capacidad de

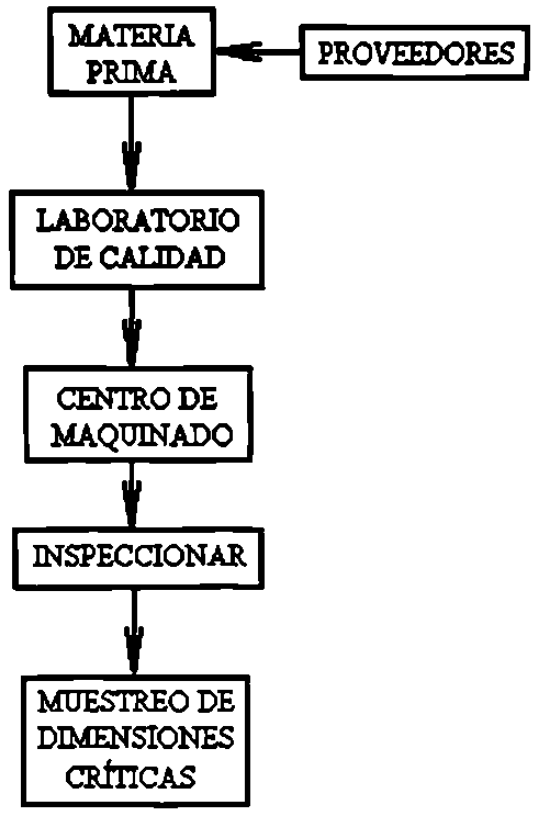


Figura 7.2. Secuencia de Operación.

proceso **Cp** y **Cpk**, o que debe de estar determinado por el valor de validación de 1.67, posteriormente ya en producción continua con un Cp y Cpk mayor de 1.33.

Debido a que principalmente vamos a trabajar con datos de "variables" producto del resultado de las mediciones, es por eso que seleccionamos como herramienta estadística las cartas de control de variables. La fase inicial de nuestro proceso de fabricación consistió en producir 20 piezas como primera corrida corta y efectuar un proceso de validación de Cp y Cpk, para lo cual nos apoyamos en el teorema del límite central el cual enuncia, que la distribución de los promedios muestrales tiende a una distribución normal a medida que aumenta el tamaño de la muestra y que ésto es independiente de la distribución original. Con fundamento en el teorema de Tchebysheff los valores máximo y mínimo que puede alcanzar las variables en estudio en este proceso están comprendidas en el intervalo (formula) y para fines prácticos en el caso de una distribución normal tomamos **k** con un valor de 3 así que la probabilidad de que cualquier promedio muestral salga de los límites de control es muy baja.

7.4 Aplicación de métodos estadísticos para la solución del caso práctico.

Para mantener nuestro proceso bajo control estadístico se emplearon gráficas de control $\bar{x} - R$ (promedios y rangos). En la primera fase del estudio se hizó una corrida corta para validación de **Pp** con límites de $\bar{x} \pm 3\sigma$. Una vez terminada la fase de validación, entonces trabajaremos con 25 subgrupos de 4 datos cada uno, lo cual da al menos 100 datos individuales con límites $\bar{x} \pm 3\sigma$. Se observará qué las gráficas de control muestren estabilidad. Y que el **Ppk** sea mayor de 1.67, como se emplea en la mayoría de las empresas actualmente. Para efectos de calcular **Pp y Ppk** se emplearán las formulas antes mencionadas.

Posteriormente se realizará una corrida larga de 100 datos, pero calculando los límites superior e inferior de control. Previamente se elaboró un plan de acción correctiva con el propósito de elevar el **Cp** y **Cpk** que se describe a continuación.

Este plan de acción correctiva opera para características de producto normalmente distribuidas.

Condición del proceso	**Cpk** <1.33	**Cpk** entre 1.33 y 1.67	**Cpk** >1.67
Proceso bajo control.	Inspección al 100%.	Aceptar producto y continuar con mejora continua.	Aceptar producto y continuar con mejora continua.
Fuera de control y los datos individuales dentro de especificación.	Corregir causa especial e inspeccionar al 100%.	Corregir causa especial e inspeccionar al 100% desde el último punto dentro de control.	Corregir causa especial y continuar con mejora continua.
Fuera de control con uno o más datos individuales de la muestra que están fuera de la especificación.	Corregir causa especial e inspeccionar al 100%.	Corregir causa especial e inspeccionar al 100% desde el último punto dentro de control.	Corregir causa especial e inspeccionar al 100% desde el último punto dentro de control.

Tabla 7.1. Monitoreo de proceso.

La tabla 7.1 es una herramienta auxiliar para la toma de decisiones, en el monitoreo continuo de nuestro proceso. La forma de calcular el **Pp y Ppk** es con las siguientes expresiones:

$$P_p = \frac{\textit{Límite superior de especificación} - \textit{Límite inferior de especificación}}{6(\textit{Desviación estándar})}$$

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

- Si se dispone de varias corridas entonces será posible evaluar el:

$$P_{PK} = Min\left(\frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{3\ \sigma}, \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{3\sigma}\right)$$

Con objeto de evaluar la capacidad del proceso la manera de calcular los indicadores Cp y Cpk es:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\left(\frac{R}{d_2}\right)}$$

$$CPK = Min\left(\frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{3\ \frac{R}{d_2}}; \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{3\ \frac{R}{d_2}}\right)$$

El criterio de operación tomado por nosotros es:

Cp > 1.33 y Cpk > 1.33.

Esto para producción continua, como se muestra en la tabla 7.2.

Caso	Cp	Cpk	Promedio	Desviación estándar
1	no	no	Ajustar promedio a nominal.	Disminuir variación
2	si	no	Ajustar promedio a nominal	Mejora continua.
3	si	si	Mejora continua	Mejora continua

Tabla 7.2. Estrategias

La estrategia a seguir es:

Caso 1.

a)Investigar factores que afecten la variación.

b)Una vez logrado el inciso anterior se deberán de buscar factores que muevan el promedio del proceso al valor nominal.

Caso 2.

Iniciar el proceso de mejora continua buscando factores que mueven el promedio del proceso al valor nominal.

Caso 3.

Mantener el nivel Cp y Cpk o bien modificar el criterio.

Lo anterior básicamente son las reglas de habilidad del proceso.

La figura 7.4 muestra la primer corrida corta de 20 piezas donde el **Pp** se calculó con la expresión que anteriormente se mencionó:

En ésta primera parte de análisis el **Pp** se calcula tomando en cuenta la desviación estándar de todas las mediciones incluyendo puntos dentro y fuera de tolerancia.

La figura 7.4 ilustra la primera corrida donde se pudo calcular un índice de capacidad Pp de 1.207 pero además se visualiza que el proceso no está bajo control estadístico debido a que hay un punto fuera de los límites de control, además de que con un índice de capacidad tan bajo (1.207) no hay garantía de que el proceso produzca piezas dentro de especificación. Un punto fuera de los límites del control pudiera deberse a un error de medición o a una herramienta en mal estado, ya que apenas está el operador familiarizándose con el proceso, por lo que se procedió a hacer una revisión de las mediciones y a verificar el ajuste del herramental. Encontrándose que había una irregularidad en el material con el que se fabricó una de las piezas, por lo cual, ya una vez determinada la causa se procede a realizar la segunda corrida corta cuyo gráfico se muestra en la figura 7.5.

En la figura 7.5 se muestra un proceso que comienza su fase de control estadístico en el que existe casi el mismo número de puntos arriba y abajo de la línea central, no hay puntos fuera de los límites de control y tampoco se observa alguna tendencia en particular, sin embargo, este proceso no tiene la capacidad para producir piezas dentro de especificación ya que el **Pp** es menor de 1.67 y tiene un valor de 1.567, pero como su valor está cercano al 1.67 por eso se tomó la decisión de hacer otra corrida corta, tal vez, con el aumento de pericia del operario esto pueda corregirse, además de que como se revisaron posibles causas asignables no encontrándose algo que en particular este afectando nuestro proceso, por lo cual se procede a hacer una tercera corrida corta, la cual se muestra en la figura 7.6.

En la figura 7.6 se aprecia que el proceso está en control estadístico y que el **Pp** tiene un valor de 1.678, por lo cual aceptamos el proceso de validación en ésta primera fase y se continúa con la primer corrida larga trabajando con una muestra de 100 datos la cual se va a inspeccionar en su totalidad, por lo que dicha población es nuestra muestra ésto generó la carta de control de la figura 7.7.

En la figura 7.7 se observa un proceso fuera de control estadístico y con un índice de capacidad de 1.092 que se considera bajo. Se pudo comprobar que el punto fuera del límite superior de control se debió a falta de filo en la herramienta de corte. Lo cual afecta principalmente a nuestra variación en la dimensión crítica. Una vez que dicha herramienta fué cambiada se procedió a realizar una segunda corrida larga, la cual se observa en la figura 7.8.

En la figura 7.8 se observa un proceso en control estadístico y con un índice de capacidad Pp 1.6976 el cual es mayor que 1.67.

Por lo que es el momento de realizar otra corrida larga la que puede observarse en la figura 7.9 pero ahora ya calculando los límites de control.

En la figura 7.9 se observa que el sistema ya está en control estadístico en la gráfica de promedios, pero en la de rangos existe un punto fuera de control, el cual corresponde al subgrupo número 3. Aquí aplicaremos un técnica que consiste en eliminar el subgrupo problema y hacer una nueva corrida, la que se muestra en la figura 7.10.

En la figura 7.10 se tiene un proceso en control estadístico en la gráfica de promedios y rangos, pero el Cp resultó ser de 0.9026, el cual es menor de 1.67 por lo que una vez corregida la causa asignable la cual fue debida a una variación en las revoluciones de la máquina por lo que se realizó una corrida más.

En la figura 7.11 se observa que el sistema está en control estadístico tanto en el gráfico de promedios como en el de rangos y que la capacidad del sistema resultó ser 1.6894 de tal manera que se tiene la certeza de que el proceso va a producir piezas dentro de especificación, así que por recomendación contenida en la tabla 7.1 Monitoreo de proceso. Se tomó la decisión de aceptar el producto y de continuar con la reducción de la variación del proceso.

Tabla 7.4 PRIMERA CORRIDA CORTA.

NOMINAL	0.378
LIE	0.374
LSE	0.382

MEDICIONES:	
1	0.381
2	0.378
3	0.379
4	0.377
5	0.378
6	0.378
7	0.379
8	0.378
9	0.378
10	0.379
11	0.378
12	0.377
13	0.380
14	0.376
15	0.378
16	0.378
17	0.379
18	0.378
19	0.377
20	0.378

PROMEDIO:	0.3782		
DESVIACION ESTÁNDAR:	0.0011		
VALOR MAXIMO:	0.3810	LSC	0.3815
VALOR MINIMO:	0.3760	LIC	0.3749
PP:	**1.207**		

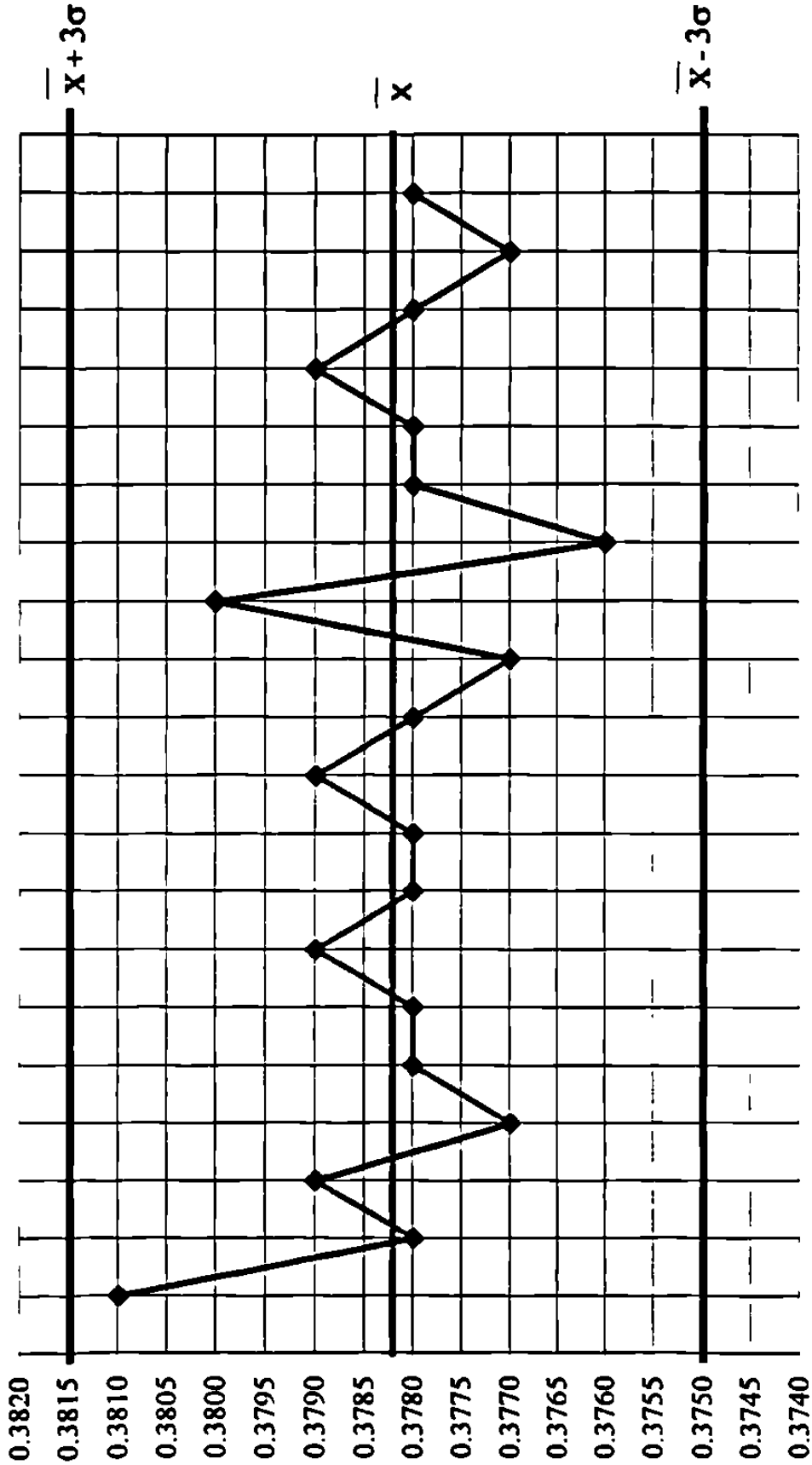


Fig. 7.4 PRIMERA CORRIDA CORTA

Tabla 7.5 SEGUNDA CORRIDA CORTA:

NOMINAL	0.378
LIE	0.374
LSE	0.382

MEDICIONES:	
1	0.379
2	0.378
3	0.379
4	0.377
5	0.378
6	0.379
7	0.379
8	0.378
9	0.379
10	0.379
11	0.378
12	0.377
13	0.380
14	0.377
15	0.378
16	0.378
17	0.379
18	0.378
19	0.377
20	0.378

PROMEDIO:	0.3783		
DESVIACION ESTÁNDAR:	0.0009		
VALOR MAXIMO:	0.3800	LSC	0.3808021
VALOR MINIMO:	0.3770	LIC	0.3756979
PP:	**1.567**		

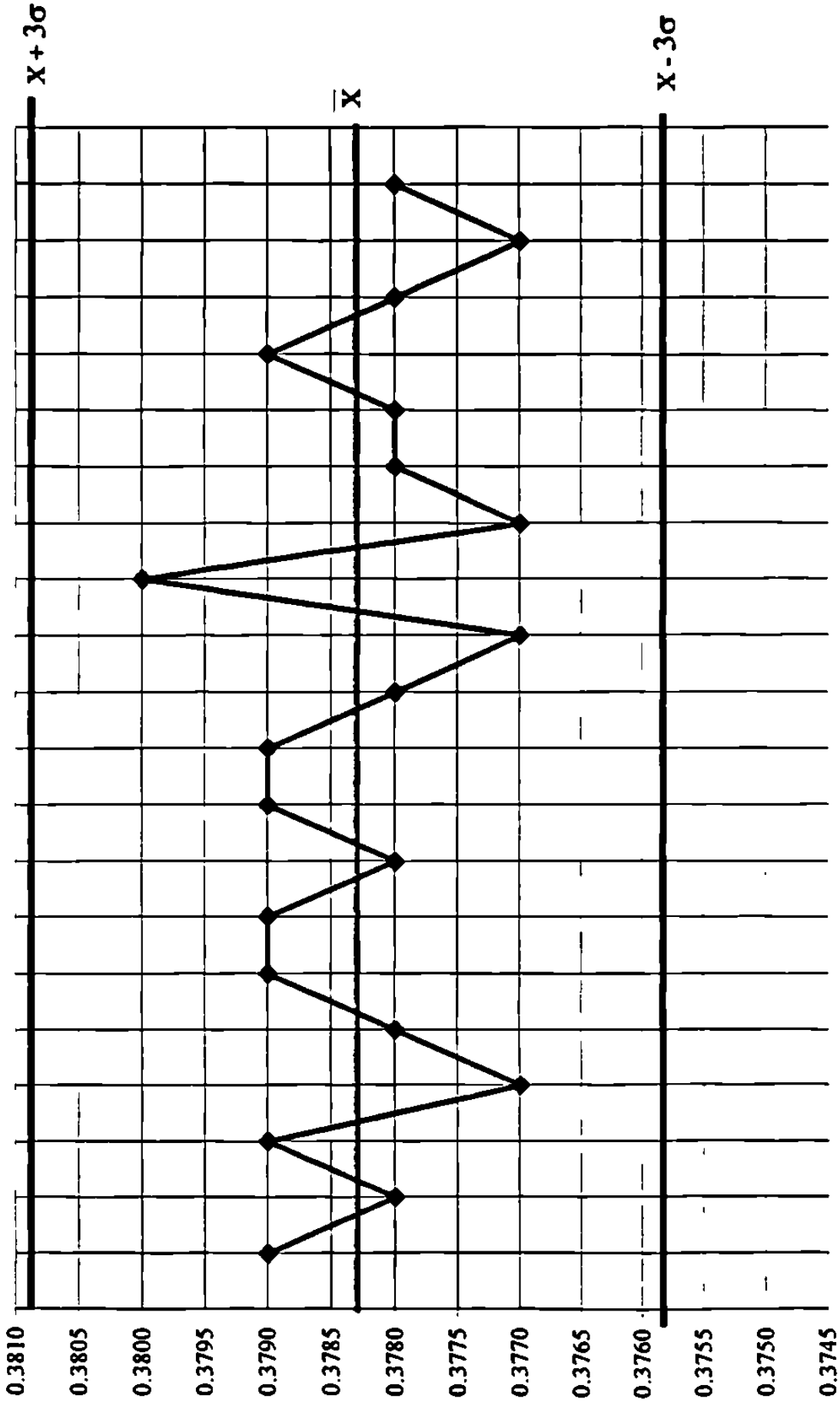


Fig. 7.5 SEGUNDA CORRIDA CORTA

Tabla 7.6 TERCERA CORRIDA CORTA:

NOMINAL	0.378
LIE	0.374
LSE	0.382

MEDICIONES:	
1	0.379
2	0.378
3	0.379
4	0.377
5	0.378
6	0.378
7	0.379
8	0.378
9	0.378
10	0.379
11	0.378
12	0.377
13	0.378
14	0.376
15	0.378
16	0.378
17	0.379
18	0.378
19	0.377
20	0.378

PROMEDIO:	0.378		
DESVIACION ESTÁNDAR:	0.0008		
VALOR MAXIMO:	0.3790	LSC	0.3804
VALOR MINIMO:	0.3760	LIC	0.3756
PP:	**1.678**		

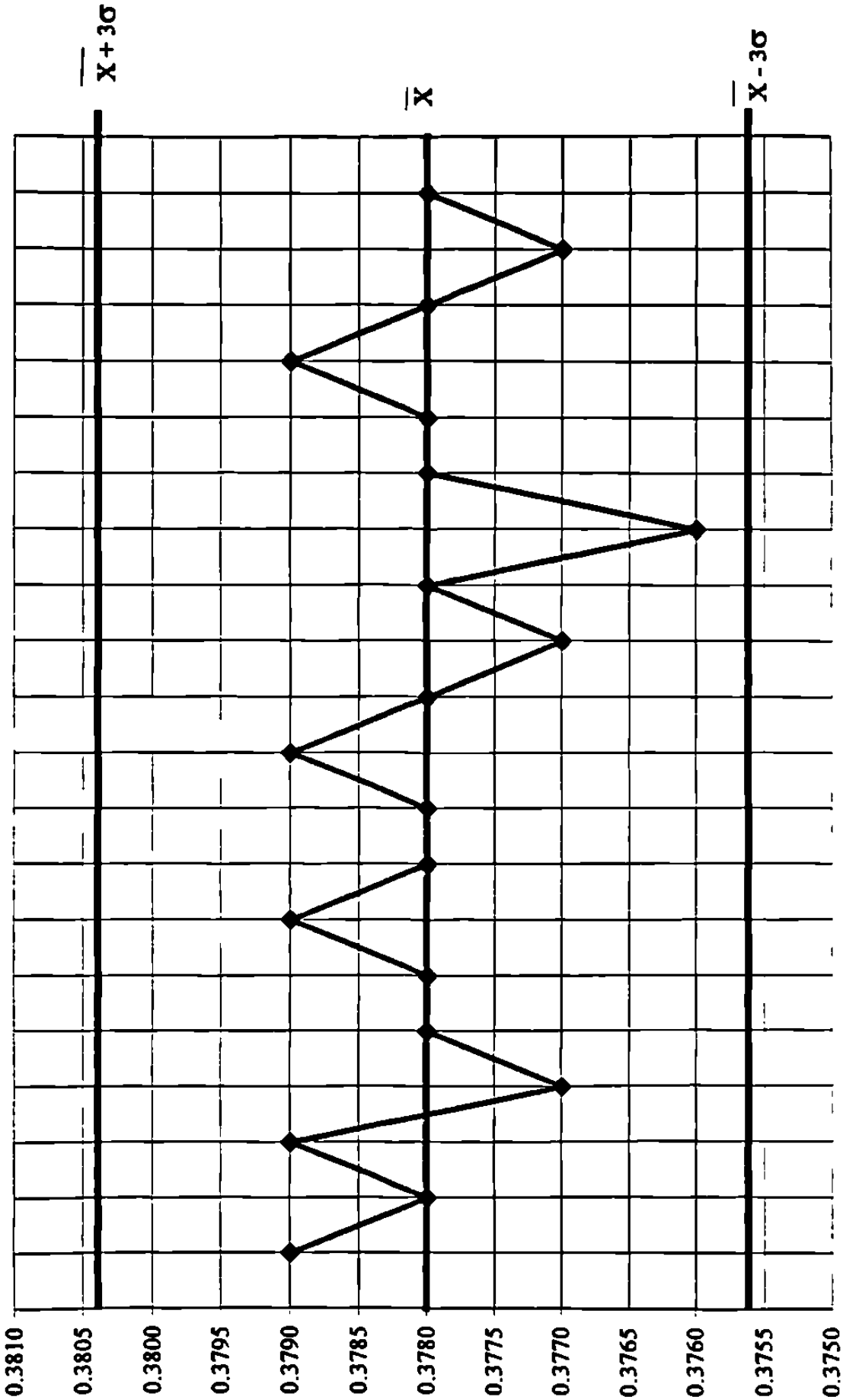


Fig. 7.6 TERCERA CORRIDA CORTA

Tabla 7.7 PRIMERA CORRIDA DE 100 DATOS:

NOM:	0.378
LIE:	0.374
LSE:	0.382

SUBGRUPOS

	1	2	3	4	5	6	7
	0.376	0.377	0.378	0.379	0.379	0.377	0.376
	0.382	0.378	0.378	0.377	0.377	0.379	0.378
	0.379	0.377	0.380	0.376	0.379	0.379	0.378
	0.380	0.379	0.378	0.377	0.380	0.378	0.376
PROMEDIO:	0.3793	0.3778	0.3785	0.3773	0.3788	0.3783	0.3770

	8	9	10	11	12	13	14
	0.377	0.377	0.378	0.376	0.378	0.378	0.378
	0.380	0.378	0.376	0.378	0.379	0.379	0.377
	0.379	0.378	0.378	0.380	0.378	0.378	0.378
	0.378	0.379	0.379	0.377	0.377	0.380	0.379
PROMEDIO:	0.3785	0.3780	0.3778	0.3778	0.3780	0.3788	0.3780

SUBGRUPOS

	15	16	17	18	19	20	21
	0.378	0.377	0.377	0.376	0.377	0.377	0.378
	0.377	0.378	0.378	0.378	0.378	0.376	0.379
	0.378	0.380	0.379	0.379	0.379	0.378	0.379
	0.379	0.378	0.378	0.378	0.378	0.377	0.377
PROMEDIO	0.3780	0.3783	0.3780	0.3778	0.3780	0.3770	0.3783

22	23	24	25
0.378	0.379	0.379	0.377
0.379	0.378	0.378	0.378
0.378	0.378	0.377	0.380
0.377	0.378	0.378	0.378
PROMEDIO:	0.3780	0.3783	0.3780	0.3783

DESVIACION ESTÁNDAR:	0.0012		
PROM. DE PROM.:	0.3780	LSC	0.3817
PP:	**1.092**	LIC	0.3743
	1.092		
	1.0919762		
PPK:	**1.092**		

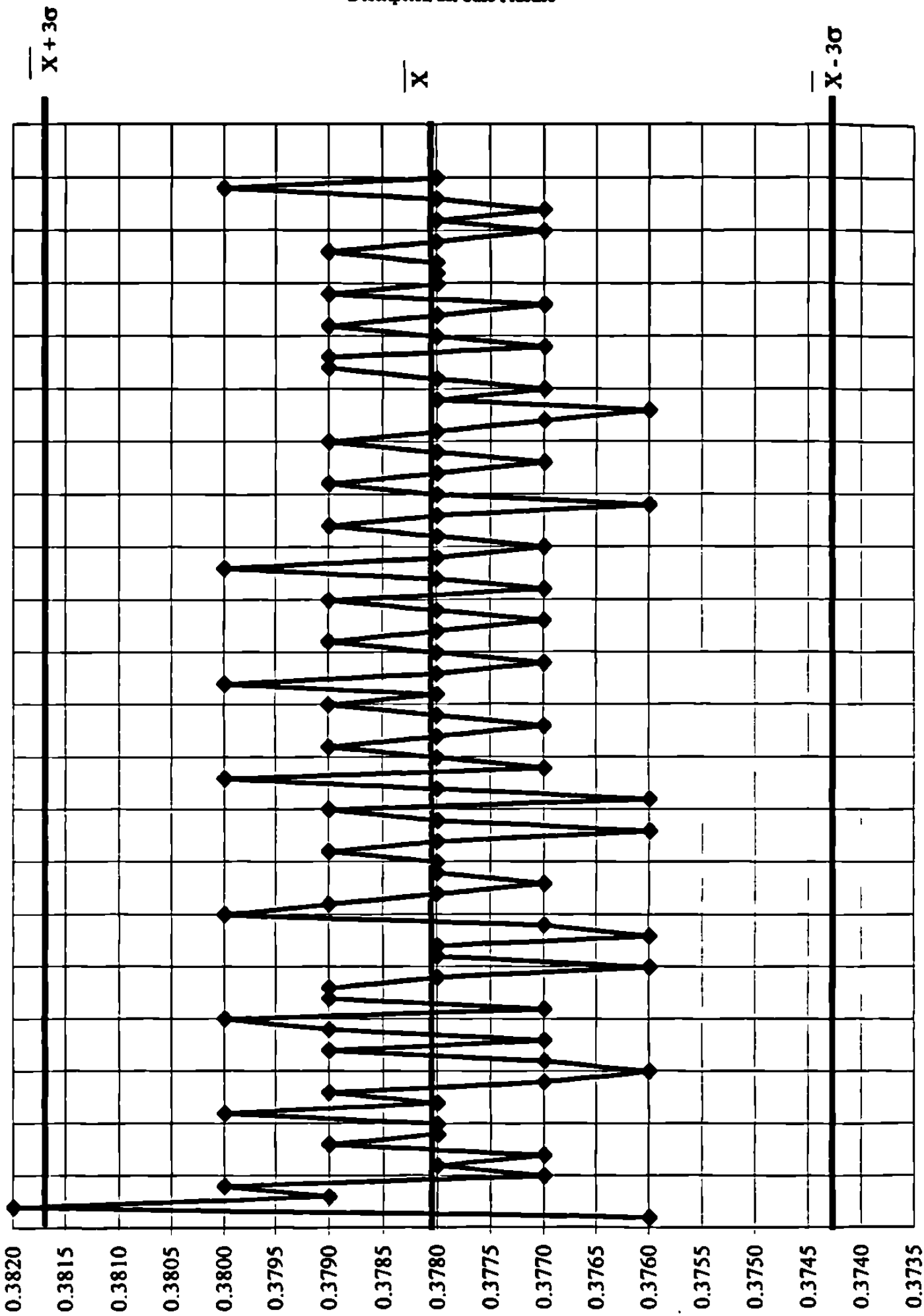

$\overline{X} + 3\sigma$
$\overline{X}$
$\overline{X} - 3\sigma$
0.3820
0.3815
0.3810
0.3805
0.3800
0.3795
0.3790
0.3785
0.3780
0.3775
0.3770
0.3765
0.3760
0.3755
0.3750
0.3745
0.3740
0.3735

Tabla 7.8 SEGUNDA CORRIDA DE 100 DATOS:

NOM:	0.378
LIE:	0.374
LSE:	0.382

SUBGRUPOS

	1	2	3	4	5	6	7
	0.377	0.377	0.378	0.379	0.379	0.377	0.378
	0.379	0.378	0.378	0.377	0.377	0.379	0.379
	0.379	0.377	0.377	0.378	0.379	0.379	0.378
	0.377	0.379	0.378	0.378	0.377	0.378	0.377
PROMEDIO:	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378

	8	9	10	11	12	13	14
	0.377	0.377	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378
	0.378	0.378	0.377	0.378	0.379	0.379	0.377
	0.379	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378
	0.378	0.379	0.379	0.377	0.377	0.379	0.379
PROMEDIO:	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.379	0.378

SUBGRUPOS

	15	16	17	18	19	20	21
	0.378	0.377	0.377	0.377	0.377	0.377	0.378
	0.377	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.379
	0.378	0.379	0.379	0.379	0.379	0.378	0.379
	0.379	0.378	0.378	0.378	0.378	0.377	0.377
PROMEDIO:	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378

	22	23	24	25
	0.378	0.379	0.379	0.377
	0.379	0.378	0.378	0.378
	0.378	0.378	0.377	0.379
	0.377	0.378	0.378	0.378
PROMEDIO:	0.378	0.378	0.378	0.378

DESVIACION ESTÁNDAR:	0.0008		
PROM. DE PROM.:	0.3780	LSC	0.3803
PP:	**1.6976**	LIC	0.3756
	1.7128		
	1.6825		
PPK:	**1.6825**		

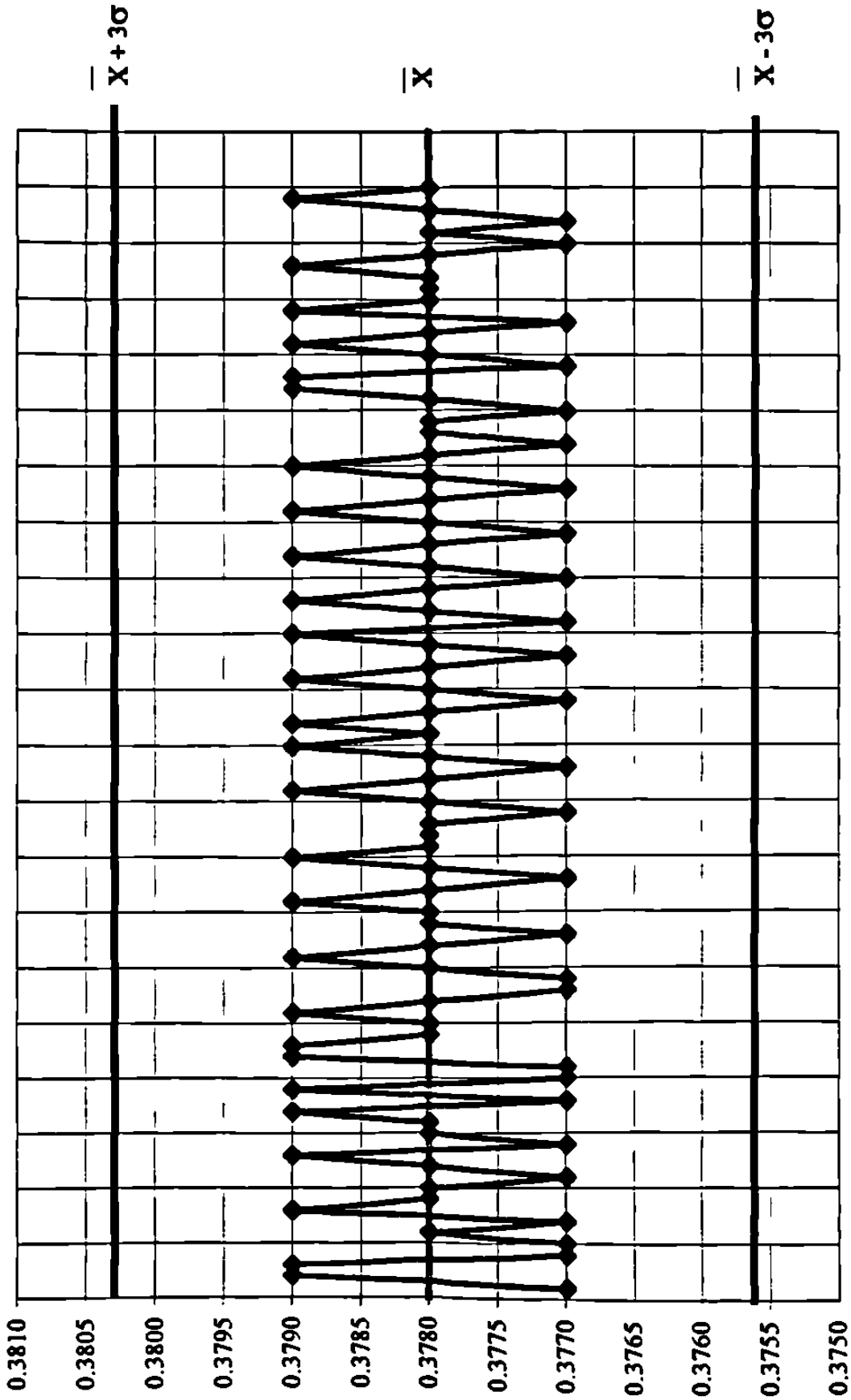


Fig. 7.8 SEGUNDA CORRIDA DE 100 DATOS

Tabla 7.9 TERCERA CORRIDA DE 100 DATOS:

NOM:	0.378
LIE:	0.374
LSE:	0.382

SUBGRUPOS

	1	2	3	4	5	6
	0.378	0.376	0.381	0.380	0.380	0.381
	0.378	0.379	0.382	0.378	0.378	0.377
	0.379	0.380	0.382	0.381	0.377	0.381
	0.377	0.378	0.375	0.379	0.378	0.380
PROMEDIO:	0.378	0.378	0.380	0.380	0.378	0.380
RANGO:	0.002	0.004	0.007	0.003	0.003	0.004

	7	8	9	10	11	12
	0.376	0.378	0.377	0.381	0.381	0.376
	0.379	0.380	0.380	0.377	0.380	0.376
	0.380	0.378	0.378	0.378	0.381	0.379
	0.380	0.381	0.378	0.379	0.380	0.380
PROMEDIO:	0.379	0.379	0.378	0.379	0.381	0.378
RANGO:	0.004	0.003	0.003	0.004	0.001	0.004

SUBGRUPOS

	13	14	15	16	17	18	19
	0.380	0.378	0.38	0.378	0.381	0.381	0.381
	0.381	0.380	0.380	0.381	0.379	0.379	0.382
	0.381	0.378	0.377	0.381	0.378	0.378	0.378
	0.379	0.381	0.375	0.379	0.380	0.378	0.381
PROMEDIO:	0.380	0.379	0.378	0.380	0.380	0.379	0.381
RANGO:	0.002	0.003	0.005	0.003	0.003	0.003	0.004

	20	21	22	23	24	25
	0.379	0.379	0.381	0.379	0.38	0.380
	0.378	0.379	0.381	0.381	0.380	0.379
	0.378	0.380	0.380	0.380	0.381	0.379
	0.377	0.377	0.379	0.377	0.380	0.377
PROMEDIO:	0.378	0.379	0.380	0.379	0.380	0.379
RANGO:	0.002	0.003	0.002	0.004	0.001	0.003

PROMEDIOS:		RANGOS:	
1	0.378	1	0.002
2	0.378	2	0.004
3	0.380	3	0.007
4	0.380	4	0.003
5	0.378	5	0.003
6	0.380	6	0.004
7	0.379	7	0.004
8	0.379	8	0.003
9	0.378	9	0.003
10	0.379	10	0.004
11	0.381	11	0.001
12	0.378	12	0.004
13	0.380	13	0.002
14	0.379	14	0.003
15	0.378	15	0.005
16	0.379	16	0.003
17	0.380	17	0.003
18	0.379	18	0.003
19	0.381	19	0.004
20	0.378	20	0.002
21	0.379	21	0.003
22	0.380	22	0.002
23	0.379	23	0.004
24	0.380	24	0.001
25	0.379	25	0.003

LSCx:	0.3815
LICx:	0.3768
PROM. DE PROM.:	0.3791
LSCr:	0.0073
LICr:	0.0000
RANGO PROM.:	0.0032
CP:	**0.8579**

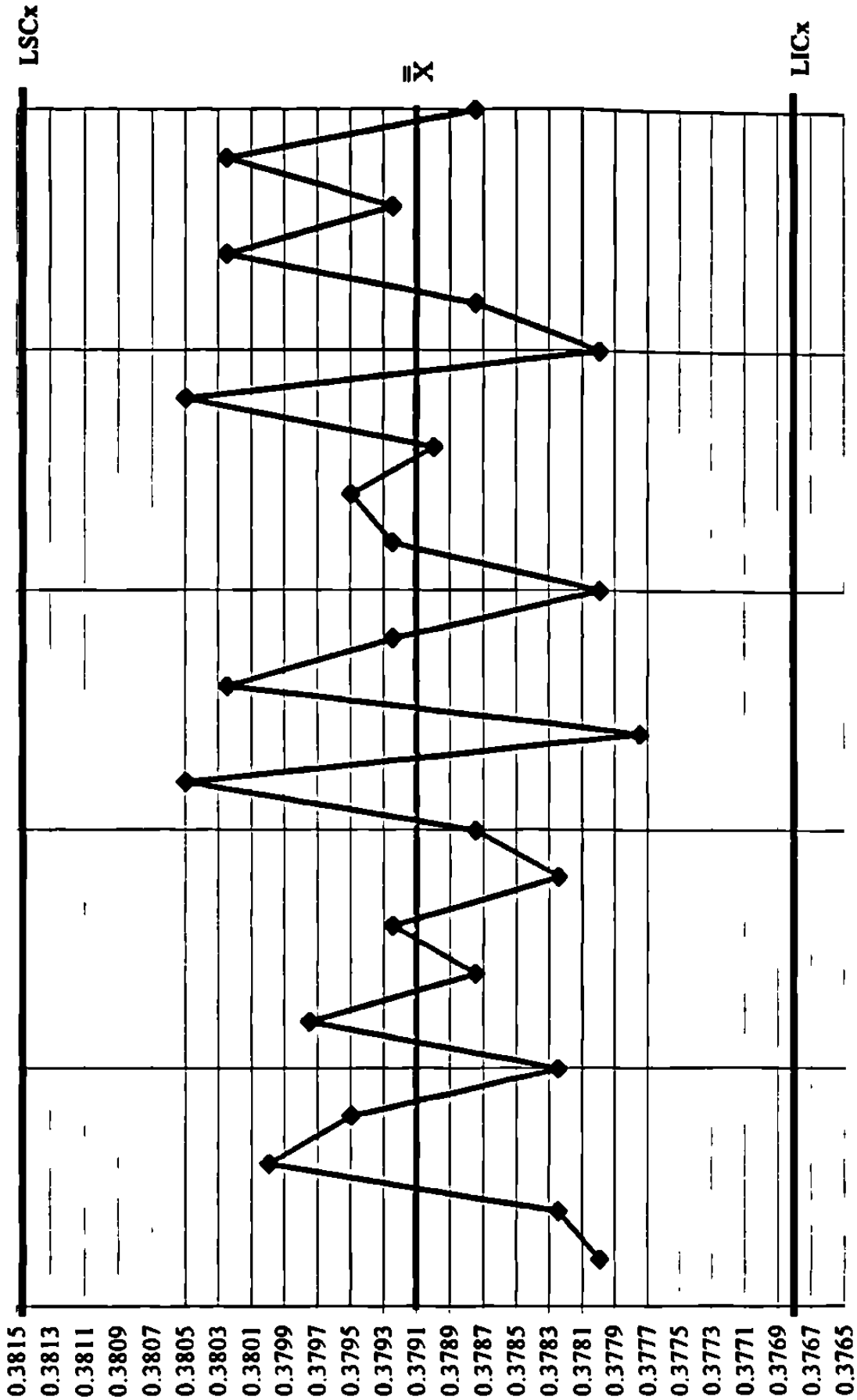


Fig. 7.9 GRAFICA DE PROMEDIOS

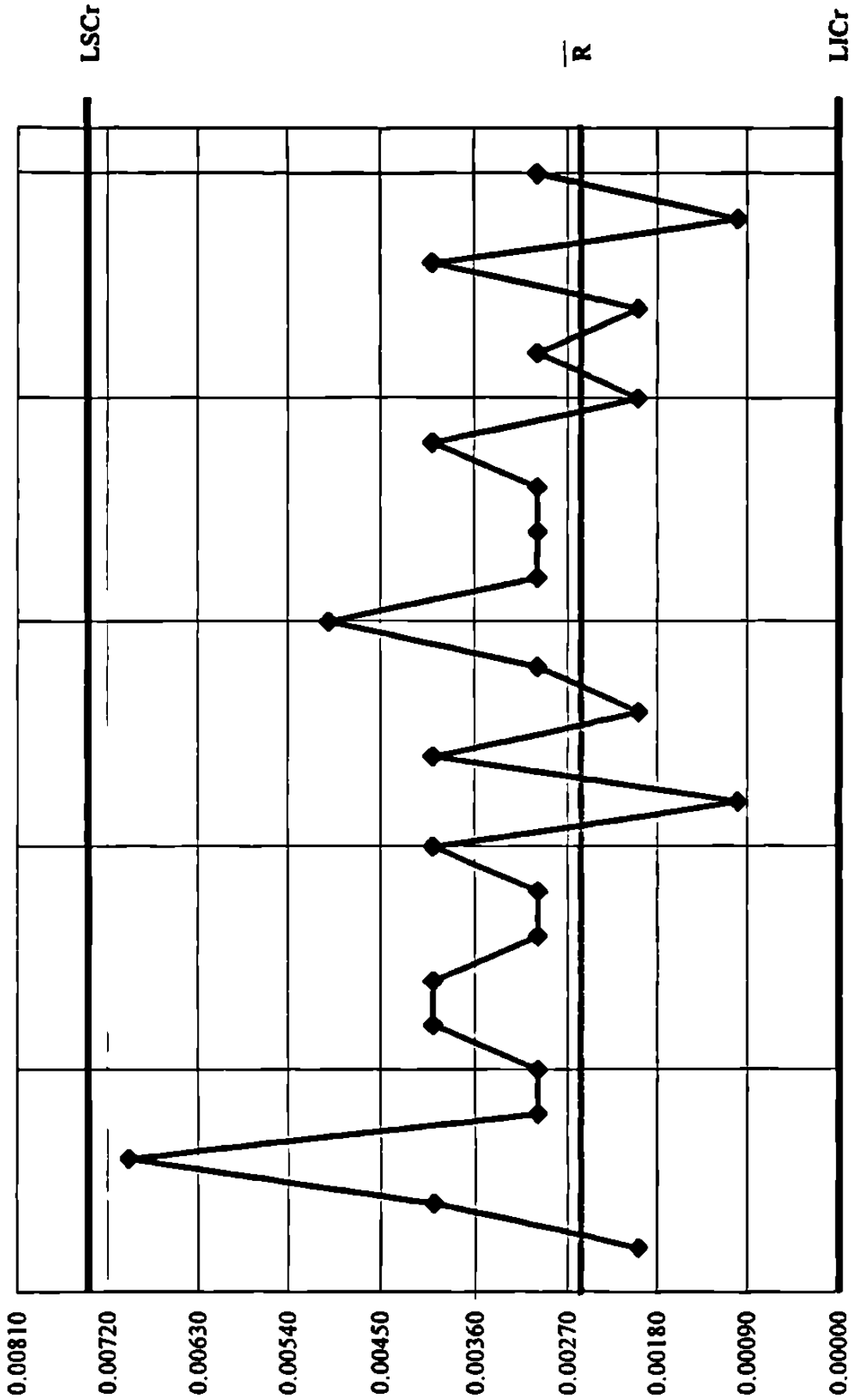


Fig. 7.9 GRAFICA DE RANGOS

Tabla 7.10 CUARTA CORRIDA DE 100 DATOS:

NOM:	0.378
LIE:	0.374
LSE:	0.382

SUBGRUPOS

	1	2	3	4	5	6
	0.378	0.376	0.380	0.380	0.381	0.376
	0.378	0.379	0.378	0.378	0.377	0.379
	0.379	0.380	0.381	0.377	0.381	0.380
	0.377	0.378	0.379	0.378	0.380	0.380
PROMEDIO:	0.378	0.378	0.380	0.378	0.380	0.379
RANGO:	0.002	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004

	7	8	9	10	11	12
	0.378	0.377	0.381	0.381	0.376	0.380
	0.380	0.380	0.377	0.380	0.376	0.381
	0.378	0.378	0.378	0.381	0.379	0.381
	0.381	0.378	0.379	0.380	0.380	0.379
PROMEDIO:	0.379	0.378	0.379	0.381	0.378	0.380
RANGO:	0.003	0.003	0.004	0.001	0.004	0.002

SUBGRUPOS

	13	14	15	16	17	18	19
	0.378	0.38	0.378	0.381	0.381	0.381	0.379
	0.380	0.380	0.381	0.379	0.379	0.382	0.378
	0.378	0.377	0.381	0.378	0.378	0.378	0.378
	0.381	0.375	0.379	0.380	0.378	0.381	0.377
PROMEDIO:	0.379	0.378	0.380	0.380	0.379	0.381	0.378
RANGO:	0.003	0.005	0.003	0.003	0.003	0.004	0.002

	20	21	22	23	24
	0.379	0.381	0.379	0.38	0.380
	0.379	0.381	0.381	0.380	0.379
	0.380	0.380	0.380	0.381	0.379
	0.377	0.379	0.377	0.380	0.377
PROMEDIO:	0.379	0.380	0.379	0.380	0.379
RANGO:	0.003	0.002	0.004	0.001	0.003

PROMEDIOS:		RANGOS:	
1	0.378	1	0.002
2	0.378	2	0.004
3	0.380	3	0.003
4	0.378	4	0.003
5	0.380	5	0.004
6	0.379	6	0.004
7	0.379	7	0.003
8	0.378	8	0.003
9	0.379	9	0.004
10	0.381	10	0.001
11	0.378	11	0.004
12	0.380	12	0.002
13	0.379	13	0.003
14	0.378	14	0.005
15	0.380	15	0.003
16	0.380	16	0.003
17	0.379	17	0.003
18	0.381	18	0.004
19	0.378	19	0.002
20	0.379	20	0.003
21	0.380	21	0.002
22	0.379	22	0.004
23	0.380	23	0.001
24	0.379	24	0.003

LSCx:	0.3813
LICx:	0.3769
PROM. DE PROM.:	0.3791
LSCr:	0.0069
LICr:	0.0000
RANGO PROM.:	0.0030
CP:	**0.9026**

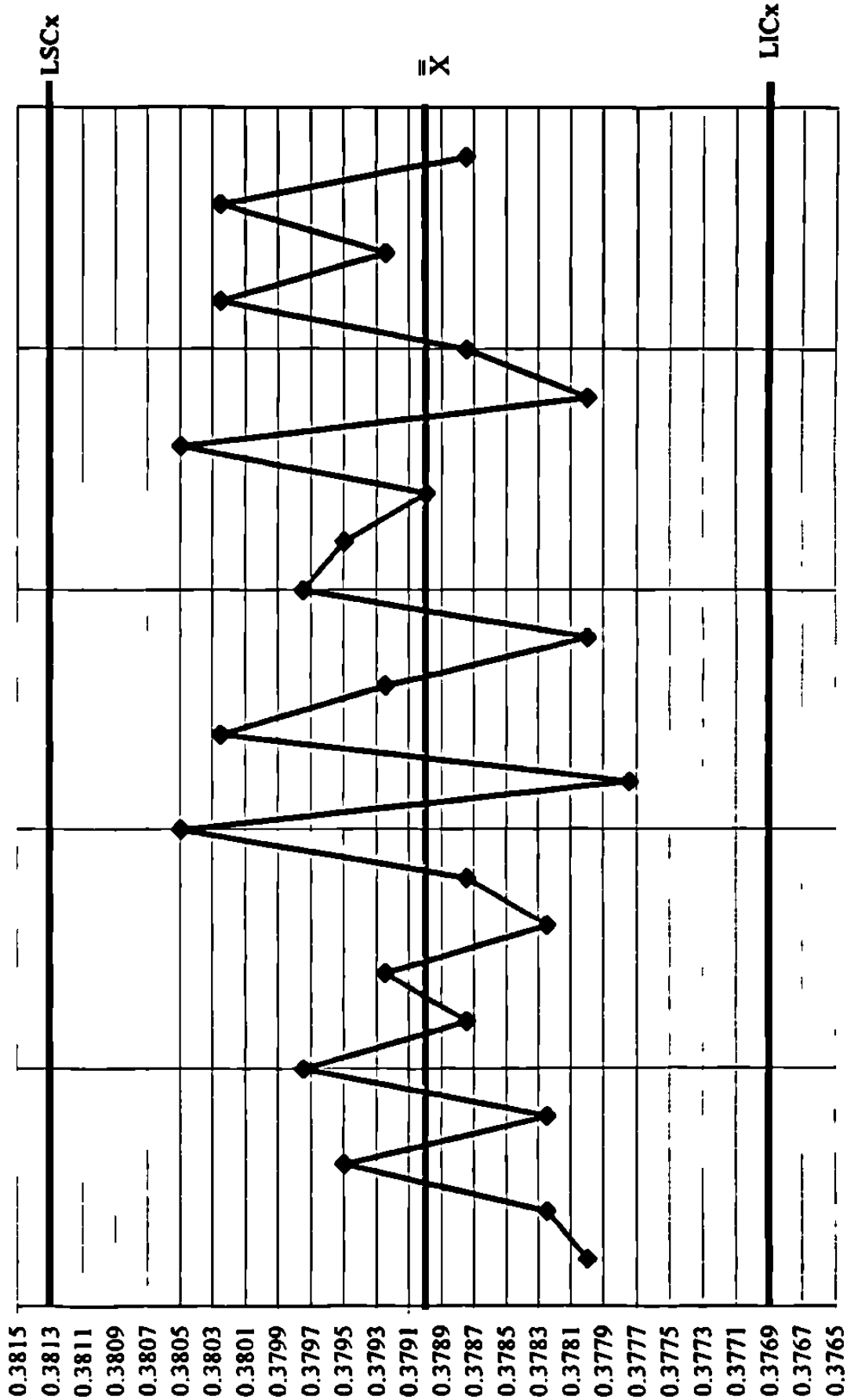


Fig. 7.10 GRAFICA DE PROMEDIOS

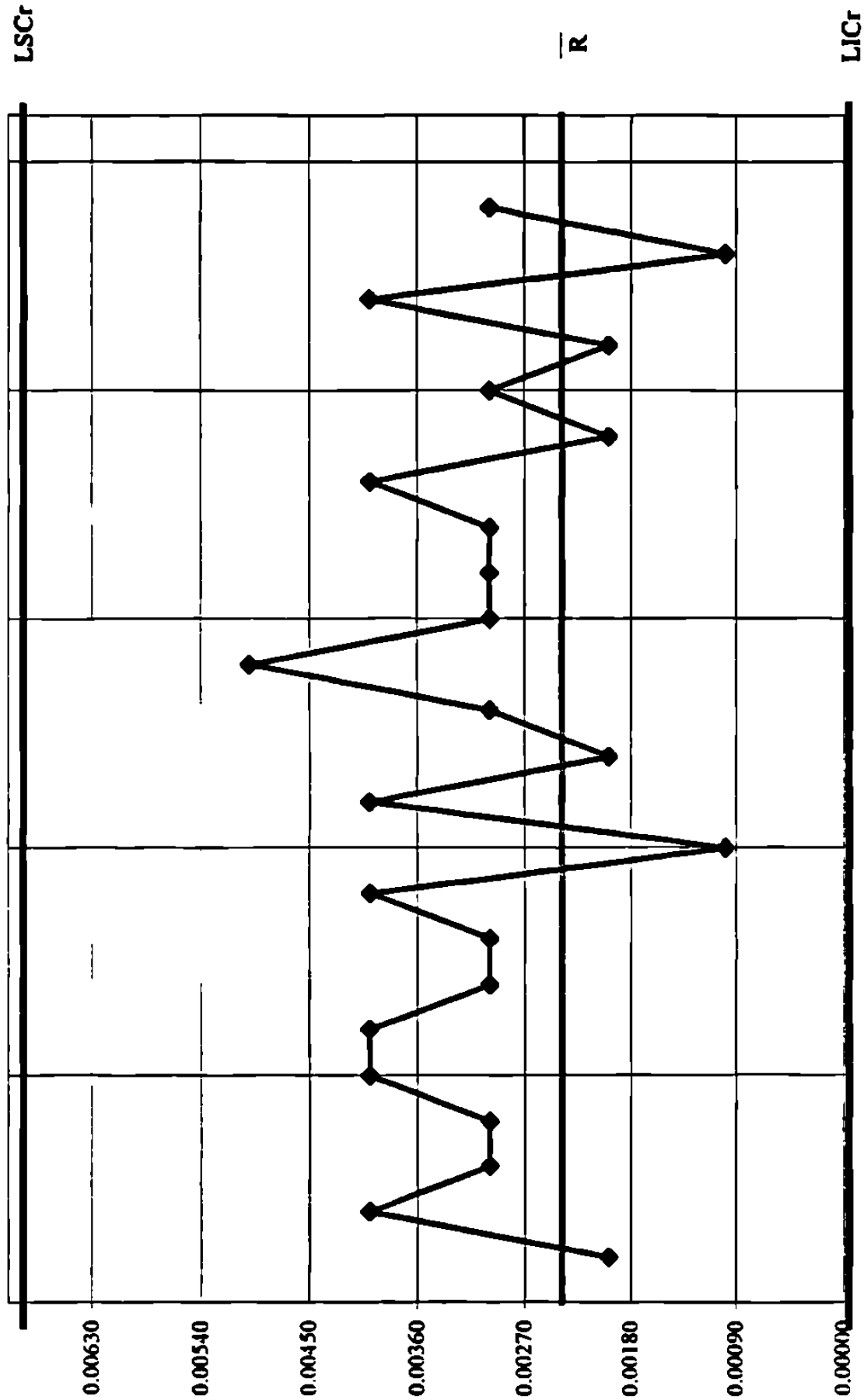


Fig. 7.10 GRAFICA DE RANGOS

Tabla 7.11 QUINTA CORRIDA DE 100 DATOS

NOM	0.378
LIE	0.374
LSE	0.382

SUBGRUPOS

	1	2	3	4	5	6
	0.377	0.378	0.379	0.377	0.377	0.379
	0.379	0.378	0.379	0.377	0.379	0.378
	0.378	0.379	0.378	0.379	0.378	0.379
	0.377	0.378	0.378	0.378	0.377	0.378
PROMEDIO	0.378	0.378	0.379	0.378	0.378	0.379
RANGO	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001

	7	8	9	10	11	12
	0.378	0.377	0.378	0.378	0.379	0.378
	0.379	0.379	0.378	0.378	0.378	0.377
	0.378	0.378	0.379	0.378	0.379	0.378
	0.379	0.377	0.378	0.380	0.380	0.378
PROMEDIO	0.379	0.378	0.378	0.379	0.379	0.378
RANGO	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001

SUBGRUPOS

	13	14	15	16	17	18	19
	0.378	0.377	0.378	0.381	0.381	0.378	0.377
	0.378	0.380	0.378	0.379	0.379	0.378	0.379
	0.378	0.377	0.378	0.378	0.378	0.378	0.378
	0.378	0.378	0.378	0.379	0.378	0.378	0.377
PROMEDIO	0.378	0.378	0.378	0.379	0.379	0.378	0.378
RANGO	0.000	0.003	0.000	0.003	0.003	0.000	0.002

	20	21	22	23	24	25
	0.379	0.378	0.377	0.379	0.377	0.379
	0.379	0.378	0.379	0.377	0.379	0.378
	0.380	0.378	0.378	0.379	0.378	0.379
	0.377	0.378	0.377	0.380	0.377	0.377
PROMEDIO	0.379	0.378	0.378	0.379	0.378	0.378
RANGO	0.003	0.000	0.002	0.003	0.002	0.002

PROMEDIOS		RANGOS	
1	0.378	1	0.002
2	0.378	2	0.001
3	0.379	3	0.001
4	0.378	4	0.002
5	0.378	5	0.002
6	0.379	6	0.001
7	0.379	7	0.001
8	0.378	8	0.002
9	0.378	9	0.001
10	0.379	10	0.002
11	0.379	11	0.002
12	0.378	12	0.001
13	0.378	13	0.000
14	0.378	14	0.003
15	0.378	15	0.000
16	0.379	16	0.003
17	0.379	17	0.003
18	0.378	18	0.000
19	0.378	19	0.002
20	0.379	20	0.003
21	0.378	21	0.000
22	0.378	22	0.002
23	0.379	23	0.003
24	0.378	24	0.002
25	0.378	25	0.002

LSCx	0.3794
LICx	0.3770
PROM. DE PROM.	0.3782
LSCr	0.0037
LICr	0.0000
RANGO PROM.	0.0016
CP	**1.6740**

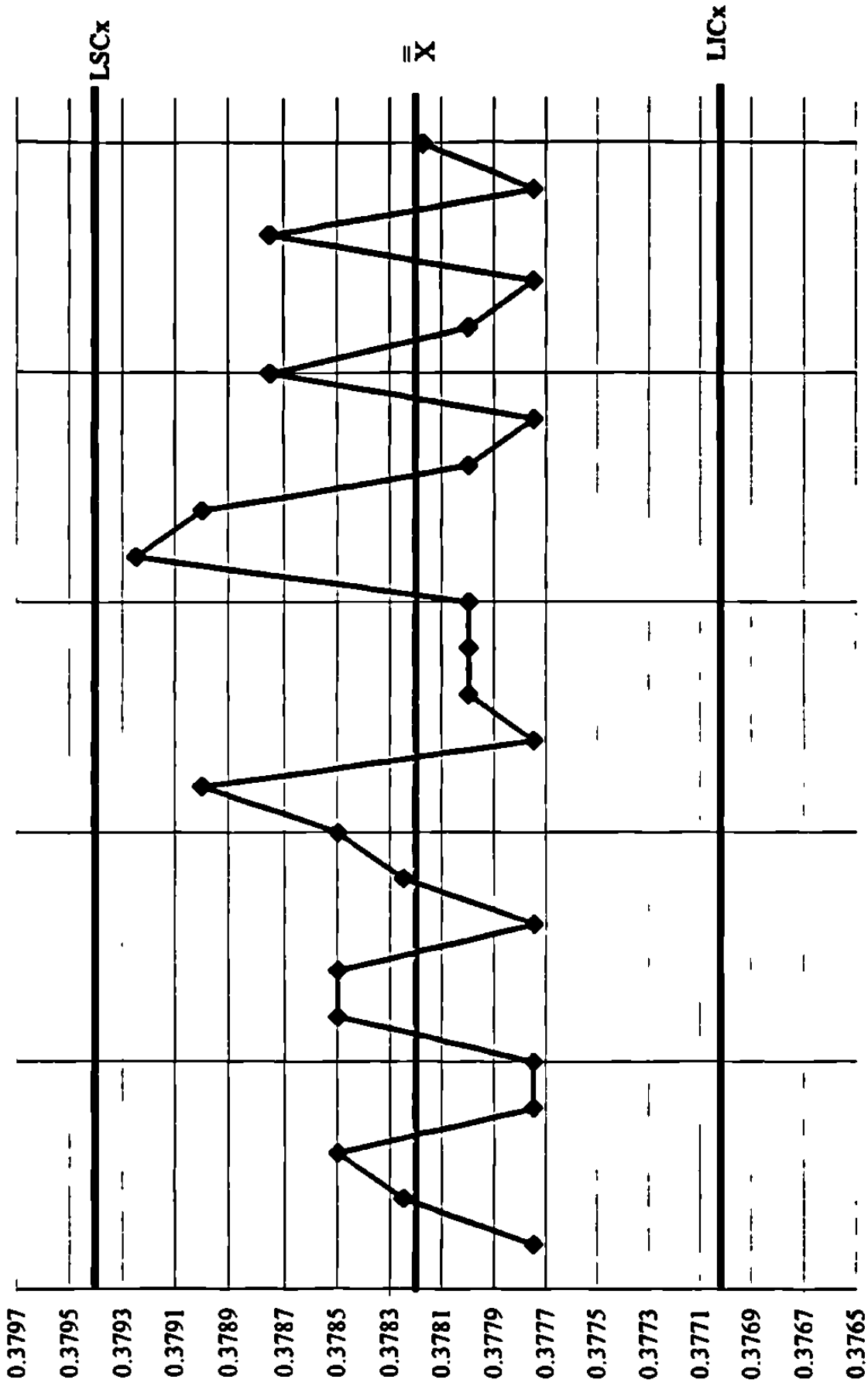


Fig. 7.11 GRAFICA DE PROMEDIOS

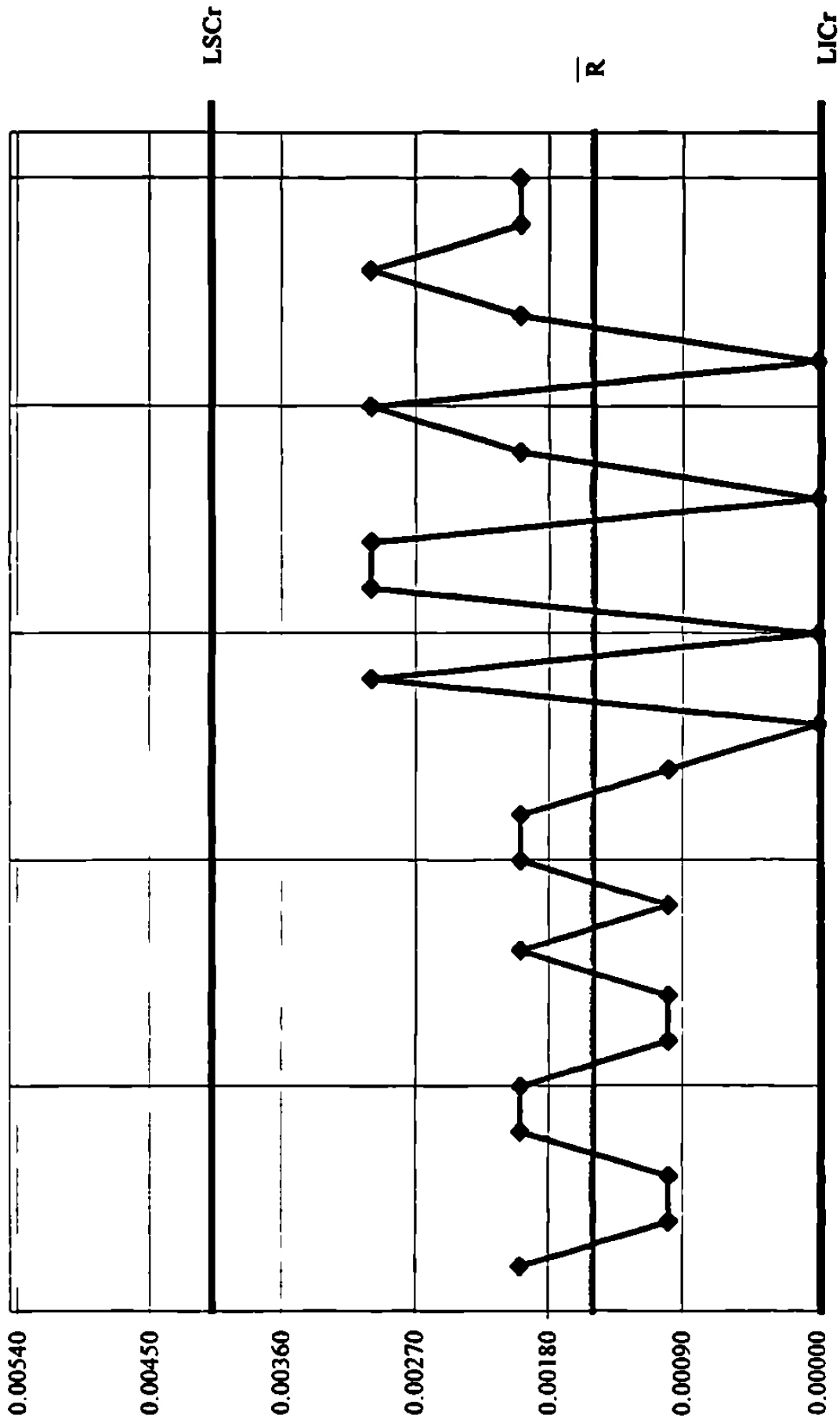


Fig. 7.11 GRAFICA DE RANGOS

Capítulo 8.

Conclusiones Y Recomendaciones

Concluimos que es definitivo que se enseñe y aplique el control estadístico de proceso, no sólo en la industria sino también al nivel de licenciatura en las diferentes áreas de ingeniería y en todas y cada una de las áreas donde se tenga que mantener un proceso bajo control, el control estadístico de proceso es una excelente herramienta de la mejora continua. (Incluyendo las áreas de salud y de servicio, tanto en la educación como otras).

Sabemos que es indispensable para las industrias mexicanas, la aplicación de las diferentes técnicas de calidad que se conocen en el mundo industrializado. Estamos convencidos de que si no lo hacen, quedaremos fuera de mercado, en este mundo industrializado y globalizado. Los clientes en esta época piensan en la calidad como un derecho inherente a su condición de "clientes" y lo van a exigir cada vez más. Por lo que debemos estar preparados con las filosofías y métodos para adaptarlos a nuestra "cultura", y hacer "calidad a la Mexicana". Utilizando nuestro ingenio y experiencia con "nuestra Gente y su filosofía".

Entendemos a la gente de "éxito", como a la gente que haga a su entorno exitoso, esto quiere decir que todos sus subordinados sean lideres en lo que ejecutan, haciendo todo lo que hagan con excelencia y tratando de llegar a la plenitud de desarrollo. Esto sólo se puede lograr con las filosofías de calidad de los grandes maestros.

En el próximo siglo los mercados globalizado nos obligarán a tomar nuevas estrategias y una de ellas será la utilización de las herramientas que aquí describimos.

Queda claro que con la aplicación del control estadístico de proceso se logrará tener una historia en el dominio del tiempo de nuestros procesos, sabremos cuando hacer correcciones al mismo, empleando gráficas de control y así también nos daremos cuenta, cuando una causa asignable está afectando el proceso, lo que permitirá que rápidamente se tomen acciones correctivas.

Se pudo comprobar que las gráficas de control muestran en todo momento el estado de salud del proceso.

El control estadístico de proceso, sigue siendo una eficaz metodología para asegurar la calidad.

Para nuestro caso en estudio, se comprobó que aplicando la metodología del control estadístico de proceso, se garantiza la producción de piezas dentro de especificación.

Se recomienda dar mantenimiento a las gráficas de control y verificar que no haya ocurrido movimiento de los límites de control, ya que esto ocasionará que se produzcan piezas fuera de especificación. También es recomendable que si una empresa comienza un proceso de fabricación de una nueva pieza o producto, antes elabore un plan de calidad completo que incluya el control estadístico de proceso.

En nuestro caso práctico en estudio se pudo certificar que el empleo de los gráficos de control si funcionó para mantener nuestro proceso en control estadístico, lo cual en todo momento permite observar el estado que guarda el proceso de manera gráfica.

Cómo parte del beneficio que se obtuvo al aplicar el método estadístico en nuestro caso práctico es el hecho de que los operadores identificaron los problemas de calidad tan pronto se presentaron.

Pero básicamente se emplearon como:

a) Para control: con objeto de decidir si el proceso continúa o se buscan y corrigen las causas asignables.

b) Para análisis: lo cual permite observar la variación inherente del proceso.

c) Para educar comunicar y documentar: el manejo de los gráficos de control permite hacer lo anterior.

Los límites de nuestro estudio son en el sentido de que las gráficas de control por si solas no pueden determinar el origen del problema de calidad. En todo momento observaremos como se presentan las causas comunes de variación y tan pronto el proceso salga de control sabremos que una causa especial de variación nos esta afectando. En este momento el equipo de calidad se abocara a encontrar la causa especial hacer la corrección y observar de nueva cuenta los gráficos de control.

Bibliografía

Robert T. Amsden / Howard E. Butler /Davida M. Amsden
Control Estadístico de Procesos Simplificado
Panorama
Primera Edición
1993

Jan Carlzon.
El Momento De La Verdad.
Ediciones Díaz de Santos.
1991

Stephen R. Covey.
Los Siete Hábitos De La Gente Altamente Efectiva.
Editorial Paidos.
1995.

Philip B. Crosby.
Calidad Sin Lágrimas.
Editorial C.E.C.S.A.
1990

Philip B. Crosby.
Completenes Plenitud.
Mc Graw Hill.
1994.

W. Edwards Deming.
Calidad, Productividad Y Competitividad.
Ediciones Díaz de Santos. S. A.
1989.

James R. Evans / William M. Lindsay
Administración y Control de la Calidad
Grupo Editorial Iberoamericana
Segunda Edición
1995

Armand V. Feigenbaum
Control Total de la Calidad
CECSA

Tercera Edición
1995

Edmundo Guajardo Garza
Administración de la Calidad Total
Pax
Primera Edición
1996

H.James Harrington
Mejoramiento de los Procesos de la Empresa
Primera Edición
1993

Kaoru Ishikawa.
Que Es Control Total De Calidad.
Editorial Norma.
1986.

Joseph R. Jablonsky
T.Q.M. Como Implantarlo
CECSA
1995

J.M. Juran ,F.M Gryna
Análisis y Planeación de la Calidad
tercera edición
1996

J.M. Juran / Frank Gryna
Manual de Control de Calidad
Mc. Graw Hill
Cuarta edición
1993

Irwin Miller.
Probabilidad Y Estadística Para Ingenieros.
Editorial Reverte.
1984.

Douglas C. Montgomery
Control Estadístico de la Calidad
Grupo Editorial Iberoamericana
Primera Edición
1991

Vincent K. Omachonu /Joel E. Ross
Principios de la Calidad Total
Diana
Primera Edición
1994

Shigeo Shingo.
A Study Of the Toyota Production Siystem.
Productivity Press.
1989.

Genichi Taguchi.
Introduction to Quality Engineering.
American Supplier Institute inc.
1986.

Philip C. Thompson.
Círculos De Calidad.
Editorial Norma.
1991

Mary Walton.
Cómo Administrar Con El Método Deming.
Editorial Norma.
1986.
Ing. Edilberto Salazar Chapa.
Apuntes De Las Clases De Introducción A La Calidad Total.
Implantación De La Calidad Total.
FIME–UANL
Febrero Julio 1996 Agosto-Enero 1996.

Lista de tablas:

Tabla:	Nombre:	Página.
Capítulo 3.		
3.1	Teoría X-Y.	3-72
3.2	Ciclo PHACA.	3-91
Capítulo 4.		
4.1	Ejemplo De Pareto.	4-6
4.2	Ejemplo De Estratificación.	4-11
4.3	Hoja De Verificación.	4-12
4.4	Ejemplo De Histograma De Frecuencia.	4-16
4.5	Tabulación De Histograma De Frecuencia.	4-16
4.6	Ejemplo De Dispersión.	4-20
4.7	Distribución Binomial.	4-32
Capítulo 5.		
5.1	Ejemplo De Medición De Capacidad.	5-9
5.2	Reproducibilidad Y Repetibilidad.	5-11
5.3	Valores De K_1 Y K_2.	5-15
5.4	Ejemplo de Repetibilidad Y Reproducibilidad.	5-16
5.5	Ejemplo de **R & R.**	5-17
5.6	Ejemplo De Repetibilidad Y Reproducibilidad De Sistemas De Medición Método Largo.	5-18
5.7	Especificaciones.	5-19
5.8	Pruebas Y Operadores.	5-19
5.9	Estudio De La Capacidad Del Calibrador.	5-23
5.10	Factores Para Gráfica De Control.	5-24
5.11	Análisis De Varianza.	5-25
Capítulo 6.		
6.1	Formato De Atributos.	6-15
6.2	Formato De Variables.	6-20
6.3	Ejemplo De X Testada.-s	6-22
6.4	Ejemplo De Gráfica **p.**	6-35

6.5 Ejemplo Gráfica **np** 6-39
6.6 Lotes **ncu.** 6-45
6.7 Carta de control de variables. 6-51
6.8 Inspección de lotes. 6-55

Capítulo 7.

7.1 Monitoreo de proceso. 7-7
7.2 Estrategias. 7-9
7.3 Entradas y salidas de un proceso de producción 7-8
7.4 Primera corrida corta. 7-12
7.5 Segunda corrida corta. 7-14
7.6 Tercera corrida corta. 7-16
7.7 Primera corrida de cien datos. 7-18
7.8 Segunda corrida de cien datos. 7-21
7.9 Tercera corrida de cien datos. 7-24
7.10 Cuarta corrida de cien datos. 7-29
7.11 Quinta corrida de cien datos. 7-34

Lista de figuras.

Capítulo 3.

FIGURA:	NOMBRE:	PAGINA:
3.1	Círculo De Deming.	3-13
3.2	Interrelación De Parámetros.	3-15
3.3	Perturbaciones De La Calidad.	3-18
3.4	Espiral Del Proceso En La Calidad.	3-20
3.5	Función Tradicional De Pérdida Del Cumplimiento Con Las Especificaciones.	3-31
3.6	Función De Pérdida De Taguchi.	3-32

Capítulo 4.

FIGURA:	NOMBRE:	PAGINA:
4.1	Áreas Bajo La Curva Normal.	4-2
4.2	Asimetría.	4-3
4.3	Diagrama De Pareto Terminado.	4-6
4.4	Gráfico De Pareto.	4-7
4.5	Diagrama Causa Efecto.	4-10
4.6	Ejemplo Causa Efecto.	4-10
4.7	Histograma De Frecuencias.	4-13
4.8	Distribución De Frecuencia.	4-17
4.9	Diagrama De Dispersión.	4-19
4.10	Correlación Entre Variables.	4-20
4.11	Gráfica De Promedio Y Rango.	4-23
4.12	Gráfica De Porcentaje Defectuoso.	4-24
4.13	Distribuciones De Probabilidad.	4-29
4.14	Distribución Normal.	4-35
4.15	Áreas Bajo La Curva De Distribución Normal.	4-36
4.16	Distribuciones Gamma Para Valores De r Y λ Constante.	4-39
4.17	Distribución de Weibull.	4-41
4.18	Algunas Distribuciones X^2.	4-47
4.19	Algunas Distribuciones t.	4-49
4.20	Algunas Distribuciones F.	4-50

Capítulo 5.

FIGURA:	NOMBRE:	PAGINA:
5.1	Cuatro Clases De Escalas De Calidad.	5-2
5.2	Comparativo Por Medio De Distribución De Frecuencia.	

	Entre Exactitud Y Precisión.	5-6
5.3	Seguridad.	5-8
5.4	Ejemplo De Capacidad.	5-9
5.5	Diagrama Causa Efecto.	5-22
5.6	Capacidad Esquemática.	5-22
5.7	Gráfica Promedio E Intervalo.	5-23

Capítulo 6.

FIGURA:	NOMBRE:	PAGINA:
6.1	Secuencia Lógica Para El Establecimiento Del Control Estadístico De Proceso.	6-11
6.2	Gráfica $\bar{x}$	6-23
6.3	Gráfica S	6-24
6.4	Un Punto Fuera De Los Límites De Control.	6-26
6.5	Promedio Del Proceso Desplazado.	6-26
6.6	Proceso Bajo Control.	6-27
6.7	Estados Fuera De Control.	6-27
6.8	Ciclos.	6-28
6.9	Tendencia Gradual.	6-29
6.10	Acercamiento Al Eje Central.	6-30
6.11	Acercamiento A Los Límites De Control.	6-31
6.12	Descomposición De Una Mezcla En Dos Patrones.	6-31
6.13	Inestabilidad.	6-32
6.14	Ejemplo De Gráfica **p.**	6-36
6.15	Ejemplo De Gráfica **np**	6-40
6.16	Ejemplo de gráfica c	6-41
6.17	Cálculo De La Habilidad Del Proceso Usando Una Curva Normal.	6-41
6.18	Ejemplo De Gráfica **u.**	6-46
6.19	Especificación Bilateral.	6-47
6.20	Especificación Unilateral.	6-48
6.21	Habilidad.	6-50
6.22	Tolerancia.	6-50
6.23	Ejemplo De Gráfica $\bar{x}$ - R	6-53
6.24	Precontrol Con Gráfico $\bar{x}$ - R	6-55
6.25	Precontrol Y Localización De Las Líneas De Precontrol.	6-57

Capítulo 7.

FIGURA:	NOMBRE:	PAGINA:
7.1	Plano de acotaciones de llave especial.	7-2
7.2	Secuencia de ciclo de operación del C.E.P.	7-5

7.3	Plan de operación.	7-6
7.4	Primera corrida corta	7-13
7.5	Segunda corrida corta.	7-15
7.6	Tercera corrida corta.	7-17
7.7	Primera corrida de cien datos.	7-20
7.8	Segunda corrida de cien datos.	7-23
7.9	Gráfica de promedios y rangos.	7-27
7.10	Gráfica de promedios y rangos.	7-32
7.11	Gráfica de promedios y rangos.	7-37

Glosario de términos.

Adecuación al uso: debe estar dada en términos de diseño, conformación, disponibilidad, seguridad y uso práctico. Esta determinada por el usuario de productos o servicios.

Administración total de la calidad: implica pensar en calidad en términos de todas las funciones de la empresa, y es un proceso de principio a fin.

Andons: tableros que luces que mejoran la comunicación a distancia.

Atributos: características no mensurables. Están o no presentes.

Auditoría de la calidad: revisión independiente realizada para comparar algunos aspectos de la calidad de los resultados con las normas correspondientes.

Auto control: cuando el trabajo se realiza dé manera que le permite al personal tener un control total sobre le logro del resultado planeado.

Bajo control: condición en la variación de los puntos en un diagrama de control permanece dentro de los límites. Al estar el proceso bajo control, aparentemente no existen causas asignables activas.

Breaktrough: progreso, adelanto, avance.

Calidad: tiene varias definiciones, algunas de ellas son, apegarse a requisitos cuidadosamente determinados, cero defectos, adecuación al uso en el justo tiempo y con el precio debido con la mayor satisfacción del cliente.

Capacidad de maquinaria: es la aptitud a corto plazo de una máquina para fabricar una parte de acuerdo a las dimensiones especificadas.

Capacidad de proceso: es la aptitud a largo plazo de un proceso o máquina para fabricar una parte con las dimensiones especificadas.

Capacidad del sistema: capacidad a largo plazo de un proceso o sistema para la producción o entrega de un servicio de acuerdo a las características especificadas de calidad. Se relaciona con las variaciones debidas a cualquier causa.

Características críticas: en un servicio, las que le permiten realizar su función.

Ciclo de servicio: empieza con el diseño del producto, uso y reciclaje del mismo.

Círculos de calidad: grupo voluntario formado por empleados (de cinco a diez) del mismo departamento quienes son reúnen regularmente para buscar mejoras para su área de trabajo.

Círculo de Deming: podemos definirlo como planear hacer verificar y actuar.

Conformancia: tiene que ver con el grado en que el producto o servicio se apeguen a las características diseñadas y se cumplan las especificaciones de proceso y diseño.

Control: prevención de cambios en un proceso. Los medios que se utilizan para mantener las mejoras en el rendimiento.

Control total de calidad: es un programa diseñado con el fin de refrenar las fallas en un proceso de fabricación, por medios estadísticos.

Desviación estándar: cálculo especial que describe la agrupación de mediciones en torno al centro de una curva normal. Este número puede utilizarse para describir la dispersión del proceso.

Diagrama de causa y efecto: diagrama que muestra en forma gráfica la relación entre las causas y un efecto determinado, o de éstas entre sí. También conocido como diagrama de pescado.

Diagrama de dispersión: se utiliza para estudiar la relación que puede existir entre dos variables, se puede dar entre una causa y un efecto, o entre dos causas o entre dos efectos.

Diagrama causa efecto: herramienta sistemática para encontrar, seleccionar y documentar las causas de variación de calidad en la producción, y organizar la relación entre ellas.

Diagrama de Pareto: gráfica que representa en forma ordenada de mayor a menor, la ocurrencia de los factores sujetos a estudio y nos indica cuál problema debemos resolver primero. Es decir cuales con los verdaderamente importantes y cuales son los de menor importancia.

Dimensiones críticas: son las dimensiones de un producto que le permiten desempeñar las funciones para las que fue diseñado.

Diseño robusto: estrategia basada en lograr la satisfacción del cliente, excediendo sus expectativas de calidad, desde el diseño del producto o servicio.

Dispersión del proceso: diferencia entre las unidades individuales mayor y menor que una operación en proceso produce normalmente. Al compararse contra las especificaciones, la dispersión del proceso indica si el proceso puede producir o entregar servicios dentro de las especificaciones. También se escribe 6σ.

Distribución de frecuencia: patrón formado por un grupo de mediciones en unidades del mismo tipo, anotadas según las veces que ocurre cada una de ellas.

Estratificación: significa dividir los elementos de algo en capas situadas en diferentes planos.

Flujograma de proceso: diagrama que señala la secuencia de un trabajo o tarea en particular. Es útil para seguir el flujo de la información, el personal o los documentos durante el proceso de producción o entrega de un servicio.

Función de pérdida: definición orientada los productores a buscar continuamente reducir la variación en las características de calidad.

Fuera de control: condición en la cual los puntos dibujados en una gráfica rebasan los límites de control del mismo. Indica la existencia de una causa asignable, trastornando el proceso.

Gráfica de atributos: tipo de gráfica en la que las características no se miden con números, sino si son aceptables o no, buenas o malas.

Gráfica de control: tipo especial de gráfica que indica los resultados de inspecciones limitadas periódicas, a lo largo del tiempo. Es útil para saber cuándo corregir el proceso y cuándo dejarlo trabajar.

Gráfica de dos variables: gráfica que muestra la relación entre dos variables.

Gráfica de probabilidad: método para calcular el ajuste de las mediciones en una gráfica de promedio y rango, en la curva normal de distribución. Este método así mismo indica el porcentaje de unidades que quedarán fuera de especificación.

Gráfica de promedio y rango: gráfica de variables de uso más generalizado, llamado también Gráfica **X trestrada** R (X testada R.)

Gráfica de variables: tipo de gráfica en el que las cosas o mediciones representadas se miden con cifras. La gráfica de promedio y rango (**X trestada R**) es un ejemplo.

Gráfica np: tipo de gráfica de control de atributos que ayuda a vigilar la cantidad de artículos defectuosos en un servicio.

Gráfica p de fracción defectuosa: gráfica p que utiliza fracciones en lugar de porcentajes. Indica las unidades defectuosas como parte decimal del total de la muestra.

Gráfica p de porcentaje defectuoso: tipo especial de gráfica de control de atributos. Indican los porcentajes de artículos defectuosos o que no cumplen las especificaciones.

Gráfica p: tipo de gráfica de control de atributos que ayuda a vigilar o controlar el porcentaje o fracción de unidades defectuosas que produce un servicio.

Gráfica X trestada R: tipo de gráfica de control de variables que utiliza promedios y rangos para indicar si el proceso requiere ajuste o si se le deja tal como está.

Histograma: es la representación gráfica de una distribución de frecuencias.

Indice de capacidad (Cp y Cpk): número que indica la capacidad de un sistema o proceso, para encontrarlo, comparar la dispersión del proceso contra la de la especificación y expresarla como desviación estándar.

Inspección: paso de un flujograma de proceso en el que se revisa o verifica que la tarea o componente del servicio cumpla los requerimientos.

Intervalo de clase, o intervalo: división de los histogramas de frecuencia, así como todas las posibles mediciones dentro de la misma.

Justo a tiempo: sistema de calidad cuyo objetivo es tener cero inventarios en proceso.

Kambans: tarjetas que indican cuándo la siguiente requiere que le envíen materia prima y cuanta.

Liderazgo: función ejercida por los directores o gerentes buscando supervisar al personal informando a la alta gerencia de las condiciones que necesitan mejora.

Límite inferior de especificación (LIE): valor menor aceptable para la tarea o servicio que producen un proceso u operación.

Límite inferior particular (bruscar) valor menor que se estima que producirá la operación. No debe confundirse con el límite inferior de control para promedio (LICx).

Límite superior de control (LSC): parámetro superior, debajo del cual los puntos en una gráfica de control pueden variar sin necesidad de ajuste o control.

Límite superior de especificación (LSE): mayor valor aceptable para la tarea o servicio que un proceso u operación producen.

Límites de control: marcas en una gráfica de control dentro de los que puede existir variación en los puntos de trazo sin necesidad de arreglo o ajuste. Se basan en antecedentes e indican lo que se puede esperar de un proceso en tanto nada cambie.

Mejora: acción deliberada para lograr un progreso.

Mejora continua: filosofía de operación establecida por la alta dirección que procura mejorar todos los sistemas de la organización.

Muestra: varias pero no todas, las lecturas posibles en un grupo de artículos del mismo equipo.

Muestra aleatoria: tipo de muestra en la que cada artículo del lote por muestra tiene las mismas posibilidades de ser seleccionado como parte de la muestra.

Momento de la verdad: intervalos que pueden durar 15 segundos en el que los empleados de alguna organización tiene contacto con sus clientes para realizar la entrega de un servicio.

n: tamaño de la muestra. En el muestreo de aceptación uno de los parámetros básicos de cualquier plan de muestreo.

Nivel aceptable de calidad (NAC): calidad del material que se aceptará según el plan de muestreo durante la mayor parte del tiempo. Por lo general 95%, este se relaciona con el riesgo del productor.

Número de aceptación C: número máximo aceptable de partes defectuosas en una muestra que permite utilizar el lote sin inspección posterior.

Operación: paso en un programa de proceso. Trabajo requerido para terminar una tarea.

Planificación de la calidad: detallar una serie de pasos hacia un programa de mejora de la calidad.

Poka Yoke: quiere decir a prueba de error.

Probabilidad de aceptación: fracción o porcentaje de lotes que serán aceptados basándose en un plan de muestreo para un nivel dado de calidad.

Problema crónico: tipo de problema que sucede una y otra vez.

Problema esporádico: tipo de problema que sucede de vez en cuando.

Proceso estable: situación en la que las variables del proceso se deben solo a causas aleatorias. El servicio varía de manera predecible.

Productividad: capacidad o grado de producción por unidad de trabajo, también se define como la cantidad de producto que puede obtenerse mediante la aplicación de un factor determinado.

Promedio: resultado de dividir el total o suma de un grupo de mediciones entre el número de artículos medidos. Promedio quiere decir también media.

Promedio estimado del proceso: valor del punto en que la línea óptima cruza la marca de 50% de la gráfica de trazo de probabilidad.

Punto medio: punto equidistante a ambos bordes en un intervalo. Se calcula dividiendo la amplitud del intervalo a la mitad y sumando dicho resultado al borde inferior.

Rango: diferencia entre las lecturas mayor y menor en un grupo.

Sigma: símbolo de la desviación estándar.

Sistema de asignación crítica: sistema para determinar las características o elementos de servicio más importantes para el cliente. Identifica los elementos que requiere de técnicas de control estadístico durante la producción y entrega.

Sistema jalar vs. Empujar: se refiere a que uno no debe producir una pieza para la línea siguiente, si ésta no la necesita.

Tamaño de muestra: en el muestreo de aceptación el número de artículos de un lote que deben inspeccionarse para decidir la aceptación o rechazo del mismo.

Variable dependiente: situación en la que una variable resultado depende o es subsidiaria de otra.

Variación inherente: variación natural de un proceso debido a causas aleatorias.

Resumen Autobiográfico.

Nombre: Ing. Luis Jesús Chapa Quintanilla.

Grado que se desea obtener: Maestro en Ciencias de la Administración con especialidad en Producción y Calidad.

Tesis: Aseguramiento de la Calidad a Través del Control Estadístico del Proceso.

Rama Profesional: Ingeniería.

Lugar y fecha de nacimiento: Monterrey Nuevo León 16 de Diciembre de 1952.

Padre : Luis Chapa Campos

Madre: Dolores Ninfa Quintanilla de Chapa.

Escuela Preparatoria Numero 2. U.A.N.L.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. U.A.N.L.

Título: Ingeniero Mecánico Administrador.

Experiencia profesional:

2 años como Jefe de Mantenimiento de la Facultad de Medicina de la U.A.N.L.

11 años como Jefe de Compras de la Facultad de medicina de la U.A.N.L.

3 años como Subjefe de Compras de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U.A.N.L.

3 años como Supervisor de Obras de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U.A.N.L.

2 años como Jefe de Compras de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U.A.N.L.

3 años como maestro de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica U.A.N.L.

Resumen Autobiográfico
Ing. Miguel Carrola González

Candidato para el grado de: Maestro en Ciencias de la Administración con especialidad en Producción y Calidad.

Tesis: Aseguramiento de la Calidad a través del Control Estadístico de Proceso.

Rama Profesional: Producción y Calidad.

Biografía:

Datos Personales: Nacido en la Ciudad de Durango, Dgo. el 23 de Diciembre de 1960. Hijo del Sr. Miguel Carrola Fierro y la Sra. Aurora González Barajas.

Educacón: Preparatoria No. 2, U.A.N.L.
Egresado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U.A.N.L. en la carrera de Ingeniero en Electrónica y Comunicaciones.

Experiencia Profesional: Catedrático del Conalep y de la Facultad de Arquitectura U.A.N.L., Instructor externo en diversas empresas de la localidad, Supervisor del área mecánica en la planta norte de tratamientos de aguas residuales. Y actualmente laborando como maestro de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la U.A.N.L.

Organizaciones Profesionales: Miembro de la A.S.A. (Sociedad Acústica Americana).