UCAB UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

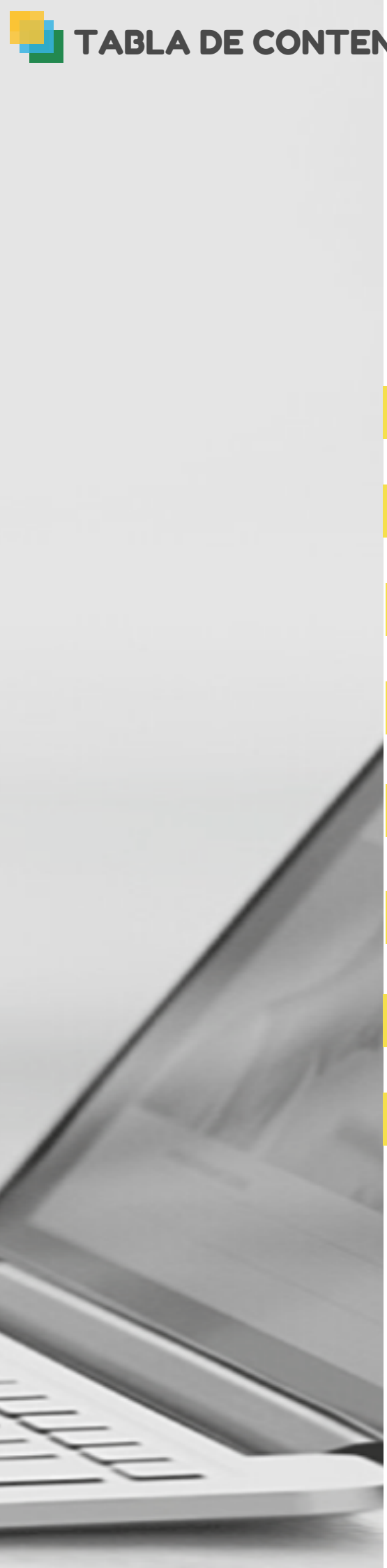
CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS

Control estadístico de procesos por Ana María Borges Peña - UCAB, está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

OBJETIVO

Reconocer el control estadístico de procesos como tecnología fundamental para el mejoramiento de la calidad en la organización para el alcance de niveles de competitividad óptimos en un entorno globalizado.

TABLA DE CONTENIDO



Introducción

01 Variabilidad y pensamiento estadístico

02 Causas comunes y especiales de variación

03 Cartas de control

04 Cartas de control para variables y cartas de control para atributos

05 Interpretación de las cartas de control y causas de la inestabilidad

Cierre

Referencias

Existen tecnologías estadísticas y de ingeniería útiles en el mejoramiento de la calidad, entre las cuales se podrían mencionar tres áreas, a saber: **el control estadístico de procesos (CEP), el diseño de experimentos y el muestreo de aceptación.**

El CEP tiene como objetivo hacer predecible un proceso en el tiempo. Una de las principales técnicas del CEP es la carta de control, la cual es una técnica muy útil de monitoreo de proceso, ya que da señales que llevan a una investigación del proceso y emprender una acción correctiva para eliminar alguna fuente de variabilidad en las características claves de la calidad del producto.

Un experimento diseñado es de suma utilidad para descubrir las variables claves que influyen en las características de calidad que son de interés en el proceso. **Un experimento diseñado es un enfoque para analizar de manera sistemática los factores de entrada controlables del proceso y determinar el efecto que tienen estos factores sobre los parámetros de salida**. Son una importante herramienta de control de calidad fuera de línea, ya que por lo general se utilizan durante las actividades de desarrollo de producto y en las etapas iniciales de producción.

El muestreo de aceptación es otra de las áreas del control y mejoramiento de calidad y guarda estrecha relación con la inspección y prueba del producto. El muestreo de aceptación es definido como la inspección y clasificación de una muestra de unidades seleccionadas al azar de una carga o lote más grande y la decisión final acerca de la forma que se dispondrá el lote. El muestreo ocurre por lo general en dos puntos: **en la materia prima o componentes de entrada y en la producción final**.

La inspección es el medio de asegurarse que una operación está produciéndose al nivel de calidad esperada. El objetivo de inspeccionar es poder detectar un mal producto de forma inmediata, la inspección no corrige las deficiencias, ni los defectos, ni tampoco transforma un producto, ni incrementa su valor. **Solamente descubre deficiencias y defectos**; debe ser concebida como una auditoría, no añade valor a los productos, pero es necesaria por lo que hay que saber cuándo y dónde inspeccionar.

INTRODUCCIÓN

El control estadístico de procesos (CEP) implica establecer estándares, supervisarlos, medirlos y tomar acciones correctivas cuando se produce un bien o un servicio. Para ello se deben examinar muestras de los resultados del proceso y si esos valores se encuentran dentro de los límites aceptables, el proceso debe continuar. Si los valores caen fuera de los límites (rangos específicos establecidos) debe intervenirse, generalmente deteniendo el proceso, localizando y eliminando la causa probable.

Un aspecto fundamental en toda organización es **decidir qué y cómo se va a medir su salud y desempeño**, ya que esto comunica valor, encauza el pensamiento de los empleados y fija las prioridades.

Las medidas son un medio sistemático para convertir las ideas en acción, las medidas constituyen uno de los aspectos esenciales del CEP. Es necesario medir lo que es importante y clave en los procesos, así como los resultados que se quieren mejorar. Es tarea esencial de un líder y su equipo establecer el sistema de medición del desempeño y hoy en día no son suficientes los reportes financieros.

En este tema se desarrollan algunos de los aspectos del control estadístico de procesos, entre los cuales se abarcan: la variabilidad, sus causas y tipos, así como la importancia del pensamiento estadístico y las cartas de control.

La estadística está formada por un **conjunto de técnicas y conceptos orientados a la recolección y análisis de datos**, tomando en cuenta la variación de los mismos; en particular el control estadístico de la calidad es la aplicación de técnicas de la estadística al control de la calidad.

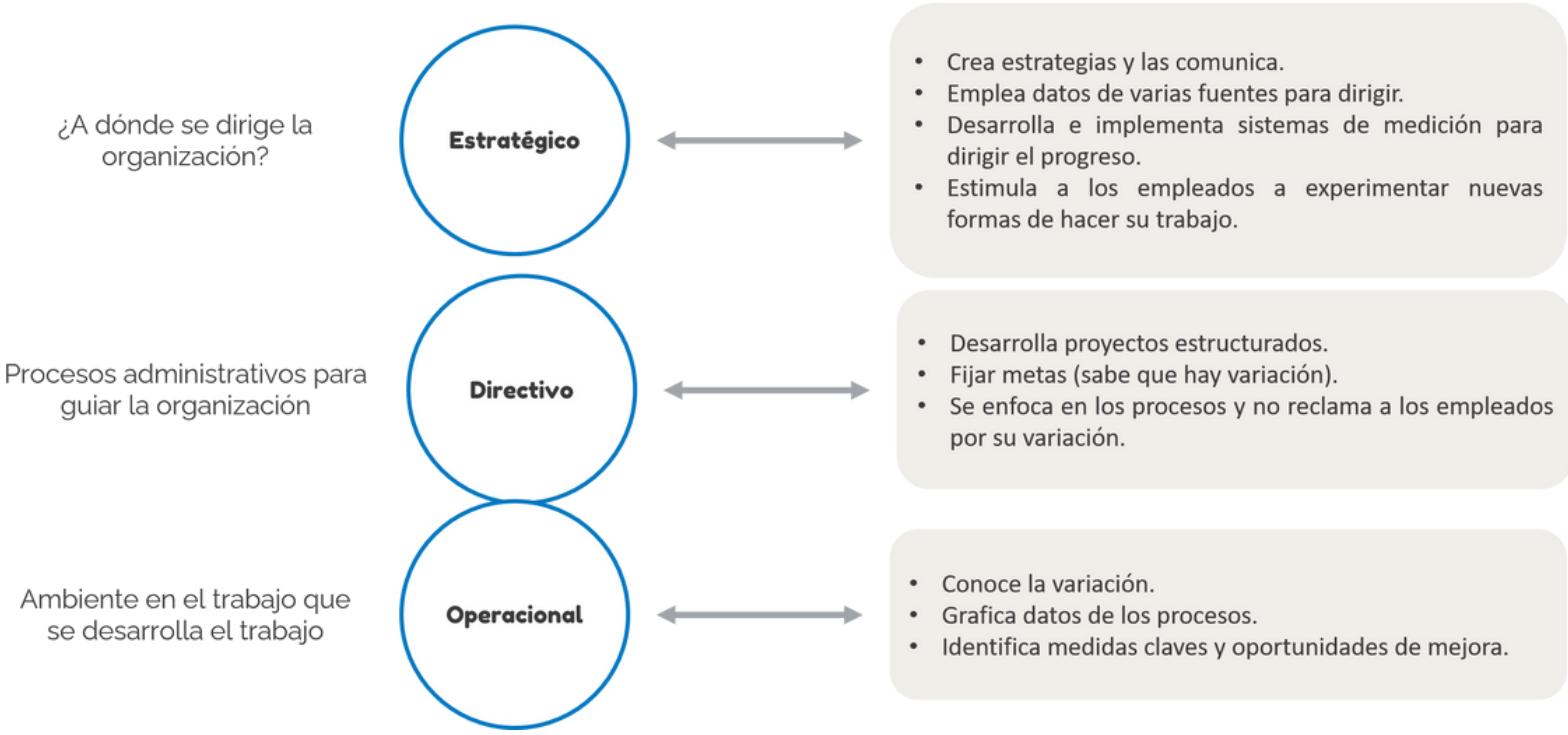
El pensamiento estadístico es una filosofía de aprendizaje y acción que establece la necesidad de un análisis adecuado de los datos de un proceso, como una acción indispensable para mejorar su calidad.

Su filosofía y acción se basan en tres principios fundamentales:

- todo el trabajo ocurre en un sistema de procesos interconectados;
- la variación existe en todos los procesos;
- entender y reducir la variación son claves para el éxito.

El pensamiento estadístico, como filosofía, es fundamental que esté presente en los diferentes niveles organizacionales, para poder hacer un **engranaje adecuado**, tal como se presenta en la siguiente figura:

Figura 1
Pensamiento estadístico
en los tres niveles de la organización

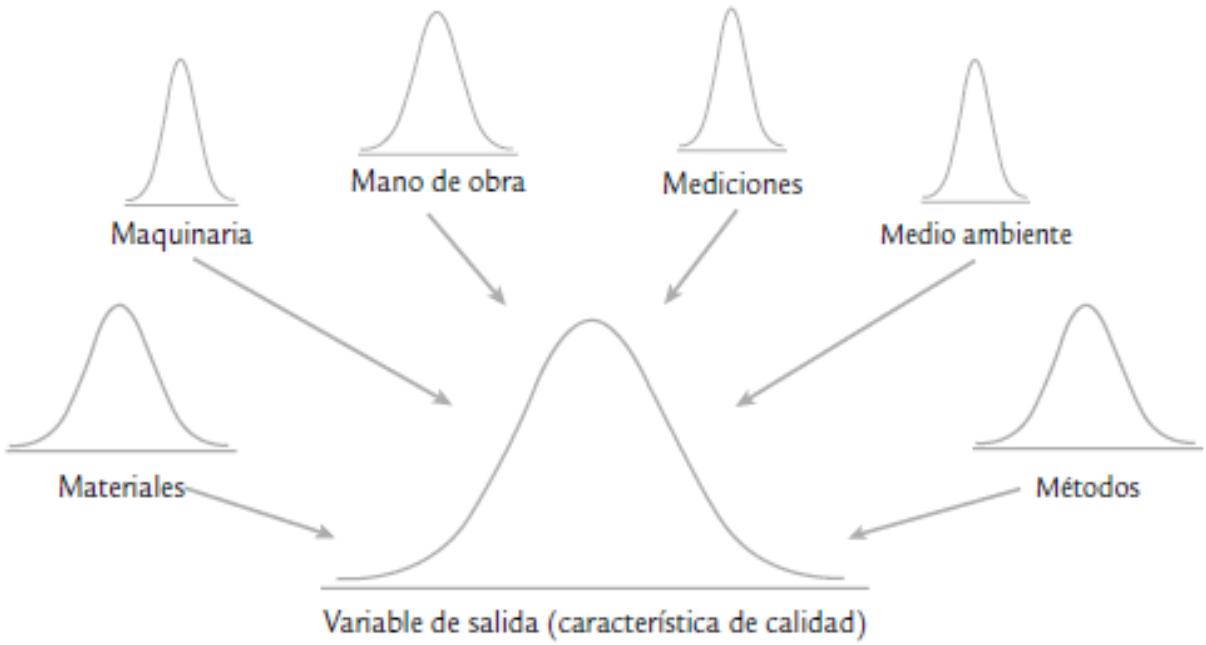


Nota: reproducido de *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*, de Gutiérrez y de la Vara (2013)

La variabilidad se refiere a la **diversidad de resultados de una variable o de un proceso**. La variabilidad es parte de la vida diaria y también está presente en los procesos de las organizaciones. Reducir la variabilidad de los procesos es un objetivo clave del CEP y lo es también de otras filósofas, como por ejemplo *Six Sigma*.

Entonces se hace necesario entender **las causas de la variación**. Una forma de entender estas causas es analizar los elementos que conforman un proceso, estos son materiales, mano de obra, mediciones, medio ambiente, máquinas y métodos. Estos elementos se denominan las 6M. El resultado de todo proceso se debe a la acción conjunta de estas 6M, por lo tanto tiene sentido pensar que si hay un cambio significativo en el desempeño del proceso, sea accidental u ocasionado, su razón se encuentra en una o más de las 6M y cada una tiene y aporta su propia variación, como se presenta en la siguiente figura:

Figura 2
Variabilidad del proceso



Nota: reproducido de *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*, de Gutiérrez y de la Vara (2013)

Hay dos tipos de variabilidad: la que se debe a causas comunes y la que corresponde a causas especiales. Resulta fundamental distinguir en forma eficiente entre ambos tipos de variación para poder tomar las medidas adecuadas para cada caso.

Variación por causas comunes (o por azar)

Es aquella que **permanece día a día, lote a lote, y es aportada de forma natural por las 6M**. Esta variación es inherente a las actuales características del proceso y es resultado de la acumulación y combinación de diferentes causas que son difíciles de identificar y eliminar, ya que son inherentes al sistema y la contribución individual de cada causa; es pequeña, no obstante, a largo plazo representa la mayor oportunidad de mejora.

Variación por causas especiales

Se deben a **situaciones o circunstancias especiales que no están de manera permanente en el proceso**; por ejemplo: la falla ocasionada por el mal funcionamiento de una pieza de una máquina, el empleo de materiales no habituales. Las causas especiales, por su naturaleza relativamente discreta en su ocurrencia, a menudo pueden ser identificadas y eliminadas.

Cuando un proceso trabaja solamente con **causas comunes de variación** se dice que está en control estadístico, que es estable, porque su comportamiento a través del tiempo es predecible, independientemente que la variabilidad sea mucha o poca. En contraste, se dice que un proceso en el cual están presentes **causas especiales de variación**, el mismo está fuera de control estadístico (o simplemente es inestable) y este tipo de proceso es impredecible en el futuro inmediato, pues en cualquier momento pueden aparecer de nuevo las situaciones que tienen un efecto especial sobre la tendencia central de los datos o sobre la variabilidad.

No poder distinguir entre estos dos tipos de variaciones conduce a cometer dos errores en la actuación:

1. Reaccionar ante un cambio (efecto) como si proviniera de una causa especial, cuando en realidad surge de algo más profundo en el proceso, como lo son causas comunes de variación.

2. Tratar un efecto o cambio como si procediera de causas comunes, cuando en realidad se debe a una causa especial.

Estos dos errores **son comunes en todos los niveles jerárquicos de una organización**. El error 2 tiene que ver con la falta de acción oportuna y previsión de detectar rápido la presencia de una causa especial; más bien las acciones llegan cuando los problemas hacen crisis. El error 1 tiene que ver con la sobrerreacción, que significa actuar en forma visceral o inmediata a cambios, en lugar de actuar y decidir de manera objetiva con el conocimiento de la variabilidad de los procesos y los sistemas.

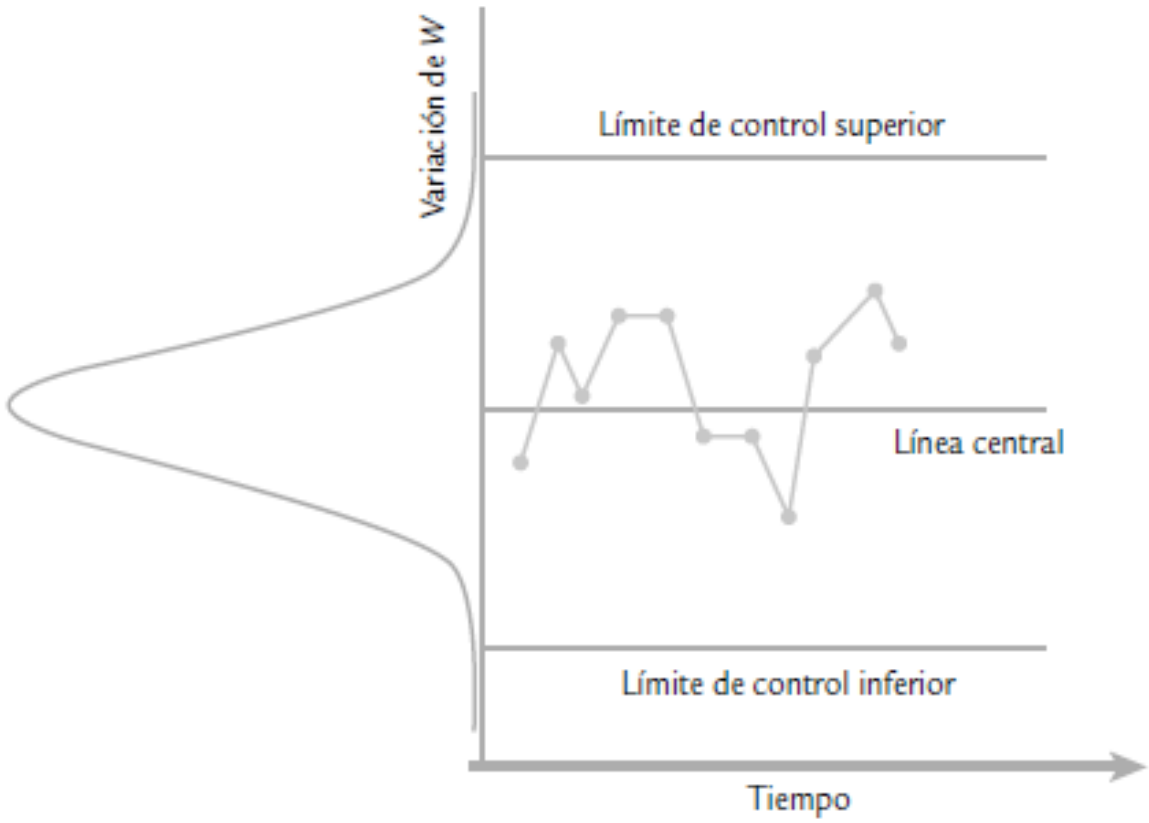
El problema no es la reacción en sí, sino la forma de atender los aspectos superficialmente, ya que se tiende a corregir los efectos y no las causas. El antídoto para el error 1 es fomentar el pensamiento estadístico y el enfoque a procesos, donde más que atender el resultado es preciso entender el proceso que lo genera, ir al fondo y trabajar para modificar el sistema, atacar los problemas como proyectos de mejora y no como puntuales ocurrencias, tomar en cuenta la variabilidad; y en particular las cartas de control juegan papel primordial.

Una carta de control es una gráfica que sirve para **observar y analizar la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo**; así es posible distinguir entre variaciones comunes y especiales, lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y mejora. Al especificar el proceso se está haciendo referencia principalmente a las variables de salida del proceso (características de calidad), pero es importante acotar que las cartas de control se pueden utilizar además para analizar la variabilidad de variables de entrada.

En la siguiente figura se muestra una carta de control:

Figura 3

Idea y elementos de una carta de control



Nota: reproducido de *Control estadístico de la calidad*, de Montgomery (2004)

En esta carta de control el objetivo se analiza de dónde a dónde varía (campana) y cómo varía el estadístico *W* a través del tiempo. Este estadístico puede ser una media muestral, un rango, un porcentaje.

Los valores que va tomando *W* se representan con puntos y estos se conectan con líneas rectas, la línea central representa el promedio de *W*. Los límites de control definen el inicio y final del rango de variación de *W*, de forma que cuando el proceso está en control estadístico existe una alta probabilidad de que prácticamente todos los valores de *W* caigan dentro de los límites. Por ello, si se observa un punto fuera de los límites de control, es señal que ocurrió algo fuera de lo usual en el proceso. Por el contrario, si todos los puntos están dentro de los límites y no tienen algunos patrones no aleatorios de comportamiento, entonces será señal de que en el proceso no ha ocurrido ningún cambio fuera de lo común y **funciona de manera estable** (está en control estadístico).

Los límites de una carta de control no son las especificaciones, tolerancias o deseos para el proceso, sino que estos son calculados a partir de las variaciones del estadístico (datos) que se representa en la carta. **La clave es establecer los límites para cubrir cierto porcentaje de la variación natural del proceso**, teniendo en cuenta que este porcentaje no debe ser demasiado alto porque los límites serían muy amplios y se haría muy difícil detectar los cambios en el proceso; ni demasiado bajo (el porcentaje) porque los límites serían demasiado estrechos y con ello se incrementaría el primer error.

Entonces, para calcular los límites de control se debe actuar de forma que, bajo condiciones de control estadístico, los datos que se grafican en la carta tengan **una alta probabilidad de caer dentro de tales límites**. Una forma de proceder es encontrar la distribución de probabilidad 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 límite de probabilidad.

Una segunda forma más sencilla y usual se obtiene a partir de la relación entre la media y la desviación estándar de *W*, que para el caso de *W* si se distribuye normal con media μ_W y desviación σ_W, y bajo condiciones de control estadístico se tiene que entre μ_W -3σ_W y μ_W+3σ_W se encuentra 99.73% de los posibles valores de *W*. Bajo estas condiciones, un modelo general para una carta de control es el siguiente:

Sea *W* el estadístico que se va a graficar en la carta, con distribución normal y supongamos que su media es μ_W y su desviación estándar es σ_W, entonces el límite de control inferior (*LCI*), la línea central y el límite de control superior (*LCS*) están dados por:

$$LCI = \mu_W - 3\sigma_W$$

$$Línea\ central = \mu_W$$

$$LCS = \mu_W + 3\sigma_W$$

Con estos límites y bajo condiciones de control estadístico se tendrá una alta probabilidad de que los valores de *W* estén dentro de estos. **Estas cartas reciben el nombre de cartas de control tipo Shewhart**.

Las cartas de control para variables son diagramas que se aplican a variables o características de calidad de naturaleza continua (peso, volumen, longitud). Las cartas para variables tipo Shewhart más usuales son:

- $\bar{X}$ (de medias)
- R (de rangos)
- S (de desviación estándar)
- X (de medias individuales)

El nombre de una carta de control se debe al correspondiente estadístico que se representa en la carta. Este estadístico permite **estudiar el comportamiento en el tiempo de algún aspecto relevante de la característica de calidad, típicamente su localización y dispersión**.

Ahora bien, existen características de calidad de un producto que no son medibles con un instrumento de medición en una escala continua, ni numérica. En estos casos **el producto se juzga como conforme o no conforme, dependiendo de si posee o no ciertos atributos**; este tipo de características de calidad son monitoreadas a través de cartas de control para atributos y las más usuales son:

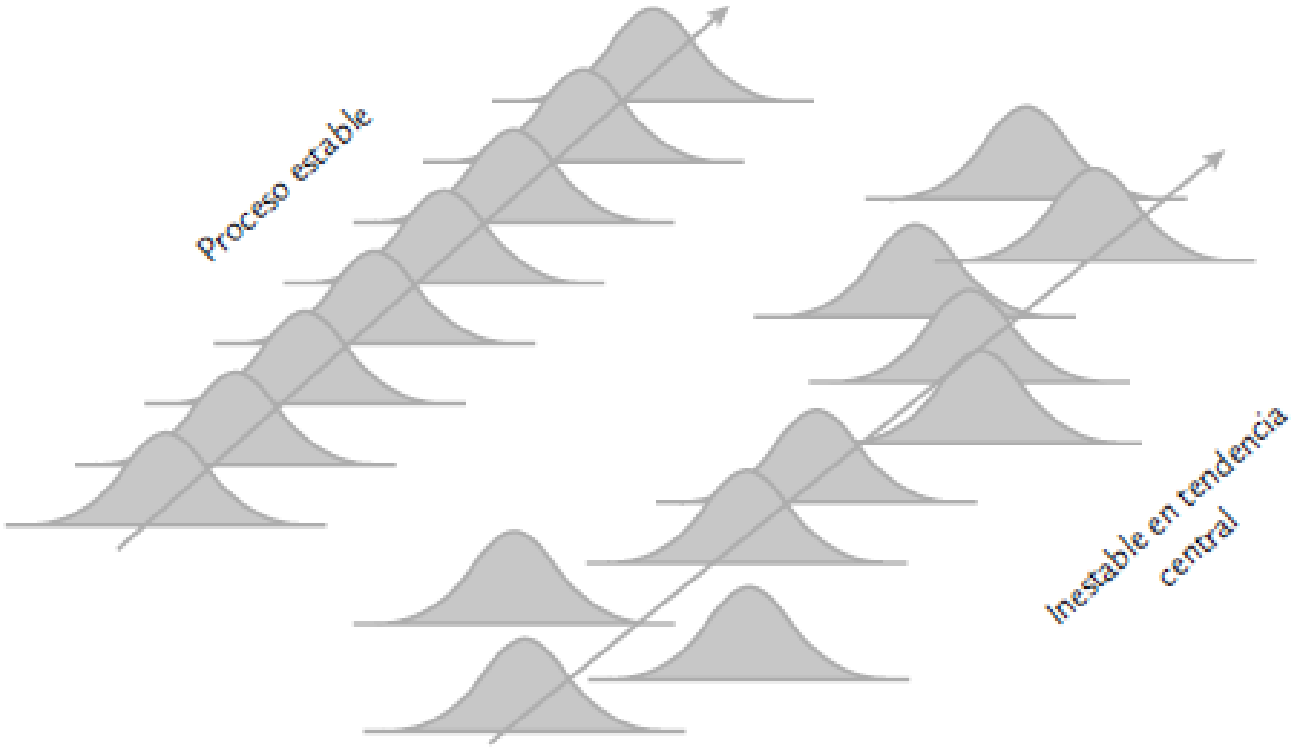
- *p* (proporción o fracción de artículos defectuosos)
- *np* (número de unidades defectuosas)
- *c* (número de defectos)
- *u* (número de defectos por unidad)

Existen muchos procesos industriales considerados del tipo masivo, en el sentido que **producen muchos artículos, partes o componentes durante un lapso de tiempo pequeño**. Las cartas de control $\bar{X}$ - R son diagramas para variables que se aplican a procesos masivos, en donde en forma periódica se obtiene un subrango de productos, se miden y se calcula la media y el rango (variabilidad) para registrarlos en la carta de control correspondiente.

Con la carta $\bar{X}$ se analiza la variación entre las medias de los subgrupos, para detectar cambios en la media de los procesos, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 4

Idea y elementos de una carta de control



Nota: reproducido de *Control estadístico de la calidad*, de Montgomery (2004)

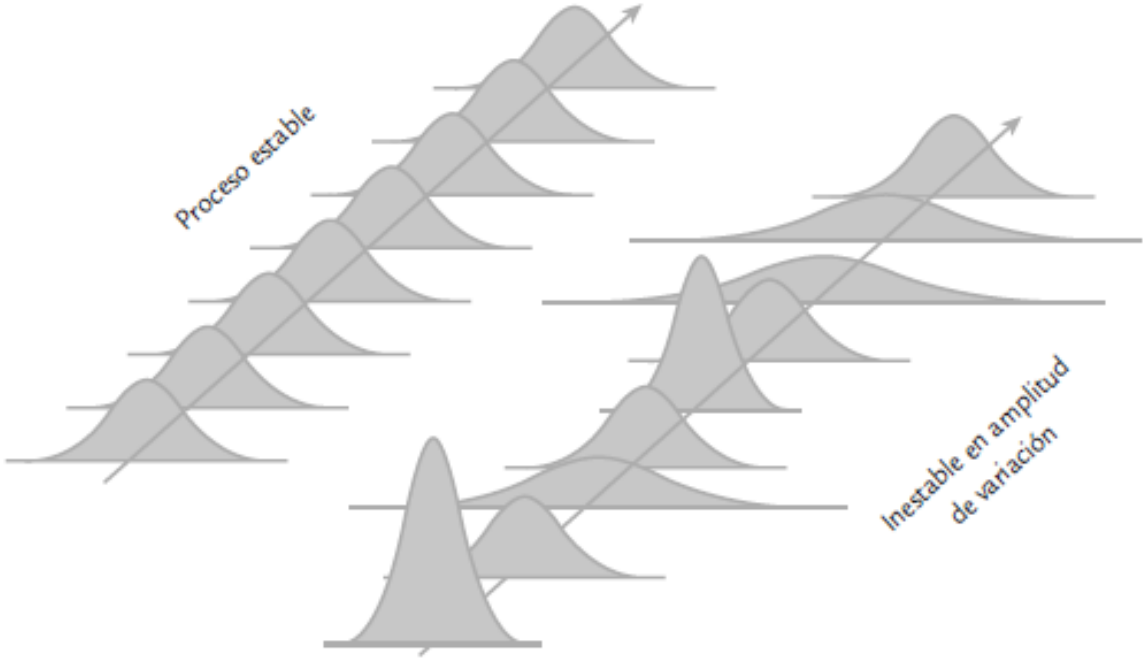
Los límites de control de esta carta están determinados por la media y la desviación estándar del estadístico $\bar{X}$, siendo estos:

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

Donde $\bar{\bar{X}}$ es la media de las medias de los subgrupos y σ es la desviación estándar del proceso y n es el tamaño de subgrupo.

Con la carta R se analiza la variación entre los rangos de los subgrupos, lo cual **permite detectar cambios en la amplitud o magnitud de la variabilidad del proceso**, como se ilustra en la siguiente figura:

Figura 5
Carta R

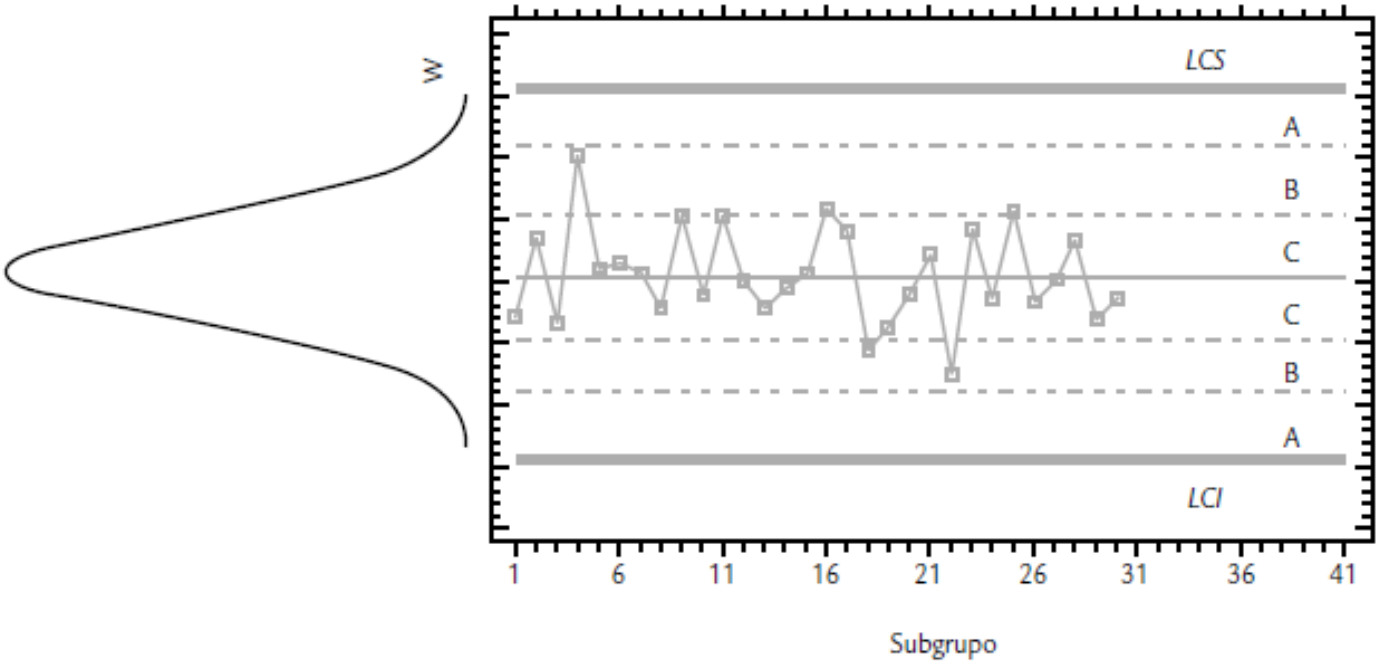


Nota: reproducido de *Control estadístico de la calidad*, de Montgomery (2004)

Cuando se desea tener más potencia en una carta de control $\bar{X} - R$ para detectar **cambios pequeños en el proceso**, se utiliza una carta de control $\bar{X}$ - S y en este caso lo que se hace es incrementar el tamaño de subgrupos n.

En una carta de control se pueden delimitar varias zonas, con la misma amplitud, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 6
Zonas de la carta de control



Nota: reproducido de *Control de la calidad* de Besterfield (2009)

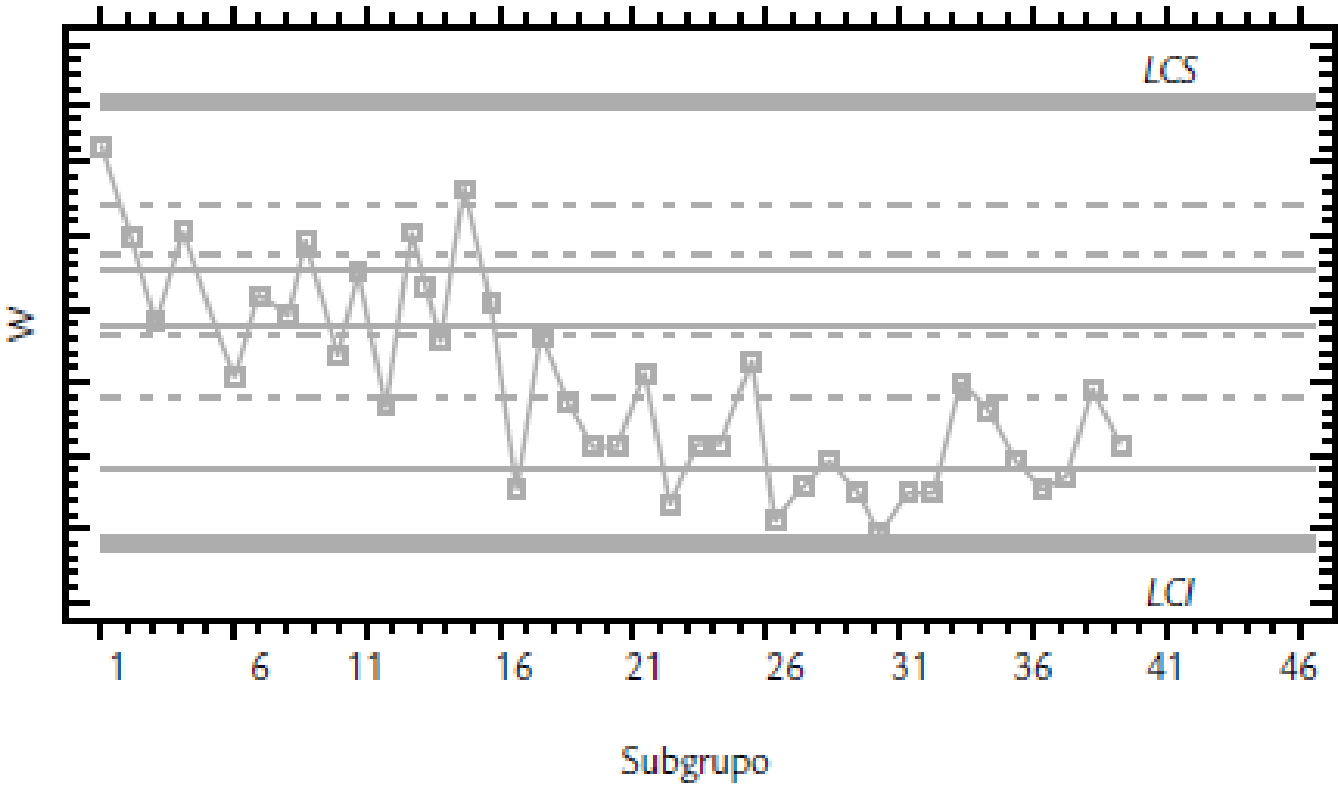
Existen patrones de inestabilidad que pueden detectarse por el comportamiento de los puntos en una carta; este comportamiento ayudará a identificar cuándo un proceso es inestable y el tipo de causa que ocasiona la inestabilidad. A continuación se presentan algunos patrones de inestabilidad:

1

Desplazamiento o cambios en el nivel del proceso. Este patrón ocurre cuando uno a más puntos se salen de los límites de control o cuando hay una tendencia clara y larga a que los puntos consecutivos caigan de un solo lado de la línea central. Típicamente la carta se presenta de la siguiente manera:

Figura 7

Carta con cambio de nivel



Nota: reproducido de *Control de la calidad* de Besterfield (2009)

Estos cambios puede ser por:

- La introducción de nuevos trabajadores, máquinas, materiales o métodos.
- Cambios en los métodos de inspección.
- Una mayor o menor atención de los trabajadores.
- Porque el proceso ha mejorado o empeorado.

Los criterios más usuales para ver este patrón son:

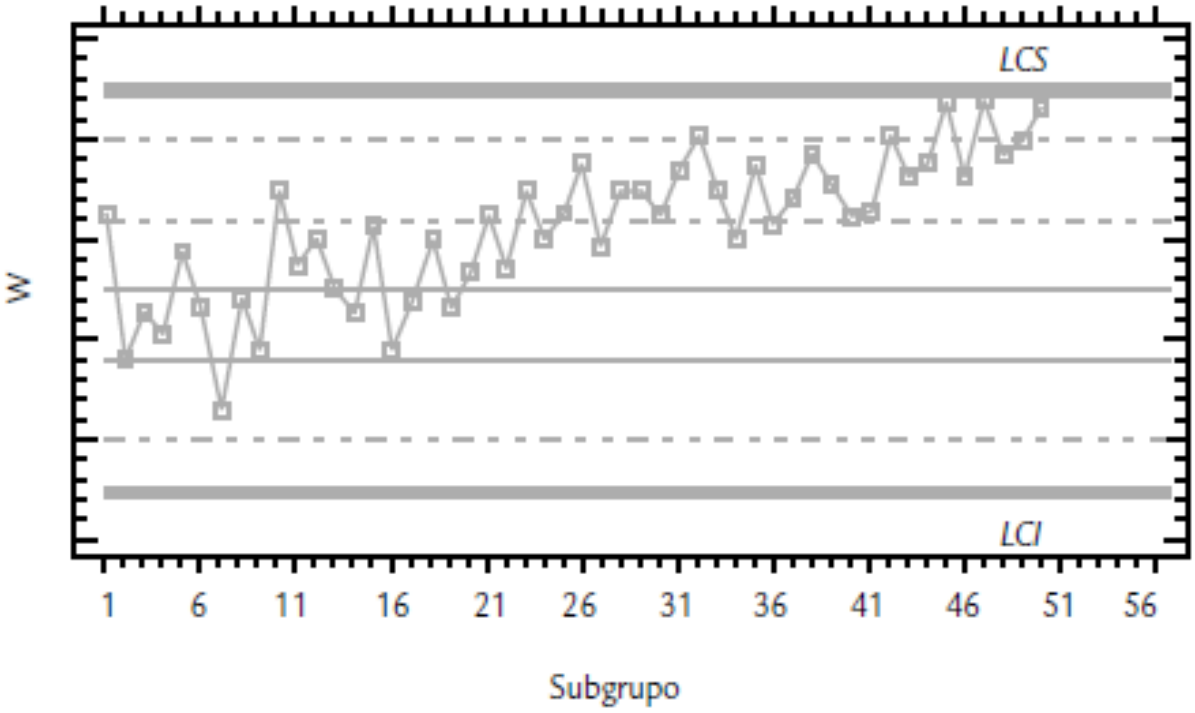
- Un punto fuera de los límites de control.
- Hay una tendencia clara y larga a que los puntos consecutivos caigan de un solo lado de la línea central.
- una imagen similar a la figura.

2

Tendencia en el nivel del proceso. Este patrón consiste en una tendencia hacia arriba o hacia abajo de los puntos en la carta. Típicamente la carta se presenta de la siguiente manera:

Figura 8

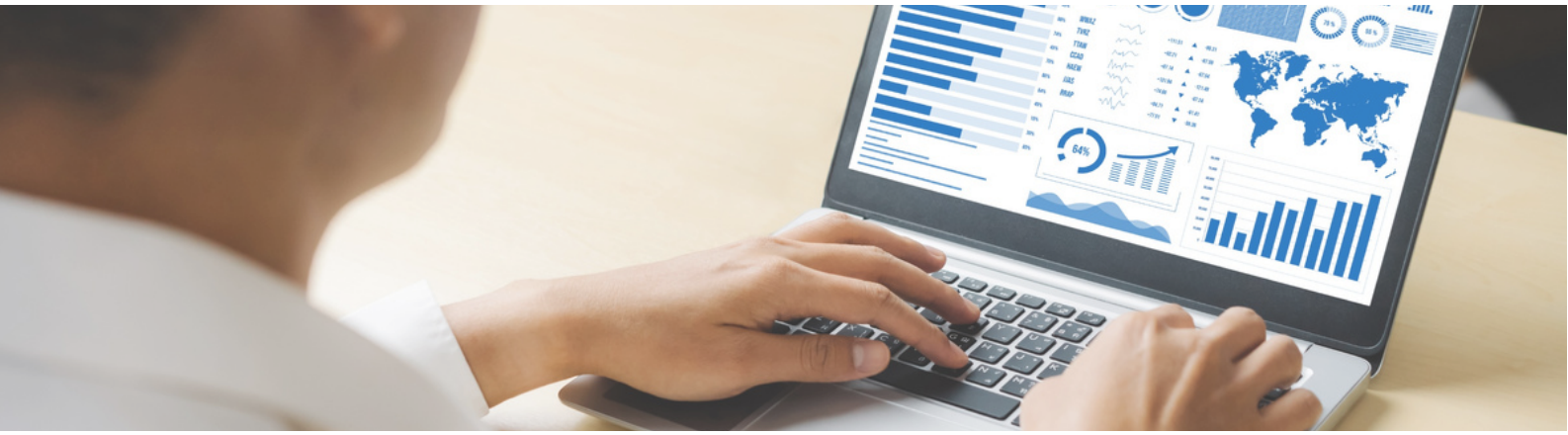
Carta con tendencia de nivel



Nota: reproducido de *Control de la calidad* de Besterfield (2009)

Estos cambios puede ser por:

- Deterioro o desajuste grande de equipo de producción.
- Desgaste de las herramientas.
- Acumulación de productos de desperdicio en las tuberías.
- Calentamiento de máquinas.
- Cambios graduales en las condiciones del medio ambiente.



Los criterios más usuales para ver este patrón son:

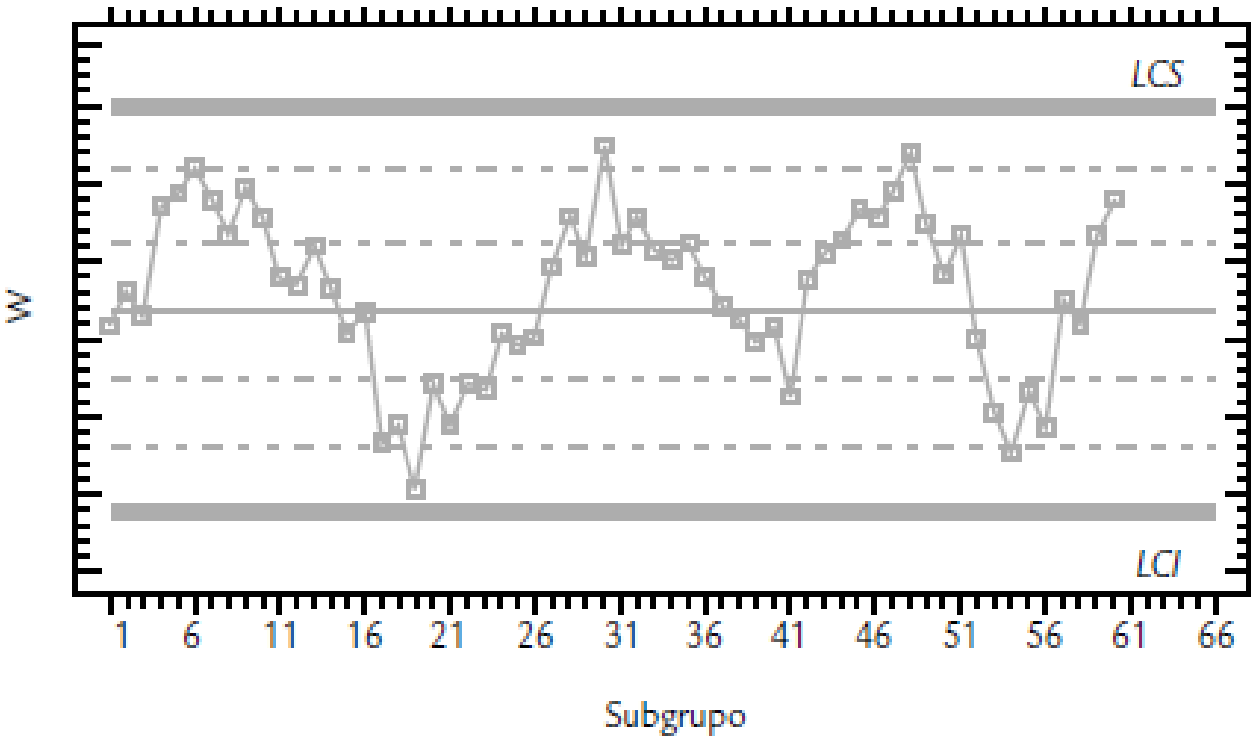
- Seis o más puntos consecutivos en ascenso o descenso.
- Un movimiento demasiado largo de puntos hacia arriba o abajo.
- Una imagen similar a la figura.

3

Ciclos recurrentes (periodicidad). Este patrón ocurre cuando se dan flujos de puntos consecutivos que tienden a crecer, seguido de flujos similares pero descendentes. Típicamente la carta se presenta de la siguiente manera:

Figura 9

Carta con ciclo



Nota: reproducido de *Control de la calidad* de Besterfield (2009)

Estos cambios puede ser por:

- Cambios periódicos en el ambiente.
- Diferencias en los dispositivos de medición o de prueba que se utilizan en cierto orden.
- Rotación regular de máquinas u operarios.
- Efecto sistemático producido por dos máquinas, operarios o materiales que se usan alternadamente.

Los criterios más usuales para ver este patrón son:

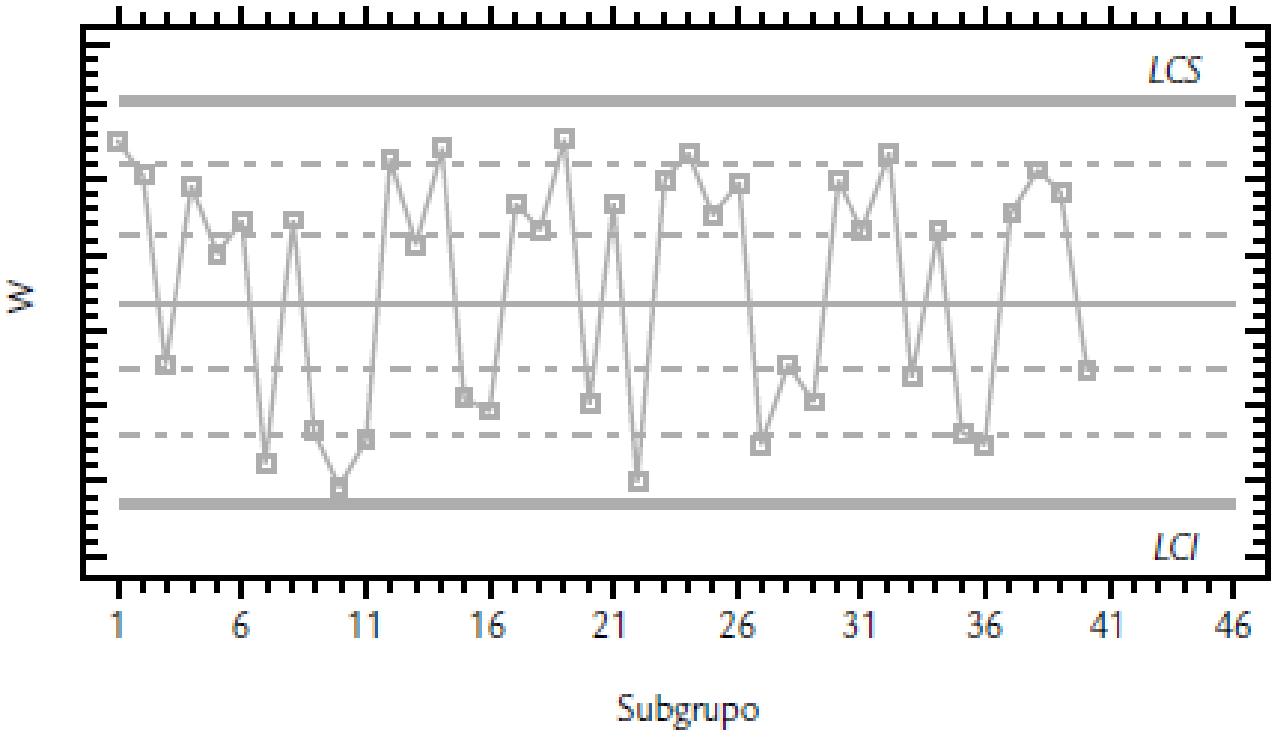
- Una imagen similar a la figura.

4

Mucha variabilidad. Este patrón consiste en una alta proporción de puntos cerca de los límites de control, en ambos lados de la linea central y pocos o ninguno en la parte central de la carta. Típicamente la carta se presenta de la siguiente manera:

Figura 10

Carta con alta variabilidad



Nota: reproducido de *Control de la calidad* de Besterfield (2009)

Estos cambios puede ser por:

- Sobrecontrol o ajustes innecesarios en el proceso.
- Diferencias sistemáticas en la calidad del material o en los métodos de prueba.
- Control de dos o más procesos o estratos con diferentes promedios en la misma carta.

Los criterios más usuales para ver este patrón son:

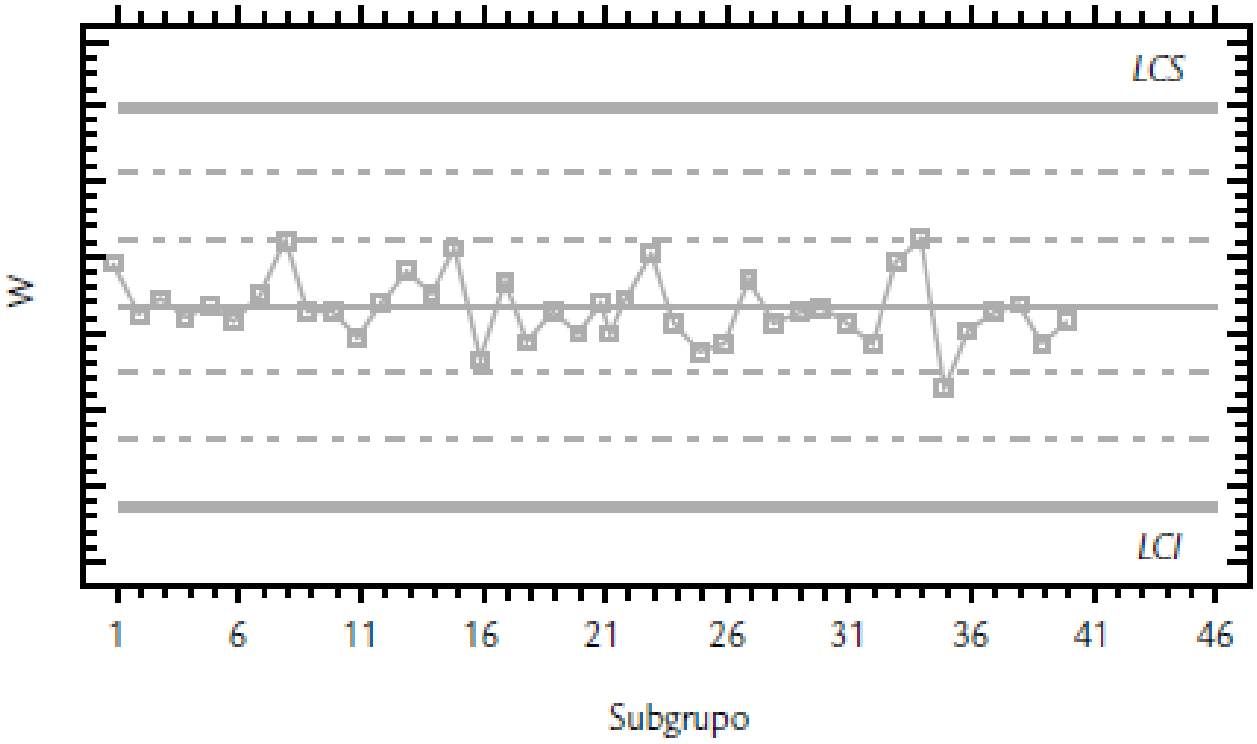
- Ocho puntos consecutivos en ambos lados de la línea central con ninguno en la zona C;
- Una imagen similar a la figura.

5

Falta de variabilidad (estratificación). Este patrón consiste en que prácticamente todos los puntos se concentran en la parte central de la carta. Típicamente la carta se presenta de la siguiente manera:

Figura 11

Carta con falta variabilidad



Nota: reproducido de *Control de la calidad* de Besterfield (2009)

Estos cambios puede ser por:

- Equivocación en el cálculo de los límites de control.
- Agrupamiento en una misma muestra a datos provenientes de universos con medias bastante diferentes, que al combinarse se compensan.
- Carta de control inapropiada para el estadístico graficado.

Los criterios más usuales para ver este patrón son:

- Quince puntos consecutivos en la zona C, arriba o debajo de la línea.
- Una imagen similar a la figura.

El CEP ha demostrado su utilidad en las organizaciones, ya que con las exigencias a las que se ven expuestas hoy en día las mismas, debido a la alta competitividad de los mercados globalizados, se ha hecho más evidente la necesidad de **ampliar la comprensión y utilización del pensamiento estadístico y aplicar conceptos y técnicas estadísticas para una diversidad de tareas y propósitos**, por ejemplo para:

- Identificar dónde, cómo, cuándo y con qué frecuencia se presentan los principales problemas.
- Detectar con rapidez, oportunidad y bajo costo anormalidades en los procesos y sistemas de medición.
- Analiza en forma efectiva el desempeño de los procesos y de la organización misma, a través de indicadores.
- Ser objetivos en la planificación y en la toma de decisiones, expresar hechos con datos y evaluar objetivamente.
- Analizar lógica, ordenada y sistemáticamente la búsqueda de las mejoras.

Es importante resaltar como reflexión final, que aun cuando las técnicas estadísticas, y en particular el CEP son las herramientas críticas en el control y mejoramiento de la calidad; para que su uso sea más efectivo debe **implementarse, implantarse y ser parte de un sistema de gestión cuya motivación sea la calidad**. De hecho, el sistema de gestión debe dirigirse hacia la filosofía de mejoramiento de calidad y asegurar su implantación en todos los aspectos organizacionales. Uno de estos marcos más usados es: gestión de calidad total (GCT o TQM).

Besterfield, D. (2009) *Control de la calidad* (8a ed.). Prentice Hall.

Gutiérrez Pulido, H. y De la Vara Salazar, R. (2013) Control estadístico de la calidad y seis sigma (3° ed.). Mc Graw Hill.

Montgomery, D. (2004). *Control estadístico de la calidad* (3a ed.). Editorial Limusa Wiley.

UCAB UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Has culminado la revisión del tema

Control estadístico de procesos por Ana María Borges Peña - UCAB, está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.