

GRAFICOS DE CONTROL

Introducción

El mundo se caracteriza por su variabilidad; por ejemplo, en el trayecto a la universidad o al trabajo no siempre se hace el mismo tiempo, el porcentaje de artículos defectuosos de lote a lote es variable, la capacitación y habilidad entre los trabajadores no es idéntica, cada cliente es diferente.

En las organizaciones, continuamente se observan cambios (variación), por ejemplo, de una semana a otra pueden presentarse cambios en las ventas o en el desempeño de los procesos. En este contexto, uno de los aspectos críticos en la administración de cualquier organización es decidir ante qué tipo de cambios se debe actuar oportunamente antes de que las cosas vayan peor. También es igualmente importante saber si las acciones que se están ejecutando son eficaces.

Enfrentar estos dos aspectos críticos no es sencillo, porque por un lado siempre hay variación y, por otro, en una organización en general se actúa por reacción, de acuerdo con el resultado anterior y sin conocimiento de la variabilidad.

Enfocarse en actuar por reacción se parece más a la de un bombero, que va de un lado a otro, tratando de apagar los incendios.

Los gráficos de control es una de las muchas herramientas existentes para mantener bajo cierto control la variabilidad de los procesos y tener cierta actividad proactiva o preventiva frente a posibles cambios bruscos que afecten a los mismos.

Causas comunes y causas especiales de variación

Los procesos siempre tienen variación, ya que en él intervienen diferentes factores representados a través de las 6M: materiales, maquinaria, medición, mano de obra (gente), métodos y medio ambiente. Bajo condiciones normales o comunes de trabajo, todas las M influyen (aportan variación) sobre las variables de salida del proceso, en forma natural o inherente, pero además pueden influir (aportar variación) de manera especial o fuera de lo común, ya que a través del tiempo las 6M son susceptibles de cambios, desajustes, desgastes, errores, descuidos, fallas, etc.

Así, hay dos tipos de variabilidad: una debida a causas comunes y la otra a causas especiales. Tal como se detalló en el tema Variabilidad tenemos causas aleatorias y asignables respectivamente. Resulta fundamental distinguir en forma eficiente entre ambos tipos de variación, para así tomar las medidas adecuadas en cada caso.

La **variación por causas comunes (o aleatorias)** es aquella que permanece día a día, lote a lote; la aportan en forma natural las actuales condiciones de las 6M. Esta variación es inherente a las actuales características del proceso y es resultado de la acumulación y combinación de diferentes causas difíciles de identificar y eliminar, debido a que son inherentes al sistema y porque la contribución individual de cada causa es pequeña; no obstante, a largo plazo representan la mayor oportunidad de mejora.

La **variación por causas especiales (o asignables)** es generada por situaciones o circunstancias especiales que no están permanentemente en el proceso. Por ejemplo, la falla ocasionada por el mal funcionamiento de una pieza de la máquina, el empleo de materiales no habituales o el descuido no frecuente de un operario. Las causas especiales, por su naturaleza relativamente discreta, a menudo pueden ser identificadas y eliminadas si se cuenta con los conocimientos y condiciones para ello.

Se dice que un proceso que trabaja sólo con causas comunes de variación está bajo control estadístico o es estable, porque su variación a través del tiempo es predecible. Un proceso en el que están presentes causas especiales de variación se dice que está fuera de control estadístico (o que simplemente es inestable).

Elementos básicos de un gráfico de control

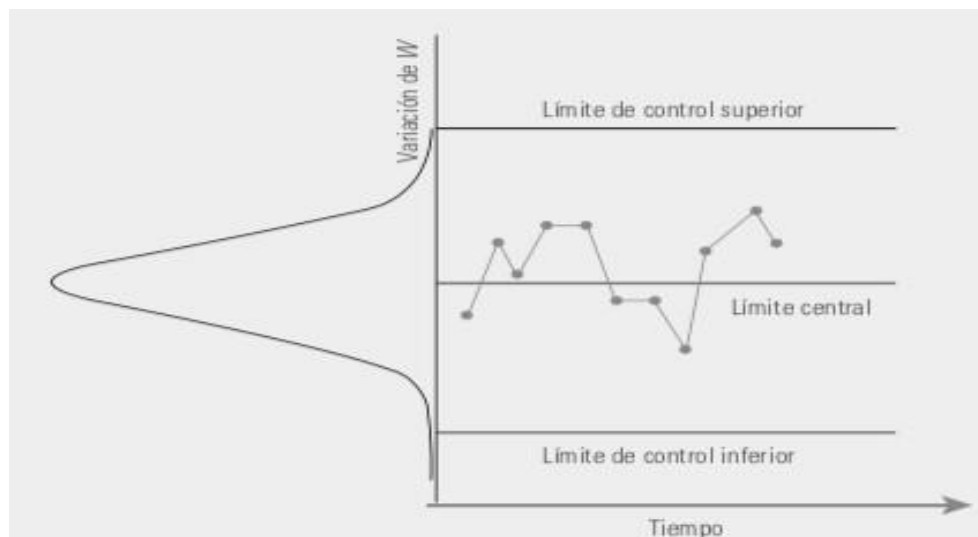
El objetivo básico de un **gráfico de control** es observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Esto permitirá distinguir las variaciones por causas comunes de las debidas a causas especiales (asignables), lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y así decidir las mejores acciones de control y de mejora.

Un gráfico de control típico, se compone básicamente de tres líneas paralelas, comúnmente horizontales, que rematan a la izquierda en una escala numérica en las unidades del estadístico. En la parte inferior, paralela a las líneas hay un eje que sirve para identificar la procedencia de los datos. En caso de que este eje sea una escala cronológica, entonces los puntos consecutivos se unen con una línea recta para indicar el orden en el que ha ocurrido cada dato.

La línea central representa el *promedio de la variable* que se está graficando, cuando el proceso se encuentra en control estadístico. Las otras dos líneas se llaman **límites de control**, superior e inferior, y están en una posición tal que, cuando el proceso está en control estadístico, hay una alta probabilidad de que prácticamente todos los valores del estadístico (puntos) caigan dentro de los límites. De esta manera, si todos los puntos están dentro de los límites, entonces se supone que el proceso está en control estadístico. Por el contrario, si al menos un punto está fuera de los límites de control, entonces esto es una señal de que pasó algo especial y es necesario investigar su causa.

En general, los límites de control son estimaciones de la amplitud de la variación del estadístico (promedio, rangos, etc.) que se grafica.

Lo que se observa en un gráfico de control no sólo es que un punto caiga fuera de los límites de control, sino también cualquier formación o patrón de puntos que tenga muy poca probabilidad de ocurrir en condiciones “normales”, lo cual será una señal de alerta de posibles cambios debidos a causas especiales.



Límites de control

Para calcular los límites de control se debe proceder de tal forma que, bajo condiciones de control estadístico, la variable que se grafica en la carta tenga una alta probabilidad de caer dentro de tales límites. Por lo tanto, una forma de proceder es encontrar la distribución de probabilidades de la variable, estimar sus parámetros y ubicar los límites de manera que un alto porcentaje de la distribución esté dentro de ellos, esta forma de proceder se conoce como **límites de probabilidad**.

Una forma más sencilla y usual se obtiene a partir de la relación entre la media y la desviación estándar de una variable, que para el caso de una variable con distribución normal con media μ , desviación estándar σ , y bajo condiciones de control estadístico, se tiene que entre $\mu - 3\sigma$ y $\mu + 3\sigma$ se encuentra 99.73% de los posibles valores que toma tal variable.

Entonces el límite de control inferior (LCI), la línea central y el límite de control superior (LCS) están dados por:

$$\text{LCI} = \mu_w - 3\sigma_w$$

$$\text{Línea central} = \mu_w$$

$$\text{LCS} = \mu_w + 3\sigma_w$$

Con estos límites y bajo condiciones de control estadístico se tendrá alta probabilidad de que los valores de *la variable* estén dentro de ellos. En particular, si *la variable* tiene distribución normal, tal probabilidad será de 0.9973, con lo que se espera que bajo condiciones de control sólo 27 puntos de 10 000 caigan fuera de los límites.

Tipos de gráficos de control

Existen dos tipos generales de gráficos de control: por variables y por atributos. Los **gráficos de control para variables** se aplican a características de calidad de tipo continuo, que intuitivamente son aquellas que requieren un instrumento de medición (pesos, volúmenes, voltajes, longitudes, resistencias, temperaturas, humedad, etcétera). En particular nosotros veremos solo uno de ellos el gráfico X-R.

Existen características de calidad de un producto que no son evaluadas con un instrumento de medición en una escala continua o al menos en una escala numérica. En estos casos, el producto se juzga como conforme o no conforme, dependiendo de si posee ciertos atributos; o también al producto se le podrá contar el número de defectos o no conformidades que tiene. Este tipo de características de calidad son monitoreadas a través de los **gráficos de control por atributos**. En particular nosotros veremos solo uno de ellos el gráfico np.

Gráfico de control \bar{X} -R

Existen muchos procesos industriales que, puede decirse, son de tipo “masivo”, en el sentido de que producen muchos artículos, partes o componentes durante un lapso de tiempo pequeño. Por ejemplo: líneas de ensamble, máquinas empacadoras, procesos de llenado, operaciones de soldadura en una línea de producción, moldeo de piezas de plástico, torneado de una pieza metálica, el corte de una tira en pedazos pequeños, etc. Algunos de estos procesos harán miles de operaciones por día, mientras que otros efectuarán varias decenas o centenas. En ambos casos se está ante un proceso masivo. Si además las variables de salida de interés son de tipo continuo, entonces estamos ante el campo ideal de aplicación de las cartas de control \bar{X} -R.

La idea es la siguiente: imaginemos que a la salida del proceso fluyen (uno a uno o por lotes) las piezas resultantes del proceso; cada determinado tiempo o cantidad de piezas se toma un número pequeño de éstas (subgrupo) a las que se les medirá una o más características de calidad. Con las mediciones de cada subgrupo se calculará la media y el rango, de modo que cada período de tiempo (media hora, por ejemplo) se tendrá una media y un rango muestral que aportarán información sobre la tendencia central y la variabilidad del proceso, respectivamente.

Con la carta \bar{X} se analiza la variación entre las medias de los subgrupos, para así detectar cambios en la media del proceso. Con la carta R, en cambio, se analiza la variación entre los rangos de los subgrupos, lo que permite detectar cambios en la amplitud o magnitud de la variación del proceso.

Límites de control del gráfico \bar{X}

Como se ha señalado, los límites de control están determinados por la media y la desviación estándar que se grafica, mediante la expresión $\mu \pm 3\sigma$. En el caso de la carta de medias el estadístico w es la media de los subgrupos, \bar{X} , por lo que μ y σ se estiman de la siguiente manera:

$$\mu_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} \quad \text{y} \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

donde $\bar{\bar{X}}$ es la media de las medias de los subgrupos, σ la desviación estándar del proceso, que indica qué tan variables son las mediciones individuales, y n es el tamaño de subgrupo.

Como por lo general en un estudio inicial no se conoce σ , ésta puede estimarse de dos formas principalmente. Una es calculando la desviación estándar, S , de los datos, con lo cual se incluye la variabilidad entre muestras y dentro de muestras. La otra manera de estimar σ es más apropiada y parte de sólo considerar la variabilidad dentro de muestras, a través los rangos de los subgrupos, y la estimación está dada por

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

donde R es la media de los rangos de los subgrupos y d_2 es una constante que depende de n , el tamaño de subgrupo o muestra y que se obtiene de tablas ya establecidas. De esta manera, 3 veces la desviación estándar de las medias se estima con

$$3\sigma_{\bar{x}} = 3 \left(\frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}} \right) = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} A_2 = \bar{R}$$

Como se observa, se ha introducido la constante A_2 para simplificar los cálculos. Esta constante está también tabulada y depende del tamaño del subgrupo n . Con base en lo anterior, los límites de control para un gráfico de control \bar{X} , en un estudio inicial, se obtienen de la siguiente manera

$$\begin{aligned} LCS &= \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ \text{Línea central} &= \bar{\bar{X}} \\ LCI &= \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{aligned}$$

Estos límites reflejan la variación esperada para las medias muestrales de tamaño n , mientras el proceso no tenga cambios importantes. De esta manera, estos límites se utilizan para detectar cambios en la media del proceso y para evaluar su estabilidad. De ninguna manera se deben emplear para evaluar la capacidad, puesto que estos límites de control, calculados con información del proceso, no son los de especificaciones o tolerancias que se fijaron de antemano por el cliente.

La interpretación correcta de los límites de control es de especial relevancia, ya que de lo contrario se caerá en el error de confundir los límites de control con las especificaciones o con los límites reales. Estos errores generalmente traen como consecuencia que se trate de utilizar el gráfico para evaluar capacidad, cuando se debe usar para analizar estabilidad y detectar cambios en la media del proceso de manera oportuna.

Límites de control del gráfico R

Se determinan a partir de la media y la desviación estándar de los rangos de los subgrupos, ya que en este caso es el estadístico que se grafica. Por ello, los límites se estiman de la siguiente manera:

$$\mu_R = \bar{R} \quad \text{y} \quad \sigma_R = d_3 \sigma \approx d_3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right)$$

donde \bar{R} es la media de los rangos de los subgrupos, sigma la desviación estándar del proceso, d_3 es una constante que depende del tamaño del subgrupo, que está tabulada, como por lo general en un estudio inicial no se conoce sigma, ésta puede estimarse a través de \bar{R} / d_2 , como ya lo habíamos explicado. En forma explícita, los límites de control para la carta R se calculan con:

$$LCI = \bar{R} - 3d_3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right) = \left[1 - 3 \left(\frac{d_3}{d_2} \right) \right] \bar{R} = D_3 \bar{R}$$

$$\text{Línea central} = \bar{R}$$

$$LCS = \bar{R} + 3d_3 \left(\frac{\bar{R}}{d_2} \right) = \left[1 + 3 \left(\frac{d_3}{d_2} \right) \right] \bar{R} = D_4 \bar{R}$$

Donde se han introducido las constantes D_3 y D_4 para simplificar los cálculos y también están tabuladas para diferentes tamaños de subgrupo, n .

Los límites en una carta R indican la variación esperada para los rangos muestrales de tamaño n , mientras el proceso no tenga un cambio significativo. Por ejemplo, en el caso del peso de los costales, se espera que los rangos de los subgrupos de 4 costales varíen de cero a 2.3963 kg. Estos límites se utilizan para detectar cambios en la amplitud o magnitud de la variación del proceso y para ver qué tan estable permanece a lo largo del tiempo, pero por ningún motivo se deben emplear para evaluar la capacidad.

El gráfico de R muestra si la variabilidad de la característica a evaluar es estable y que no se detectó ninguna situación o causa especial que haya afectado la tendencia central del proceso, entonces los límites de control encontrados para ambos gráficos se pueden usar a futuro para analizar el proceso directamente en la línea de producción.

Estudio Inicial vs Seguimiento

Para tener por primera vez límites de control para un proceso que se monitoreará con un gráfico de este tipo, es necesario hacer un estudio inicial, en el que se tomen datos del proceso que reflejen su comportamiento por un tiempo suficientemente representativo. Este periodo depende de la velocidad del proceso y del tipo de gráfico de control. La idea es que el tiempo sea suficiente para que se reflejen los cambios cotidianos que se dan en el proceso: diferentes turnos, lotes de producción, cambios en materiales y equipos, etcétera.

Una vez obtenidos los datos, aplicando las fórmulas que se dieron antes, se calculan los límites preliminares tanto para la carta de medias como para la de rangos. Si los datos reflejan que el proceso está en control estadístico tanto en lo referente a variabilidad como a la tendencia central, entonces estos límites se continuarán usando para analizar el proceso en tiempo real, de tal forma que en cuanto se tomen los datos se sabrá si el proceso sigue operando bajo un estado de control estadístico o no.

En caso de que en el estudio inicial aparezcan pocos puntos fuera de los límites de control, entonces, dado que estos puntos influyen en los límites calculados, es usual investigar la situación especial que causó que los puntos estén fuera de los límites. Una vez que se ha identificado la causa, es necesario excluir los datos que representan los puntos fuera y recalculan los límites de control sin la influencia de estas situaciones especiales.

Una vez que se tienen límites de control definitivos, éstos no se cambiarán hasta que la realidad del proceso sea otra; por ejemplo, que se haya reducido su variabilidad de manera significativa o mejorado el centrado del proceso. En ocasiones, en algunas empresas se acostumbra revisar o recalculan periódicamente los límites; en estos casos, se debe ser cuidadoso al imitar esta práctica, ya que si el periodo es muy corto, tal vez no se detecten ciertos cambios o tendencias que se estén registrando en los gráficos. Por ejemplo, una semana es un periodo muy corto para recalculan los límites de control. En algunos procesos sí se justifica el hecho de recalculan los límites, por ejemplo, cuando se da mantenimiento o se ajustan ciertos procesos. En todo caso, se debe tener muy claro el propósito.

Caso Práctico 1:

En una fábrica de bolsas de plástico un aspecto importante de la calidad es la dimensión de las bolsas. En una fase del proceso, máquinas de cierto tipo deben cortar automáticamente las bolsas a una medida ideal de 30 cm con una tolerancia de ± 0.5 cm. Para asegurarse de que las dimensiones de las bolsas son las correctas, “de vez en cuando” el operador mide una bolsa y dependiendo de tal medida decide ajustar o no la máquina. Estas mediciones, además de que no son sistemáticas, no se registran.

Esta forma de controlar la calidad no es adecuada, porque generalmente conduce a administrar por reacción. Por ello se decide implementar un gráfico de control X-R.

Para muestrear, se toman cinco bolsas consecutivas cada hora y media. Los datos obtenidos en cuatro días aparecen en la tabla.

Muestra	Longitud de las bolsas (cm)					Media	Rango
1	30.3	30.2	29.9	30.3	30.1	30.16	0.4
2	30.0	30.1	29.9	29.8	30.1	29.98	0.3
3	30.0	30.1	30.2	29.8	30.0	30.02	0.4
4	29.7	30.1	29.8	30.0	30.0	29.98	0.4
5	30.0	29.8	30.0	29.9	30.1	29.96	0.3
6	30.1	30.2	30.3	30.0	29.9	30.10	0.4
7	30.3	30.0	29.9	29.7	29.9	29.96	0.6
8	30.2	29.9	30.0	30.0	30.1	30.04	0.3
9	29.9	30.2	30.0	29.9	30.0	30.00	0.3
10	29.6	30.1	29.9	30.0	30.0	29.92	0.5
11	30.3	29.8	30.0	30.1	30.0	30.4	0.5
12	29.5	29.6	29.8	29.6	30.0	29.70	0.5
13	30.1	29.9	30.3	29.9	30.2	30.08	0.4
14	29.8	29.9	30.0	29.9	29.7	29.86	0.3
15	29.9	30.3	29.9	29.9	30.5	30.10	0.6
16	29.9	30.1	30.2	30.2	30.1	30.10	0.3
17	30.1	30.1	29.9	30.1	29.9	30.02	0.2
18	29.7	29.5	30.0	29.6	29.7	29.70	0.5
19	30.2	30.0	30.0	29.9	30.0	30.02	0.3
20	30.1	30.0	30.1	29.9	29.8	29.98	0.3
21	29.9	30.1	29.9	30.2	30.0	30.02	0.3
22	30.0	29.9	29.7	30.0	29.8	29.88	0.3
						$\bar{X} = 29.98$	$\bar{R} = 0.3818$

De acuerdo a los datos, los límites para el gráfico de rangos son los siguientes:

$$LCI = D_3\bar{R} = 0 \times 0.3818 = 0$$

$$\text{Línea central} = \bar{R} = 0.3818$$

$$LCS = D_4\bar{R} = 2.115 \times 0.3818 = 0.807,$$

mientras que los límites para el gráfico \bar{X} son:

$$LCS = \bar{X} + A_2\bar{R} = 29.98 + (0.577 \times 0.3818) = 30.02$$

$$\text{Línea central} = \bar{X} = 29.98$$

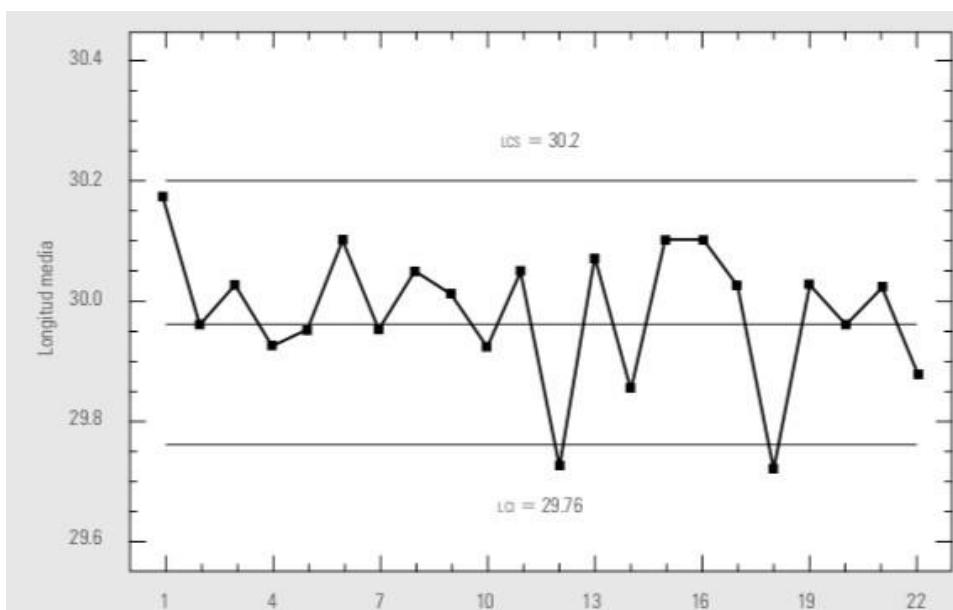
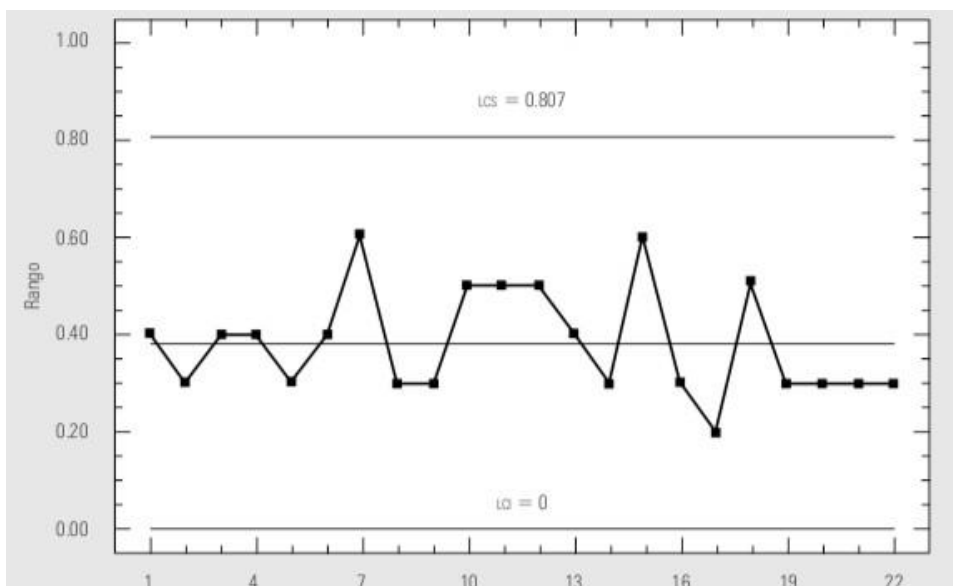
$$LCI = \bar{X} - A_2\bar{R} = 29.98 - (0.577 \times 0.3818) = 29.76.$$

Las constantes para el cálculo de los límites de control se obtuvieron de tablas, tomando $n = 5$.

Tamaño de la muestra, n	Carta \bar{X}	Carta R		Estimación de σ
	A_2	D_3	D_4	d_2
2	1.880	0	3.267	1.128
3	1.023	0	2.575	1.693
4	0.729	0	2.282	2.059
5	0.577	0	2.115	2.326
6	0.483	0	2.004	2.534
7	0.419	0.076	1.924	2.704
8	0.373	0.136	1.864	2.847
9	0.337	0.184	1.816	2.970
10	0.308	0.223	1.777	3.078
11	0.285	0.256	1.744	3.173
12	0.266	0.283	1.717	3.258
13	0.249	0.307	1.693	3.336
14	0.235	0.328	1.672	3.407
15	0.223	0.347	1.653	3.472
16	0.212	0.363	1.637	3.532
17	0.203	0.378	1.622	3.588
18	0.194	0.391	1.608	3.640
19	0.187	0.403	1.597	3.689
20	0.180	0.415	1.585	3.735
25	0.153	0.459	1.541	3.931

Se muestran los gráficos de rangos y de medias, respectivamente. En la carta R se aprecia que la máquina que hace los cortes de las bolsas estuvo bajo control estadístico en cuanto a variabilidad, ya que no hubo puntos fuera de los límites y no se dio ningún patrón especial. El rango de las muestras de tamaño cinco que se tomaron durante cuatro días estuvo fluctuando de manera estable entre cero y 0.807 cm.

Mientras la carta de medias refleja que el proceso no estuvo en control estadístico en cuanto a la tendencia central, ya que los puntos correspondientes a las muestras 12 y 18 se salieron del límite inferior del gráfico, adicional a ello no se presentó ningún patrón. Por lo tanto, en el entorno del momento en el que se tomaron estas muestras la máquina funcionó bajo una causa especial, de tal forma que estuvo cortando bolsas más pequeñas de lo que ordinariamente suele hacerlo.



Para decidir qué límites de control se usarán para analizar los datos futuros, lo primero que se debe hacer es investigar qué es lo que estuvo ocurriendo, de manera especial, cuando se tomaron las muestras 12 y 18. Si se encuentran las causas se eliminan estas muestras, y con el resto de datos se recalculan los límites de control definitivos.

De esta manera, se eliminan las muestras 12 y 18 y se recalculan los límites de control.

Interpretación de los gráficos de control y las causas de la inestabilidad

Como se comentó, una señal de que se ha detectado una causa especial de variación (o señal de un cambio especial en el proceso) se manifiesta cuando un punto cae fuera de los límites de control o cuando los puntos graficados en la carta siguen un comportamiento no aleatorio (por ejemplo, una tendencia a aumentar, un movimiento cíclico, etc.).

Se presentarán cinco patrones para el comportamiento de los puntos en una carta, los cuales indicarán que el proceso está funcionando con causas especiales de variación. Esto ayudará a identificar cuándo un proceso es inestable y el tipo de causas que ocasionan la correspondiente inestabilidad. De entrada podemos decir que un proceso muy inestable es sinónimo de un proceso con pobre estandarización, en el que probablemente haya cambios continuos o mucha variación atribuible a materiales, mediciones, diferencias en las condiciones de operación de la maquinaria y desajustes, distintos criterios y capacitación de operarios, etcétera.

Patrón 1. Desplazamientos o cambios en el nivel del proceso :Este patrón ocurre cuando uno o más puntos se salen de los límites de control o cuando hay una tendencia larga y clara a que los puntos consecutivos caigan de un sólo lado de la línea central.

Patrón 2. Tendencias en el nivel del proceso : Este patrón consiste en una tendencia a incrementarse (o disminuirse) los valores de los puntos.

Patrón 3. Ciclos recurrentes (periodicidad) : Otro movimiento no aleatorio que pueden presentar los puntos en las cartas es un comportamiento cíclico de los puntos. Por ejemplo, se da un flujo de puntos consecutivos que tienden a crecer y luego se presenta un flujo similar pero de manera descendente y esto se repite en ciclos.

Patrón 4. Mucha variabilidad: Una señal de que en el proceso hay una causa especial de mucha variación, se manifiesta mediante la alta proporción de puntos cerca de los límites de control, a ambos lados de la línea central, y pocos o ningún punto en la parte central de la carta. En estos casos se dice que hay mucha variabilidad.

Patrón 5. Falta de variabilidad (estatificación): Una señal de que hay algo especial en el proceso es que prácticamente todos los puntos se concentren en la parte central de la carta, es decir, que los puntos reflejen poca variabilidad o estatificación.

Cuando alguno de los patrones anteriores se presenta, es señal de que en el proceso hay una situación especial (proceso inestable o fuera de control estadístico), que causa que los puntos no estén variando aleatoriamente dentro de la carta. Esto no significa que no se pueda seguir produciendo con él, sino que el proceso trabaja con variaciones debidas a alguna causa específica (material heterogéneo, cambios de operadores, diferencias significativas entre máquinas, desgaste o calentamiento de equipo, etc.). Por lo tanto, en caso de presentarse alguno de los patrones anteriores, es necesario tener como práctica buscar de inmediato las causas para conocer mejor el proceso (saber qué lo afecta) y tomar las medidas correctivas y preventivas apropiadas.

Es frecuente encontrar empresas en las que la aplicación e interpretación de las cartas de control es muy deficiente, y cuando en ellas se presenta uno de los patrones anteriores, no se hace nada y entonces las cartas pierden mucho de su potencial. Frases como las siguientes: “El proceso dio un brinco tal día, pero ya regresó a su nivel normal”, “de tal a tal día hubo una tendencia, pero las cosas regresaron a la normalidad”, “el proceso tiene un comportamiento cíclico, pero se está cumpliendo con especificaciones”, implican que los gráficos de control se usan como bitácora. Pero un gráfico de control “no es una bitácora de proceso”. En todos los casos anteriores se desperdió una oportunidad (una señal estadística) para conocer y mejorar la estandarización del proceso.

Gráfico de control np (número de artículos defectuosos)

En ocasiones, es más conveniente usar la carta np en la que se grafica el número de artículos defectuosos por subgrupo. Los límites de control para la carta np se obtienen estimando la media y la desviación estándar de cada subgrupo, que bajo el supuesto de distribución binomial están dadas por:

$$\mu_{di} = n\bar{p} \quad \text{y} \quad \sigma_{di} = \sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$$

donde n es el tamaño de subgrupo y \bar{p} es la proporción promedio de artículos defectuosos. De aquí que los límites de control de la carta np estén dados por:

$$\begin{aligned} LCS &= n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})} \\ \text{Línea central} &= n\bar{p} \\ LCI &= n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}. \end{aligned}$$

En ocasiones, en un estudio inicial, es difícil localizar las causas especiales, si es que las hubo, ya que ocurrieron en el pasado. Sin embargo, una vez que se establecen los límites de control y en la carta se grafica la cantidad de piezas defectuosas en el momento inmediato en el que se obtienen, será más fácil localizar las causas especiales que ocurran, ya que se analizará el proceso en tiempo presente. Los límites de control que se usarán a futuro en la carta np para los componentes W pueden ser los mismos que se obtuvieron, pues éstos están afectados por un punto máximo y otro mínimo, por lo que de alguna manera se compensan, además de que no se encontraron las causas especiales.

Interpretación de los límites de control del gráfico np

Los límites del gráfico np indican qué tanto varía la cantidad esperada de piezas defectuosas por cada n artículos inspeccionados.

Hacemos énfasis en el hecho de que estos límites reflejan la realidad del proceso de acuerdo con la manera en la que se muestrea, lo que hace que la carta ayude a detectar la presencia de causas especiales que afectan el proceso. Sin embargo, aunque se identifiquen y se eliminen tal tipo de causas y se logre tener un proceso estable, la cantidad de piezas defectuosas aún será demasiado grande, como se aprecia en la interpretación de los límites.

Por ello, será necesario generar acciones para disminuir la cantidad de piezas defectuosas.

Caso Práctico 2:

Del análisis de los datos de inspecciones y pruebas finales de un producto ensamblado, se ha detectado, a través de una estratificación y un análisis de Pareto, que la causa principal por la que los artículos salen defectuosos está relacionada con los problemas en un componente en particular: el componente W.

Se decide, entonces, analizar más de cerca el proceso que produce tal componente. Para ello, de cada lote de componentes W se inspecciona una muestra de $n = 120$. Los datos obtenidos en 20 lotes consecutivos se muestran en la tabla.

Lote	Artículos defectuosos en la muestra	Lote	Artículos defectuosos en la muestra
1	9	11	10
2	6	12	20
3	10	13	12
4	8	14	10
5	5	15	10
6	5	16	0
7	14	17	13
8	12	18	5
9	9	19	6
10	8	20	11
Total = 183			

El análisis de estos datos se hace directamente al registrar la cantidad de artículos defectuosos por muestra, sin necesidad de calcular la proporción, es decir, se estudian con un gráfico np . Para obtener sus límites, primero se estima \bar{p} , que se obtiene de dividir el total de artículos defectuosos (183) entre el total de piezas inspeccionadas (2 400; son 20 muestras de 120 piezas cada una), es decir,

$$\bar{p} = 183 / (20 \times 120) = 0.076$$

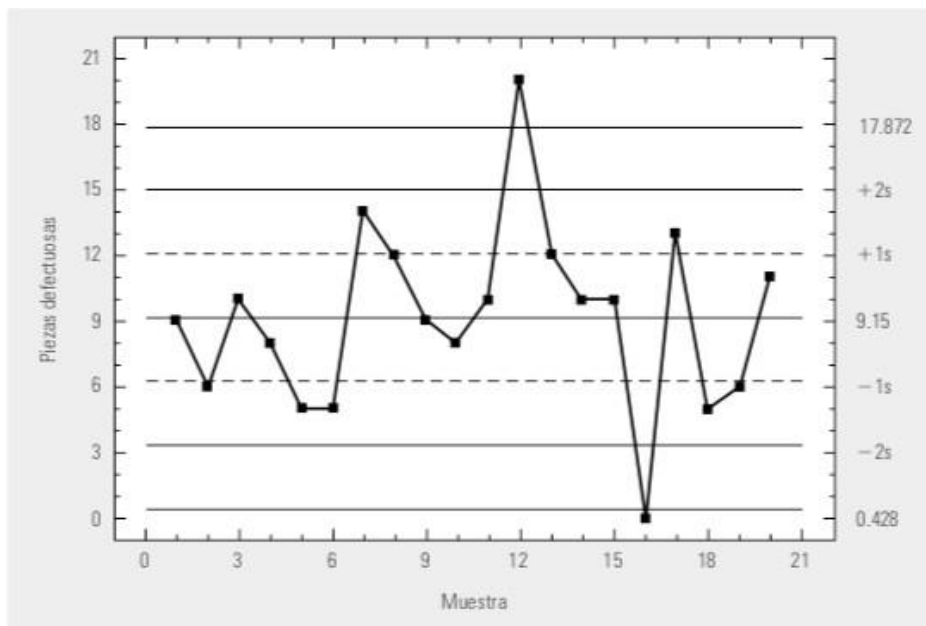
Con lo que los límites de control están dados por:

$$LCS = 120 \times 0.076 + 3 \times \sqrt{120 \times 0.076 (1-0.076)} = 17.87$$

$$\text{Línea central} = 120 \times 0.076 = 9.15$$

$$LCI = 120 \times 0.076 - 3 \times \sqrt{120 \times 0.076 (1-0.076)} = 0.43$$

El gráfico np resultante se muestra debajo:



se aprecia que el proceso no funcionó de manera estable, ya que el número de piezas defectuosas en la muestra del lote 12 es mayor que el límite superior, mientras que en la muestra del lote 16 es menor que el límite inferior. De aquí que se tenga una evidencia objetiva para afirmar que en la fabricación del lote 12 se hizo presente una causa o situación especial que normalmente no está presente en el proceso y que lo empeoró seriamente, mientras que en el lote 16 ocurrió una causa especial que mejoró el desempeño del proceso de fabricación de componentes W. Se debe tratar de localizar ambas causas, a fin de prevenir la primera y fomentar la segunda.

Casos Prácticos Resueltos en Clase:

Caso Práctico 3

Para monitorear el proceso de fabricación de computadoras portátiles, un ingeniero de control de calidad selecciona al azar 50 computadoras portátiles de la línea de producción, cada día durante un período de 20 días.

Las computadoras portátiles se inspeccionan para detectar ciertos defectos y la cantidad de computadoras portátiles defectuosas encontradas cada día se registra en la siguiente tabla.

Determinar el estado del proceso

DIA	DEFECTOS
1	3
2	5
3	5
4	1
5	10
6	4
7	2
8	7
9	6
10	4
11	1
12	0
13	1
14	6
15	2
16	2
17	3
18	1
19	7
20	5

Caso Práctico 4

Se está controlando una producción de cueros en una Curtiembre, cada media hora se retiran al azar 50 cueros terminados de la línea de producción, se repite durante una jornada extendida de 10 horas de trabajo.

Los cueros se inspeccionan para detectar ciertos defectos y la cantidad de cueros defectuosos se registran, los resultados se muestran en la tabla.

¿Qué puede concluir del proceso?

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

Caso Práctico 5

En una producción de instrumental médico 20 lotes de 400 unidades se someten a inspección 100%, y el número de instrumentos defectuosos que se observan se tabulan dando lo que indica la tabla.

- a) ¿Qué puede concluir del proceso en cuanto a su estado de control estadístico?
- b) Si el cliente también realiza su control al recibir los instrumentos y estipula que solo aceptaría como máximo hasta 5 instrumentos con fallas, sino rechaza los 15 lotes, ¿qué acción tomaría? y ¿cómo lo evidenciaría frente al cliente?

LOTE	Inst. con defectos
1	2
2	5
3	0
4	5
5	3
6	0
7	1
8	0
9	7
10	6
11	6
12	0
13	3
14	0
15	6
16	5
17	1
18	0
19	6
20	3

Caso Práctico 6

En una fábrica de productos químicos se llenan tambores de 200 lts en chapa con un tensioactivo industrial.

El Jefe de planta está midiendo los pesos netos de los tanques en un programa de CEP, se sabe que la densidad del producto es 1.00.

Se toman 4 tanques de cada lote de producción y durante los últimos 25 días consecutivos se obtienen los valores indicados en la tabla.

Si por encima de 208 kg el transporte por unidad tambor se encareció, y la Gerencia da la orden que los tambores no pasen de ese peso, de acuerdo al estudio del CEP que recomienda hacer

LOTE	Media	Rango
1	200,00	4
2	202,50	6
3	203,00	7
4	200,75	2
5	200,25	11
6	204,00	4
7	209,75	4
8	205,00	2
9	204,25	3
10	203,00	5
11	200,50	3
12	204,00	4
13	203,50	1
14	210,00	8
15	197,50	10
16	206,25	4
17	203,50	5
18	200,75	8
19	204,50	1
20	205,00	6
21	205,25	7
22	205,50	2
23	204,25	5
24	204,25	4
25	206,00	3

Caso Práctico 7

Los siguientes datos resumen el número total de piezas defectuosas producidas por 14 operarios de su planta en los últimos 6 meses. Cada operario produce un total de 1000 piezas en esos 6 meses.

Se establece un plan para eliminar estos defectos.

Las primeras investigaciones confirman que el equipo de fabricación es apropiado, la especificación está clara y los operarios reciben información periódica sobre sus resultados. ¿Que haría Ud?.

Establezca la secuencia de los siguientes pasos a dar.

Operario	Piezas Defectuosas
1	46
2	22
3	64
4	5
5	65
6	79
7	188
8	9
9	130
10	10
11	125
12	39
13	26
14	94