



TECMILENIO





Certificado
Normativa automotriz

SPC - Introducción





Te invito a realizar la siguiente actividad de bienestar-mindfulness antes de comenzar a revisar el tema.



Analizarás sucesos que te hayan ocurrido recientemente, buscando orientar el análisis hacia las consecuencias positivas.

¿Qué es lo primero que piensas cuando recibes una noticia inesperada? O bien, ¿qué te imaginas cuando un acontecimiento complejo se presenta ante ti?

La mayoría de las personas automáticamente se concentra en el peor de los escenarios independientemente del tipo de noticia que reciban. Martin Seligman sugiere hacer un breve ejercicio para fomentar la resiliencia y la esperanza con base en la premisa antes señalada:



Piensa en una noticia reciente que hayas recibido y que creas es negativa para ti.

Luego de analizarla, haz una tabla con tres columnas, en la primera señala cuál sería el peor de los escenarios posibles que pudieran resultar de esa noticia, en la segunda columna señala cuál sería el mejor de los escenarios posibles, y en la última cuál es el escenario que realmente tiene mayor probabilidad de ocurrir.

Reflexiona sobre los tres escenarios, ¿cómo enfrentarías a cada uno de ellos?

Procura repetir este ejercicio cada vez que sientas que te enfrentas a una situación complicada. Hacerlo te dará perspectiva y te ayudará a cultivar tu resiliencia.

El enfoque en la prevención y detección es uno de los pilares del control estadístico de procesos (SPC). Esta herramienta consta de una serie de fundamentos estadísticos para analizar fuentes de variación y sus efectos dentro de los procesos productivos de la empresa.

La implementación de esta herramienta requiere de un contexto estadístico íntegro para la interpretación de los datos y, de igual manera, un entendimiento completo del proceso productivo y de los factores que actúan sobre él.



La voz del proceso es la representación de lo que está pasando realmente: se interpreta con los resultados de los procedimientos básicos del control estadístico y de la capacidad del proceso. En otras palabras, verifica si el procedimiento está siendo impactado por causas o eventos especiales (fuentes de variación ajenas a las aceptables) y si las mediciones presentan tendencias, sesgos, entre otras.

De acuerdo con AIAG (2005), existen seis puntos que deben aclararse antes de estudiar el SPC:

- 1) La recolección de datos y el uso de métodos estadísticos para implementarlos no es la finalidad de esta herramienta. El objetivo es aumentar el entendimiento del proceso, ya que es fácil convertirse en un experto técnico sin haber hecho mejoras. Perfeccionar tus conocimientos es la base para aplicarlo en acciones, pero no es el propósito principal.
- 2) Los sistemas de medición son críticos para el análisis de datos. Estos deben ser correctamente evaluados y elegidos antes de que los datos del proceso sean recolectados. Se agrega variación al proceso cuando los datos carecen de control estadístico, lo cual conduce a tomar decisiones erróneas. En este tema se toma de referencia que los sistemas de medición se encuentran en control estadístico.
- 3) El concepto de variaciones y señales estadísticas no se limita al área de producción o piso. El manual de SPC (2a ed.) señala que sí existe relación, pero no está limitado a aplicaciones administrativas y de servicios.
- 4) Los métodos estadísticos han sido mayormente aplicados a partes que a procesos. La aplicación de la estadística al control de resultados es solo el primer paso. La mejora en la calidad y el incremento en la productividad para reducir costos no serán totalmente reconocidos mientras los procesos sean el enfoque de los esfuerzos.
- 5) Pese a que se incluyan ejemplos en el manual de SPC, su entendimiento completo y real involucra un contacto más profundo con situaciones del control de proceso. El estudio de casos reales en el lugar de trabajo, así como el involucramiento en actividades relacionadas, brinda un panorama más completo y un enfoque hacia la experiencia práctica.
- 6) El manual es considerado un primer acercamiento al uso de métodos estadísticos y su aplicación. En él se ofrecen enfoques aceptados de manera general, los cuales son exclusivos en ciertos casos, asimismo, no exenta a los practicantes de desarrollar su conocimiento sobre métodos estadísticos y la teoría. El objetivo es satisfacer las necesidades de los clientes.

Figura 1. Los 6 puntos del control estadístico de procesos.

De acuerdo con AIAG (2005), las dos principales causas de variación son:

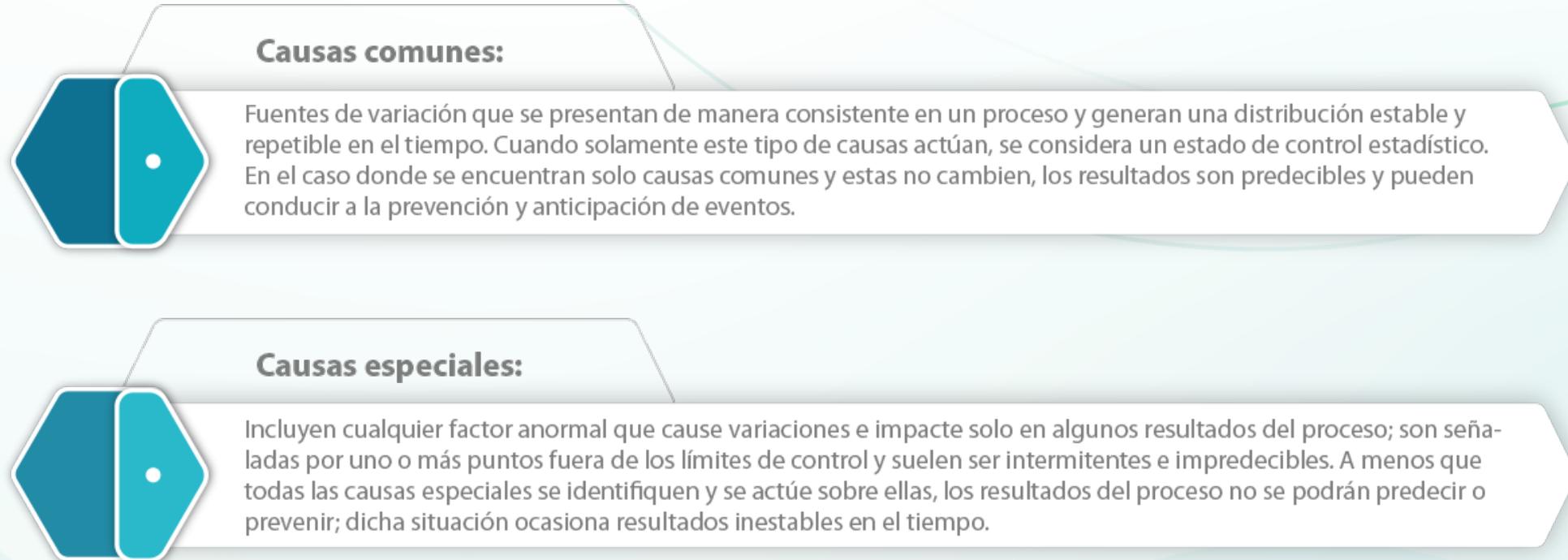


Figura 2. Las dos principales causas de variación.

En el caso de las causas, para fines de control estadístico, es necesario contar únicamente con las del tipo común que sean entendibles y provoquen variación dentro de los límites de control (variación aceptable).

Control y capacidad de procesos

El concepto de capacidad del proceso se refiere a la aptitud para fabricar productos que cumplan con las especificaciones de calidad dadas por el cliente. Esto quiere decir que la variación por causas comunes tiene que ser menor al rango de tolerancia entre las especificaciones.

Por otro lado, al evaluar el control estadístico y la capacidad, se puede obtener uno de los casos que se observan en la siguiente ilustración:

		Control Estadístico	
		En-Control	Fuera-de-Control
Capacidad	Aceptable	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 3</i>
	No Aceptable	<i>Caso 2</i>	<i>Caso 4</i>

Figura 3. Control estadístico.

Fuente: AIAG. (2005). *Statistical Process Control* (2a ed.). Estados Unidos.

- **Caso 1. En control estadístico y capacidad aceptable**

Es el caso ideal. Se cuenta únicamente con fuentes de variación común, las cuales están dentro del rango aceptable.

- **Caso 2. En control estadístico y capacidad no aceptable**

El proceso excede el rango de variación a pesar de que está impactado únicamente por causas naturales. Al encontrarse con este caso, el objetivo es identificar las causas y reducir la variación.

- **Caso 3. Fuera de control estadístico y capacidad aceptable**

Hace referencia a un proceso o muestreo fuera de control estadístico, impactado por causas especiales, pero que cumple con la capacidad requerida. En este caso, la atención debe enfocarse en encontrar la causa de variación y eliminarla; o en su defecto, evaluar si por la naturaleza del proceso pudiera tratarse de una causa común no controlada.

- **Caso 4. Fuera de control estadístico y capacidad no aceptable**

En este se debe trabajar para contener y eliminar las causas de variación, tanto las especiales como las comunes.

Tipos de distribución y tamaños de muestreo

En el estudio del control estadístico de procesos se usa el análisis de distribución normal debido a su amplia utilidad. Sin embargo, no es aplicable a todos los procesos, por ello se muestran algunas de las más conocidas:

● Distribuciones discretas (números enteros)

● Binomial:

Se usa este tipo de distribución en las gráficas para productos no conformes (datos de atributos) relacionado con las gráficas p (proporción no conforme).

Se aplica a tipos de datos donde la respuesta puede ser solamente una de dos opciones.

● De Poisson:

De acuerdo con Minitab (s.f.), la distribución de Poisson se utiliza para describir el número de veces que un evento ocurre en un espacio determinado de observación.

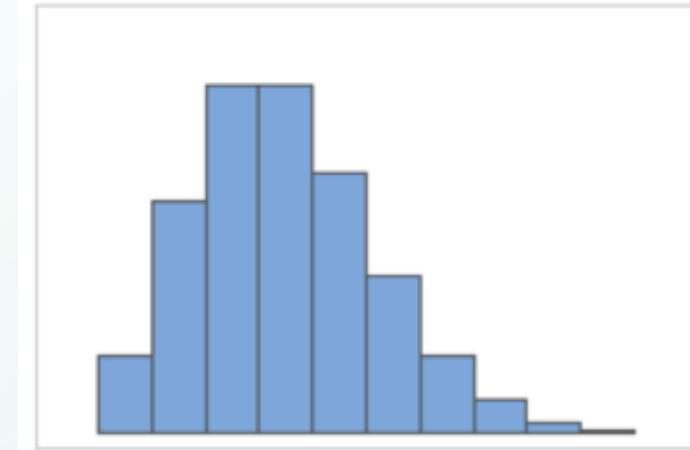
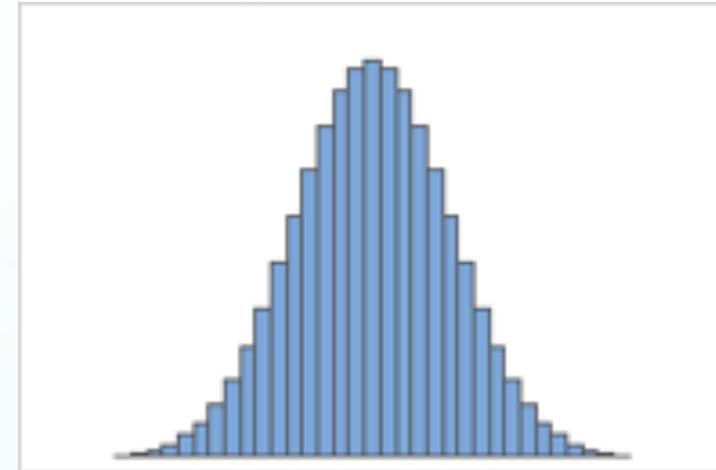


Figura 4. Gráficas con distribuciones de Poisson con valores diferentes.

Fuente: Soporte de Minitab 21 (2023). *Distribución de Poisson*. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/supporting-topics/distributions/poisson-distribution/>

• Distribuciones continuas (números reales)

Normal (Gaussiana)

Según Minitab: “es una distribución continua que se especifica por la media (μ) y la desviación estándar (σ). La media es el pico o centro de la curva en forma de campana. La desviación estándar determina la dispersión de la distribución” (s.f.) . Se puede representar en la mayoría de los procesos que cuentan con una especificación y un rango o margen superior e inferior.

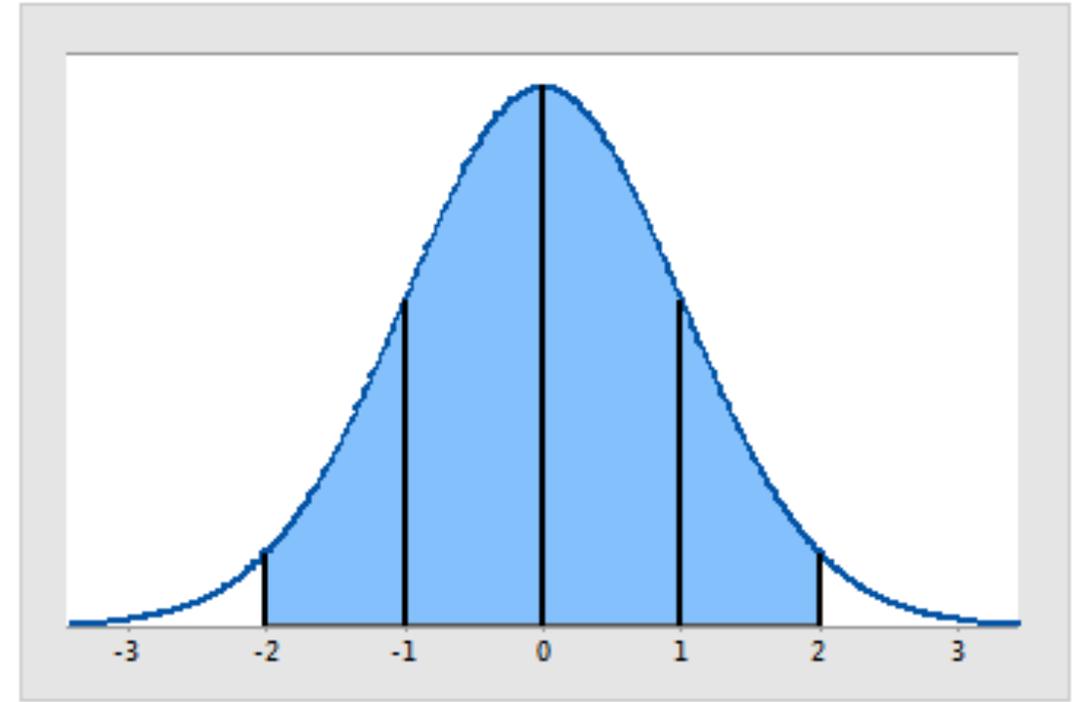


Figura 5. Gráfica de distribución normal.

Fuente: Soporte de Minitab 20 (2023). *Distribución normal*. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/supporting-topics/distributions/normal-distribution/>

- **Distribuciones continuas (números reales)**

Exponencial

Es particularmente utilizada en la industria para representar procesos independientes. Cuentan con la propiedad de pérdida de memoria que indica que entre un evento y otro no existe relación.

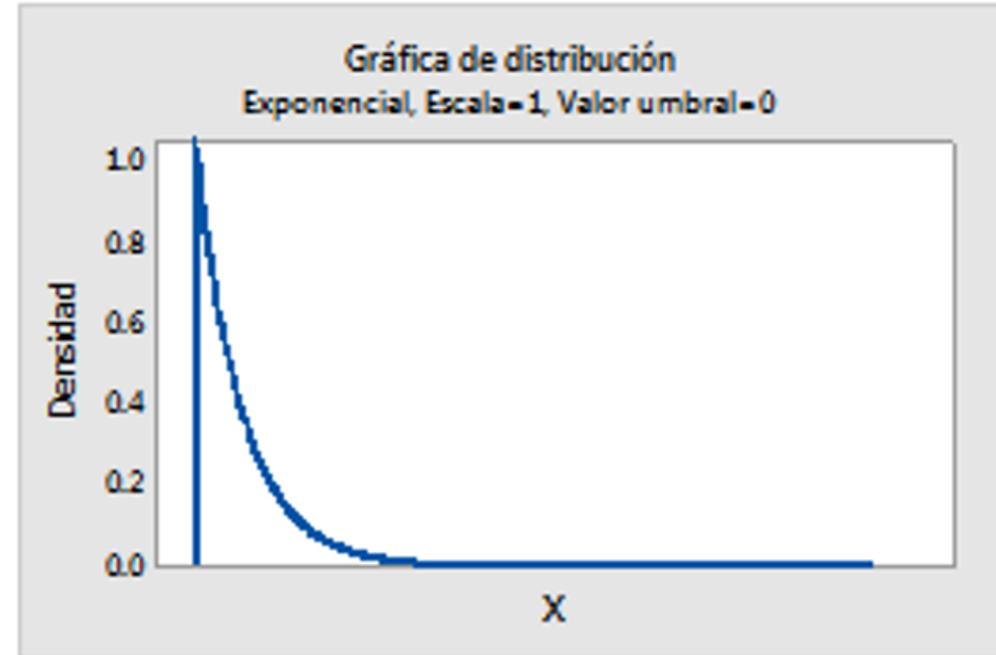


Figura 6. Gráfica de distribución exponencial.

Fuente: Soporte de Minitab 20 (2023). *Seleccione la distribución e ingrese los parámetros.* Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/how-to/random-data-and-set-base/generate-the-data/select-the-distribution-and-enter-the-parameters/>

Es preciso agregar que se deben explorar recursos debido a la regularidad del trabajo con información de tipo normal (para poder efectuar los estudios de capacidad de manera certera).

Entre ellos están las transformaciones que los paquetes estadísticos ofrecen para acercar los modelos de información a una distribución estándar.

Por lo general, se transforma el set de datos a través de dos métodos:



Transformaciones de Box Cox: Es el más utilizado para la transformación del conjunto de datos. Comprende una serie de rectificaciones potenciales que corrigen sesgos, varianzas desiguales y la no linealidad en la relación entre variables.

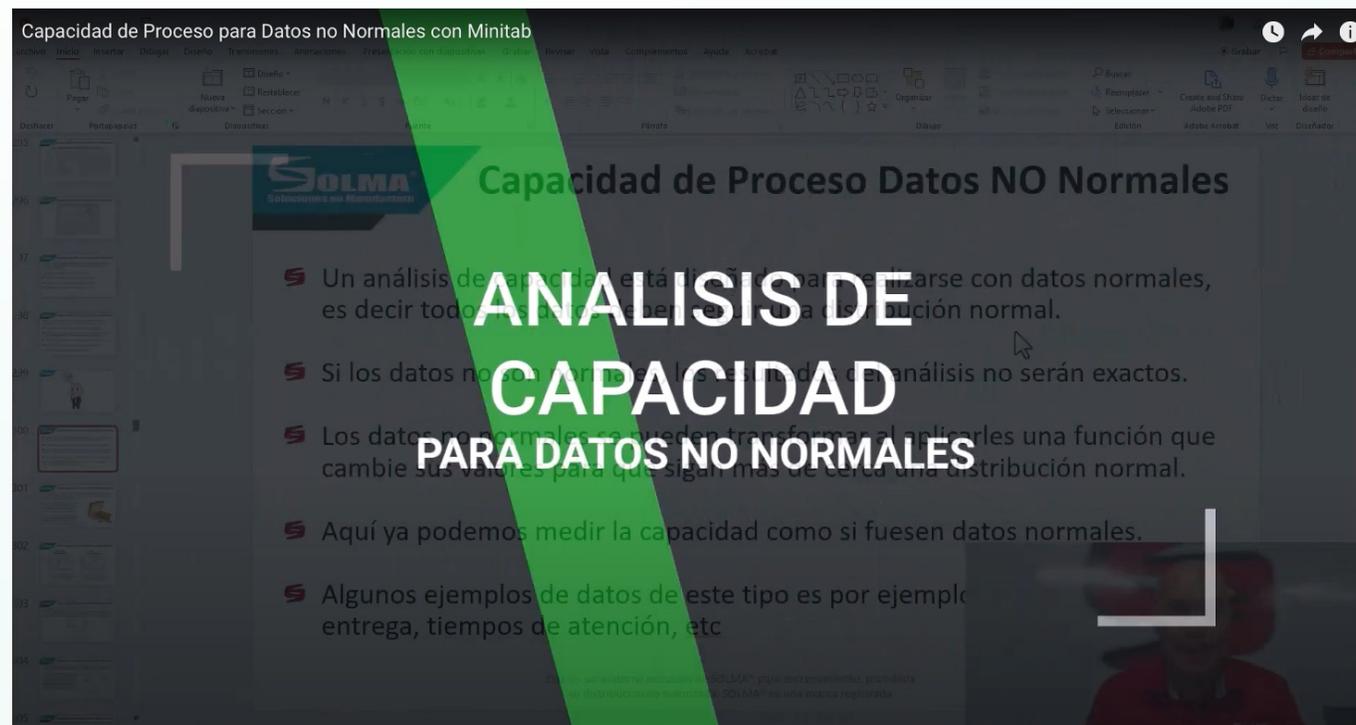


Transformaciones de Johnson: Es un sistema de transformaciones que crea una aproximación de la normalidad. Por lo general, consiste en cuatro funciones de parámetros que son conocidas como las curvas de Johnson.

Figura 7. Métodos de transformación Box Cox y Johnson.

Revisa atentamente el siguiente video:

Solma Soluciones (2022, junio 16). *Capacidad de Proceso para Datos no Normales con Minitab* [Archivo de video]. Recuperado de <https://youtu.be/umZUy-c8Vcl>



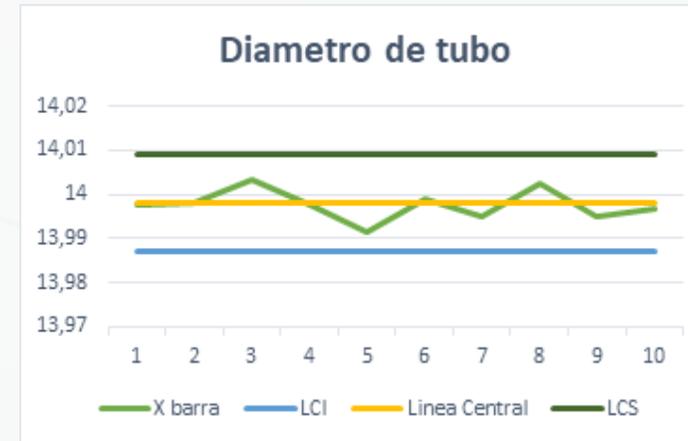
Los siguientes enlaces son externos a la Universidad Tecmilenio, al acceder a ellos considera que debes apegarte a sus términos y condiciones.

¿Cuáles son los beneficios competitivos que ofrece el control estadístico de procesos (SPC) en la industria y cómo pueden contribuir a la mejora continua de una empresa? ¿Por qué es importante considerar la voz del proceso al interpretar los resultados del control estadístico de procesos y cómo puede influir en la toma de decisiones?



Caso de Estudio: Análisis de Datos de Diámetro de Componente

Los datos de diámetro de un componente se recopilan durante 10 días de producción. Se observan pequeñas fluctuaciones diarias en las mediciones. El proceso se ha mantenido estable durante un período prolongado y bien centrado a las especificaciones ($14 \pm 0.05\text{mm}$).



Preguntas:

- ¿Existen tendencias o patrones que se observen en los datos de diámetro?
- ¿Las fluctuaciones diarias en las mediciones se deben a causas especiales?
- ¿Algún valor excede los límites de control?
- ¿El proceso se ha mantenido estable durante un período prolongado?
- ¿Basándose en su análisis, qué causas creen que podrían estar contribuyendo a las variaciones observadas?

Cierre

El objetivo de esta herramienta es prevenir y predecir comportamientos de la información con la que se trabaja. El manejo de los datos y un conocimiento estadístico habilidoso es inútil cuando se desconoce el proceso y no se aplican los planes de acción correspondientes.





Certificado
Normativa automotriz

SPC – Gráficas de control



De acuerdo con SPC Consulting group (s.f.), “las gráficas de control son diagramas que sirven para examinar si un proceso se encuentra en una condición estable, o para asegurar que se mantenga en esa condición”. Estos diagramas son fundamentales para el estudio de control puesto que proporcionan un acceso visual a información que es más complicada de atender en formato de texto.



Control por variables

De acuerdo con AIAG (2005), las gráficas de control por variables son útiles por las siguientes razones:



Un valor cuantitativo contiene información más específica que uno cualitativo.



A pesar de que recolectar datos por variables es más costoso que hacerlo por atributos (pasa/no pasa), estos pueden conducir a una toma de decisiones con menor cantidad de datos o muestras, lo cual produce una reducción de costos debido a la eficiencia.



Con los datos de variables, los resultados pueden ser analizados una vez que se cuantifican. Este aspecto contribuye a la mejora continua.

Figura 1. Principales razones para el uso de las gráficas de control.

El estudio de estos diagramas a través de pares facilita el análisis del rango de variación y el promedio del proceso mismo. Los pares de gráficas más comunes son:



Figura 2. Pares de gráficas más comunes.

TABLA 8.5b Elementos para la selección de una carta de control para variables.

CARTA	PROPÓSITO	USO	TAMAÑO DE SUBGRUPO, n	CONSIDERACIONES ADICIONALES
De medias \bar{X}	Analiza las medias de subgrupos como una forma de detectar cambios en el promedio del proceso. Aunque la carta está inspirada en la distribución normal, funciona bien para otras funciones debido al teorema central del límite.	Procesos masivos (de mediano a alto volumen), donde en un corto tiempo se producen varios artículos y/o mediciones.	$n > 3$ A medida que n crece la carta detecta incluso pequeños cambios en el proceso. Por ello, generalmente un tamaño de n menor que 10 es suficiente para detectar cambios moderados y grandes, que son los de mayor interés en la práctica.	Los límites de control indican dónde se espera que varíen las medias de los subgrupos, por lo que no indican dónde varían las mediciones individuales, y no tienen nada que ver con las especificaciones.
Rangos (R)	Analiza los rangos de los subgrupos como una estrategia para detectar cambios en la amplitud de la variación del proceso. La falta de normalidad afecta un poco a la carta.	Se usa conjuntamente con la carta \bar{X} cuando $n < 11$. Por lo tanto, se aplica al mismo tipo de proceso que tal carta.	$3 < n < 11$ A medida que n crece es capaz de detectar cambios más pequeños en la amplitud de la dispersión del proceso.	Es importante utilizarla junto con una carta \bar{X} . De los criterios para cambios de nivel, sólo utilizar el de puntos fuera de los límites.
Desviación estándar (S)	Analiza la desviación estándar que se calcula a cada subgrupo, como una estrategia para detectar cambios en la amplitud de la variación del proceso. La falta de normalidad afecta un poco a la carta.	Se usa conjuntamente con la carta \bar{X} cuando $n > 10$. Por lo tanto, se aplica al mismo tipo de proceso que tal carta.	$n > 10$ Dado el tamaño de subgrupo recomendado. Usarla sólo cuando se quieran detectar incluso pequeños cambios en la dispersión del proceso y se esté dispuesto a atender estos cambios.	Tanto la carta \bar{X} como ésta, tienen una mayor sensibilidad cuando n crece, usarlas cuando se quiere y se esté dispuesto a tener un control estricto sobre el proceso. De los criterios para cambios de nivel, sólo utilizar el de puntos fuera de los límites.
Individuales (X)	Analiza cada medición individual del proceso y detecta cambios grandes tanto en la media como en la amplitud de la dispersión. Si la distribución no es normal, la carta puede resultar un poco afectada.	Procesos de bajo volumen, donde se requiere un tiempo considerable (de una a más horas) para obtener un resultado o medición. También cuando mediciones cercanas en el tiempo sólo difieren por error de medición.	Por propósito $n = 1$	Si en estos procesos es importante detectar cambios más pequeños y medianos, se recomienda utilizar otra carta más sensible (la EWMA o CUSUM, véase capítulo siguiente).

Figura 3. Elementos para la selección de una carta de control para variables.

Fuente: Gutiérrez Pulido, H., y De la Vara Salazar, R. (2008). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (2a ed.). McGraw-Hill México.

Control por atributos

De acuerdo con AIAG (2005), las gráficas de control por atributos son separadas en distintas categorías, por ejemplo: conforme/no conforme, pasa/no pasa, aprueba/falla, bajo/medio/alto. Las principales gráficas de atributos son:



Proporción no conforme (gráfica p)



Gráfica de número de partes no conformes (gráfica np)



Gráfica de número de no conformidades por unidad (gráfica u)



Gráfica de número de no conformidades (gráfica c)

Figura 4. Principales gráficas de atributos.

TABLA 8.5a Elementos para la selección de una carta de control de atributos.

CARTA	PROPÓSITO	USO	TAMAÑO DE SUBGRUPO, n	CONSIDERACIONES ADICIONALES
Proporción de defectuosos (p)	Analizar la proporción de artículos defectuosos por subgrupo (unidades rechazadas/ unidades inspeccionadas). Se supone una distribución binomial.	Por lo general es utilizada para reportar resultados en puntos de inspección, donde una o más características de calidad son evaluadas, y en función de esto el artículo es aceptado o rechazado.	El valor de n puede ser constante o variable, pero suficientemente grande para tener una alta probabilidad de que en cada subgrupo se detecte por lo menos una pieza defectuosa. Esto se logra tomando a n tal que $n > 9 \left[\frac{1-\bar{p}}{\bar{p}} \right]$	No es adecuada si n es mucho más pequeño que el valor recomendado. Para n muy grande, de uno o varios miles, los límites de control estarán muy estrechos; por lo tanto, es mejor graficar la proporción en una carta de individuales. Si n es muy variable de un subgrupo a otro (más de 25%), se debe utilizar una carta estandarizada o una con límites variables.
Número de defectuosos (np)	Monitorea el número de unidades defectuosas por subgrupo (número de artículos rechazados por cada muestra inspeccionada). Se supone una distribución binomial.	Se aplica en la misma situación que la carta p , pero con el tamaño de subgrupo constante. Es más fácil graficar los puntos en la carta al estar trabajando con números enteros.	El valor de n debe ser constante y en cuanto a su tamaño se aplican los mismos criterios que en la carta p .	Aplican las dos primeras observaciones para la carta p . Cuando n crece, la sensibilidad o potencial de la carta para detectar cambios es mayor.
Número de defectos por subgrupo (c)	Analiza el número de defectos por subgrupo o unidad, ésta puede ser un artículo o un lote, una medida de longitud o de tiempo, una medida de área o volumen. Se supone una distribución de Poisson.	Uno de sus usos es en puntos de inspección, donde se busca localizar uno o más tipos de defectos relativamente menores, de tal forma que aunque se encuentren defectos, el artículo no se rechaza. También se usa para variables como número de quejas, de errores, de paros, de clientes, etcétera.	El tamaño de subgrupo o unidad es constante. De ser posible se elige de tal forma que el número promedio de defectos por subgrupo (línea central) sea mayor que nueve.	Si en cada subgrupo se esperan cero o muy pocos defectos, mucho menos que nueve, usualmente la carta no es efectiva. En esos casos, se debe buscar un incremento en el tamaño de subgrupo u otras alternativas.
Número promedio de defectos por unidad (u)	Monitorea el número promedio de defectos por artículo o unidad inspeccionada. Se supone una distribución de Poisson.	Igual que la carta c , pero aquí se prefiere analizar el número promedio de defectos por artículo o unidad, en lugar del número de defectos por subgrupo.	El tamaño de subgrupo puede ser constante o variable, pero siempre está conformado por varias unidades de referencia o artículos. Buscar que n cumpla que $n > \frac{9}{\bar{u}}$	Si n es mucho menor que el número recomendado, la carta u suele no ser útil. En esos casos, buscar incrementar n , o utilizar otra carta de control.

Figura 5. Elementos para la selección de una carta de control para variables.
Fuente: Gutiérrez Pulido, H., y De la Vara Salazar, R. (2008). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (2a ed.). McGraw-Hill México.

Elementos de las gráficas de control

Existen distintos formatos y formas de representar una gráfica de control. Todas son aceptables siempre y cuando cumplan con los siguientes elementos:

- **Escala apropiada**

Se debe seleccionar la escala adecuada para visualizar la variación del proceso y los cambios conforme a los subgrupos.

- **Límites de control y línea central**

Es necesario determinar el rango donde se estará identificando la variación por causas comunes. Los límites de control toman como base la distribución presente en las muestras y deben visualizarse en forma de líneas, tanto el límite superior (UCL) como el límite inferior (LCL).

Hay que prestar atención para no confundir los límites de control con los límites de especificación (los cuales pueden ser obtenidos directamente del dibujo o del plan de control). Por otro lado, la línea central es la base de la distribución del muestreo y usualmente se representa por los promedios estadísticos.

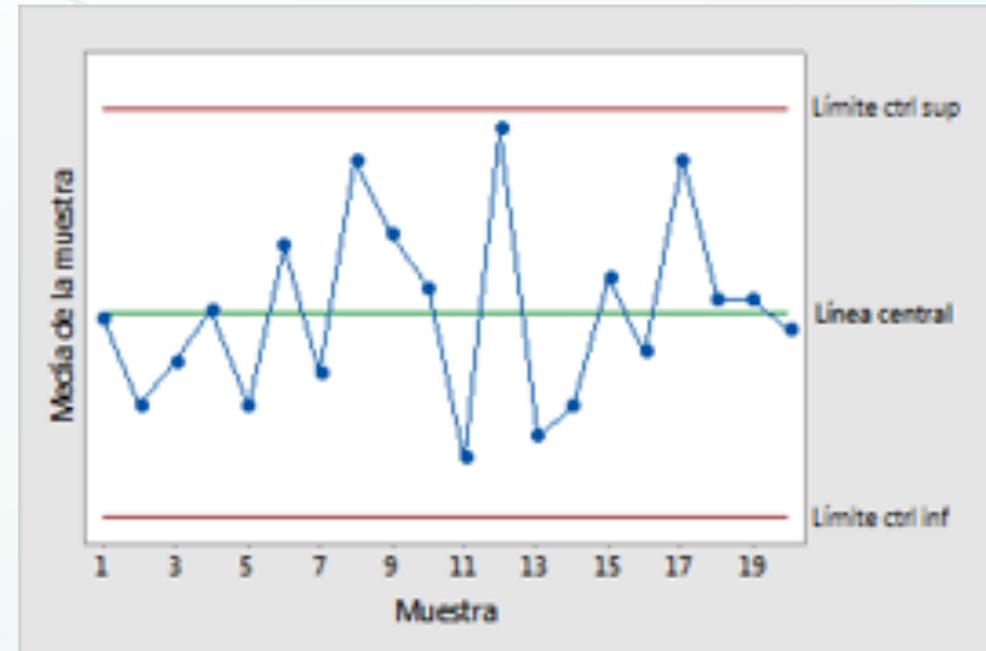


Figura 6. Gráfica de control.

Fuente: Soporte Minitab 20 (2023). *Cómo entender las gráficas de control*. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/supporting-topics/basics/understanding-control-charts/>

- **Secuencia de tiempo de los subgrupos**
Se basa en la separación de los datos con el objetivo de observar el tiempo específico, o bien, de percatarse de cuándo se presenta una causa especial.
- **Identificación de valores fuera de control graficados**
Señalización adecuada de los puntos fuera de los límites de control.
- **Bitácora de eventos**
Estos instrumentos contienen el número de subgrupo y una breve descripción de lo que se percibió durante las muestras. Por ejemplo: colocar el turno en el que se efectuaron las mediciones, números de lote, operadores a cargo, ausentismo del operador titular, gage detectado fuera de calibración, ajustes en máquinas o cambios de modelo. En tema de auditorías es muy común que, al detectar puntos fuera de los límites de especificación, se solicite ver la bitácora de eventos, o al menos las acciones que se llevaron a cabo. El incumplimiento de esta acción podría representar una inconformidad.

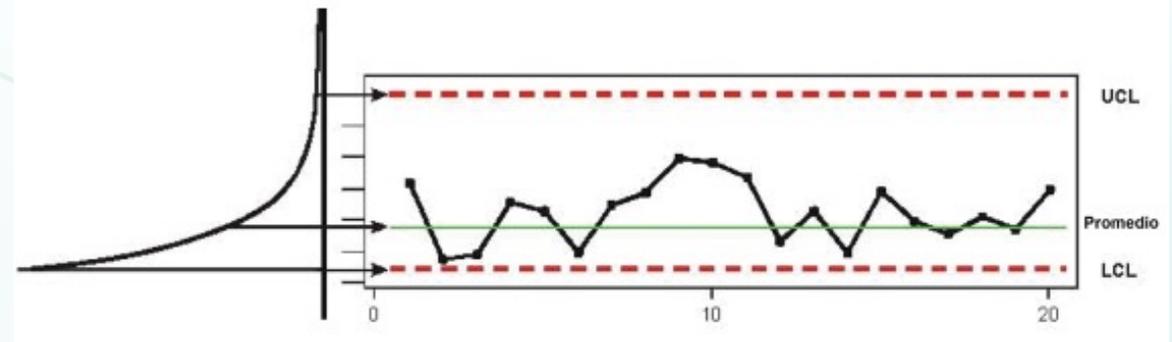


Figura 7. Gráficas de control no-normales.
Fuente: AIAG. (2005). *Statistical Process Control* (2a ed.). Estados Unidos.

Otros tipos de gráficas de control

Revisarás las gráficas más comunes que no corresponden con las que son por variables o atributos.

Gráficas con base en probabilidades

Existen dos tipos: el pre-control y el control por luces de alto/stop. Ambas utilizan el sistema de colores y el muestreo doble para designar los momentos de notificación a los encargados de hacer ajustes dentro del proceso.

Control por luces de alto/stop

Se basa en definir zonas que representan diferentes niveles de desempeño del proceso: el área verde (promedio ± 1.5 desviaciones std) indica el control aceptable, el área amarilla sugiere precaución y el área roja señala condiciones fuera de control. Este método presupone que el proceso está en control estadístico y cumple con los criterios establecidos. Aunque proporciona una representación visual clara, se reconoce que este enfoque puede generar más falsas alarmas que otros métodos, como las gráficas \bar{x} y R, manteniendo la misma sensibilidad.

Pre-control

Este enfoque opera bajo dos suposiciones clave: primero, que el proceso no presenta causas especiales y, segundo, que su desempeño se mantiene dentro de las tolerancias especificadas. Emplea subgrupos de tamaño 2 y exige que el proceso genere cinco piezas consecutivas dentro de la zona verde antes o después de cualquier ajuste realizado.

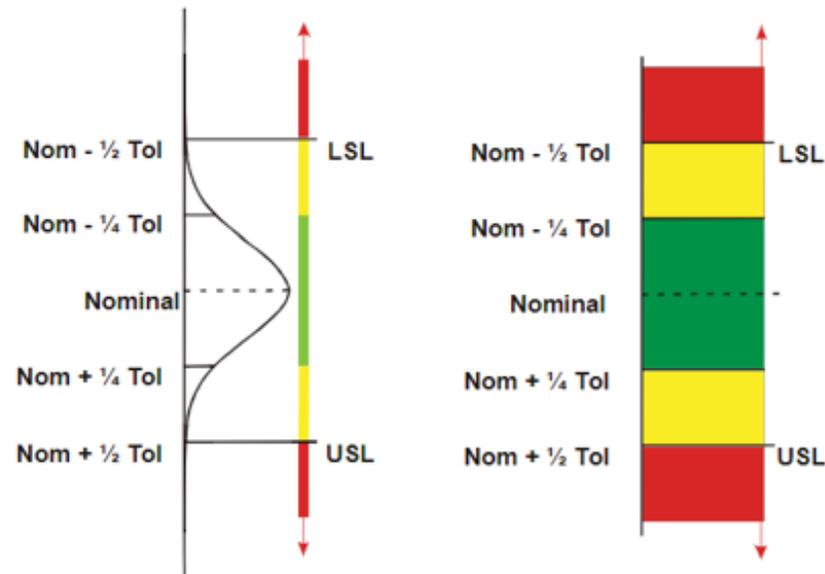


Figura III.3: Pre-Control

Figura 8. Gráficas de áreas de pre-control.

Fuente: AIAG. (2005). *Statistical Process Control* (2a ed.). Estados Unidos.

Gráficas de control para corridas cortas

Útiles para controlar la variación en lotes pequeños de material, permitiendo un control eficiente con menos datos y aplicable a múltiples proyectos.

Gráficas para detección de pequeños cambios

Se encuentran enfocadas en detectar cambios pequeños dentro de las medias de proceso y que no son de fácil visualización mediante otras gráficas de control. Hay de dos tipos: Sumas Acumuladas (CUSUM) y Promedios Móviles Ponderados Exponencialmente (EMWA).

Gráficas no-normales

Abordan distribuciones que no siguen una distribución normal, como las de Shewhart, requiriendo ajustes en los límites de control o transformaciones de datos para mitigar los efectos de la no-normalidad.

Revisa atentamente el siguiente video:

Quality Breach (2021, 2 de febrero). *Gráficos de control en 3 minutos I Lo que debes saber* [Archivo de video]. Recuperado de <https://youtu.be/v-tNV9svA1A>



Los siguientes enlaces son externos a la Universidad Tecmilenio, al acceder a ellos considera que debes apegarte a sus términos y condiciones.

¿Cómo pueden las gráficas de control ayudar a identificar pequeños cambios en los procesos de fabricación que no son fácilmente detectables con otras técnicas de monitoreo?

¿Qué elementos son necesarios para construir y comprender una gráfica de control efectiva y cómo contribuyen estos elementos a la interpretación precisa de la variabilidad del proceso?





Imagina que estás trabajando en un proceso automotriz en el que se mide el espesor de vidrio utilizado en la fabricación de vehículos. Tu líder de equipo te envía esta información y te pide un análisis con base en esta información:

Sugerencia: En este caso no olvides tomar en cuenta el tamaño de subgrupo para seleccionar la gráfica de control adecuada.

Primero, analiza los datos y determina si se trata de datos cuantitativos o cualitativos. Justifica tu elección.

A continuación, selecciona las gráficas de control adecuadas para analizar estos datos. Explica por qué eliges esas gráficas y cómo ayudarán en el análisis.

Lecturas	Número de subgrupo				
	1	2	3	4	5
1	1.074	1.041	1.053	1.052	1.048
2	1.06	1.051	1.056	1.053	1.056
3	1.051	1.044	1.05	1.059	1.069
4	1.068	1.061	1.058	1.063	1.05
5	1.06	1.039	1.055	1.057	1.049

Las gráficas de control ofrecen una gran cantidad de opciones, cuya elección se determina con base en el tipo de datos que buscan representar, el tipo de distribución que presenta el muestreo para proceder a los tamaños de subgrupo, entre otras consideraciones. Además, comprueba que cada uno de los elementos esté presente en el formato o software que tu empresa maneje. Esto es relevante debido a que el incumplimiento de alguno de estos elementos puede ocasionar desde una advertencia hasta una no conformidad en cualquier auditoría de proceso.





Certificado
Normativa automotriz

SPC – Preparación de gráficas de control



En ocasiones se confunde el estudio del control estadístico de procesos (SPC) con las gráficas de control. La diferencia radica en que estas últimas, además de ser parte fundamental del SPC, son una valiosa herramienta para el análisis de información y el entendimiento de la voz del proceso.

En ellas es posible observar los comportamientos y las tendencias, incluso, permiten atisbar predicciones sobre los comportamientos de los procesos.



De acuerdo con AIAG (2005), antes de utilizar gráficas de control se requiere realizar tres actividades:

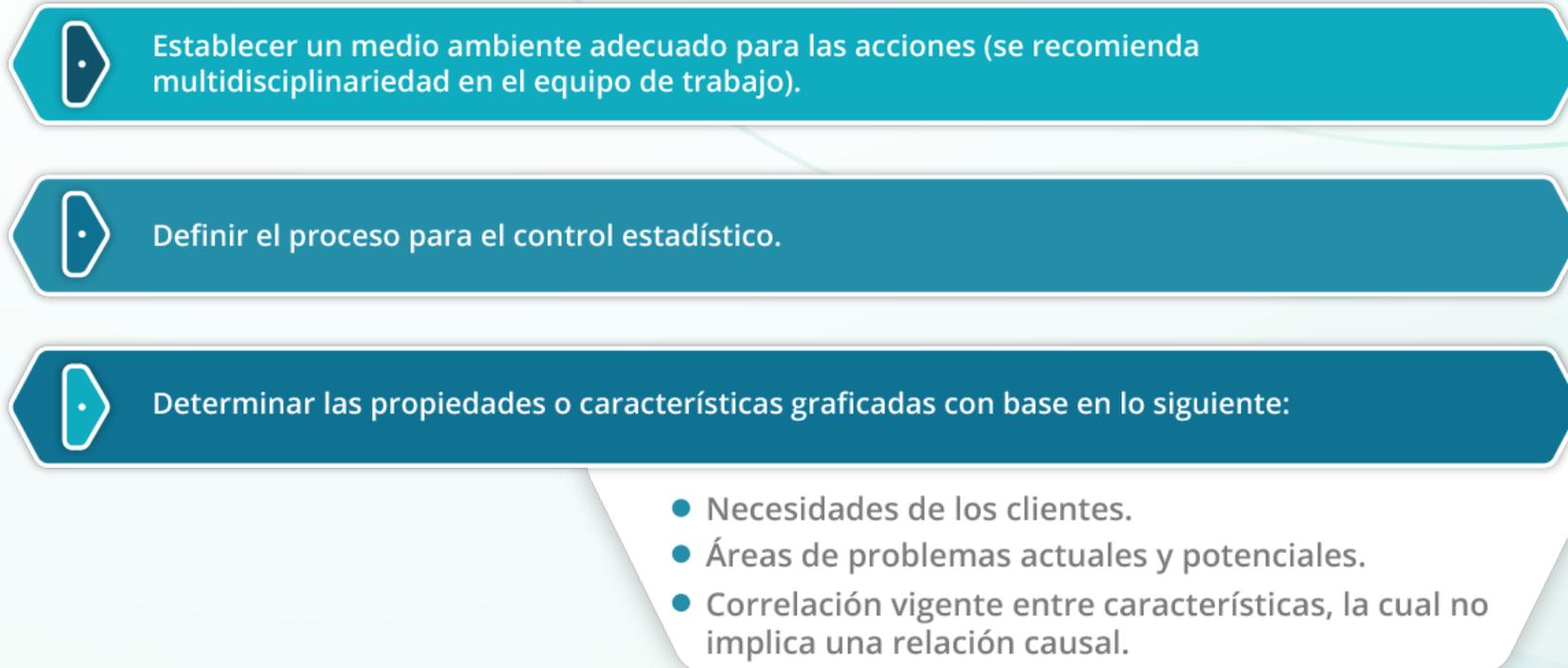


Figura 1. Pasos preparativos para el uso de gráficas de control.

Un paso fundamental para la implementación y el manejo de un sistema de control estadístico es la definición adecuada de la característica que está siendo estudiada. Esta tarea toma en cuenta el método de medición, cuándo se va a ejecutar y en qué periodos y condiciones. Con base en lo anterior, se establecen las cargas de trabajo de la parte operativa.

Para desarrollar un plan de muestreo adecuado se deben considerar los siguientes factores:

Tamaño de subgrupo

Determinado por la naturaleza del proceso, influye en la detección de cambios; mayor número de muestras para detectar cambios mínimos. Se mantiene constante en la gráfica, recalculado en caso de variación, optando por gráficas con subgrupos variables si es necesario.

Frecuencia de muestreo

Datos tomados adecuadamente para detectar cambios en el proceso. Se recomienda incluir cambios de turno y períodos relevantes para captar variaciones causadas por operadores, tendencias o lotes de materia prima.

Número de subgrupos

Estudio inicial con al menos veinticinco subgrupos estables de cien datos cada uno. Se puede utilizar información disponible, verificando su relevancia y actualidad.

Esquema de muestreo

Utilizar muestras aleatorias y considerar causas especiales conocidas en el proceso.

Establecimiento de los límites de control

Recuerda que los límites de control son la variación natural (por causas comunes) del control estadístico. Visualmente son las líneas que representan entre qué valores puede fluctuar el proceso, por lo que nos ayuda a saber cuándo un producto está siendo repercutido por causas especiales.

Acciones como confundir los límites de control con especificaciones, o bien, exponer a estas como una gráfica de control, podrían resultar en una inconformidad de SPC. Una situación como esta demuestra falta de conocimiento estadístico y un mal manejo de la herramienta.

De acuerdo con AIAG (2005), existen dos etapas para el control estadístico:

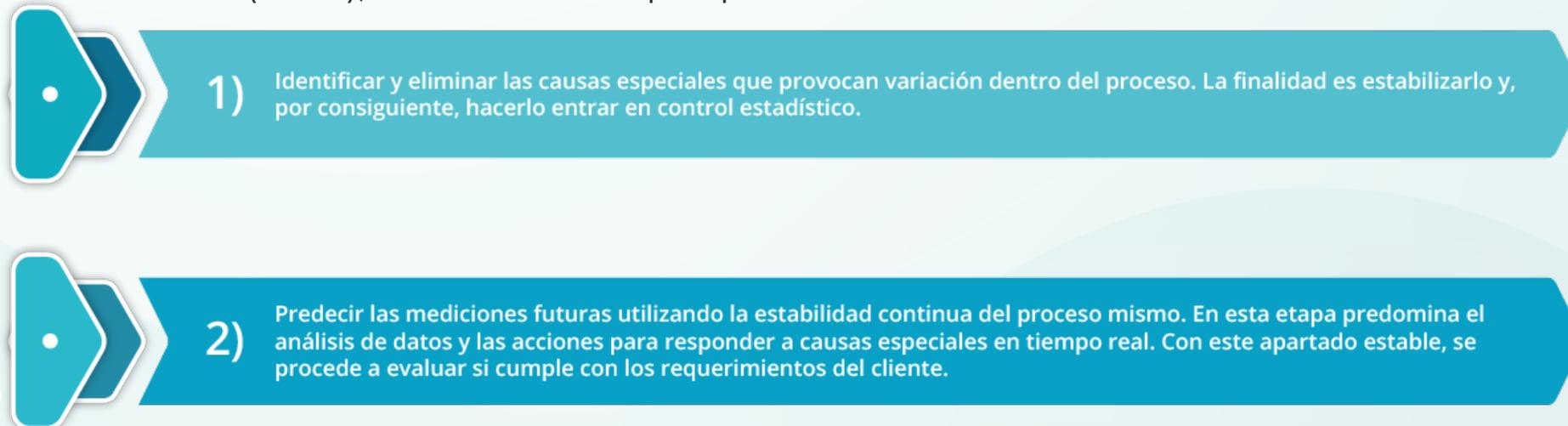


Figura 2. Etapas para el control estadísticos.

Ejemplo de aplicación:

- **Diseño del estudio y registro de eventos:** se establece el tamaño de subgrupo, frecuencia de muestreo, número de subgrupos y esquema de muestreo, manteniendo una bitácora de eventos para registrar factores relevantes.
- **Evaluación inicial y detección de causas especiales:** se verifica la estabilidad del proceso a través de gráficas de control para identificar causas especiales o eventos fuera de los límites de control.

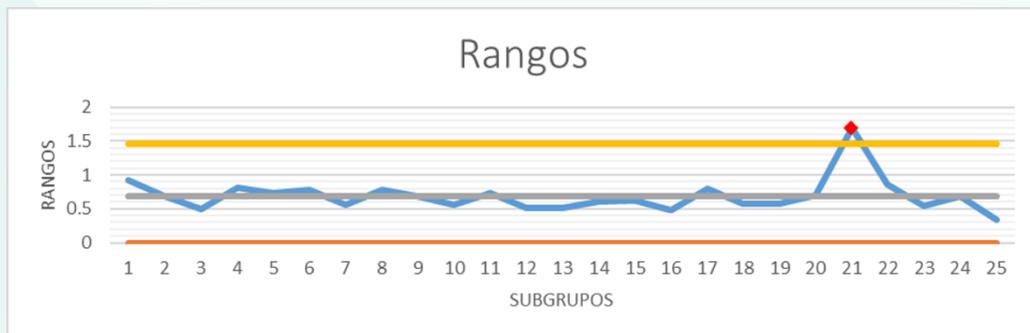


Figura 3. Gráfica de rangos inicial.

- **Análisis de variación entre productos:** se enfoca en la variación entre productos, comenzando con la revisión de la gráfica de rangos para identificar puntos fuera de control estadístico y tomar acciones correctivas.

Una vez que la gráfica de rangos se encuentra estadísticamente controlada, se procede a evaluar si la de medias presenta causas especiales de variación. En caso de encontrar anomalías, se colocan controles que permitan eliminar la ocurrencia futura, a la vez que se recalculan los límites de control y la línea central.

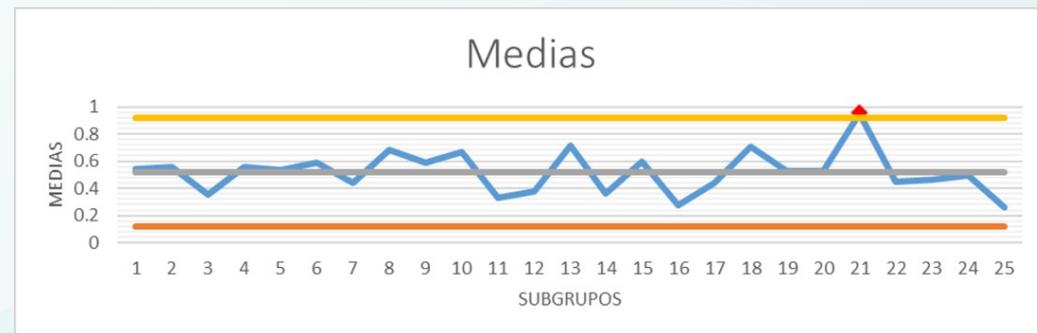


Figura 4. Gráfica de medias inicial.

- **Reevaluación y ajuste de límites de control:** se procede a reevaluar las gráficas, excluyendo subgrupos con causas especiales, y ajustando los límites de control según sea necesario, basándose en un estudio previo y buscando prevenir la repetición de causas especiales.

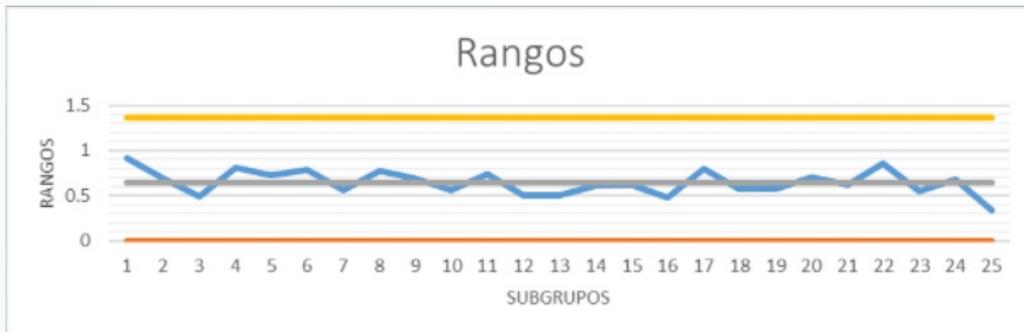


Figura 5. Gráfica de rangos final (eliminando causas especiales).



Figura 6. Gráfica de medias final (eliminando causas especiales).

- **Monitoreo continuo y ajustes posteriores:** una vez que las gráficas estén controladas y una vez cumplido el establecimiento de los límites de control, estos se utilizan para el monitoreo continuo; realizando ajustes solo si se observan cambios significativos en las tendencias de los datos o después de cambios críticos en el proceso. El objetivo es prevenir fallas de manera razonable y económica.

Tamaño de Subgpo.	Gráficas \bar{X} y R				Gráficas \bar{X} y s			
	Gráfica para Promedios	Gráfica para Rangos (R)		Gráfica para Promedios	Gráfica para Rangos (R)			
	Factor p/ Límites de Control	Divisores p/estimar σ_x	Factor p/ Límites de Control		Factor p/ Límites de Control	Divisores p/estimar σ_x	Factor p/ Límites de Control	
	A_2	d_2	D_3	D_4	A_3	c_4	B_3	B_4
2	1.880	1.128	—	3.267	2.659	0.7979	—	3.267
3	1.023	1.693	—	2.574	1.954	0.8862	—	2.568
4	0.729	2.059	—	2.282	1.628	0.9213	—	2.266
5	0.577	2.326	—	2.114	1.427	0.9400	—	2.089
6	0.483	2.534	—	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

	Línea Central	Límites de Control	
Gráficas \bar{X} y R	$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$
	$CL_R = \bar{R}$	$UCL_R = D_4 \bar{R}$	$LCL_R = D_3 \bar{R}$
Gráficas s y R	$CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3 \bar{S}$	$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3 \bar{S}$
	$CL_s = \bar{s}$	$UCL_s = B_4 \bar{s}$	$LCL_s = B_3 \bar{s}$

* De la publicación de ASTM STP-15D, *Manual sobre la Presentación de Datos y Análisis de Gráficas de Control*, 1976; pags. 134-136. Derechos de copias ASTM, 1916 Race Street, Philadelphia, Pennsylvania 19103. Reimpreso con permiso.

Figura 7. Formúlas para las gráficas de control.
Fuente: AIAG. (2005). *Statistical Process Control* (2a ed.). Estados Unidos.

APÉNDICE E – Tabla de Constantes y Fórmulas para Gráficas de Control (Cont.)

Tamaño de Subgpo.	Gráficas para Medianas ^{**}				Gráficas para Individuos			
	Gráficas p/ Medianas	Gráficas para Rangos (R)		Gráficas para Individuos	Gráficas para Rangos (R)			
		Factor Límites de Control	Divisores p/ Estimar σ_x		Factores para Límites de Control	Factor Límites de Control	Divisores p/ Estimar σ_x	Factores para Límites de Control
	\bar{A}_2	d_2	D ₃	D ₄	E ₂	d_2	D ₃	D ₄
2	1.880	1.128	—	3.267	2.660	1.128	—	3.267
3	1.187	1.693	—	2.574	1.772	1.693	—	2.574
4	0.796	2.059	—	2.282	1.457	2.059	—	2.282
5	0.691	2.326	—	2.114	1.290	2.326	—	2.114
6	0.548	2.534	—	2.004	1.184	2.534	—	2.004
7	0.508	2.704	0.076	1.924	1.109	2.704	0.076	1.924
8	0.433	2.847	0.136	1.864	1.054	2.847	0.136	1.864
9	0.412	2.970	0.184	1.816	1.010	2.970	0.184	1.816
10	0.362	3.078	0.223	1.777	0.975	3.078	0.223	1.777

	Línea Central		Límites de Control	
Gráficas para Medianas	$CL_{\bar{X}} = \bar{X}$	$CL_{\bar{R}} = \bar{R}$	$UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + \bar{A}_2 \bar{R}$	$LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - \bar{A}_2 \bar{R}$
			$UCL_{\bar{R}} = D_4 \bar{R}$	$LCL_{\bar{R}} = D_3 \bar{R}$
Gráficas para Individuos	$CL_X = \bar{X}$	$CL_R = \bar{R}$	$UCL_X = \bar{X} + E_2 \bar{R}$	$LCL_X = \bar{X} - E_2 \bar{R}$
			$UCL_R = D_4 \bar{R}$	$LCL_R = D_3 \bar{R}$

Para tablas d₂ extendidas, ver el Manual de MSA 3^a edición.

Figura 8. Tablas de de Constantes.

Fuente: AIAG. (2005). *Statistical Process Control* (2a ed.). Estados Unidos.

	Línea central	Límites de Control	
Gráfica p para proporciones de unidades en una categoría	$CL_p = \bar{p}$	Muestras no necesariamente de tamaño constante	
		$UCL_p = \bar{p} + 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n_i}}$	$LCL_p = \bar{p} - 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n_i}}$
		Si el tamaño de la muestra es constante (n)	
		$UCL_p = \bar{p} + 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$	$LCL_p = \bar{p} - 3\frac{\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$
Gráfica np para número/proporción unidades en una categoría	$CL_{np} = \bar{np}$	$UCL_{np} = \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1-\frac{\bar{np}}{n})}$ $= \bar{np} + 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})}$	$LCL_{np} = \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1-\frac{\bar{np}}{n})}$ $= \bar{np} - 3\sqrt{\bar{np}(1-\bar{p})}$
Gráfica c para número de incidencias en una o más categorías	$CL_c = \bar{c}$	$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$	$LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
Gráfica u para para número de incidentes/unidad en una o más categorías	$CL_u = \bar{u}$	Muestras no necesariamente de tamaño constante	
		$UCL_u = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n_i}}$ $= \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$	$LCL_u = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n_i}}$ $= \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n_i}}$
		Utilizando el promedio del tamaño de la muestra	
		$UCL_u = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{\bar{n}}}$ $= \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$	$LCL_u = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{\bar{n}}}$ $= \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$
		Si el tamaño de la muestra es constante (n)	
		$UCL_u = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$ $= \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$	$LCL_u = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$ $= \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

Figura 9. Formúlas para Gráficas de Control.

Fuente: AIAG. (2005). *Statistical Process Control* (2a ed.). Estados Unidos.

En las tablas es posible percibir la siguiente nomenclatura básica:



Límite de control superior (**UCL por sus siglas en inglés**).



Límite de control inferior (**LCL por sus siglas en inglés**).



Promedios: variables que cuentan con una línea o barra sobre ellas, por ejemplo: \bar{X} , \bar{u} , etcétera.



Variables A_2 , D_4 , etcétera: ayudan al cálculo de los límites de control y dependen del tamaño de subgrupo (n).

Figura 10. Nomenclatura básica para Gráficas de control.

Revisa atentamente del minuto **00:00** al **09:50** en el siguiente video:

Ingeniería Industrial Easy (2017, 22 de marzo). *EXCEL 2016: COMO HACER UN GRAFICO DE CONTROL X - R | EXPLICACION PASO A PASO* [Archivo de video]. Recuperado de <https://youtu.be/QsZl5-PqmDk>



Los siguientes enlaces son externos a la Universidad Tecmilenio, al acceder a ellos considera que debes apegarte a sus términos y condiciones.

Imagina que el producto que fabrican en tu empresa tiene una característica crítica dimensional que se mide con vernier en la línea y que, por lo tanto, se le asigna un tamaño de subgrupo igual a cinco piezas, las cuales se miden cada dos horas; esto debido a que es el producto más costoso (por ende, se busca detectar la variación tan pronto como sea posible).

Dicho producto tiene también una característica de cumplimiento de presión que solo puede ser realizada a través de una prueba destructiva en laboratorio.



¿Le asignarías el mismo tamaño de muestreo y frecuencia que a la característica anterior?

Ejercicio de práctica



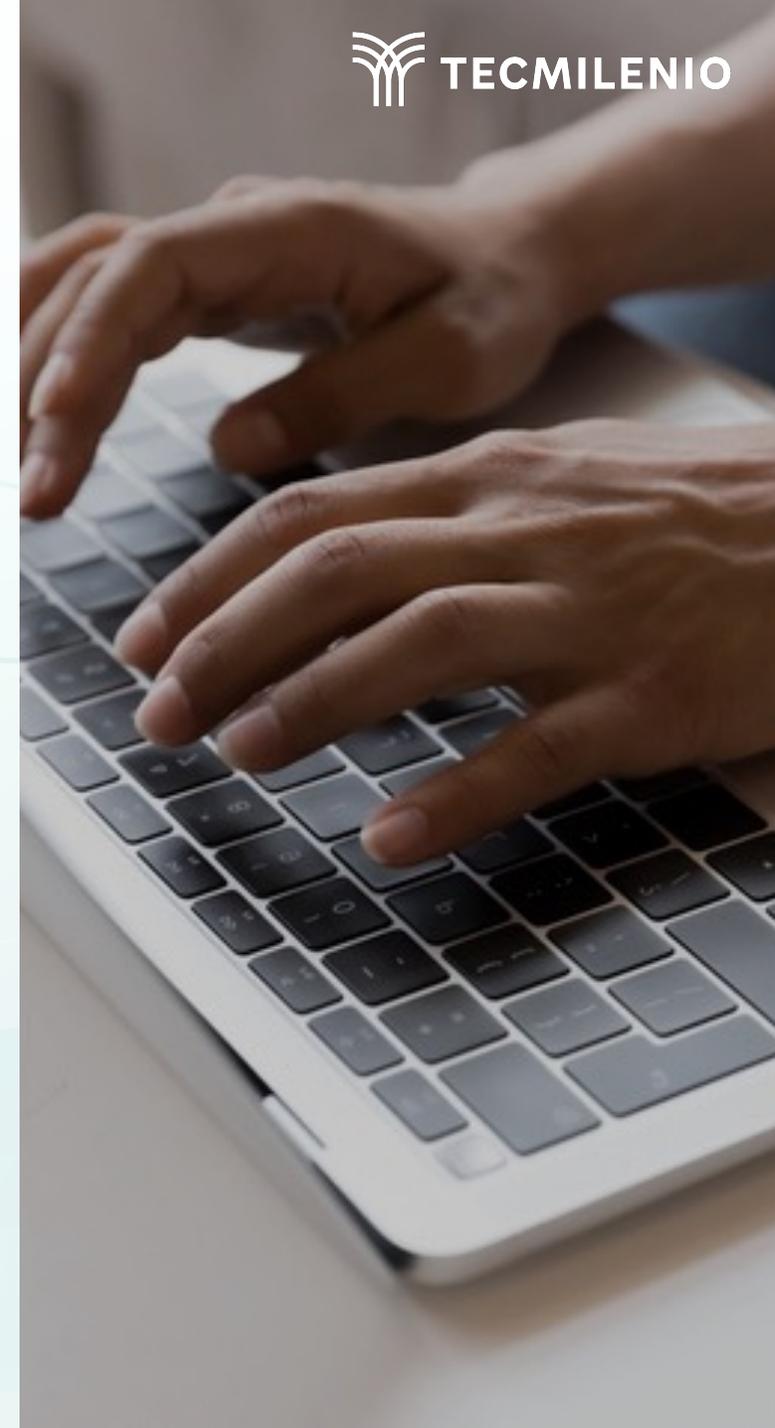
Imagina que trabajas en una empresa que fabrica componentes electrónicos para dispositivos móviles. Tu objetivo es implementar un sistema de control estadístico de procesos para mejorar la calidad de los componentes producidos.

● **Diseño del Estudio y Recopilación de Datos:**

Diseña un estudio para recopilar datos sobre la resistencia eléctrica de los componentes electrónicos producidos durante un período de una semana. Define el tamaño de subgrupo y la frecuencia de muestreo adecuados para capturar la variabilidad del proceso. Utiliza un formato de registro de eventos para anotar cualquier evento relevante que pueda afectar la calidad de los componentes.

● **Creación de Gráficas de Control:** utiliza los datos recopilados para crear gráficas de control para la media (\bar{x}) y el rango (R). Asegúrate de establecer los límites de control adecuados para ambas gráficas.

**Los datos son simulados; sin embargo, debes justificar tus respuestas.



Recuerda que el control estadístico tiene como objetivo principal la implementación de planes de acción y mejoras en el proceso. No es suficiente con obtener gráficas y saber que están fuera de control estadístico, sino que hay que comenzar a reunir al equipo involucrado, definir o cambiar los muestreos actuales y conocer de manera integral los factores que pueden estar impactando al proceso.





TECMILENIO



Instrucciones para la actividad

Etapa 1. Recopilación de Datos

Utiliza el conjunto de datos proporcionado que representa mediciones de planicidad de una pieza clave en el proceso de fabricación de componentes automotrices.

Lecturas	Número de subgrupo									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.074	0.041	0.053	0.052	0.048	0.059	0.033	0.027	0.039	0.041
2	0.06	0.051	0.056	0.053	0.056	0.039	0.04	0.026	0.04	0.151
3	0.051	0.044	0.05	0.059	0.069	0.04	0.031	0.033	0.031	0.04
4	0.068	0.061	0.058	0.063	0.05	0.022	0.053	0.044	0.038	0.033
5	0.06	0.039	0.055	0.057	0.049	0.032	0.03	0.028	0.033	0.03

Nota: en lugar de este set de datos puedes utilizar alguno de tu lugar de trabajo y hacer un análisis real de un proceso que conoces.

• Etapa 2. Estudio Inicial

- Calcule la media y la desviación estándar de los datos. Estas estadísticas descriptivas le ayudarán a comprender la variabilidad en el proceso de fabricación.
- Diseñe una gráfica de control X-bar o una gráfica de control R (rango) utilizando los datos. Puede hacerlo en papel o utilizando software de gráficas de control si lo prefiere.
- Determine los límites de control superior e inferior para la gráfica de control que haya elegido. Puede utilizar las tablas vistas en el tema para encontrar las fórmulas apropiadas y calcular estos límites.

• Etapa 3. Identificación de Causas Especiales

- Utilice la gráfica de control que ha diseñado para identificar cualquier punto fuera de los límites de control, patrones o tendencias significativas.
- Si encuentra puntos fuera de los límites de control o causas especiales evidentes, documente estos hallazgos.

• Etapa 4. Análisis y Eliminación de Causas Especiales

- Analice las causas especiales identificadas. ¿Qué podría estar causando estos problemas en el proceso de fabricación?
- Proponga acciones correctivas para eliminar o reducir estas causas especiales y restaurar el proceso bajo control estadístico. Puede ser útil utilizar una hoja de análisis de causa raíz si lo considera necesario.

AIAG. (2005). *Statistical Process Control* (2a ed.). Estados Unidos.

Gutiérrez Pulido, H., y De la Vara Salazar, R. (2008). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (2ª ed.). México D.F.: McGraw-Hill.

Soporte Minitab 20 (2023). *Cómo entender las gráficas de control*. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/control-charts/supporting-topics/basics/understanding-control-charts/>

Soporte de Minitab 20 (2023). *Distribución normal*. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/supporting-topics/distributions/normal-distribution/>

Soporte de Minitab 21 (2023). *Distribución de Poisson*. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/21/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/supporting-topics/distributions/poisson-distribution/>

Soporte de Minitab 20 (2023). *Seleccione la distribución e ingrese los parámetros*. Recuperado de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/probability-distributions-random-data-and-resampling-analyses/how-to/random-data-and-set-base/generate-the-data/select-the-distribution-and-enter-the-parameters/>

Tecmilenio no guarda relación alguna con las marcas mencionadas como ejemplo. Las marcas son propiedad de sus titulares conforme a la legislación aplicable, estas se utilizan con fines académicos y didácticos, por lo que no existen fines de lucro, relación publicitaria o de patrocinio.

Todos los derechos reservados @ Universidad Tecmilenio

La obra presentada es propiedad de ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN SUPERIOR A.C. (UNIVERSIDAD TECMILENIO), protegida por la Ley Federal de Derecho de Autor; la alteración o deformación de una obra, así como su reproducción, exhibición o ejecución pública sin el consentimiento de su autor y titular de los derechos correspondientes es constitutivo de un delito tipificado en la Ley Federal de Derechos de Autor, así como en las Leyes Internacionales de Derecho de Autor. El uso de imágenes, fragmentos de videos, fragmentos de eventos culturales, programas y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, es exclusivamente para fines educativos e informativos, y cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por UNIVERSIDAD TECMILENIO. Queda prohibido copiar, reproducir, distribuir, publicar, transmitir, difundir, o en cualquier modo explotar cualquier parte de esta obra sin la autorización previa por escrito de UNIVERSIDAD TECMILENIO. Sin embargo, usted podrá bajar material a su computadora personal para uso exclusivamente personal o educacional y no comercial limitado a una copia por página. No se podrá remover o alterar de la copia ninguna leyenda de Derechos de Autor o la que manifieste la autoría del material.