

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 DE SHEWHART (ISO 8258:1991, IDT)

Shewhart control charts

ICS: 03.120.30

1. Edición

Mayo 2002

REPRODUCCIÓN 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 aprobación de las Normas Cubanas es competencia de la Oficina Nacional de Normalización.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el NC/CTN 12 de Aplicaciones de Métodos Estadísticos, en el que están representadas las siguientes Instituciones:
 - 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 de la Construcción
 - OTN de Cienfuegos
 - OTN de Ciudad de La Habana
 - Centro de Neurociencias
 - Instituto de Investigaciones del Transporte
 - Instituto de Investigaciones de la Industria Alimenticia-MINA
 - Unión de Confecciones-MINIL
 - Centro de Tecnología y Calidad - SIME
 - Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos-MINSAP
 - Centro de Estudios de Población y Desarrollo
 - Ministerio de Finanzas y Precios
 - Banco Nacional de Cuba
 - Ministerio del Comercio Exterior
 - Unión de la Industria Militar-MINFAR
 - Cadena ISLAZUL
 - Oficina Nacional de Normalización
- Es una adopción idéntica por el método de traducción de la ISO 8258:1991 *Shewhart Control Charts*.
- Presenta pequeños cambios en la redacción que no afectan su identidad en correspondencia con lo establecido en el apartado 3.8 de la NC-ISO/IEC Guía 21:1999 *Adopción de Normas Internacionales como Normas Regionales o Nacionales*.
- Consta del Anexo A, informativo.

© NC, 2002

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 Alcance.....	1
2 Símbolos.....	1
3 Naturaleza de los gráficos de control de Shewhart.....	2
4 Tipos de gráficos de control.....	5
4.1 Gráficos de control donde no se dan valores estándares.....	5
4.2 Gráficos de control con respecto a valores estándares dados.....	5
4.3 Tipos de gráficos de control por variables y por atributos.....	5
5 Gráficos de control de variables.....	6
5.1 Gráfico de promedios (X) y de recorridos (R) o de desviaciones típicas (s).....	7
5.2 Gráfico de control para valores individuales (X).....	9
5.3 Gráfico de control para medianas (Me).....	10
6 Procedimiento de control e interpretación para gráficos de control por variables.....	11
7 Dósimas de patrones para causas asignables de variación.....	12
8 Control del proceso y capacidad del proceso.....	13
9 Gráfico de control por atributos.....	15
10 Consideraciones preliminares antes de iniciar un gráfico de control.....	17
10.1 Selección de características de calidad.....	17
10.2 Análisis del proceso de producción.....	18
10.3 Selección de subgrupos racionales.....	18
10.4 Frecuencia y tamaño de las muestras.....	19
10.5 Recolección de datos preliminares.....	19
11 Pasos para la elaboración de gráficos de control.....	19
12 Ejemplos ilustrativos: Gráficos de control por variables.....	22
12.1 Gráfico X y gráfico R: Se dan valores estándares.....	22
12.2 Gráfico X y gráfico R: No se dan valores estándares.....	23
12.3 Gráficos de control para valores individuales, X, y recorridos móviles, R: No se dan valores estándares.....	27
12.4 Gráfico de mediana. No se dan valores estándares.....	28
13 Ejemplos ilustrativos: Gráficos de control por atributos.....	30
13.1 Gráfico p y gráfico np: No se dan valores estándares.....	30
13.2 Gráfico p: No se dan valores estándares.....	33
13.3 Gráfico c: no se dan valores estándares.....	35
13.4 Número de no conformidades por elemento: gráfico <i>u</i>	36
Bibliografía.....	39

Introducción

El enfoque tradicional de la fabricación se basa en la dependencia de la producción para elaborar el producto y en el control de la calidad para inspeccionar el producto final y eliminar los elementos que no cumplen las especificaciones. Por lo general esta estrategia de detección es derrochadora y poco económica, porque implica la inspección “a posteriori” cuando ya se ha elaborado la producción inútil. En su lugar resulta mucho más eficiente instituir una estrategia de prevención para evitar el derroche al no elaborar un producto inútil en primer lugar. Esto se puede lograr si recopilamos información sobre el proceso y la analizamos para emprender acciones sobre el propio proceso.

El gráfico de control como medio gráfico de aplicación de principios estadísticos de significación para el control de un proceso productivo fue propuesto por primera vez en 1924 por el Dr. Walter Shewhart (1). La teoría del gráfico de control reconoce dos tipos de variabilidad. El primer tipo es la variabilidad aleatoria debida a “causas aleatorias” (también conocidas como “causas comunes”). Está originada por la amplia variedad de causas que siempre están presentes y no son fácilmente identificables, y donde cada una constituye un componente muy pequeño de la variabilidad total, pero ninguna aporta una cantidad significativa. Sin embargo, la suma de las contribuciones de todas estas causas aleatorias no identificables es medible y se asume como inherente al proceso. La eliminación o corrección de causas comunes requiere una decisión de la dirección para asignar recursos destinados a mejorar el proceso y el sistema.

El segundo tipo de variabilidad representa un cambio real en el proceso, el cual se puede atribuir a algunas causas identificables que no forman parte inherente del proceso y que, al menos teóricamente, se pueden eliminar. Estas causas identificables se conocen como “causas asignables” o “causas especiales” de variación. Se pueden atribuir a la falta de uniformidad en el material, a una herramienta defectuosa, a la mano de obra o a los procedimientos, o a un funcionamiento irregular de los equipos de producción o ensayo.

Los gráficos de control ayudan a detectar patrones no naturales de variación en los datos resultantes de procesos repetitivos, y aportan criterios para detectar una falta de control estadístico. El proceso se encuentra en control estadístico cuando la variabilidad está originada solamente por causas aleatorias. Una vez determinado este nivel aceptable de variación, se toma toda desviación de ese nivel como el resultado de causas asignables que se deben identificar y eliminar o reducir.

El objetivo del control estadístico del proceso es servir para establecer y mantener un proceso a un nivel aceptable y estable de modo que se garantice la conformidad de los productos y servicios con los requisitos especificados. La herramienta estadística fundamental que utilizamos para hacerlo es el gráfico de control, que constituye un método gráfico de presentar y comparar la información a partir de una secuencia de muestras que representan el estado actual de un proceso con respecto a los límites establecidos tras haberse considerado la variabilidad inherente del proceso. El método de gráficos de control nos ayuda ante todo a evaluar si el proceso ha alcanzado el estado de control estadístico, o si aún lo mantiene, en el nivel especificado, y luego a obtener y mantener el control, así como un elevado grado de uniformidad en las características más importantes de un producto o servicio, mediante la utilización permanente de un registro de la calidad del producto mientras avanza la producción. El uso de un gráfico de control y su análisis cuidadoso nos permiten conocer mejor el proceso y perfeccionarlo.

GRAFICOS DE CONTROL DE SHEWHART

1 Alcance

Esta Norma Internacional establece una guía para el uso y comprensión del gráfico de control de Shewhart como un enfoque de los métodos para el control estadístico de un proceso.

Esta Norma se limita al tratamiento de métodos de control estadístico del proceso que solamente usan el sistema Shewhart de gráficos. Se presentan brevemente algunos materiales de apoyo que son consistentes con el enfoque Shewhart, por ejemplo, el uso de límites de advertencia, el análisis de patrones de tendencia y la capacidad del proceso. Sin embargo, hay otros tipos de procedimientos de tipos de gráficos de control, una descripción general se puede encontrar en la NC/ ISO 7870.

2 Símbolos

n Tamaño del subgrupo, el número de observaciones de la muestra por subgrupo

k Número de subgrupos

X Valor de la característica de calidad medida (los valores individuales aparecen expresados como $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$). En ocasiones se utiliza el símbolo Y en lugar de X

\bar{X} (X con una barra) Valor promedio del subgrupo

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$\bar{\bar{X}}$ (X con doble barra) Valor promedio de los promedios de los subgrupos

μ Valor medio real del proceso.

Me Valor de la mediana de un subgrupo. Para un conjunto de n números X_1, X_2, \dots, X_n dispuestos en orden de magnitud ascendente o descendente, la mediana es el número del medio del conjunto si n es impar y la media de los dos números del medio si n es par.

\bar{Me} Valor promedio de las medianas de los subgrupos.

R Recorrido del subgrupo: diferencia entre las observaciones mayor y menor de un subgrupo.

NOTA 1: En el caso de los gráficos para valores individuales, la R representa el recorrido móvil, que es el valor absoluto de la diferencia entre dos valores sucesivos $|X_1 - X_2|$, $|X_2 - X_3|$, etc.

\bar{R} Valor promedio de los valores R para todos los subgrupos.

s Desviación típica muestral

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

\bar{s} Valor promedio de las desviaciones típicas muestrales del subgrupo.

σ Valor real de la desviación típica del proceso dentro de los subgrupos.

$\hat{\sigma}$ Valor estimado de la desviación típica del proceso dentro de los subgrupos.

p Proporción o fracción de elementos no conformes en un subgrupo.

$$p = \frac{\text{número de elementos no conformes en un subgrupo}}{\text{tamaño del subgrupo}}$$

\bar{p} Valor promedio de la proporción o fracción no conforme

$$\bar{p} = \frac{\text{Número de elementos no conformes en todos los subgrupos}}{\text{Número total de elementos inspeccionados}}$$

np número de elementos no conformes en un subgrupo

c número de no conformidades en un subgrupo

\bar{c} Valor promedio de los valores c para todos los subgrupos

u Número de no conformidades por elemento en un subgrupo

\bar{u} Valor promedio de los valores u

$$\bar{u} = \frac{\text{Número de no conformidades en todos los elementos}}{\text{Número total de elementos inspeccionados}}$$

3 Naturaleza de los gráficos de control de Shewhart.

Un gráfico de control de Shewhart requiere datos obtenidos por muestreo del proceso a intervalos aproximadamente regulares. Los intervalos se pueden definir en términos de tiempo (por ejemplo, cada una hora) o de cantidad (cada lote). Usualmente, cada subgrupo consiste en el mismo producto o servicio con los mismos elementos medibles y un mismo tamaño de subgrupo. De cada subgrupo se derivan una o más características de subgrupo, tales como el promedio del subgrupo, \bar{X} , el recorrido del subgrupo, R , o la desviación típica, s . El gráfico de control de Shewhart es un gráfico de valores de una característica dada del subgrupo con respecto al número del subgrupo. Consiste en una línea central (LC) que se encuentra en un valor de referencia de la característica ploteada. Al evaluar si existe o no un estado de control estadístico, el valor de referencia es por lo general el promedio de los datos considerados. Para el proceso de control, el valor de referencia es por lo general el valor a largo plazo de la característica según se establece en las especificaciones del producto, o un valor nominal de la característica ploteada, sobre la base de experiencias anteriores con el proceso o a partir de valores esperados del producto o servicio. El gráfico de control tiene dos límites de control estadísticamente determinados, uno a cada lado de la línea central, que se denominan límite de control superior (LSC) y límite de control inferior (LIC) (vea la figura 1).

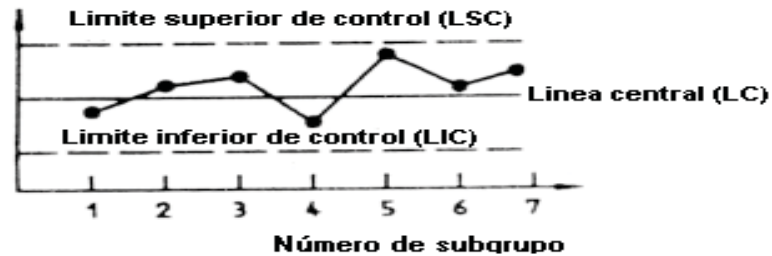


Figura 1 - Trazado de un gráfico de control

Los límites de control en los gráficos de Shewhart están a una distancia de 3σ a cada lado de la línea central, donde σ es la desviación típica de la población dentro del subgrupo del estadístico planteado. La variabilidad dentro del subgrupo se usa como medida de la variación aleatoria. Se calculan las desviaciones típicas muestrales o los múltiplos apropiados de recorridos muestrales para dar un estimado de σ . Esta medida de σ no incluye la variación entre subgrupos, sino sólo los componentes dentro de los subgrupos. Los límites de 3σ indican que aproximadamente el 99.7 % de los valores de los subgrupos se incluirán dentro de los límites del control, siempre que el proceso esté en control estadístico. Dicho de otra forma, hay un riesgo aproximado del 0.3 %, o un promedio de tres veces en mil, de que un punto planteado esté fuera del límite de control superior o inferior si el proceso está en control estadístico. Se utiliza la palabra "aproximado" porque las estimaciones con respecto a suposiciones inherentes, tales como la forma de la distribución de los datos, afectará los valores de probabilidad.

Se debe señalar que algunos especialistas prefieren usar el factor 3,09 en vez del 3 para dar un valor de probabilidad nominal (riesgo aproximado) de 0,2 % o un promedio de una observación no verídica por mil, pero Shewhart seleccionó 3 para no estimular ningún intento de considerar probabilidades exactas. De igual modo, algunos especialistas usan valores de probabilidad reales para los gráficos basados en distribuciones no normales, tales como para recorridos y fracción de no conformidades. Una vez más, el gráfico de control de Shewhart utilizó límites de $\pm 3\sigma$, en vez de los límites probabilísticos, teniendo en cuenta el énfasis en la interpretación empírica.

La posibilidad de que una violación de los límites sea realmente un evento causal y no una señal real se considera tan pequeña que, cuando aparece un punto fuera de los límites, se deben tomar medidas. Teniendo en cuenta que cuando esto ocurre, se requieren medidas, los límites de control de 3σ , se denominan en ocasiones "límites de acción".

Muchas veces resulta también ventajoso marcar límites de 2σ en el gráfico. Entonces, todo valor de muestra que se encuentre fuera de los límites de 2σ puede servir para alertar ante una inminente situación de falta de control. Como tales, los límites de control de 2σ se denominan en ocasiones "límites de advertencia".

Son posibles dos tipos de errores cuando se aplican gráficos de control. El primero se conoce como error tipo 1, que ocurre cuando el proceso en cuestión se mantiene en control, pero un punto cae fuera de los límites de control por causas aleatorias. Como resultado, llegamos a la errónea conclusión de que el proceso está fuera de control, y entonces incurrimos en costos al intentar encontrar la causa de un problema inexistente.

El segundo error se conoce como error tipo 2. Ocurre si el proceso en cuestión está fuera de control pero el punto generado cae aleatoriamente dentro de los límites de control. En este caso, llegamos a la errónea conclusión de que el proceso está en control estadístico, y existe un costo asociado al fallar en los intentos por detectar un aumento de no conformidades. Sin embargo, el riesgo de cometer un error de tipo 2 depende de tres factores: el ancho de los límites de control, el grado en que el proceso está fuera de control, y el tamaño de la muestra. La naturaleza de estos elementos es tal que sólo se puede especular acerca de la magnitud del riesgo de un error tipo 2.

El sistema Shewhart tiene en cuenta solamente el error tipo 1 y el tamaño de este error es de 0.3% con límites de 3σ . Debido a que generalmente no es práctico hacer un estimado significativo del costo de un error tipo 2 en una situación dada, y que conviene seleccionar arbitrariamente un tamaño pequeño de subgrupo, por ejemplo, de 4 ó 5, resulta apropiado y factible utilizar los límites de 3σ y centrar la atención en controlar y mejorar el desempeño del propio proceso.

Cuando un proceso está en control estadístico, el gráfico de control constituye un método para el ensayo continuo de una hipótesis estadística nula de que el proceso no ha cambiado y se mantiene en control estadístico. Teniendo en cuenta que por lo general las desviaciones específicas de la característica del proceso con respecto al valor esperado que puedan tener interés no están definidas de antemano, al igual que el riesgo de un error tipo 2, y que el tamaño de la muestra no está calculado para satisfacer niveles de riesgos apropiados, el gráfico de control de Shewhart no se debe considerar como el ensayo de una hipótesis. (Vea la ISO 7966 y la ISO 7870). Shewhart enfatizó la utilidad empírica del gráfico de control para reconocer desviaciones de un proceso "en control" y restó énfasis a la interpretación probabilística. Algunos usuarios examinan las curvas las características de operación como un medio de interpretar el ensayo de hipótesis.

Cuando un valor ploteado cae fuera de alguno de los límites de control o cuando una serie de valores refleja patrones inusuales tales como los descritos en el apartado 7, no se puede seguir aceptando el estado de control estadístico. Cuando esto ocurre, se inicia una investigación para localizar la causa asignable y el proceso puede ser detenido o ajustado. Una vez determinada y eliminada la causa asignable, el proceso está listo para continuar. Como se describió anteriormente, para un error tipo 1, en raras ocasiones no se puede encontrar una causa asignable, y en tales casos hay que llegar a la conclusión de que el punto fuera de los límites representa la ocurrencia de un evento muy infrecuente, una causa aleatoria que ha dado como resultado un valor fuera de los límites de control incluso si el proceso se encuentra bajo control.

Cuando se elaboran por primera vez los gráficos de control para un proceso, es frecuente que el proceso se halle fuera de control. Los límites de control calculados a partir de los datos de un proceso de fuera de control conducirían a conclusiones erróneas porque estarían demasiado alejados entre sí. Como consecuencia, siempre es necesario lograr el control de un proceso fuera de control antes de que se establezcan parámetros permanentes del gráfico de control. En los apartados siguientes se analiza el procedimiento de elaboración de gráficos de control para un proceso.

4 Tipos de gráficos de control.

Los gráficos de control de Shewhart son básicamente de dos tipos: gráficos de control por variables y gráficos de control por atributos. Para cada uno de los gráficos de control, existen dos situaciones distintas:

- a) cuando no se dan valores estándares, y
- b) cuando se dan valores estándares.

Los valores estándares son algunos requisitos especificados o valores esperados.

4.1 Gráficos de control donde no se dan los valores estándares.

El objetivo en este caso es descubrir si los valores observados de las características ploteadas, tales como \bar{X} , R o algún otro estadístico, varían entre sí en una cantidad mayor que la que se debe atribuir únicamente a causas aleatorias. Los gráficos de control basados totalmente en los datos tomados de las muestras se utilizan para detectar las variaciones no aleatorias.

4.2 Gráficos de control con respecto a valores estándares dados.

El objetivo en este caso es identificar si los valores observados de \bar{X} , etc., para diferentes subgrupos de n observaciones cada uno, difieren de los valores estándar respectivos X_o (ó μ_o), etc., en cantidades mayores que las que se espera sean debidas sólo a causas aleatorias. La diferencia entre los gráficos con valores estándares dados y aquellos en que no se dan valores estándares es el requisito adicional relativo a la ubicación del centro y la variación del proceso. Los valores especificados pueden estar basados en una experiencia obtenida con el uso de gráficos de control sin otro tipo de información previa ni valores estándares especificados. También pueden estar basados en valores económicos establecidos al considerarse la necesidad para el servicio y el costo de producción, o ser valores nominales establecidos en las especificaciones del producto.

Preferiblemente, los valores especificados se deben determinar a través de una investigación de "datos" preliminares que se suponga sean típicos de todos los datos futuros. Los valores estándares deben ser compatibles con la variabilidad inherente del proceso para un funcionamiento eficiente de los gráficos de control. Los gráficos de control basados en estos valores estándares se utilizan sobre todo durante la producción de un proceso en control y mantener la uniformidad del producto a un nivel deseado.

4.3 Tipos de gráficos de control por variables y por atributos

Se consideran los siguientes gráficos de control:

- a) Gráficos de control por variables:
 - 1) gráfico de promedios (\bar{X}), y gráfico de recorridos (R) o de desviaciones típicas (s)
 - 2) gráficos de valores individuales (X) y recorridos móviles (R)
 - 3) gráfico de medianas (Me) y gráfico de recorridos (R)

b) Gráficos de control por atributos:

- 1) gráfico de fracciones no conformes (p) o gráfico de número de elementos no conformes (np)
- 2) gráfico de número de no conformidades (c) o gráfico de no conformidades por elemento (u).

5 Gráficos de control por variables

Los datos de variables representan las observaciones obtenidas mediante la medición y el registro de la magnitud numérica de una característica para cada elemento del subgrupo en cuestión. Como ejemplos de mediciones de variables están la longitud en metros, la resistencia en ohm, el ruido en decibeles, etc.). Los gráficos de variables -y especialmente sus formas más habituales, los gráficos \bar{X} y R representan la aplicación clásica en la elaboración de gráficos para controlar un proceso.

Los gráficos de control por variables son particularmente útiles por varias razones:

- a) La mayoría de los procesos y sus resultados tienen características que son medibles, por lo que su potencial de aplicación es amplio.
- b) Un valor de medición contiene más información que una simple declaración de sí/ no.
- c) El desempeño de un proceso se puede analizar sin tener en cuenta la especificación. Los gráficos empiezan con el propio proceso y ofrecen una imagen independiente de lo que el proceso puede hacer. Después, el proceso se puede o no comparar con la especificación.
- d) Aunque la obtención de una serie de datos medidos resulta por lo general más costosa que la obtención de una serie de datos de pasa/no pasa, casi siempre los tamaños de los subgrupos para variables son mucho menores que en el caso de los atributos, y por tanto son más eficaces. Esto permite reducir el costo total de inspección total en algunos casos y acortar el tiempo transcurrido entre la producción de piezas y la acción correctiva.

Para la variabilidad dentro de la muestra en todas las aplicaciones del gráfico de control por variables consideradas en esta Norma Internacional se asume una distribución normal (Gaussiana), y las desviaciones de esta suposición influirán en el desempeño de los gráficos. Los factores para calcular los límites de control fueron estimados mediante la suposición de normalidad. Debido a que la mayor parte de los límites de control se utilizan como guías empíricas para tomar decisiones, no deben causar preocupación las desviaciones razonablemente pequeñas con respecto a la normalidad. En cualquier caso, debido al teorema del límite central, los promedios tienden a estar normalmente distribuidos incluso cuando no lo están las observaciones individuales; esto permite que sea razonable asumir la normalidad para los gráficos \bar{X} , incluso para tamaños de muestras hasta de 4 ó 5 para evaluar el control. Cuando se trata de observaciones individuales con fines de estudiar la capacidad del proceso, es importante la forma real de distribución. Se aconsejan los chequeos periódicos de la validez permanente de tales suposiciones, particularmente para garantizar que sólo se utilicen los datos de una única población. Es de señalar que la distribución de los recorridos y las desviaciones típicas no son normales, aunque se asumió una normalidad aproximada al estimarse las constantes para el cálculo de los límites de control, lo cual es satisfactorio para un procedimiento de decisión empírica.

5.1 Gráfico de promedios (\bar{X}) y de recorridos (R) o desviaciones típicas (s)

Los gráficos por variables pueden describir los datos del proceso tanto en términos de dispersión (variabilidad de elemento a elemento) y localización (tendencia central) (promedio del proceso). Por esta razón, los gráficos de control por variables casi siempre se elaboran y analizan en pareja - un gráfico para la ubicación y otro para la dispersión. La pareja más comúnmente utilizada es la de los gráficos \bar{X} y R. Las tablas 1 y 2 muestran las fórmulas de los límites de control y los factores para los gráficos de control por variables, respectivamente.

Tabla 1 — Fórmulas de los límites de control para gráficos de control por variables de Shewhart

Estadístico	No se dan valores estándares		Se dan valores estándares	
	Línea central	LIC y LSC	Línea central	LIC y LSC
\bar{X}	$\bar{\bar{X}}$	$\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ o $\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{s}$	X_0 ó μ	$X_0 \pm A\sigma_0$
R	\bar{R}	$D_3 \bar{R}, D_4 \bar{R}$	R_0 ó $d_2\sigma_0$	$D_1\sigma_0, D_2\sigma_0$
s	\bar{s}	$B_3 \bar{s}, B_4 \bar{s}$	s_0 ó $c_4\sigma_0$	$B_5\sigma_0, B_6\sigma_0$

NOTA: X_0, R_0, s_0, μ y σ_0 son valores estándares dados.

Tabla 2 - Factores para calcular las líneas de los gráficos de control

Observaciones en los subgrupos <i>n</i>	Factores para los límites de control											Factores para la línea central			
	<i>A</i>	<i>A</i> ₂	<i>A</i> ₃	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> ₅	<i>B</i> ₆	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄	<i>C</i> ₄	1/ <i>C</i> ₄	<i>d</i> ₂	1/ <i>d</i> ₂
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,797 9	1,253 3	1,128	0,886 5
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,886 2	1,128 4	1,693	0,590 7
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,921 3	1,085 4	2,059	0,485 7
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,940 0	1,063 8	2,326	0,429 9
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,951 5	1,051 0	2,534	0,394 6
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,959 4	1,042 3	2,704	0,369 8
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,965 0	1,036 3	2,847	0,351 2
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,969 3	1,031 7	2,970	0,336 7
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,972 7	1,028 1	3,078	0,324 9
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,975 4	1,025 2	3,173	0,315 2
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,977 6	1,022 9	3,258	0,306 9
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,979 4	1,021 0	3,336	0,299 8
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,981 0	1,019 4	3,407	0,293 5
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,982 3	1,018 0	3,472	0,288 0
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,983 5	1,016 8	3,532	0,283 1
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,984 5	1,015 7	3,588	0,278 7
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,985 4	1,014 8	3,640	0,274 7
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,986 2	1,014 0	3,689	0,271 1
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,986 9	1,013 3	3,735	0,267 7
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,987 6	1,012 6	3,778	0,264 7
22	0,640	0,167	0,647	0,534	1,466	0,528	1,448	1,659	5,979	0,434	1,566	0,988 2	1,011 9	3,819	0,261 8
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,988 7	1,011 4	3,858	0,259 2
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,989 2	1,010 9	3,895	0,256 7
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,989 6	1,010 5	3,931	0,254 4

Fuente: ASTM, Philadelphia, PA, USA.

5.2 Gráfico de control para valores individuales (X) y recorridos móviles (R)

En algunas situaciones del control del proceso, es imposible o poco práctico tomar subgrupos racionales. El tiempo o el costo requerido para medir una única observación es tan grande que no se puede considerar la repetición de observaciones. Esto ocurriría típicamente cuando las mediciones son costosas (p.e., en un ensayo destructivo) o cuando el resultado en un momento dado cualquiera es relativamente homogéneo. En otras situaciones hay sólo un valor posible, p.e., la lectura de un instrumento o una propiedad de un lote de insumos. En estos casos, es necesario que el control del proceso se base en lecturas individuales.

En el caso de gráficos para valores individuales, debido a que no hay subgrupos racionales que ofrezcan un estimado de variabilidad dentro del lote, los límites de control se basan en una medida de la variación obtenida frecuentemente de recorridos móviles de dos observaciones. El recorrido móvil es la diferencia absoluta entre pares sucesivos de mediciones en una serie, o sea, la diferencia entre la primera y segunda mediciones, luego entre la segunda y la tercera, y así sucesivamente. A partir de los recorridos móviles se calcula el recorrido móvil promedio \bar{R} y se utiliza para elaborar gráficos de control. Además, a partir de todos los datos se calcula el promedio general \bar{X} . La tabla 3 nos da las fórmulas de límites de control de gráficos de control para valores individuales.

Se debe tener cuidado con respecto a los gráficos de control para valores individuales.

- a) Los gráficos para valores individuales no son tan sensibles a los cambios del proceso como los gráficos \bar{X} y R.
- b) Se deben tomar precauciones en la interpretación de los gráficos para valores individuales si la distribución del proceso no es normal.
- c) Los gráficos para valores individuales no aíslan la repetibilidad de elemento a elemento en el proceso y, por tanto, puede ser mejor utilizar en algunas aplicaciones un gráfico \bar{X} y R convencional con pequeños tamaños de muestras de subgrupo (de 2 a 4) incluso si esto requiere un mayor período entre subgrupos.

Tabla 3 — Fórmulas de los límites de control para gráficos de control para valores individuales

Estadístico	No se dan valores estándares		Se dan valores estándares	
	Línea central	LSC y LIC	Línea central	LSC y LIC
Valor individual, X	\bar{X}	$\bar{X} \pm E_2 \bar{R}$	X_0 ó μ	$X_0 \pm 3\sigma_0$
Recorrido móvil, R	\bar{R}	$D_4 \bar{R}, D_3 \bar{R}$	R_0 ó $d_2 \sigma_0$	$D_2 \sigma_0, D_1 \sigma_0$
Notas				
1 X_0, R_0, μ y σ_0 son valores estándares dados				
2 R denota el recorrido móvil promedio de $n = 2$ observaciones				
3 El valor de los factores d_2, D_1, D_2, D_3, D_4 , e indirectamente $E_2 (= 3/d_2)$ se puede obtener de la tabla 2 para $n = 2$				

5.3 Gráfico de control para medianas (Me)

Los gráficos de medianas son alternativas de los gráficos \bar{X} y R para el control de un proceso con datos medidos; arrojan conclusiones similares y poseen varias ventajas específicas. Son fáciles de utilizar y no requieren de muchos cálculos. Esto puede incrementar la aceptación del enfoque de los gráficos de control en la línea de producción. Teniendo en cuenta que los valores individuales (así como las medianas) son ploteados, el gráfico de medianas muestra la dispersión de los resultados del proceso y ofrece una representación permanente de sus variaciones.

Los límites de control para los gráficos de medianas se calculan de dos formas: utilizando la mediana de las medianas del subgrupo y la mediana de los recorridos; o utilizando el promedio de las medianas del subgrupo y el promedio de los recorridos. En esta Norma Internacional se aborda sólo este último enfoque, que es más sencillo y conveniente.

Los límites de control se calculan de la forma siguiente:

5.3.1 Gráfico de mediana

Línea central = \overline{Me} = promedio de las medianas del subgrupo

$$LSC_{Me} = \overline{Me} + A_4 \bar{R}$$

$$LIC_{Me} = \overline{Me} - A_4 \bar{R}$$

El gráfico de recorrido se elabora en la misma forma que en el caso de los gráficos \bar{X} y R en 5.1.

Los valores de la constante A_4 aparecen en la tabla 4.

Tabla 4 — Valores de A_4

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A_4	1,88	1,19	0,80	0,69	0,55	0,51	0,43	0,41	0,36

Es de destacar que el gráfico de medianas con límites de 3σ ofrece una respuesta más lenta que un gráfico \bar{X} a las condiciones de falta de control.

5.3.2 Gráfico de recorridos

Línea central = \bar{R} = valor promedio de los valores de R para todos los subgrupos

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

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

Los valores de las constantes D_3 y D_4 aparecen en la tabla 2.

6. Procedimiento de control e interpretación para gráficos de control por variables.

El sistema Shewhart de gráficos estipula que si la variabilidad elemento a elemento del proceso y el promedio del proceso permanecieran constantes en sus niveles actuales (según los estimados con \bar{R} y \bar{X} respectivamente), los recorridos (R) y los promedios (\bar{X}) individuales del subgrupo variarían sólo aleatoriamente y rara vez irían más allá de los límites de control. De igual modo, no habrían tendencias o patrones evidentes en los datos, más allá de lo que ocurriría probablemente de modo aleatorio.

El gráfico \bar{X} muestra dónde la media del proceso está centrada e indica la estabilidad del mismo. El gráfico \bar{X} revela variaciones indeseables entre subgrupos en lo que se refiere a sus promedios. El gráfico R revela cualquier variación indeseable dentro de los subgrupos y es un indicador de la magnitud de la variabilidad de los procesos estudiados. Es una medida de la consistencia o la uniformidad del proceso. El gráfico R se mantiene en control si las variaciones dentro del subgrupo son esencialmente las mismas. Esto ocurre sólo si todas las muestras reciben el mismo tratamiento. Si el gráfico R no se mantiene en control o si su nivel aumenta, puede ser una indicación de que, o bien hay diferentes subgrupos sometidos a diferentes tratamientos, o hay varios sistemas causa-efecto diferentes operando en el proceso.

Los gráficos \bar{X} pueden también afectarse por las condiciones de falta de control del gráfico R. Debido a que la capacidad de interpretar los recorridos del subgrupo o los promedios del subgrupo dependen del estimado de la variabilidad elemento a elemento, se analiza primero el gráfico R. Se debe aplicar el siguiente procedimiento de control.

6.1 Recopilar y analizar los datos, calculando los promedios y los recorridos

6.2 Plotear primero el gráfico R. Comprobar los puntos de los datos con respecto a los límites de control para puntos fuera de control o para patrones o tendencias inusuales. Para cada indicación

de una causa asignable en los datos del recorrido, realizar un análisis de la operación del proceso para determinar la causa, corregir esa condición y evitar que se repita.

6.3 Excluir todos los subgrupos afectados por una causa asignable identificada; luego recalcular y plotear el nuevo recorrido promedio (\bar{R}) y los límites de control. Confirmar que todos los puntos del recorrido muestren control estadístico cuando se comparan con los nuevos límites repitiendo si es preciso la secuencia identificación / corrección / recálculo.

6.4 Si se quita algún subgrupo del gráfico R debido a causas asignables identificadas, se excluirá también del gráfico \bar{X} . Los valores \bar{R} y \bar{X} revisados se utilizarán para recalcular los límites de control del experimento para promedios, $\bar{X} \pm A_2 \bar{R}$

NOTA: La exclusión de subgrupos que representan condiciones fuera de control no es sólo “botar los datos malos”. Es más bien una posibilidad, al excluir los puntos afectados por causas asignables conocidas, de tener un mejor estimado del nivel de fondo de la variación debida a causas aleatorias. Esto a su vez constituye la base más apropiada para que los límites de control utilizados puedan detectar con más eficiencia las ocurrencias futuras de causas asignables de variación.

6.5 Cuando los recorridos están en control estadístico, se considera estable la dispersión del proceso (la variación dentro del subgrupo). Así se pueden analizar los promedios para comprobar si la ubicación del proceso está cambiando con el tiempo.

6.6 Ahora plotear el gráfico \bar{X} y chequear los puntos de datos con respecto a los límites de control para ver si alguno está fuera de los límites de control o detectar patrones o tendencias inusuales. Como en el gráfico R, analizar toda condición fuera de control y tomar acciones correctivas y preventivas. Excluir todo punto fuera de control para el que se hayan detectado causas asignables; recalcular y plotear el nuevo promedio del proceso (\bar{X}) y los límites de control. Confirmar que todos los puntos de datos están en control estadístico cuando se comparan con los nuevos límites, repitiendo si es preciso la secuencia identificación / corrección / recálculo.

6.7 Si los datos iniciales para establecer valores de referencia de los límites de control están y se mantienen consistentemente contenido dentro de los límites del experimento, extender los límites para cubrir los períodos futuros. Estos límites se utilizarán para el control permanente del proceso, y los individuos responsables (operador y/o supervisor) responderán con acciones rápidas a las señales de condiciones fuera de control en el gráfico \bar{X} o R.

7. Décimas patrones para causas asignables de variación.

En la figura 2 aparece una representación esquemática de una serie de ocho décimas adicionales utilizados para la interpretación de patrones en gráficos Shewhart. Para un análisis más completo de estas décimas, vea ⁽²⁾ y ⁽³⁾.

Aunque esto se puede tomar como un conjunto básico de décimas, los analistas deben de estar alertas ante cualquier patrón único de puntos que puedan indicar la influencia de causas especiales en sus procesos. Por tanto, estas décimas se deben considerar simplemente como reglas prác-

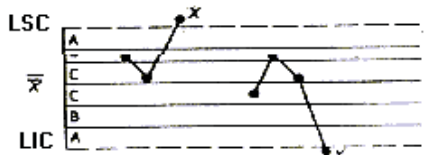
tics para la acción a emprender cuando se indica la presencia de causas asignables. Una indicación de alguna de las condiciones estipuladas en estas dójimas es una indicación de la presencia de causas asignables de variación que es preciso diagnosticar y corregir.

Los límites de control superior e inferior están dispuestos a una distancia de 3σ por encima y por debajo de la línea central. Para aplicar las dójimas, el gráfico de control se divide por igual en seis zonas, cada una de las cuales tiene 1σ de ancho. Estas zonas se denominan A, B, C, C, B, A, con las zonas C situadas simétricamente alrededor de la línea central. Estas dójimas se pueden aplicar a los gráficos \bar{X} y a los gráficos de valores individuales (X). Se asume una distribución normal.

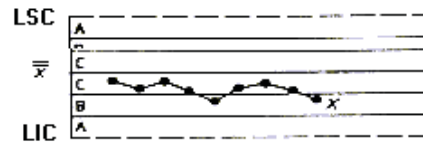
8. Control y capacidad del proceso

La función de un sistema de control del proceso es brindar una señal estadística de cuando hay presencia de causas asignables de variación. La eliminación sistemática de causas asignables de excesiva variación a través de determinados esfuerzos continuos, lleva el proceso a un estado de control estadístico. Una vez que el proceso está operando en control estadístico, se puede predecir su funcionamiento y se puede evaluar su capacidad de cumplir las especificaciones.

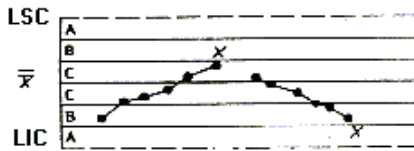
La capacidad del proceso está dada por la variación total resultante de causas comunes, es decir, la variación mínima que se puede alcanzar una vez eliminadas todas las causas asignables. La capacidad de proceso representa el desempeño del proceso en sí, como queda demostrado cuando el proceso se opera en un estado de control estadístico. Como tal, hay que llevar el proceso a un control estadístico antes de que se pueda evaluar su capacidad. Por tanto, la evaluación de la capacidad del proceso comienza cuando se han resuelto los aspectos de control tanto en los gráficos \bar{X} como en los R; o sea, cuando se han identificado, analizado, corregido y prevenido las causas especiales y los gráficos de control permanente reflejan un proceso que se ha mantenido en control estadístico preferiblemente en los últimos 25 subgrupos por lo menos. En general, la distribución del resultado del proceso se compara con las especificaciones de ingeniería para comprobar si éstas se pueden cumplir de forma consistente.



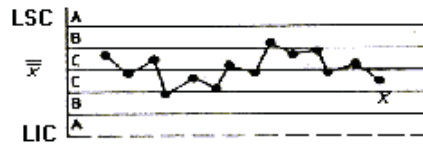
Dócima 1: Un punto más allá de la zona A



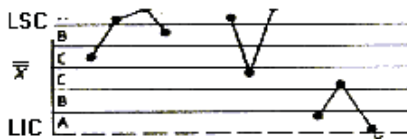
Dócima 2: Nueve puntos en línea en zona C ó más alla de la línea central



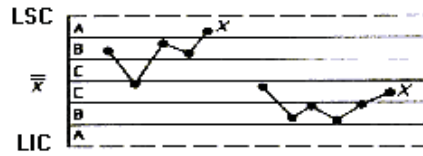
Dócima 3: Seis puntos en línea distribuídos uniformmte subiendo o bajando



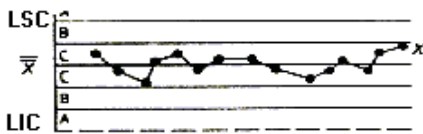
Dócima 4: Catorce puntos en línea arriba y abajo



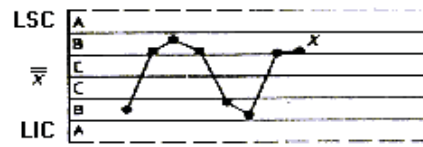
Dócima 5: Dos puntos de tres en línea en zona A ó más allá



Dócima 6: Cuatro puntos de cinco en línea en zona B ó más allá



Dócima 7: Quince puntos en línea en zona C por encima y por debajo de la línea central



Dócima 8: Ocho puntos en línea a ambos lados de la línea central y ninguno en zona C

Figura 2— Dótimas para causas asignables

Por lo general, la capacidad del proceso se mide en términos del índice de capacidad del proceso, ICP (ó c_p), de la forma siguiente:

$$ICP = \frac{\text{Tolerancia especificada}}{\text{Variabilidad del proceso}} = \frac{LST - LIT}{6 \sigma}$$

Donde:

LST Límite superior de tolerancia

LIT Límite inferior de tolerancia

σ se estima a partir de la variabilidad promedio dentro del subgrupo y está dada por $\frac{\bar{s}}{c_4}$ ó $\frac{\bar{R}}{d_2}$

Un valor del ICP menor que 1 indica que el proceso no tiene capacidad, mientras que para $ICP = 1$ el proceso tiene la capacidad justa. En la práctica, un valor de ICP igual a 1,33 se toma generalmente como el valor mínimo aceptable porque hay siempre algo de variación en el muestreo y ningún proceso está siempre en control estadístico total.

Sin embargo, hay que destacar que el ICP mide sólo la relación de los límites con la dispersión del proceso; no se tiene en cuenta la ubicación o el centrado del proceso. Con un valor elevado de ICP sería posible tener algún porcentaje de valores fuera de los límites de especificación. Por esta razón, es importante tener en cuenta la distancia a escala entre el promedio del proceso y el más cercano límite de especificación. El alcance de esta Norma Internacional no incluye otros análisis acerca de este tema.

En vistas del análisis anterior, podemos utilizar un procedimiento similar al que aparece en el esquema de la figura 3 como guía para ilustrar los pasos fundamentales que conducen al control y mejoramiento del proceso.

9 Gráficos de control por atributos

Los datos sobre los atributos representan observaciones obtenidas notando la presencia o ausencia de alguna característica (o atributo) en cada uno de los elementos del subgrupo en cuestión, y luego contando cuántos elementos poseen o no el atributo, o cuántos sucesos semejantes ocurren en el elemento, grupo o área. Los datos de atributos se obtienen por lo general con rapidez y sin altos costos, y a menudo no requieren habilidades especiales de recopilación. En la tabla 5 aparecen las fórmulas de límite de control para gráficos de control por atributos.

En el caso de gráficos de control por variables, es práctica común mantener un par de gráficos de control, uno para el control del promedio y el otro para el control de la dispersión. Esto es necesario porque la distribución inherente en los gráficos de control por variables es la distribución normal, la cual depende de estos dos parámetros. No obstante, en el caso de los gráficos de control por atributos, bastará un único gráfico debido a que la distribución asumida tiene sólo un parámetro independiente, que es el nivel promedio. Los gráficos p y np se basan en la distribución binomial, mientras que los gráficos c y u se basan en la distribución de Poisson.

Los cálculos para estos gráficos son similares excepto cuando la variabilidad del tamaño del subgrupo influya en la situación. Si el tamaño del subgrupo es constante, se puede utilizar el mismo conjunto de límites de control para cada subgrupo. Sin embargo, si varía el número de elementos inspeccionados en cada subgrupo, hay que calcular límites de control independientes para cada subgrupo. Por tanto, los gráficos np y c se pueden utilizar razonablemente con un tamaño de muestra constante, mientras que los gráficos p y u se pudieran utilizar en cualquier situación.

Si el tamaño de muestra varía entre una muestra y otra, se calculan límites de control independientes para cada muestra. Mientras menor sea el tamaño del subgrupo, más amplias serán las bandas de control, y viceversa. Si el tamaño del subgrupo no varía apreciablemente, entonces se puede utilizar un único conjunto de límites de control basado en el tamaño promedio del subgrupo. Con vistas a facilitar el trabajo, esto se ajusta bien a situaciones en las que el tamaño del subgrupo está dentro de $\pm 25\%$ del tamaño promedio del subgrupo.

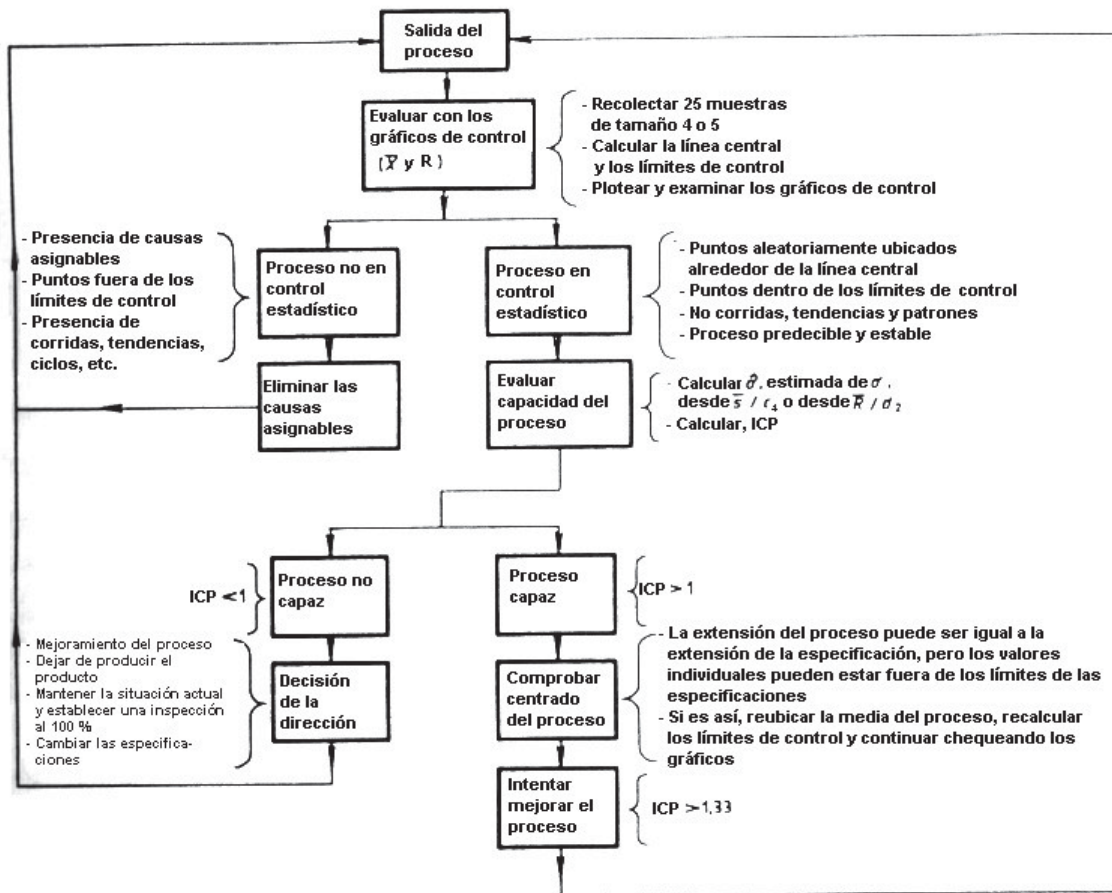


Figura 3 - Estrategia para mejoramiento del proceso

Tabla 5 — Fórmulas para el cálculo de los límites de control de Shewhart

Estadístico	No se dan valores estándares		Se dan valores estándares	
	Línea Central	Límites de Control para 3 σ	Línea Central	Límites de Control para 3 σ
p	\bar{p}	$\bar{p} \pm 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}$	p_0	$p_0 \pm 3\sqrt{p_0(1-p_0)/n}$
np	$n\bar{p}$	$n\bar{p} \pm 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	np_0	$np_0 \pm 3\sqrt{np_0(1-p_0)}$
c	\bar{c}	$\bar{c} \pm 3\sqrt{\bar{c}}$	c_0	$c_0 \pm 3\sqrt{c_0}$
u	\bar{u}	$\bar{u} \pm 3\sqrt{\bar{u}/n}$	u_0	$u_0 \pm 3\sqrt{u_0/n}$

Nota: p_0 , np_0 , c_0 y u_0 son valores estándar dados

Otro procedimiento para casos en que el tamaño de la muestra varía considerablemente es el uso de una variable estandarizada. Por ejemplo, en vez de plotear p , plotear el valor estandarizado.

$$Z = \frac{p-p_0}{\sqrt{p_0(1-p_0)/n}} \quad \text{ó} \quad Z = \frac{p-\bar{p}}{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n}}$$

en dependencia de que el valor estándar para p se especifique o no. Tanto la línea central como los límites de control se hacen constantes, independientemente del tamaño del subgrupo, y están dados como:

$$\begin{aligned} \text{Línea central} &= 0 \\ \text{LSC} &= 3 \\ \text{LIC} &= -3 \end{aligned}$$

El gráfico p se utiliza para determinar el porcentaje promedio de elementos no conformes surgidos en un periodo de tiempo dado. Esto atrae la atención de la dirección y el personal del proceso hacia todo cambio en este promedio. Se dice que el proceso está en control estadístico de la misma forma en que se hace para los gráficos \bar{X} y R . Si todos los puntos de la muestra caen dentro de los límites de control del experimento sin mostrar ninguna indicación de causa asignable, se dice que el proceso está en control. En este caso, la fracción promedio de no conformes, \bar{p} , se toma como el valor estándar para la fracción de no conformes, p_0 .

10. Consideraciones preliminares antes de iniciar un gráfico de control

10.1 Selección de las características de la calidad.

Seleccionar las características de la calidad para el programa de control. En general, se deben priorizar las características que influyen en el desempeño del producto o servicio. Estas pueden ser aspectos del servicio ofrecido o características del material empleado o de las partes componentes del producto, así como del producto terminado entregado al comprador. Los métodos de control estadístico se deben introducir primeramente si el gráfico de control permitirá obtener datos

oportunos sobre un proceso de modo que éste se pueda corregir y se pueda elaborar un mejor producto o servicio. Se deben seleccionar características de la calidad del producto o servicio que ejerzan un efecto decisivo en la calidad del producto o servicio y permitan garantizar la estabilidad de los procesos.

10.2 Análisis del proceso de producción

Se debe hacer un análisis detallado del proceso de producción para determinar

- a) el tipo y localización de las causas que puedan dar lugar a irregularidades;
- b) el efecto de la imposición de especificaciones;
- c) el método y localización de la inspección;
- d) todo otro factor pertinente que pueda influir en el proceso de producción.

También se debe hacer un análisis para determinar la estabilidad de los procesos de producción, la exactitud de los equipos de producción y ensayo, la calidad de los productos o servicios elaborados, y los patrones de correlación entre los tipos y las causas de las no conformidades. Se requiere conocer las condiciones operativas de producción y la calidad del producto para tomar medidas destinadas a ajustar el proceso y los equipos de producción, si es necesario, así como elaborar planes para el control estadístico de los procesos de producción. Esto ayudará a determinar el lugar óptimo para establecer controles e identificar rápidamente toda irregularidad en el desempeño del proceso de producción para aplicar de inmediato una acción correctiva.

10.3 Selección de subgrupos racionales

La fundamentación de los gráficos de control esta dada por la idea central de Shewhart acerca de la división de observaciones en los llamados "subgrupos racionales", que es la clasificación de las observaciones pertinentes en subgrupos en los cuales se puede considerar que las variaciones se deben sólo a causas aleatorias, pero entre los cuales toda diferencia se puede deber a causas asignables que el gráfico de control está destinado a detectar.

Esto depende de cierto conocimiento técnico y familiaridad con las condiciones de la producción y las condiciones en las cuales se tomaron los datos. Mediante la identificación de cada subgrupo con un tiempo y una fuente, se pueden detectar y corregir con más rapidez las causas específicas del problema, si resulta ventajoso. Los registros de inspección y ensayo dados en el orden en el que se hicieron las observaciones, constituyen una base para confeccionar subgrupos con respecto al tiempo. Esto resulta usualmente provechoso en la fabricación, donde es importante mantener constante en el tiempo el sistema de causas de la producción.

Siempre se debe recordar que el análisis se facilitará grandemente si, al planificar la toma de datos, se tiene el cuidado de seleccionar las muestras de modo tal que los datos de cada subgrupo se puedan tratar adecuadamente como subgrupos racionales independientes y los subgrupos se identifiquen de modo tal que así lo permitan. Además, en la medida de lo posible, se debe mantener constante el tamaño de subgrupo, n , para evitar las dificultades asociadas a los cálculos e interpretaciones. Sin embargo, se debe destacar que los principios de los gráficos de Shewhart se pueden aplicar por igual a situaciones en que n varía.

10.4 Frecuencia y tamaño de las muestras

No se pueden establecer reglas generales para determinar la frecuencia y el tamaño de los subgrupos. La frecuencia puede depender del costo de tomar y analizar las muestras, y el tamaño del subgrupo puede depender de consideraciones prácticas. Por ejemplo, los subgrupos grandes tomados a intervalos menos frecuentes pueden detectar con más exactitud un pequeño cambio en el promedio del proceso, pero pequeños subgrupos tomados a intervalos más frecuentes detectarán un cambio grande con más rapidez. A menudo, el tamaño del subgrupo se toma como de 4 ó 5, mientras que la frecuencia de muestreo es generalmente alta al principio y baja una vez alcanzado el estado de control estadístico. Normalmente, se considera adecuado tomar de 20 a 25 subgrupos de tamaño 4 ó 5 para obtener estimados preliminares.

Cabe señalar que es necesario considerar conjuntamente la frecuencia de muestreo, el control estadístico y la capacidad del proceso. El razonamiento es como sigue: a menudo se utiliza el valor del recorrido promedio \bar{R} para estimar σ . El número de fuentes de variación crece a medida que aumenta el intervalo de tiempo entre las muestras dentro de un subgrupo. Por tanto, si las muestras dentro de un subgrupo se dispersan con el tiempo, aumentará \bar{R} , aumentará el estimado de σ , se ampliarán los límites de control y por tanto parecerá disminuir el índice de capacidad del proceso. A la inversa, se puede aumentar la capacidad del proceso mediante el muestreo consecutivo de elementos, dando pequeños estimados de \bar{R} y σ , pero será difícil alcanzar el control estadístico.

10.5 Recopilación de datos preliminares

Tras decidir la característica de la calidad que se va a controlar y la frecuencia y tamaño del subgrupo a tomar, hay que recopilar y analizar algunos datos o mediciones de inspección iniciales con vistas a obtener valores preliminares del gráfico de control necesarios para determinar la línea central y los límites de control que se van a trazar en el gráfico. Los datos preliminares se pueden recopilar subgrupo por subgrupo hasta obtener de 20 a 25 subgrupos de una serie continua del proceso de producción. Se tendrá cuidado para que durante esta recopilación de datos iniciales el proceso no reciba indebidas influencias intermitentes de factores externos tales como un cambio en la materia prima, las operaciones, los ajustes de las máquinas, etc. En otras palabras, el proceso debe mostrar un estado de estabilidad durante el período de toma de datos preliminares.

11. Pasos para la elaboración de gráficos de control

En 11.1 a 11.5 se describen los pasos pertinentes a la elaboración de los gráficos \bar{X} y R, en los casos en que no se dan valores estándares. Aparecen a modo de ejemplo en 12.2. Para elaborar otros gráficos de control, se deben seguir los mismos pasos básicos, pero las constantes para los cálculos son diferentes (vea las tablas 1 y 2). En la figura 4 aparece el formato general de un modelo estándar de gráfico de control. Se puede modificar este modelo en armonía con los requisitos particulares de una situación de control del proceso.

11.1 Si los datos preliminares no se tomaron en subgrupos según un plan preestablecido, divida el conjunto total de valores observados en subgrupos secuenciales, de acuerdo con los criterios para subgrupos racionales analizado 10.3. Los subgrupos tendrán igual estructura y tamaño. Los elementos de cualquier subgrupo deben considerar algún factor común importante, por ejemplo, elementos producidos durante el mismo intervalo corto de tiempo, o elementos provenientes de

una o varias fuentes o ubicaciones diversas. Los diferentes subgrupos deben representar diferencias posibles o sospechadas en el proceso que los elaboró, por ejemplo, intervalos de tiempo diferentes o fuentes o ubicaciones diferentes.

11.2 Para cada subgrupo, calcular el promedio \bar{X} y el recorrido R.

11.3 Calcular el gran promedio de todos los valores observados, $\bar{\bar{X}}$, y el recorrido promedio, \bar{R} .

11.4 En un modelo o papel graficado adecuado, elaborar un gráfico \bar{X} y un gráfico R. Para \bar{X} y para R se utiliza la escala vertical a la izquierda, y para el número de subgrupos se utiliza la escala horizontal. Plotear los valores calculados para \bar{X} en el gráfico de promedios y plotear los valores calculados para R en el gráfico de recorridos.

11.5 En los gráficos respectivos, trazar líneas horizontales continuas para representar $\bar{\bar{X}}$ y \bar{R}

11.6 Situar los límites de control en estos gráficos. En el gráfico \bar{X} , trazar dos líneas discontinuas horizontales en $\bar{\bar{X}} \pm A_2 \bar{R}$ y, en el gráfico R, trazar dos líneas discontinuas horizontales en $D_3 \bar{R}$ y $D_4 \bar{R}$, donde A_2 , D_3 y D_4 se basan en, el número de observaciones en un subgrupo, y aparecen en la tabla 2. El LIC en el gráfico R no se necesita si n es menor que 7, ya que el valor D_3 subsiguiente se considera cero.

Grafico de control

Operación					Tamaño de la muestra					Características																		
Especificación : LST LIT					Datos					Departamento					Responsable de calidad													
Promedios	[Grid area for Promedios]																											
	Recorridos	[Grid area for Recorridos]																										
		Numero	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	
		Subgrupos	1																									
			2																									
			3																									
			4																									
			5																									
		Suma																										
		Promedio																										
		Recorrido																										
		#																										

Figura 4 - Formato general de un grafico de control

12. Ejemplos ilustrativos: Gráficos de control por variables

12.1 Gráfico \bar{X} y gráfico R: se dan valores estándares.

El gerente de producción de una importadora de té desea controlar su proceso de envasado de modo que el peso medio de los paquetes sea de 100,6 g. La desviación típica asumida del proceso es 1,4 g basada en procesos de envasado similares.

Teniendo en cuenta que se dan los valores estándar ($X_0 = 100,6$ g, $\sigma_0 = 1,4$ g), se pueden elaborar de inmediato los gráficos de control para la media y el recorrido utilizando las fórmulas que aparecen en la tabla 1 y los factores A, d_2 , D_2 , y D_1 que aparecen en la tabla 2 para $n = 5$.

Gráfico \bar{X}	Gráfico R
Línea central = X_0 = 100,6 g LSC = $X_0 + A\sigma_0$ = $100,6 + (1,342 \times 1,4)$ = 102,5 g LIC = $X_0 - A\sigma_0$ = $100,6 - (1,342 \times 1,4)$ = 98,7 g	Línea central = $d_2\sigma_0$ = $2,326 \times 1,4$ = 3,3 g LSC = $D_2\sigma_0$ = $4,918 \times 1,4$ = 6,9 g LIC = $D_1\sigma_0$ = $0 \times 1,4$ (debido a que n es menor que 7, no aparecerá el LIC)

Se han seleccionado 25 muestras de tamaño 5; se calculan los valores promedio y de recorrido de su subgrupo (vea la tabla 6) y se plotean con los límites de control calculados anteriormente (vea la figura5).

Los gráficos que aparecen en la figura 5 indican que el proceso está fuera de control en el nivel deseado porque hay una secuencia de 13 puntos por debajo de la línea central en el gráfico \bar{X} y de 16 puntos por encima de la línea central en el gráfico R. Se debe investigar y eliminar la causa de esta secuencia tan larga de bajos valores de la media.

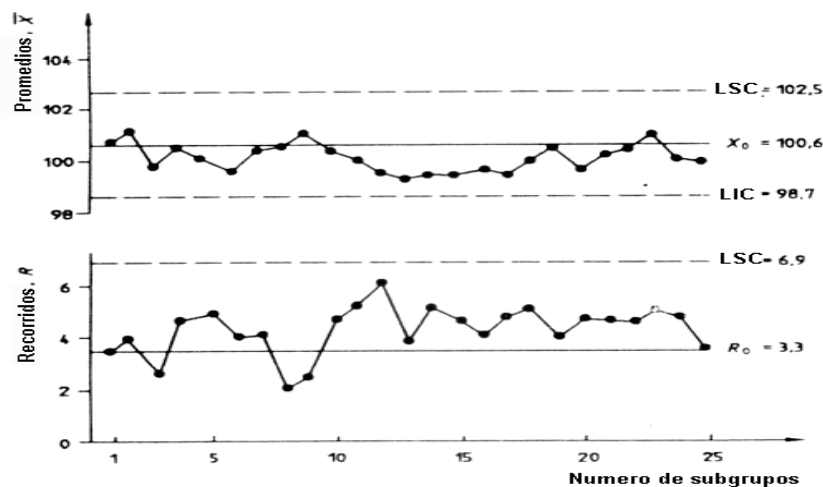


Figura 5 - Grafico de promedios y recorridos para datos mostrados en tabla 6

Tabla 6 — Proceso de envasado de té

No. de subgrupo	Promedio del subgrupo \bar{X}	Recorrido del subgrupo R
1	100,6	3,4
2	101,3	4,0
3	99,6	2,2
4	100,5	4,5
5	99,9	4,8
6	99,5	3,8
7	100,4	4,1
8	100,5	1,7
9	101,1	2,2
10	100,3	4,6
11	100,1	5,0
12	99,6	6,1
13	99,2	3,5
14	99,4	5,1
15	99,4	4,5
16	99,6	4,1
17	99,3	4,7
18	99,9	5,0
19	100,5	3,9
20	99,5	4,7
21	100,1	4,6
22	100,4	4,4
23	101,1	4,9
24	99,9	4,7
25	99,7	3,4

12.2 Gráfico \bar{X} y gráfico R: no se dan valores estándares.

En la tabla 7 aparecen mediciones del radio exterior de un enchufe. Se hacen cuatro mediciones cada media hora para un total de 20 muestras. En la tabla 7 aparecen además los promedios y recorridos del subgrupo. Las tolerancias especificadas son de 0,219 dm y 0,125 dm. El objetivo consiste en evaluar el desempeño del proceso y controlarlo con respecto a su ubicación y dispersión del modo que el proceso cumpla las especificaciones.

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\sum \bar{X}}{k} = \frac{3,8480}{20} = 0,1924$$

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{k} = \frac{0,5734}{20} = 0,0287$$

El primer paso es plotear un gráfico R y evaluar su estado de control.

Gráfico R:

$$\begin{aligned} \text{Línea central} &= \bar{R} \\ &= 0,0287 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= D_4 \bar{R} \\ &= 2,282 \times 0,0287 \\ &= 0,0655 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LIC} &= D_3 \bar{R} \\ &= 0 \times 0,0287 \text{ (debido a que } n \text{ es menor que } 7, \text{ no aparece el LIC)} \end{aligned}$$

Los valores de la multiplicación de los factores D_3 y D_4 se tomaron de la tabla 2 para $n = 4$. Debido a que los valores \bar{R} en la tabla 7 están dentro de los límites de control del gráfico R, este gráfico indica un estado de control estadístico. Ahora se puede utilizar el valor \bar{R} para calcular los límites de control del gráfico \bar{X} .

Gráfico \bar{X} :

$$\begin{aligned} \text{Línea central} &= \bar{\bar{X}} \\ &= 0,1924 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ &= 0,1924 + (0,729 \times 0,0287) \\ &= 0,2133 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LIC} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \\ &= 0,1924 - (0,729 \times 0,0287) \\ &= 0,1715 \end{aligned}$$

El valor del factor A_2 se tomó de la tabla 2 para $n = 4$. Los gráficos de control \bar{X} y R aparecen ploteados en la figura 6. Un examen del gráfico \bar{X} revela que los últimos 3 puntos están fuera de control. Esto indica que puede que estén operando algunas causas asignables de variación. Si se hubieran calculados los límites a partir de datos anteriores, hubiera sido necesario emprender acciones en el punto 18.

En este punto, se emprenden acciones remediales adecuadas para eliminar las causas asignables y evitar que se repitan. El procedimiento de graficado continúa con la definición de límites de control revisados sin tener en cuenta los puntos fuera de control, o sea, los valores para los números de muestra 18, 19 y 20. Los valores de $\bar{\bar{X}}$ y \bar{R} y las líneas del gráfico de control se recalculan como sigue:

$$\bar{\bar{X}} \text{ revisada} = \Sigma \bar{X} / k = 3,345 3 / 17 = 0,196 8$$

$$\bar{R} \text{ revisada} = \Sigma R / k = 0,527 2 / 17 = 0,031 0$$

Gráfico \bar{X} revisado

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}} = 0,196 8$$

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ &= 0,196 8 + (0,729 \times 0,031 0) \\ &= 0,219 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LIC} &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \\ &= 0,196 8 - (0,729 \times 0,031 0) \\ &= 0,174 2 \end{aligned}$$

Gráfico R revisado

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 0,031 0$$

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= D_4 \bar{R} \\ &= 2,282 \times 0,031 0 \\ &= 0,070 7 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LIC} &= D_3 \bar{R} \\ &= 0 \times 0,031 0 \text{ (debido a que } n \text{ es} \\ &\text{menor que } 7, \text{ no aparece el LIC)} \end{aligned}$$

Tabla 7 — Datos de producción sobre el radio exterior de un enchufe

No. de sub-grupo	Radio				Media \bar{X}	Recorrido R
	X_1	X_2	X_3	X_4		
1	0,189 8	0,172 9	0,206 7	0,189 8	0,189 8	0,033 8
2	0,201 2	0,191 3	0,187 8	0,192 1	0,193 1	0,013 4
3	0,221 7	0,219 2	0,207 8	0,198 0	0,211 7	0,023 7
4	0,183 2	0,181 2	0,196 3	0,180 0	0,185 2	0,016 3
5	0,169 2	0,226 3	0,206 6	0,209 1	0,203 3	0,057 1
6	0,162 1	0,183 2	0,191 4	0,178 3	0,178 8	0,029 3
7	0,200 1	0,192 7	0,216 9	0,208 2	0,204 5	0,024 2
8	0,240 1	0,182 5	0,191 0	0,226 4	0,210 0	0,057 6
9	0,199 6	0,198 0	0,207 6	0,202 3	0,201 9	0,009 6
10	0,178 3	0,171 5	0,182 9	0,196 1	0,182 2	0,024 6
11	0,216 6	0,174 8	0,196 0	0,192 3	0,194 9	0,041 8
12	0,192 4	0,198 4	0,237 7	0,200 3	0,207 2	0,045 3
13	0,176 8	0,198 6	0,224 1	0,202 2	0,200 4	0,047 3
14	0,192 3	0,187 6	0,190 3	0,198 6	0,192 2	0,011 0
15	0,192 4	0,199 6	0,212 0	0,216 0	0,205 0	0,023 6
16	0,172 0	0,194 0	0,211 6	0,232 0	0,204 9	0,060 0
17	0,182 4	0,179 0	0,187 6	0,182 1	0,182 8	0,008 6
18	0,181 2	0,158 5	0,169 9	0,168 0	0,169 4	0,022 7
19	0,170 0	0,156 7	0,169 4	0,170 2	0,166 6	0,013 5
20	0,169 8	0,166 4	0,170 0	0,160 0	0,166 6	0,010 0

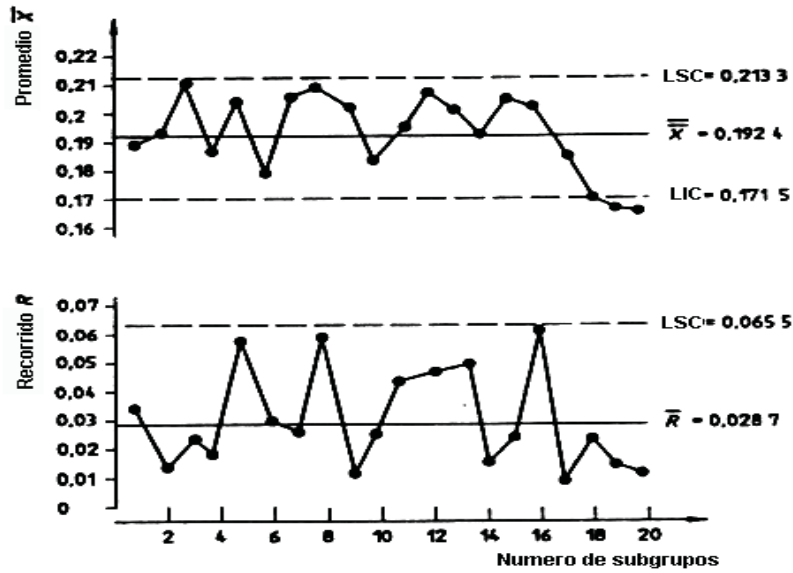


Figura 6 - Graficos de Promedios y Recorridos para datos mostrados en tabla 7

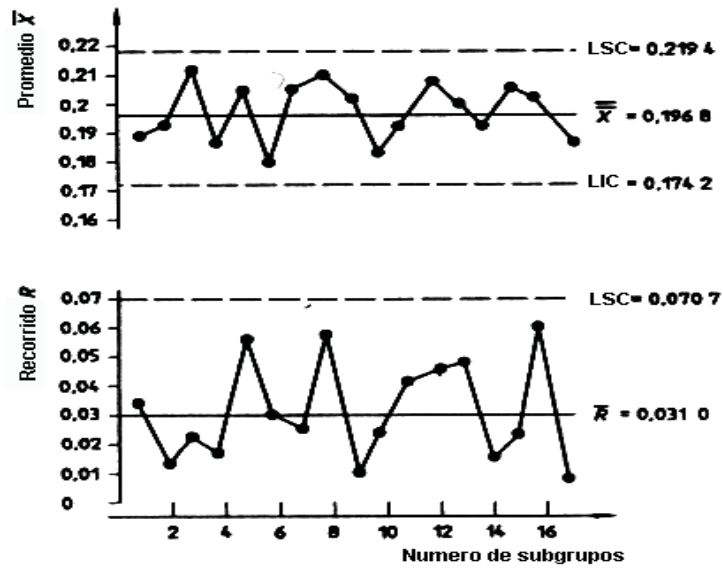


Figura 7 - Graficos revisados de \bar{X} y R para datos mostrados en tabla 7

Cuando el proceso muestra un estado de control estadístico con respecto a los límites de control revisados, se puede evaluar la capacidad del proceso.

Calcular:

ICP = tolerancia especificada / dispersión del proceso = LST – LIT / 6 $\hat{\sigma}$

Donde $\hat{\sigma}$ se estima por $\bar{R} / d_2 = 0,031 0 / 2,059 = 0,015 1$

El valor de la constante d_2 está tomado de la tabla 2 para $n = 4$.

Así,

$$ICP = \frac{0,219 0 - 0,125 0}{6 \times 0,015 1} = \frac{0,094 0}{0,091 0} = 1,033 0$$

Debido a que ICP es mayor que 1, se puede considerar que el proceso tiene capacidad. Sin embargo, un análisis más profundo permite ver que el proceso no está centrado propiamente con respecto a la especificación y por tanto alrededor del 11,8 % de los valores individuales estará fuera del límite de especificación superior. Por consiguiente, antes de establecer los parámetros permanentes del gráfico de control, se debe intentar centrar el proceso adecuadamente a la vez que se mantiene un estado de control estadístico.

12.3 Gráfico de control para valores individuales, X, y recorridos móviles, R: No se dan valores estándares.

En la tabla 8 se dan los resultados del análisis de laboratorio del “por ciento de humedad” en muestras de 10 lotes sucesivos de leche en polvo descremada. En el laboratorio se analiza una muestra de esta leche, que representa a un lote, para características diversas, tales como grasa, humedad, acidez, índice de solubilidad, sedimentación, bacterias y proteínas del suero de la leche. Este análisis tenía como fin controlar el por ciento de humedad por debajo de 4 % para este proceso. Se demostró que era despreciable la variación del muestreo para un lote único, por lo que se decidió hacer sólo una observación por lote y definir límites de control a partir del recorrido móvil de lotes sucesivos.

$$\bar{X} = \frac{2,9 + 3,2 + \dots + 3,5}{10} = \frac{34,5}{10} = 3,45 \%$$

$$\bar{R} = \frac{0,3 + 0,4 + \dots + 0,1}{9} = \frac{3,4}{9} = 0,38 \%$$

Líneas del gráfico de control para recorridos móviles; R

Línea central = $\bar{R} = 0,38$

LSC = $D_4 \bar{R} = 3,267 \times 0,38 = 1,24$

LIC = $D_3 \bar{R} = 0 \times 0,38$ (debido a que n es menor que 7, no aparece el LIC)

Los valores de los factores D_3 y D_4 se obtuvieron de la tabla 2 para $n = 2$. Debido a que el gráfico de recorrido muestra un estado de control estadístico, se puede realizar el ploteo del gráfico de control para valores individuales.

Gráfico de control para valores individuales, X

Línea central = $\bar{X} = 3,45$

LSC = $\bar{X} + E_2 \bar{R} = 3,45 + (2,66 \times 0,38) = 4,46$

LIC = $\bar{X} - E_2 \bar{R} = 3,45 - (2,66 \times 0,38) = 2,44$

Las fórmulas para los límites de control y el valor del factor E_2 aparecen en la tabla 3 . Los gráficos de control aparecen planteados en la figura 8. Los gráficos de control indican que el proceso esta en control estadístico

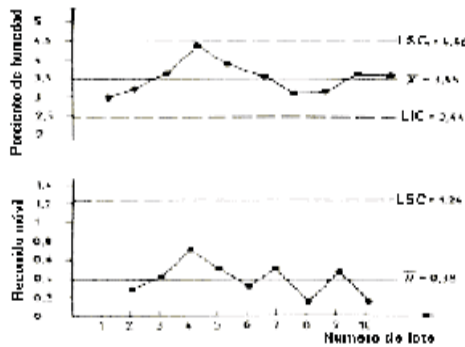


Figura 8 - Gráficos de control para valores individuales, X, para datos mostrados en tabla 8

Tabla 8 — Por ciento de humedad para 10 muestras sucesivas de leche en polvo

Número de lote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X % de humedad	2,9	3,2	3,6	4,3	3,8	3,5	3,0	3,1	3,6	3,5
R recorrido móvil		0,3	0,4	0,7	0,5	0,3	0,5	0,1	0,5	0,1

12.4 Gráfico de medianas: No se dan valores estándares.

Una máquina está fabricando discos electrónicos con un grosor especificado entre 0,007 cm y 0,016 cm. Cada media hora se toman muestras de tamaño 5 cuyo grosor se registra, como se muestra en la tabla 9. Se decidió instalar un gráfico de medianas con el propósito de controlar la calidad. Los valores de medianas y recorridos también se muestran en la tabla 9.

Calcular el promedio de las medianas y recorridos del subgrupo de la forma siguiente:

\bar{M}_e = Promedio de las medianas del subgrupo

$$\frac{12 + 10 + 12 + \dots + 11}{15} = \frac{172}{15} = 11,47$$

\bar{R} = Recorrido promedio

$$\frac{6 + 5 + 7 + \dots + 7}{15} = \frac{86}{15} = 5,73$$

El gráfico de recorridos se calcula de la forma siguiente:

Gráfico R

Línea central = $\bar{R} = 5,73$

$$LSC = D_4 \bar{R} = 2,114 \times 5,73 = 12,11$$

$$LIC = D_3 \bar{R} = 0 \times 5,73 \text{ (debido a que } n \text{ es menor que } 7, \text{ no aparece el LIC)}$$

El valor de las constantes D_3 y D_4 fue tomado de la tabla 2 para $n = 5$. Debido a que el gráfico de recorridos muestra un estado de control, se pueden calcular las líneas del gráfico de mediana.

Gráfico de control de medianas

Línea central = $\bar{M}_e = 11,47$

$$LSC_{Me} = \bar{M}_e + A_4 \bar{R} = 11,47 + (0,69 \times 5,73) = 15,42$$

$$LIC_{Me} = \bar{M}_e - A_4 \bar{R} = 11,47 - (0,69 \times 5,73) = 7,52$$

El valor de A_4 fue tomado de la tabla 4 para $n = 5$. Los gráficos están ploteados en la figura 9. Tal y como se evidencia en el gráfico, el proceso está mostrando un estado de control estadístico.

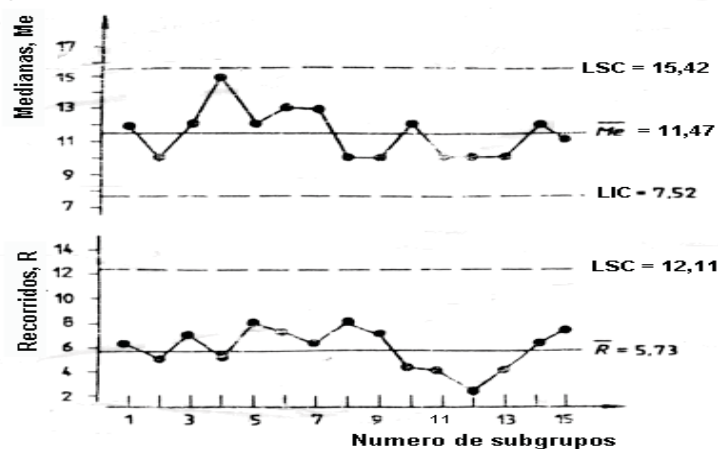


Figura 9 - Gráfico de mediana y recorrido para datos mostrados en tabla 9

Tabla 9 — Datos para el control del grosor de los discos de mica

No. de sub-grupo	Grosor					Mediana Me	Recorrido R
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅		
1	14	8	12	12	8	12	6
2	11	10	13	8	10	10	5
3	11	12	16	14	9	12	7
4	16	12	17	15	13	15	5
5	15	12	14	10	7	12	8
6	13	8	15	15	8	13	7
7	14	12	13	10	16	13	6
8	11	10	8	18	10	10	8
9	14	10	12	9	7	10	7
10	12	10	12	14	10	12	4
11	10	12	8	10	12	10	4
12	10	10	8	8	10	10	2
13	8	12	10	8	10	10	4
14	13	8	11	14	12	12	6
15	7	8	14	13	11	11	7

13. Ejemplos ilustrativos: Gráficos de control por atributos.

13.1 Gráfico p y gráfico np: No se dan valores estándares.

Los datos de la tabla 10 muestran el número de elementos no conformes por hora con respecto a funcionamientos inadecuados detectados por la inspección al 100 % en pequeños interruptores utilizando dispositivos automáticos de inspección. Los interruptores se elaboran en una línea de montaje automático. Debido a que el problema de funcionamiento es grave, se utiliza el por ciento de no conformes para identificar cuándo la línea de montaje está fuera de control. Se elabora un gráfico *p* recopilando datos de 25 grupos como datos preliminares (vea la tabla 10).

A continuación se calculan la línea central y los límites de control, que se plotean en la figura 10.

Gráfico p

Línea central = $\bar{p} = 8 + 14 + \dots + 4 / 4\,000 \times 25 = 0,002\,7 = 0,27\%$

$$LSC = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,002\,7 + 3\sqrt{0,002\,7(1-0,002\,7/4\,000)} = 0,005\,2 = 0,52\%$$

$$LIC = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} = 0,002\,7 - 3\sqrt{0,002\,7(1-0,002\,7/4\,000)} = 0,000\,2 = 0,02\%$$

El gráfico indica que la calidad de los interruptores está en control estadístico, aunque el por ciento de no conformes puede ser demasiado elevado. Ahora podemos utilizar estos límites de control para futuros subgrupos hasta el momento en que el proceso se altere o salga de control estadístico. Nótese que, debido a que el proceso está en control estadístico, es improbable que se pueda

hacer alguna mejora sin un cambio en el proceso. No basta simplemente con decirle a las personas que “tengan más cuidado”.

Si se hace una mejora, entonces habrá que calcular diferentes límites de control para que los subgrupos futuros reflejen el desempeño del proceso alterado. Si el proceso se ha mejorado (menor valor \bar{p}), utilice los nuevos límites, pero si se ha deteriorado (mayor valor \bar{p}), busque otras causas asignables.

Nótese que un gráfico np hubiera sido igualmente apropiado para estos datos, ya que todos los tamaños de muestra son iguales. A continuación aparecen los cálculos para el gráfico np , y en la figura 11 aparece el gráfico planteado.

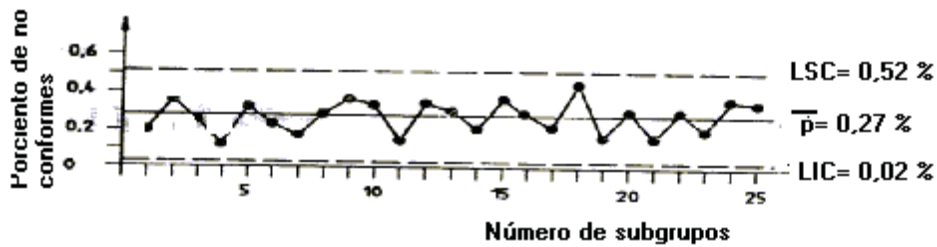


Figura 10: Gráfico p para datos dados en tabla 10

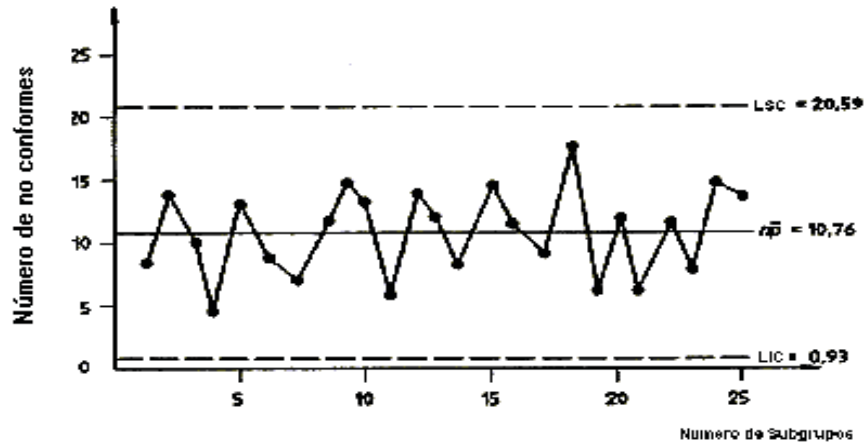


Figura 11: Gráfico np para datos dados en tabla 10

Tabla 10 — Datos preliminares: Interruptores

No. de subgrupo	Número de interruptores inspeccionados	Número de interruptores no conformes	Por ciento de no conformes
1	4 000	8	0,200
2	4 000	14	0,350
3	4 000	10	0,250
4	4 000	4	0,100
5	4 000	13	0,325
6	4 000	9	0,225
7	4 000	7	0,175
8	4 000	11	0,275
9	4 000	15	0,375
10	4 000	13	0,325
11	4 000	5	0,125
12	4 000	14	0,350
13	4 000	12	0,300
14	4 000	8	0,200
15	4 000	15	0,375
16	4 000	11	0,275
17	4 000	9	0,225
18	4 000	18	0,450
19	4 000	6	0,150
20	4 000	12	0,300
21	4 000	6	0,150
22	4 000	12	0,300
23	4 000	8	0,200
24	4 000	15	0,375
25	4 000	14	0,350
Total	10 0000	269	

Gráfico np

Línea central = $n\bar{p} = 8 + 14 + \dots + 14 / 25 = 10,76$

LSC = $np + 3\sqrt{np(1-p)} = 10,76 + 3\sqrt{10,76(1-0,0027)} = 20,59$

LIC = $np - 3\sqrt{np(1-p)} = 10,76 - 3\sqrt{10,76(1-0,0027)} = 0,93$

13.2 Gráfico p: No se dan valores estándares.

En una compañía que fabrica transistores de radio se decide instalar un gráfico p de fracción de no conformes. Se tomaron datos y se analizaron durante 1 mes. Se tomó una muestra aleatoria de la producción al finalizar cada día y se examinó para conocer el número de elementos no conformes. Los datos se muestran en la tabla 11.

Los valores de la fracción de no conformes calculados para cada subgrupo también se muestran en la tabla 11. El promedio de fracción de no conformes para el mes se calcula:

$$\bar{p} = \text{número total de no conformes} / \text{número total inspeccionado} = 233 / 3\,893 = 0,060$$

Debido a que los tamaños de los subgrupos son diferentes, el LSC y el LIC se calculan para cada subgrupo por separado, mediante

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

donde n es el tamaño del subgrupo.

Estos valores también aparecen en la tabla 11. Puede apreciarse que si planteamos los valores de LSC y LIC para cada subgrupo consumiremos mucho tiempo. Sin embargo, se puede observar en la tabla 11 que las fracciones de no conformes para los subgrupos 17 y 26 están cayendo fuera de sus correspondientes límites de control superior. Estos dos subgrupos se eliminan de los datos, pues se puede ver que están sometidos a variaciones diferentes a la que afectan a otros subgrupos. Incluirlos en los cálculos traería como consecuencia un promedio sobrecargado del proceso y límites de control que no reflejarían las variaciones aleatorias reales. Debemos buscar las razones de estos elevados valores, de manera que podamos aplicar acciones correctivas para evitar su futura repetición. A partir de los restantes 24 valores de subgrupo se calcula la fracción promedio revisada de no conformes:

$$\bar{p} = 195 / 3\,596 = 0,054$$

Si calculamos los valores revisados del LSC y el LIC para cada subgrupo utilizando el valor revisado de \bar{p} , veríamos que todas las fracciones de no conformes están dentro de sus respectivos límites de control. De aquí que este valor revisado de \bar{p} se toma como la fracción estándar de no conformes con vistas a la instalación de gráficos de control. Así, $p_0 = 0,054$.

Como señalamos anteriormente, el ploteo de límites superiores de control para cada subgrupo de tamaño variable es un proceso largo y tedioso. No obstante, teniendo en cuenta que los tamaños de subgrupo no varían mucho con respecto al tamaño promedio de subgrupo, que resulta ser 150, el gráfico p revisado (utilizando $p_0 = 0,054$) se puede plotear con un límite superior de control que utiliza un tamaño de subgrupo de $n = 150$ como el tamaño promedio de subgrupo.

Así, las líneas del gráfico p revisado se calculan como sigue:

Gráfico p revisado

Línea central = $p_0 = 0,054$

$$LSC = p_0 + 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} = 0,054 + 3\sqrt{\frac{0,054 \times 0,946}{150}} = 0,109$$

$$LIC = p_0 - 3\sqrt{\frac{p_0(1-p_0)}{n}} = 0,054 - 3\sqrt{\frac{0,054 \times 0,946}{150}} \text{ (debido a que los valores negativos no son posibles, no aparece el límite inferior).}$$

El gráfico revisado p está ploteado en la figura 12. El proceso muestra un estado de control estadístico.

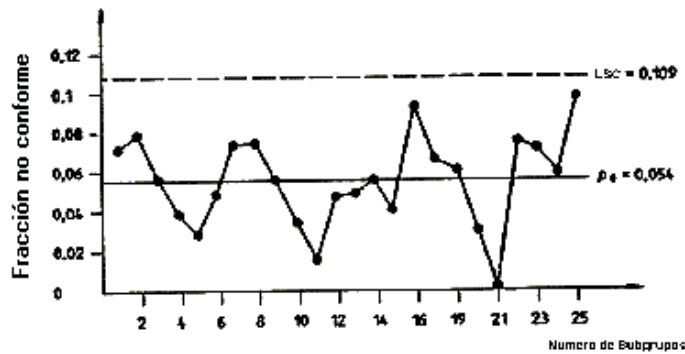


Figura 12 — gráfico p revisado para datos mostrados en tabla 11

Tabla 11 — Radio transistores: gráfico p (datos iniciales)

No. subgrupo	Número inspeccionado	Número de no conformes	Fracción de no conformes	LSC	LIC
1	158	11	0,070	0,117	0,003
2	140	11	0,079	0,120	0,000
3	140	8	0,057	0,120	0,000
4	155	6	0,039	0,177	0,003
5	160	4	0,025	0,116	0,004
6	144	7	0,049	0,119	0,001
7	139	10	0,072	0,120	0,000
8	151	11	0,073	0,118	0,002
9	163	9	0,055	0,116	0,004
10	148	5	0,034	0,119	0,001
11	150	2	0,013	0,118	0,002
12	153	7	0,046	0,118	0,002
13	149	7	0,047	0,118	0,002
14	145	8	0,055	0,119	0,001
15	160	6	0,038	0,116	0,004
16	165	15	0,091	0,115	0,005
17	136	18	0,132	0,121	0,000
18	153	10	0,065	0,118	0,002
19	150	9	0,060	0,118	0,002
20	148	5	0,034	0,119	0,001
21	135	0	0,000	0,121	0,000
22	165	12	0,073	0,115	0,005
23	143	10	0,070	0,120	0,000
24	138	8	0,058	0,121	0,000
25	144	14	0,097	0,119	0,001
26	161	20	0,124	0,116	0,004
Total	3 893	233			

13.3 Gráfico c: No se dan valores estándares.

Un fabricante de cintas de video desea controlar el número de no conformidades puntuales en la cinta de video, la cual se fabrica en porciones de 4 000 m. Los siguientes datos ofrecen el número de no conformidades detectadas al examinar sucesivamente la superficie de 20 carretes, cada uno de los cuales tiene 350 m de cinta, tomados de un determinado proceso de producción en el que se investiga un extremo de la cinta de video.

Para controlar este proceso, se elabora el plan de aplicar un gráfico c donde se plotea el número de no conformidades. Los datos para 20 carretes, mostrados en la tabla 12, se toman como los datos preliminares para elaborar un gráfico c.

A continuación se calculan la línea central y los límites de control, que aparecen ploteados en la figura 13.

Gráfico c

$$\text{Línea central} = \bar{c} = \frac{7+11+\dots+6}{20} = \frac{68}{20} = 3,4$$

$$\text{LSC} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} = 3,4 + 3\sqrt{3,4} = 8,9$$

$$\text{LIC} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} = 3,4 - 3\sqrt{3,4} \quad (\text{debido a que los valores negativos no son posibles, no aparece el límite inferior}).$$

Los datos preliminares indican que el proceso está en estado de control estadístico.

13.4 Número de no conformidades por elemento: gráfico u

En una planta de fabricación de llantas, se inspeccionaron 15 llantas cada media hora y se registraron el número total de no conformidades y el número de no conformidades por elemento. Se decidió instalar un gráfico *u* para el número de no conformidades por elemento con el fin de estudiar el estado de control del proceso. Los datos se muestran en la tabla 13.

El promedio de los valores *u* se calcula a partir de la tabla 13, de la forma siguiente.

Dividir el número total de no conformidades (de la fila de valores *c*) entre el número total de elementos inspeccionados (o sea, 14 x 15):

$$\bar{u} = \frac{\sum c}{\sum n} = \frac{55}{14 \times 15} = 0,26$$

Gráfico u

$$\text{Línea central} = \bar{u} = 0,26$$

$$\text{LSC} = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = 0,26 + 3\sqrt{\frac{0,26}{15}} = 0,65$$

$$\text{LIC} = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}} = 0,26 - 3\sqrt{\frac{0,26}{15}}$$

(debido a que los valores negativos no son posibles, no aparece el límite inferior).

Los datos y las líneas de control están ploteados en la figura 14.

El gráfico indica que el proceso está en estado de control estadístico.

Nótese que, debido a que los tamaños de subgrupo son constantes, se pudo haber utilizado un gráfico *c*.

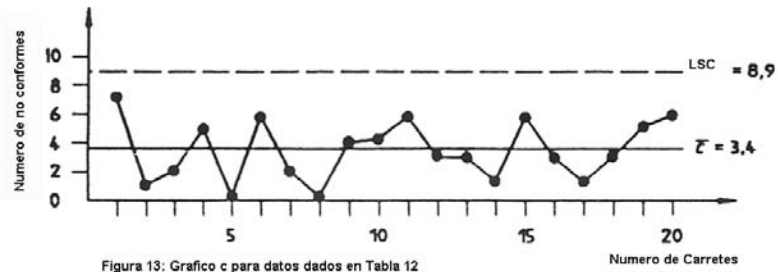


Tabla 12 — Datos preliminares: Video tape

No. de carrete	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Total
No. de no conformidades	7	1	2	5	0	6	2	0	4	4	6	3	3	3	1	6	3	1	5	8	68

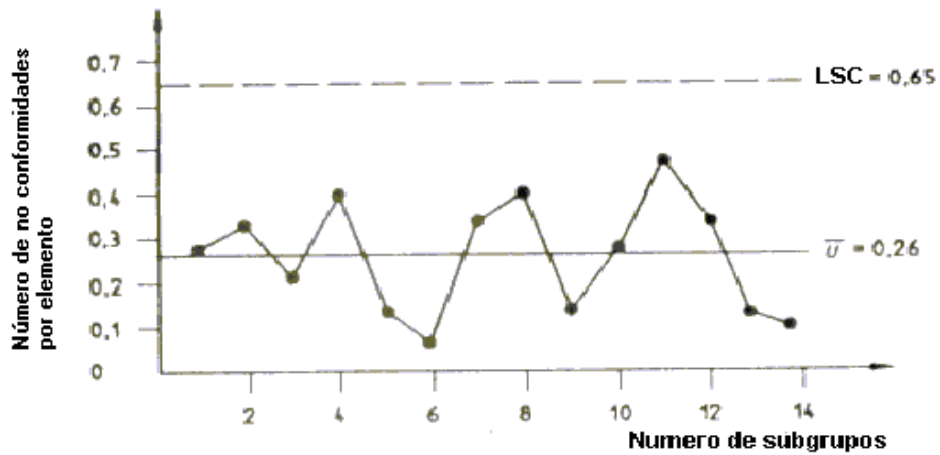


Tabla 13 — Planta de fabricación de neumáticos: Número de no conformidades por elemento (elementos inspeccionados por subgrupo, n = 15)

No. subgrupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Total
c: Número de no conformidades	4	5	3	6	2	1	5	6	2	4	7	5	2	3	55
u: Número de no conformidades por elemento	0,27	0,33	0,20	0,40	0,13	0,07	0,33	0,40	0,13	0,27	0,47	0,33	0,13	0,20	

Bibliografia

- [1] ISO 7870: ¹⁾ . *Control charts – General guide and introduction.*
- [2] ISO 7873: ¹⁾ . *Control charts for arithmetic average with warning limits.*
- [3] ISO 7966: ¹⁾ . *Acceptance control charts*
- [4] Shewhart. W.A. *Economic Control of Quality of Manufactured Product.* D. Van Nostrand.Co. New York, 1931, 501 pp
- [5] Nelson, L.S., The Shewhart Control Chart - Test for Special Causes. *Journal of Quality Technology*, **16**, No.4, October 1984, pp 237 - 339.
- [6] Nelson, L.S. Interpreting Shewhart \bar{X} Control Charts. *Journal of Quality Technology*, **17** No. 2, April 1985, pp 114 - 116