

## **NOTA IMPORTANTE:**

La entidad sólo puede hacer uso de esta norma para si misma, por lo que este documento NO puede ser reproducido, ni almacenado, ni transmitido, en forma electrónica, fotocopia, grabación o cualquier otra tecnología, fuera de su propio marco.

**ININ/ Oficina Nacional de Normalización**

## GRAFICOS DE CONTROL. GUIA GENERAL E INTRODUCCION (ISO 7870: 1993, IDT)

Control charts. General guide and introduction

---

Descriptores: Análisis estadístico; Control estadístico de la  
calidad; Control de producción; Diagrama;  
Instrucción.

1. Edición

Julio 2000

ICS: 03.120.30

**REPRODUCCION PROHIBIDA**

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana.  
Teléf.: 30-0835 Fax: (537) 33-8048 E-mail: ncnorma@ceniai.inf.cu



## **Prefacio**

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba que representa al país ante las Organizaciones Internacionales y Regionales de Normalización.

La preparación de las Normas Cubanas se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. La aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en evidencias de consenso.

La NC-ISO 7870:

- Esta Norma Cubana fue elaborada por el NC/CTN 12 de Aplicaciones de Métodos Estadísticos, en el que están representadas las siguientes Instituciones:
- Constituye una adopción idéntica por el método de traducción de la ISO 7870: 1993 Control charts. General guide and introduction, primera edición de 1993, preparada por la Oficina Nacional de Normalización
- Sustituye a la:  
NC 92-06: 80 Control de la calidad. Gráficos de control. Procedimiento general.

Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría"  
Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria - MES  
Instituto Finlay – Consejo de Estado  
Centro de Ingeniería – Genética y Biotecnología  
Laboratorios Biológicos Farmacéuticos - MINAGRI  
Instituto central de investigaciones Digitales  
Instituto "Pedro Kouri"  
Ministerio de Educación  
Instituto de Investigaciones en Normalización  
Centro Técnico para el Desarrollo de Materiales  
Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales  
de la Construcción

Centro de Neurociencias  
Instituto de Investigaciones del Transporte  
Instituto de Investigaciones de la Industria Alimenticia  
Unión de Confecciones  
Centro de Tecnología y Calidad - SIME  
Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos  
Centro de Estudios de Población y Desarrollo  
Ministerio de Finanzas y Precios  
Banco Nacional de Cuba  
Oficina Nacional de Normalización

© **NC, 2000**

**Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada por alguna forma o medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias o microfilmes, sin el permiso previo escrito de:**

**Oficina Nacional de Normalización (NC).**

**Calle E No. 261 Ciudad de La Habana, Habana 3. Cuba.**

**Impreso en Cuba**

**Indice**

1 Objeto .....	1
2 Referencias normativas.....	1
3 Definiciones .....	1
4 Generalidades.....	1
5 Gráficos de control para variables y atributos.....	2
6 Límites de control.....	3
7 Subgrupos racionales.....	4
8 Tipos de gráficos de control .....	5
9 Gráficos de control de Shewhart y gráficos relacionados .....	6
10 Gráficos de control para aceptación .....	9
11 Gráficos de control adaptativos .....	11
12 Riesgos relacionados con las decisiones basadas en gráficos de control. Criterios de efectividad.....	11
Figura 1.....	12
13 Consideraciones Económicas .....	13
Bibliografía.....	14



## GRAFICOS DE CONTROL. GUIA GENERAL E INTRODUCCION

### 1 Objeto

Esta norma presenta los elementos claves y la filosofía del uso de los gráficos de control, e identifica una amplia variedad de gráficos de control, incluyendo los relacionados con los gráficos de control de Shewhart y los relacionados con aceptación de procesos o énfasis predictivo en línea (gráfico de control adaptativo).

Se presenta una visión general de los principios y conceptos básicos y se ilustra la relación entre diversos usos de gráficos de control, para ayudar en la selección del modelo más adecuado para las circunstancias dadas.

No se especifican métodos de control estadístico utilizando gráficos de control. Estos métodos se especifican en las normas ISO 7873 e ISO 7966 y en otras futuras normas internacionales.

### 2 Referencias normativas

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta norma cubana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos sobre la base de ellas que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente.

ISO 3534-1:1993, Statistics. Vocabulary and symbols. Part 1: Probability and general statistical terms.

ISO 3534-2:1993, Statistics. Vocabulary and symbols. Part 2: Statistical quality control.

ISO 7873:1993, Control charts for arithmetic average with warning limits.

ISO 7966:1993, Acceptance control charts.

ISO 8258:1991, Shewhart control charts.

### 3 Definiciones

Para los propósitos de esta norma se aplican las definiciones dadas en las normas NC-ISO 3534-1 y 3534-2.

### 4 Generalidades

Los gráficos de control son una herramienta fundamental del control estadístico de la calidad. Constituyen métodos para comparar información basada en muestras representativas del estado actual de un proceso, frente a límites establecidos, después de considerar la variabilidad inherente del proceso. Su principal utilidad es servir como medio para evaluar si un servicio de manufactura o un proceso administrativo se encuentra o no en un "estado de control estadístico". Los gráficos de control, aunque fueron originalmente desarrollados para aplicaciones de producción y desarrollo

industrial, son ampliamente usados en la actualidad en una gran variedad de operaciones de servicio y de apoyo. En esencia, los gráficos de control son una herramienta gerencial para ayudar a determinar si un proceso es estable o si ha cambiado; y son útiles a nivel gerencial, así como también para que el operador pueda ejercer el control en su lugar de trabajo.

En todas las operaciones se presenta una variabilidad inherente debido a causas numerosas, pero generalmente de menor importancia, de tal modo que los resultados observados en un proceso estable no son constantes y se requieren límites estadísticamente válidos para minimizar las decisiones erróneas conducentes al sobrecontrol o al subcontrol.

Se considera que un proceso se encuentra en un “estado de control estadístico” si no hay desviaciones sistemáticas afectando el proceso. En esencia, cuando un proceso se encuentra en “estado de control” es posible predecir confiablemente el comportamiento de ese proceso, mientras que cuando el sistema es afectado por causas especiales o no aleatorias, el proceso está sujeto a los efectos de estas causas y el resultado no se puede predecir sin información acerca de su presencia y su efecto. Si se encuentra que determinado proceso está fuera del “control estadístico”, se requiere intervención para llevarlo al estado de control. Para ciertos fenómenos económicos o naturales, es posible que se desconozca como intervenir en el proceso y entonces el gráfico de control simplemente sirve para identificar la falta de control.

Los gráficos de control proveen un método gráfico sencillo para evaluar si el proceso ha alcanzado o no, o si continúa en un “estado de control estadístico”. Las determinaciones se hacen comparando los valores o tendencias de algunos estadísticos para una serie ordenada de muestras, o de subgrupos, con límites de control. Existen diversos gráficos de control específicos, dependiendo de los tipos de decisiones por tomar, la naturaleza de los datos, y el tipo de estadístico utilizado. La palabra “estadístico” enfatiza que las mediciones están sujetas a errores inherentes a la obtención de las muestras, o al proceso mismo de las mediciones, y por tanto representan una muestra con variabilidad inherente de muestreo.

Una virtud importante del gráfico de control es su facilidad de elaboración y de uso. Este provee un indicador del “estado de control estadístico” para el operador, el ingeniero, el administrador y el gerente de producción o de servicio. Sin embargo, el gráfico de control sirve únicamente como parte del procedimiento completo de análisis. El gráfico puede sugerir cuando una causa asignable ha afectado el proceso, pero se requiere un estudio independiente para determinar la naturaleza de esa causa y la acción correctiva que se necesita.

## **5 Gráficos de control para variables y atributos**

Los gráficos de control se pueden utilizar bien sea para datos de “variables” o para datos de “atributos”. Los datos de variables representan observaciones obtenidas midiendo y registrando la magnitud numérica de una característica para cada una de las unidades del grupo que se está considerando. Esto involucra la referencia a una escala continua de alguna clase. Los datos de atributos representan observaciones obtenidas registrando la presencia (o ausencia) de alguna característica o atributo en cada una de las unidades del grupo que se está considerando, y contando cuántas unidades poseen (o no poseen) el atributo, o cuántos de tales eventos ocurren en la unidad, el grupo, el área o el volumen de la muestra.

En el caso de datos de variables, generalmente se presentan dos tipos de gráficos de control. El primero trata una medida de localización tal como la media, o la mediana de la muestra del o el subgrupo racional. El segundo trata una medida de dispersión de observaciones dentro de la muestra o el subgrupo, tal como el “recorrido” (R), o la desviación típica muestral (s). Para constituir un gráfico de control de variables efectivo, se requieren ambos tipos de gráficos.

El gráfico de localización se utiliza para evaluar si hay evidencia de un cambio real en el nivel del proceso, mientras que el gráfico de dispersión se utiliza para evaluar si hay evidencia de un cambio en la magnitud de la variabilidad dentro de la muestra o el subgrupo racional. Los límites de control para el gráfico de localización son una función de la desviación típica dentro de la muestra o el subgrupo racional. Es importante verificar que este parámetro de variabilidad inherente permanezca bajo control.

En la mayoría de los gráficos de control para variables se asume la distribución normal (véase la norma NC-ISO 3534-1). Es usual representar las medias de n medidas de un subgrupo porque, excepto en situaciones extraordinarias, las medias tienden a seguir la distribución normal inclusive cuando el patrón de distribución de las observaciones individuales no sea normal, y porque las contribuciones de variaciones aleatorias se reducen al trabajar con la media de la muestra o del subgrupo racional. La reducción agudiza la capacidad para detectar una señal de que se ha presentado una causa asignable. Aunque por conveniencia frecuentemente se seleccionan tamaños de muestras de n = 4 ó 5, el análisis económico puede sugerir números más apropiados. Pueden encontrarse más detalles en las normas específicas para los diversos gráficos de control.

En el caso de gráficos de control para datos de atributos, únicamente se traza un gráfico. El gráfico de “p” (proporción de alguna clasificación especificada), se basa en la distribución binomial. La desviación típica (o el error típico) para esa proporción se denota como  $s_p$ . Puesto que

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

Y depende únicamente de n y p, no hay necesidad de trazar un gráfico separado para  $s_p$ . Análogamente, el gráfico de “c” (conteo de eventos de una clasificación dada) se basa en la distribución Poisson. La desviación típica (o el error típico) del conteo se llama  $s_c$ . Puesto que  $s_c = \sqrt{c}$  tampoco hay necesidad de trazar un gráfico separado para la variabilidad.

## 6 Límites de control

Los límites de control se usan como criterios para señalar la necesidad de aplicar una acción, o para juzgar si un conjunto de datos indica o no un “estado de control estadístico”. A veces también se usa un segundo conjunto de límites llamados “límites de advertencia” y los límites de control se llaman entonces “límites de acción”. La acción puede ser:

- a) Investigar la(s) fuente(s) de una “causa asignable”.
- b) Hacer un ajuste al proceso; o
- c) Detener el proceso.

En las normas específicas internacionales para los gráficos de control (véase las normas ISO 7873, ISO 7966 e ISO 8258) se definen reglas para determinar qué constituye exceder los criterios de acción o de advertencia, asumiendo diversas formas tales como puntos que caen mas allá de los límites, corridas, o patrones de observaciones dentro de los límites.

## 7 Subgrupos racionales

Un subgrupo racional es un subgrupo o muestra, elegido por razones técnicas, dentro del cual se puede considerar que las variaciones se deben únicamente a causas aleatorias no asignables (o comunes), pero entre las cuales puede haber variaciones debidas a causas asignables (o especiales), cuya presencia se considera posible y que es importante detectar. Las razones técnicas incluyen factores de homogeneidad, capacidad para muestrear, y consideraciones económicas. Una de las características esenciales del gráfico de control es el uso de subgrupos racionales para la recolección de los datos. La variabilidad medida dentro de subgrupos razonablemente homogéneos se utiliza para determinar los límites de control, o para verificar la estabilidad a corto plazo (gráfico de variabilidad), mientras que la estabilidad a largo plazo generalmente se evalúa en términos de los cambios entre subgrupos (gráfico de localización. Aunque un tiempo relativamente corto es una base común para un subgrupo racional con base en una duración limitada de exposición a posibles causas asignables, pueden ser apropiadas otras bases tales como una subarea relativamente homogénea o unas condiciones comunes (por ejemplo, trabajo por un operador en particular). Para la recolección de los datos y para la determinación de los límites de control se debe utilizar la misma definición de subgrupo racional.

En la mayoría de las aplicaciones de producción, el subgrupo racional representa datos recolectados durante un corto tiempo, en condiciones esencialmente idénticas de material, ajuste de herramientas, condiciones ambientales, etc. En aplicaciones de servicio y de oficina, los subgrupos racionales se pueden definir en términos de periodos específicos o de agrupaciones lógicas dentro ó de las tareas o las asignaciones de alguna persona o algún equipo. La variabilidad encontrada en estas circunstancias debería representar la debida únicamente a causas aleatorias (o causas comunes). Con intervalos de tiempo más largos, se puede esperar que se presenten causas asignables (o especiales), tal como un cambio en la fuente de material, una variedad diferente de datos para registrar, un reajuste de herramientas, un nuevo ambiente de servicio, o un cambio de operador.

Aunque es posible que tales cambios no desvíen el nivel del proceso, estas causas representan una variabilidad potencial por encima de la debida a las causas aleatorias. Así pues, la desviación típica dentro del subgrupo (bien sea estimada a partir de un conjunto de subgrupos, o conocida a partir de experiencias pasadas) sirve como medida básica de la "variabilidad aleatoria".

Obsérvese que para que el subgrupo racional tenga un valor significativo, debe estar sujeto a todas las fuentes usuales de variación aleatoria. Por ejemplo, una serie de lecturas repetidas en una pieza de material colocado en un instrumento de ensayo podrían no incluir la contribución de la localización del material en el instrumento o de la obtención de la muestra. Si estos aspectos son inherentes en un ambiente usual de ensayo, las lecturas repetidas darían una estimación baja, no realista, de la variabilidad inherente de la medición. Así pues, casi cualquier medición real a partir del proceso aparecería "fuera de control". Sin embargo, si el subgrupo es demasiado grande, de tal modo que la variación debida a las causas asignables aumenta la desviación típica dentro del subgrupo, se podrían presentar muchas causas asignables sin que fuesen detectadas.

Como se indicó anteriormente, la desviación típica de las mediciones observadas dentro de cada subgrupo constituye la medición básica de la variabilidad inherente para el gráfico de control. Cuando esto no es conocido, se estima reuniendo la información recolectada a partir de un conjunto apreciable de subgrupos. Se recomienda utilizar la información procedente de al menos 20 subgrupos. Es importante verificar que los datos recolectados durante este periodo base estén en un “estado de control estadístico” representando los recorridos o las desviaciones típicas de los subgrupos en un gráfico de control (es decir, que los datos estén en un estado de control estadístico con respecto a la variación interna), y si no lo están, aplicar la acción correctiva requerida para tener datos de base válidos.

Los límites de control se basan en un múltiplo de  $\sigma_e$ , el error estándar del estadístico que se está representando, que a su vez se deriva de la desviación típica dentro del subgrupo. En las normas específicas para gráficos de control (véase las normas ISO 7873 e ISO 7966) se considera el múltiplo de  $\sigma_e$ , el número de observaciones individuales promediadas (tamaño de la muestra), el uso de reglas suplementarias (por ejemplo corridas), y la frecuencia del muestreo y aspectos similares. Si se utiliza el recorrido de la muestra como una medida de variabilidad, los límites de control se basarían en un múltiplo de  $R$ , evitando la estimación del error estándar  $\sigma_e$ .

## 8 Tipos de gráficos de control

Hay tres tipos principales de gráficos de control (incluyendo los gráficos de sumas acumuladas):

- a) el gráfico de control de Shewhart, y variantes estrechamente relacionadas
- b) El gráfico de control para aceptación (véase la norma ISO 7966);
- c) El gráfico de control adaptativo.

El gráfico de control de Shewhart se utiliza principalmente para evaluar el “estado de control estadístico”. Los gráficos en esta categoría a menudo se usan como una herramienta de aceptación de proceso, aunque no se han diseñado específicamente para que se relacionen con criterios de uso o límites de tolerancia del proceso.

El gráfico de control de aceptación se destina específicamente para este papel de aceptación del proceso.

El gráfico de control adaptativo se utiliza para regular un proceso, anticipando las tendencias y haciendo ajustes por adelantado con base en las predicciones.

En las cláusulas 9 a 11 se describen algunos de los gráficos específicos comprendidos dentro de estos tipos generales.

## 9 Gráficos de control de Shewhart y gráficos relacionados

### 9.1 Generalidades

Puesto que el propósito de los límites de control es ofrecer un procedimiento coherente para tomar una decisión acertada del “estado de control estadístico”, el doctor W.A. Shewhart, que propuso el uso de los gráficos de control para el “control económico de la calidad”, seleccionó límites obtenidos en una forma empírica, pero utilizando el conocimiento de consideraciones estadísticas. Los supuestos acerca de la recolección de los datos, la forma exacta de la distribución de los datos y otras consideraciones prácticas tales como la incapacidad o la falta de justificación económica para causas menores asignables (o no descubiertas), hicieron indeseable la aplicación de valores rígidos de probabilidad teóricos. Antes de poder agregar las líneas de control, es necesario definir la línea central del gráfico. El doctor Shewhart recomendó establecer los límites de  $\pm 3\sigma_e$ , es decir, tres desviaciones típicas (errores estándar) del estadístico que se esté representando, con base en la variabilidad dentro del subgrupo racional. Así pues, al aplicar gráficos de control en relación con promedios, se acostumbra establecer los límites en  $3\sigma_x$ . Si se supone que la distribución subyacente de los promedios de las medidas observadas es normal, estos límites incluirían el 99,7 % de los promedios presentados, mientras el proceso está “bajo control” en el valor central. Es decir, el 0,3 % de los puntos (promedios) representados de un proceso “bajo control” se saldrá de los límites, y así se indicaría erróneamente un mensaje de “fuera de control”. Esto se denomina riesgo alfa ( $\alpha = 0,003$ ), que es el riesgo de cometer un error de tipo I al concluir que el proceso se ha desviado, cuando en realidad no ha sido así. Sin embargo, en la práctica, si las distribuciones no son normales, o si algunas desviaciones pequeñas respecto del nivel central especificado no justifican ninguna preocupación económica, las interpretaciones probabilísticas son inexactas y sirven únicamente como indicadores útiles de la magnitud. Para los gráficos “p” y “c”, se utiliza la distribución normal como aproximación de las distribuciones binomiales y de Poisson. Generalmente es suficiente utilizar un criterio de decisión acordado (los límites de  $3\sigma_e$ ), y reconocer que para los propósitos prácticos hay un riesgo alfa relativamente pequeño.

Por otra parte, existe el problema de la capacidad de detectar cambios de alguna magnitud especificada. Por ejemplo, si se puede suponer que las observaciones individuales tienen una distribución normal y la desviación típica de las observaciones individuales respecto del proceso es  $\sigma$ , entonces, si el promedio del proceso se desplazara de su valor nominal en  $1\sigma$ , ¿cuál sería el riesgo de no detectar esta desviación (error de tipo II)? Si se representaran los promedios de cuatro observaciones, el riesgo de tipo II sería del 84,1 %, y si se representaran las observaciones individuales, el riesgo sería del 97,5 %. Una razón para que el gráfico de control haya sido una herramienta práctica en muchas aplicaciones es esta falta de sensibilidad para cambios relativamente pequeños, que carecen de importancia práctica. El sobrecontrol frecuentemente contribuye más a la falta de uniformidad que los causados por pequeños cambios de nivel, debido a la adición de elementos de cambios no aleatorios a la variabilidad del proceso. En la cláusula 10 se suministra un análisis adicional de este tema.

A veces, si se desea mayor sensibilidad para pequeños cambios en nivel, se utilizan límites de advertencia generalmente fijados en  $\pm 2\sigma_e$ , además de los límites de control fijados en  $\pm 3\sigma_e$ , y a menudo se establecen reglas de decisión adicionales basadas en las corridas (véase la norma ISO 7873). Sin embargo, esto incrementa el riesgo alfa de calificar erróneamente un proceso como “fuera de control”. Otras maneras de incrementar este tipo de sensibilidad son mediante el uso de gráficos de control que acumulen datos procedentes de varios subgrupos.

También se utilizan otros criterios de decisión basados en aspectos de la teoría de las corridas. Para el trabajo de los gráficos de control se considera que una corrida es una secuencia ininterrumpida de ocurrencias del mismo atributo o del mismo evento en una serie de observaciones, o un conjunto consecutivo de valores sucesivamente crecientes ( corrida hacia “arriba “) o sucesivamente decrecientes ( corrida hacia “abajo”), o un conjunto consecutivo de puntos por encima ( o por debajo) de la línea central.

Muchos de los gráficos de control mencionados en esta sección no fueron desarrollados por el doctor Shewhart, pero se incluyen porque se utilizan principalmente para determinar si un proceso se encuentra o no en un “estado de control estadístico”. Generalmente, la relación con las exigencias de la especificación no es un elemento al seleccionar los criterios de decisión.

Existen dos formas generales de gráficos de control de Shewhart. **La primera forma** es un gráfico de control sin valores estándar especificados. En estos gráficos se utilizan límites de control basados en los datos de la muestra o del subgrupo que se representa en el gráfico. Esta forma de gráfico de control se utiliza para determinar si los valores observados de una serie de muestras varían entre ellos en una cantidad mayor de lo que se esperaría únicamente por causas aleatorias. En esencia, los gráficos de control basados totalmente en los datos procedentes de las muestras que se estén evaluando se utilizan para detectar cualquier falta de constancia del sistema causal. Esta forma de gráfico es útil, especialmente en las etapas de investigación y desarrollo, o en ensayos piloto preliminares o en estudios iniciales de producción y servicio, para determinar si un proceso, producto o servicio nuevo es reproducible, y si los métodos de ensayo son repetibles.

**La segunda forma** es un gráfico de control cuyos límites de control se basan en valores estándar adoptados aplicables al estadístico representado en el gráfico. Esta forma de gráfico de control se utiliza para descubrir si las mediciones observadas para un valor de la muestra, difieren respecto a los valores estándar adoptados en una cantidad mayor de la que se esperaría únicamente por causas aleatorias. Los valores estándar se pueden basar en:

- a) datos anteriores representativos (tales como los obtenidos sobre la base de la experiencia utilizando gráficos de control sin valores estándar especificados).
- b) un valor económico basado en la consideración de las necesidades del servicio y el costo de producción; o
- c) el valor deseado o buscado definido en una especificación.

Se debe observar que esta forma de gráfico de control no solo evalúa la constancia del sistema causal, sino que también evalúa si ese sistema causal se localiza apropiadamente en términos de los valores estándar adoptados.

## **9.2 Listado parcial de los gráficos de control de Shewhart y los relacionados (incluyendo los gráficos de sumas acumuladas).**

Este listado se divide en dos categorías. La primera categoría incluye gráficos en los que se usan datos obtenidos únicamente a partir de un subgrupo individual, mientras que la segunda categoría incluye gráficos cuyos datos se acumulan a partir de más de un subgrupo.

**9.2.1 Gráficos en los que se usan los datos procedentes únicamente de un subgrupo racional para cada valor representado.**

Estos gráficos son:

- a)  $\bar{X}$  y  $R$  (gráficos de medias y de recorridos) la mediana puede reemplazar a  $\bar{X}$  y  $s$  puede reemplazar a  $R$ .
- b)  $\bar{X}$  y recorridos móviles [para gráficos de recorrido móvil individual. (Véase 9.2.2 a)].
- c)  $p$  (gráfico de porcentaje o de proporción).
- d)  $np$  (gráfico del número de elementos no conformes)
- e)  $c$  (gráfico de conteo)
- f)  $u = c/n$  (gráfico de conteo por unidad)
- g)  $Q$  (gráfico del puntaje de la calidad, siendo el puntaje de la calidad un conteo ponderado)
- h)  $D$  (gráfico de deméritos), una versión de un gráfico de  $Q$  en el cual los deméritos se utilizan como coeficiente de ponderación
- i) Gráfico de respuesta múltiple:

Gráfico de control para evaluar un proceso en términos de las respuestas de dos o más características combinadas como un estadístico individual para el subgrupo. Cuando las variables o las características involucradas son independientes entre ellas (no correlacionadas), generalmente se representa un estadístico  $\chi^2$ . Cuando hay correlación entre las características, se acostumbra representar un estadístico  $T^2$  (véase la NC-ISO 3534-1)

Gráfico de tendencia:

Gráfico de control para evaluar el nivel del proceso en términos de la desviación del promedio del subgrupo respecto a una tendencia esperada en el nivel del proceso. La tendencia se puede determinar empíricamente o por técnicas de regresión.

**9.2.2 Gráficos en los que se usan datos acumulados procedentes de más de un subgrupo para cada valor representado**

Estos gráficos son:

- a) Gráficos de medias móviles y de recorridos móviles:

Promedio no ponderado de las última  $n$  observaciones, en las cuales la observación actual ha reemplazado a la más antigua de las  $n$  observaciones anteriores. Este tipo de gráfico se utiliza para obtener ventajas de promediar para minimizar la variabilidad aleatoria, en especial cuando solo se dispone de una observación por subgrupo, tiene la desventaja de un efecto de transferencia no ponderado que permanece a través de  $n$  puntos.

En algunas situaciones, las observaciones individuales (  $n = 1$  ), se representan en un gráfico de  $\bar{X}$  y de recorridos móviles ( por lo general,  $n = 2$  ), en un gráfico del recorrido. Estos gráficos sacrifican las ventajas de promediar en términos de minimizar la variabilidad aleatoria y la premisa de la distribución normal, pero sin embargo suministran ayuda visual al evaluar los datos.

- b) Gráficos de medias móviles ponderadas exponencialmente ( PMPE ), o gráficos aproximados exponencialmente o ponderados geoméricamente:

Se promedian las observaciones individuales o los promedios del subgrupo basados en conjunto de datos anteriores, pero a los tomados en tiempos anteriores se le asignan ponderaciones progresivas más pequeñas. Debido al efecto de transferencia que se refuerza, este gráfico generalmente es más sensible a pequeños desvíos en nivel que el gráfico común de control de Shewhart de  $3\sigma_e$ . El gráfico de PMPE suministra una estimación rápida del promedio del proceso, que es especialmente útil cuando el objetivo es decidir si se ha de ajustar un proceso y en que magnitud.

- c) Gráficos de sumas acumulativas ( gráfico cusum):

Se representan las sumas acumuladas de las desviaciones de observaciones individuales o promedios de subgrupo con respecto a un valor de referencia. Se identifican las tendencias que hay en el gráfico mediante un patrón de decisión. La forma más popular es un patrón en forma de V ( truncada). Este gráfico, debido al efecto de transferencia que se refuerza, generalmente es más sensible a desviaciones pequeñas en el nivel que el gráfico de Shewhart de  $3\sigma_e$ . La representación visual, cuando se usa el patrón V, a menudo es útil para localizar el comienzo de una desviación en el nivel.

## 10 Gráficos de control para aceptación

### 10.1 Generalidades

El gráfico de control para aceptación es un método gráfico para el doble propósito de evaluar un proceso en términos de que:

- a) El proceso esté o no en un "estado de control estadístico " con respecto a la variabilidad dentro de la muestra o dentro del subgrupo; y
- b) Se pueda esperar o no la satisfacción de los requisitos del producto o del servicio para la(s) característica (s) que se esté (n) midiendo.

El énfasis del gráfico de control para la aceptación, a diferencia de un gráfico de control convencional, esta en que generalmente el proceso no necesita permanecer bajo control con respecto a algún nivel particular del proceso estándar, pero con tal que la variabilidad dentro del subgrupo permanezca bajo control, puede seguir a cualquier nivel o niveles dentro de alguna zona de niveles del proceso establecidos mediante consideraciones empíricas. Se supone que algunas causas asignables crearán desviaciones en el nivel del proceso; pero éstas son tan pequeñas en relación con los requisitos del producto o del servicio, que sería antieconómico intentar controlarlas rígidamente; es decir, mantener demasiado ajustado el centrado de un proceso demasiado ajustado

puede ser excesivamente costoso por el valor recibido a cambio, y podría introducir más variabilidad. Por otra parte, algunas desviaciones del nivel del proceso son tan grandes que vale la pena detectarlas oportunamente, y el riesgo de no detectarlas es muy importante. Una ventaja del gráfico de control para aceptación es que evita el “sobrecontrol”, es decir, evita hacer correcciones innecesarias en el proceso. Esa corrección excesiva a menudo da como resultado un proceso menos estable porque los ajustes del proceso frecuentemente son innecesarios y dan lugar a correcciones adicionales. Para los niveles del proceso dentro de la “zona de procesos aceptables”, el efecto de las correcciones puede ser introducir variabilidad en vez de reducirla.

La característica fundamental que distingue al gráfico de control para aceptación, del gráfico de control de Shewhart y gráficos de control relacionados, es la consideración de los requisitos, lo cual no es un elemento de un “estado de control estadístico”.

El supervisor o el experto en calidad define una zona de proceso aceptables limitada por niveles de proceso aceptable y conjunto de niveles de proceso rechazable. A continuación, se determina el tamaño requerido de la muestra para satisfacer el riesgo alfa especificado de rechazar procesos que deberían aceptar, y también se determina el riesgo beta de aceptar procesos que deberían rechazar. A partir de estos criterios, se calculan los límites de control especiales que se han de colocar en el gráfico y sirven de criterio de decisión para el operador. Para verificar el “estado de control estadístico”, se requiere el gráfico de control correspondiente a la variabilidad dentro del subgrupo. Hay bastante flexibilidad en el diseño del gráfico de control, incluyendo el uso de límites no simétrico, en los casos en que sea apropiado.

## 10.2 Gráfico de control modificado o gráfico de control con límites modificados

Caso especial donde un gráfico de control para aceptación relaciona la localización de los límites de control con los requisitos de tolerancia igualando, los “límites naturales del proceso” (definidos como los límites de  $3\sigma$  para datos individuales), a los límites de tolerancia. Los límites de control se fijan entonces en

$$(3 - 3/\sqrt{n}) \sigma$$

Dentro de los límites de tolerancia para crear límites de control modificados. Este criterio es válido, pero la técnica no define el riesgo beta para niveles del proceso rechazables, especificados ni tampoco suministra reglas para determinar el tamaño de la muestra. A veces los límites de control se fijan en

$$(3 - 2/\sqrt{n}) \sigma$$

en algunas aplicaciones para establecer límites más conservadores. Para más detalles, véase también la norma ISO 7966.

### 10.3 Listado parcial de gráficos de control para aceptación

#### 10.3.1 Gráficos de control para aceptación

Los gráficos de control para aceptación proporcionan el nivel aceptable del proceso relacionado con el riesgo alfa de rechazar un proceso bueno, y el nivel rechazable del proceso relacionado con el riesgo beta de aceptar una desviación del proceso que origine demasiadas unidades no conformes, o cuyo centro se desvíe de la meta en más de una cantidad razonable.

Los gráficos son los siguientes:

- a)  $\bar{X}$  y R (gráfico de control para aceptación para medias y para recorridos);
- b) p (gráfico de control para aceptación para porcentaje o proporción);
- c) c (gráfico de control para aceptación de conteo).

#### 10.3.2 Gráficos de control modificados

Los gráficos de control modificados proporcionan los límites de control relacionando el nivel del proceso asociado con el riesgo alfa con los límites de tolerancia.

### 11 Gráficos de control adaptativos

El gráfico de control adaptativo es útil para situaciones en las cuales se pueden hacer ajustes al proceso, y en las cuales es importante la adhesión estricta al nivel nominal. El gráfico de control adaptativo implica el uso de modelos de predicción de diversos grados de complejidad para prever en dónde se permitirá que el proceso continúe tal como está operando actualmente, y aplicar acción correctiva rápida para evitar que el proceso se aleje del nivel nominal. Puesto que los elementos del modelo predictivo dependen mucho del proceso, los gráficos de control adaptativos generalmente son específicos para la aplicación o para las aplicaciones en particular. En estos gráficos, a diferencia de los dos tipos anteriores, se utilizan estimaciones predictivas de los niveles del proceso basadas en el supuesto de que el proceso continuará a lo largo de su trayectoria actual, y se requieren cambios en el proceso por anticipado para evitar cualquier desviación pronosticada respecto del objetivo del proceso. Cuando el modelo predictivo es bueno, el enfoque puede ser muy efectivo para reducir la variabilidad. Si el modelo predictivo es deficiente, es probable que se incremente la variabilidad.

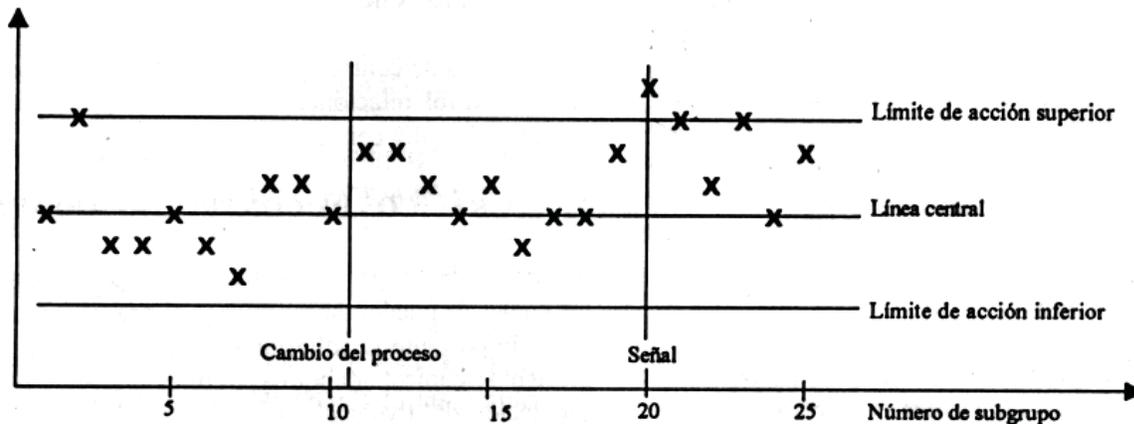
### 12 Riesgos relacionados con las decisiones basadas en gráficos de control. Criterios de efectividad.

Los gráficos de control señalan irregularidades tales como desviaciones en el nivel de proceso. Hay dos tipos de errores inherentes en cualquier procedimiento estadístico para la toma de decisiones. Para la aplicación de los gráficos de control, estos son:

- a) Errores de primera clase (errores de tipo I) en los cuales se concluye que han ocurrido unas desviación, cuando en realidad no ha ocurrido ninguna. Estos errores dan lugar a gastos rela-

cionados con el sobrecontrol (ajustes superfluos) o a investigaciones innecesarias acerca de problemas inexistentes.

- b) Errores de segunda clase (errores de tipo II) en los cuales no se detectan una desviación en el nivel. Estos errores dan lugar a desperdicio debido a gastos relacionados a un proceso insatisfactorio (un proceso que da como resultado una cantidad sustancial de elementos de producto o servicio insatisfactorio) que no se detuvo con prontitud, y debido a la falta de oportunidades para identificar las causas de variación del proceso.



**Figura 1- Ejemplo de una longitud de corrida de 10 subgrupos entre un cambio del proceso y una señal del gráfico de control**

Para una configuración dada de gráfico de control, incluyendo el tamaño de la muestra y los límites utilizados, una curva característica de operación (CO) muestra la probabilidad de reconocer una desviación del nivel del proceso en un momento dado como una función del nivel del proceso. Este uso de la curva característica de operación es útil únicamente para gráficos de control de Shewhart y gráficos de control para la aceptación que tratan cada decisión con base en el último dato. Para los gráficos del promedio móvil ponderado exponencialmente y para los gráficos de sumas acumuladas en donde se incluye información procedente de observaciones pasadas, el uso de la curva característica de operación no es práctico, y generalmente es más conveniente tratar con el promedio de longitud de corrida (PLC) antes de encontrar una señal.

En este contexto la longitud de corrida se define como el número de subgrupos examinados desde el momento en que ocurre un cambio en el proceso hasta el momento en que el gráfico de control señala que el cambio ha ocurrido. Por ejemplo, en la figura 1, ocurrió un cambio en el promedio del proceso entre los puntos 10 y 11, pero no fue señalado sino cuando se representó el punto 20, de modo que la longitud de la corrida es 10 subgrupos. En otras ocasiones en que ocurre un cambio en el promedio del proceso de la misma magnitud, la longitud de la corrida podría ser quizá 5 o 20 subgrupos, o algún otro número, dependiendo de las variaciones aleatorias en la propiedad que se esté observando. Por tanto, para un tamaño en particular de cambio hay una distribución de longitudes de corrida posibles. Para el propósito de diseñar gráficos de control es conveniente utilizar el promedio de esta distribución, la PLC. La PLC se puede utilizar para dar una indicación del tiempo en que un gráfico de control puede permitir que un proceso opere fuera de control, o fuera del objetivo, pero se debe recordar que a veces la longitud de corrida real puede ser más larga o más corta que la PLC.

Para un proceso localizado en su nivel especificado es deseable una PLC larga (de tal modo que se minimice el requerimiento de investigación o acción correctiva innecesaria) y para un proceso desviado hasta algún nivel indeseable es conveniente una PLC corta (de tal modo que se requerirá acción correctiva con prontitud). Las curvas de PLC se pueden utilizar para cualquier de los gráficos de control con el propósito de describir la rapidez relativa en detectar desviaciones en los niveles de diversos sistemas de gráfico de control.

### **13 Consideraciones Económicas**

La determinación de la frecuencia de muestreo es un elemento importante al evaluar el impacto económico de los riesgos alfa y beta. Esto es más importante para propósitos de aceptación de procesos, que para determinar si existen “estado de control estadístico”. El trabajo que se desarrolla a partir de tales estudios económicos da lugar a diversas recomendaciones específicas para la selección del “gráfico de control económico”.

Las consideraciones acerca de recomendaciones específicas para el tamaño de la muestra y la frecuencia atañen a las normas típicas individuales de los gráficos de control. Una orientación general es que en las etapas iniciales de la operación del gráfico de control, a menudo es deseable obtener conclusiones rápidas mediante la toma de muestras con mayor frecuencia. A medida que el proceso se estabiliza y que se entiende su comportamiento; la frecuencia del muestreo se puede reducir. Las muestras más grandes pueden ser útiles para detectar pequeñas desviaciones en los niveles del proceso, pero la toma de muestras más pequeñas con mayor frecuencia puede ser útil para detectar cambios considerables con mayor prontitud.

**Bibliografia**

- [1] ARCIAN, L. A. and LEVENE, H. The Effectiveness of Quality Control Charts. Journal of the American Statistical Association, 45 (252), December 1950, pp. 520 – 529.
- [2] BARNARD, G.A. Control Charts and Stochastic Processes. Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 21 (24), 1959, pp. 239-271.
- [3] BOX, G.E.P. and JENKINS, G.M., mathematical Models for Adaptative Control and Optimization. Preprints of the AIChE, The Institution of Chemical Engineers, Joint Meeting, London, England, June 1965, Section 4, pp. 53-60.
- [4] DUNCAN, A.J. Quality Control and Industrial Statistics. 5<sup>th</sup> Edition, Richard D. Irwin, Inc., Homewood, IL, 1986.
- [5] FERREL, E.B. A Median, Migrange Chart Using Run-Size Subgroups. Industrial Quality Control, 20 (10), April 1964, pp. 1-4.
- [6] FREUND, R.A. Acceptance Control Charts. Industrial Quality Control, 14 (4), October 1957, pp. 13-23.
- [7] FREUND, R.A. Control Chart Eliminate Disturbance Factors. Chemical Engineering, January 31, 1966, pp. 79-76.
- [8] GIBRA, Isaac N. Recent Developments in Control Chart Techniques. Journal of Quality Technology, 7 (4), October 1975, pp. 183-192.
- [9] GRANT, E.L. and LEAVENWORTH, R.S. Statistical Quality Control. 6th Edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1988.
- [10] ISHIKAWA, K. Guide to Quality Control. Asia Productivity Organization, Unipub, New York, 1976.
- [11] JOHNSON, N. L. And LEONE, F. C. Cumulative Sum Control Charts: Mathematical Principles Applied to Construction and Use, Part I . Industrial Quality Control, 18 (12), June 1962, pp. 15-21.
- [12] JOHNSON, N.L. and LEONE, F.C. Cumulative Sum Control Charts: Mathematical Principles Applied to Construction and Use, Part II. Industrial Quality Control, 19 (1), July 1962, pp. 29-36.
- [13] MONTGOMERY, D.C. and KLATT, P.J. Economic Desing of T Control Charts to Maintain Current Control of a Process. Management Science, 19 (1), September 1972, pp. 76-89.
- [14] PAGE, E.S. Continuous Inspection Schemes. Biometrika, 41, 1954, pp. 100-115
- [15] PAGE, E.S. Cumulative Sum Charts. Thnometrics, 3 (1), February 1961, pp. 1-9.

- [16] SHEWHART, W.A. Economic Control of Quality of Manufactured Product (originally D. Van Nostrand Co. Inc., New York, 1931), republished by American Society for Quality Control, Inc., Milwaukee, WI, 1980.
- [17] SHEWHART, W.A. Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control , The Graduate School, Department of Agriculture, Washington, DC, 1939.
- [18] TIAGO DE OLIVEIRA, J. And LITTAUER, S.B. Techniques for Economic Use of Control Charts. Revue de Statistique Appliquée, 14 (3), 1966.