Tema 13. SPC – Preparación de gráficas de control

Introducción

En ocasiones se confunde el estudio del control estadístico de procesos (SPC) con las gráficas de control. La diferencia radica en que estas últimas, aunque son una herramienta para el desarrollo del SPC, son una valiosa herramienta para el análisis de información y el entendimiento de la voz del proceso. Es ellas es posible observar los comportamientos y las tendencias, incluso, permiten atisbar predicciones sobre los comportamientos procedimentales.

Las gráficas de control son una herramienta aparte para visualizar los resultados provenientes de los procesos y la aplicación de correcciones; sin embargo, algunas veces ocurren errores durante su implementación, los cuales se relacionan con la determinación de los límites de control, los pasos preparatorios para designar el número de mediciones por subgrupo, la frecuencia de muestreo y el tipo de esquema a utilizar.

En este tema aprenderás a proponer un proyecto de implementación de control estadístico de procesos, o bien, mejorar una ya existente. Esto es necesario puesto que a través de un correcto SPC se reducen el riesgo de pérdidas por costes de mala calidad. Para ello, estudiarás lo que confiera establecer los límites de control, la preparación para interpretar gráficas de control, así como las bases de sus formulas.

Explicación

Pasos preparatorios

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

1. Establecer un medio ambiente adecuado para las acciones (se recomienda multidisciplinariedad en el equipo de trabajo).
2. Definir el proceso para el control estadístico.
3. Determinar las propiedades a características gráficables con base en lo siguiente:
   - Necesidades de los clientes.
   - Áreas de problemas actuales y potenciales.
   - Correlación entre características, lo cual no implica una relación causal.

Además de esto, para principiar, hay que atender lo siguiente: a) la información histórica de quejas de clientes; b) las características para clientes que requieran un mejor método de control; c) incidencias en auditorías de procesos, y en casos de reclamos; d) los productos que tengan alto índice de error provocado por variación de los ensambles. Asimismo, un aspecto a considerar es la correlación existente entre las características. Para ello, se debe tener el suficiente conocimiento del producto y las evaluaciones con las que se interactúa, y en su defecto, manejar diversos de experimentos que confieran a ello.

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 tiene en cuenta el método de medición, cuándo se va ejecutar y por qué periodos y condiciones. Con base en lo anterior, se establecen las cargas de trabajo de la parte operativa (no obstante, en la persona que va a medirlas una característica bidimensional que se mide mediante dos variables, puede tener en la línea y por lo tanto, se le asigna un tamaño de subgrupo cual y cinco piezas, las cuales no miden cada dos horas; esto debido a que el producto más costoso (por ende, se busca detectar la variación que permite como sea posible). Dicho tiempo se mantiene hasta que el comportamiento de posición que sólo puede ser realizada a través de una prueba destructiva en laboratorio. ¿La asignación al mismo tamaño de muestreo y frecuencia que a la característica anterior? Resulta lógico decir que no, al ser el producto más caro de la empresa, no es redituable detener una línea de producción para ejecutar dicha prueba. Por lo anterior, el tamaño de subgrupo, así como la frecuencia de muestreo, es un aspecto que se debe tener en cuenta.

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

- Tamaño de subgrupo:
  Se requiere tener consideración del proceso estudiado; ya que esto determina el tamaño subgrupo. Recuerda que entre mayor sea el número de muestras, se pueden detectar más fácilmente los pequeños cambios. Por ello, en los procesos, se recomienda tomar muestras de 4 o 5 unidades.
  En este sentido, la dimensión del subgrupo se mantiene constante en la gráfica, ya que este intervine en el cálculo de los límites de control (por la variable que se utiliza en la formula). Sin embargo, si existen casos de variación, hay que separar en otra gráfica con subgrupos iguales.
- Frecuencia de muestreo:
  Se buscará que estos datos sean tomados de manera apropiada para favorecer a los cambios en el proceso o la detección de las fuentes de variación. Usualmente pueden tomarse periodos que incluyen los cambios de turno con la finalidad de detectar variación ocasionada por los operadores, así como tendencias o errores de tiempo a corto plazo.
- Número de subgrupos:
  Para determinar los límites de control usualmente se hace un estudio inicial. En dicho estudio son aceptables verdiciosos subgrupos que contengan al menos cien datos individuales estables. Es importante que el número de muestras disponible que puede ser utilizada con estos fines, sólo hay que verificar que sea recientes y fijar su relevancia.
- Esquema de muestreo:
  Se recomienda hacer uso de muestras aleatorias, así como aprovechar el conocimiento en función de las causas especiales que interfieren. Dicho de otro modo, si ya se tienen ubicadas las causas especiales que ocurren en determinado tiempo o situación, estas también deben incorporarse en el muestreo seleccionado ya que, en caso de excluirse, podrían darse el experimento un falso sentido de seguridad.

Establecimiento de los límites de control

Recuerda que los límites de control son la variación natural (por causas comunes) del control estadístico. Visualizarlo son las líneas que representan entre qué valores puede fluctuar el proceso, por lo que nos ayuda a saber cuándo un producto está siendo respecúido por causas especiales. Estos valores son definidos mediante distintas fórmulas (dependiendo el tipo de esquema a utilizar) y no deben ser confundidos con los valores de especificación. Para todos los casos, el objetivo es que estos parámetros se encuentren dentro del rango de especificaciones del producto. Si no es así, significa que el proceso ya cumplía con el valor ideal de mediciones.

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

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

1) Identificar y eliminar las causas especiales que provocan variación dentro del proceso. La finalidad es estabilizarlo y ser contemplarlo, hacerlo entrar en control estadístico.

2) Predecir las mediciones futuras utilizando la estabilidad controlar del proceso. En esta etapa predecirás el probable valor que los siguientes puntos muestreados del tiempo tal. Con esta operación estable, se procura evaluar si cumple con las requerimientos del cliente.

Las gráficas de control se componen por tres elementos centrales representados por líneas continuas, por lo que en todas ellas encontrarás: 1) la línea central, 2) el límite superior de control y 3) el límite inferior de control.

Ejemplo de aplicación

Como se mencionó anteriormente, cuando se desea introducir control estadístico en un proceso o característica se lleva a cabo un estudio inicial. En este se recopila la información o se utiliza la que está disponible, que se necesita y que provenga de muestreos aleatorios y en ocasión causas especiales conocidas.

Primero se obtiene el set de datos y, con base al tipo de proceso, la experimentación y la carga de trabajo de los observadores, se designa el número de muestras por subgrupo; la frecuencia de medición, el número de subgrupos que contendrá el estudio y mediante qué esquemas se representarán. Es recomendable manejar una bitácora de eventos con el fin de hacer anotaciones sobre los factores o eventos que pueden ayudar a encontrar la causa de una variación especial.

El primer parámetro de la evaluación es comprobar que ambas gráficas, a pesar de ser valoradas por separado, no cuenten con causas especiales o eventos fuera de los límites de control. Esto aplicará tanto para la gráfica de promedios como para la de rangos, o en este caso, la que evalúa variabilidad y la que evalúa localización. Si sucede lo anterior, se determina automáticamente como un proceso no estable.

Uno de los principales intereses es la variación entre productos. Por tales motivos, primero se evaluarán la gráfica de rangos (gráfica R) respecto a los límites de control; si bien, se revisa el incumplimiento de alguna de las señales de un proceso fuera de control estadístico.

Para este caso, se toma la siguiente representación obtenida de la pulsera de un reloj. Se pretende medir la variación del control estadístico en cuanto a la variación. Cuando este fenómeno sucede, se procede a reconocer, analizar y eliminar dicha causa especial; o de otro modo, interpretarla dentro del proceso; siempre y cuando sea una causa que ayude a reducir la variación (lo cual no sucede en este ejemplo).

Figura 1. Gráfica de rangos inicial.

Figura 2. Gráfica de medias inicial.

La siguiente acción consiste en revaluar el gráfico excepcionando el subgrupo que presenta causas especiales. Después, obtener los límites de control con base en la nueva información. En el caso de que no se cuente con el número de datos necesarios (verdiciosos subgrupos con al menos cien datos individuales), hay que seguir alimentando el set de datos e incluirlos en el estudio. Para esto, se debe tener como antecedente el estudio anterior, donde el objetivo será buscar acciones de prevención para las causas especiales que impactaron en el proceso, y de evitar que se repitan. En este apuntes exclusivamente hacemos revisión de la gráfica de rangos, también debes excluirse o eliminarse de la de medias gráfica.

No solamente se trata de excluir o eliminar datos; sino de analizar de qué manera se puede beneficiar la voz del proceso una vez que estos factores especiales fueron removidos. Del mismo modo, es indispensable contar con un equipo multidisciplinario que de soporte en la corrección de la causa especial. Considere que esta tarea conocimiento interpretal del proceso, conocimiento estadístico, manejo de herramientas para análisis de causas y, sobre todo, paciencia para lograr el propósito definido.

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 alguna anomalía, se colocan controles que permitan eliminar la ocurrencia futura a la voz que se evaluaban los límites de control y la línea central.

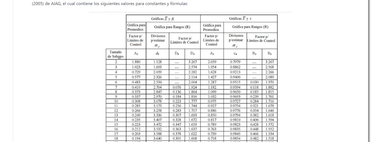

Figura 3. Gráfica de rangos final (eliminando causas especiales).

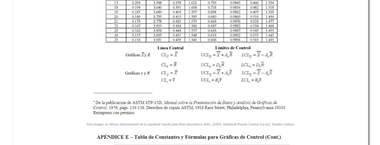

Figura 4. Gráfica de medias final (eliminando causas especiales).

A los límites de control resultantes del estudio inicial o de la revaluación se les agrega la denominación de **prueba**. Su intención es que sean extendidos para cubrir periodos futuros, puesto que se utilizarán para evaluar el proceso. En este paso se realizan, en caso de desearlo, ajustes del acercamiento de la línea central al valor nominal deseado de la característica, reducción de la amplitud de los límites, cambios en el número de mediciones por subgrupo, o cualquier otra acción que desee implementar antes de comenzar el monitoreo continuo.

Cabe aclarar que es imposible conseguir un proceso perfectamente controlado. En realidad, la finalidad de implementar este sistema es contar con controles que ayuden a prevenir de manera razonable y económica los modos de falla y los impactos. Asimismo, es deseable que, una vez cumplido el establecimiento de los límites de control, estás se utilizan para el monitoreo continuo. Las modificaciones se realizarán solo si se observan cambios significativos en las tendencia de los datos, o bien, después de algún cambio crítico realizado y que impacta a las muestras recibidas (cambio de dimensiones en materia prima, ajustes de precio o métodos de estaciones clave, entre otras).

Fórmulas para las gráficas de control

Las fórmulas dependen del tipo de variable y de proceso que estudian. En este apartado se toma como referencia el apéndice E del libro *Statistical Process Control* (2005) de AIAG, el cual contiene los siguientes valores para constantes y fórmulas:

Gráficas $\bar{X}$ y R									
	Gráficas para Rangos (R)					Gráficas para Promedios ($\bar{X}$)			
Tamaño de la Muestra	Factor para Límites de Control	Factor para Límites de Control	Factores para Límites de Control			Factor para Límites de Control	Factores para Límites de Control		
	d_2	D_3	D_4	A_2	D_2	A_2	D_3	D_4	A_2
2	1.128	—	3.267	1.880	1.128	—	1.880	—	3.268
3	1.693	—	2.574	1.023	1.693	—	1.023	—	2.574
4	2.059	—	2.282	0.729	2.059	—	0.729	—	2.282
5	2.326	—	2.114	0.577	2.326	—	0.577	—	2.114
6	2.534	—	2.004	0.483	2.534	—	0.483	—	2.004
7	2.704	0.076	1.924	0.419	2.704	0.076	0.419	1.924	1.924
8	2.847	0.136	1.864	0.373	2.847	0.136	0.373	1.864	1.864
9	2.970	0.184	1.816	0.337	2.970	0.184	0.337	1.816	1.816
10	3.078	0.223	1.777	0.308	3.078	0.223	0.308	1.777	1.777

Límites de Control

Gráficas $\bar{X}$ y R

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

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

Gráficas $\bar{X}$ y R

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

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

Gráficas $\bar{X}$ y R

$$\bar{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$\bar{R} = \bar{R}$$

Línea Central

Gráficas $\bar{X}$ y R

$$\bar{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$\bar{R} = \bar{R}$$

Gráficas $\bar{X}$ y R

$$\bar{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$\bar{R} = \bar{R}$$

Límites de Control

Gráficas $\bar{X}$ y R

$$LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

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

Gráficas $\bar{X}$ y R

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

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

Gráficas $\bar{X}$ y R

$$\bar{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$$

$$\bar{R} = \bar{R}$$

"De la publicación de ASTM STP 15D. Derechos de autor 1976 American Society for Testing and Materials. Reimpresa con permiso."

Fórmulas para gráficas de control (AIAG, 2005). Statistical Process Control (2a ed.). Estados Unidos.

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

Tamaño de Subgrupo	Gráficas para Medianas**			Gráficas para Individuos					
	Gráficas para Medianas	Gráficas para Rangos (R)		Gráficas para Individuos	Gráficas para Rangos (R)				
	Factor para Límites de Control	Divisores para Estimar Desviación Estándar	Factores para Límites de Control	Factor de Límites de Control	Divisores para Estimar Desviación Estándar	Factores para Límites de Control			
	A_4	d_3	D_4	D_3	D_2	d_2	D_4	D_3	
2	1.880	1.128	—	3.267	1.128	2.660	3.267	—	
3	1.187	1.693	—	2.574	1.772	1.772	1.693	2.574	—
4	0.796	2.059	—	2.282	2.457	2.457	1.059	2.282	—
5	0.691	2.326	—	2.114	2.771	2.771	2.326	2.114	—
6	0.548	2.534	—	2.004	2.872	2.872	2.534	2.004	—
7	0.508	2.704	0.076	1.924	3.078	3.078	2.704	0.076	1.924
8	0.433	2.847	0.136	1.864	3.173	3.173	2.847	0.136	1.864
9	0.412	2.970	0.184	1.816	3.258	3.258	2.970	0.184	1.816
10	0.362	3.078	0.223	1.777	3.336	3.336	3.078	0.223	1.777

Línea Central

Gráficas para Medianas

$$\tilde{\bar{X}} = \bar{\tilde{X}}$$

$$\tilde{R} = \bar{R}$$

Gráficas para Individuos

$$\bar{X} = \bar{X}$$

$$\bar{R} = \bar{R}$$

Límites de Control

Gráficas para Medianas

$$LCL_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} - A_4\bar{R}$$

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

$$UCL_{\tilde{X}} = \bar{\tilde{X}} + A_4\bar{R}$$

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

Gráficas para Individuos

$$LCL_X = \bar{X} - E_2\bar{R}$$

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

$$UCL_X = \bar{X} + E_2\bar{R}$$

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

Para tablas o extensiones, ver el tamaue de tiTA 3ª edición.

Fórmulas para gráficas de control (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 $LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ $UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ Si el tamaño de la muestra es constante (n) $LCL_p = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$ $UCL_p = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$
Gráfica np para número/proporción unidades en una categoría	$CL_{np} = n\bar{p}$	$UCL_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$ $LCL_{np} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
Gráfica c para número de unidades en una categoría	$CL_c = \bar{c}$	$UCL_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$ $LCL_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$
Gráfica u para número/proporción unidades en una categoría	$CL_u = \bar{u}$	Muestras no necesariamente de tamaño constante $UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ $LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ Utilizando el promedio del tamaño de la muestra $UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$ $LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{\bar{n}}}$ Si el tamaño de la muestra es constante (n) $UCL_u = \bar{u} + 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ $LCL_u = \bar{u} - 3\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

Fórmulas para gráficas de control (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, $\bar{X}$, $\bar{R}$, etcétera.
- Variables A_2, D_3, etcétera: ayudan al cálculo de los límites de control y dependen del tamaño de subgrupo (n).

Cierre

Como explica AIAG (2005), para establecer gráficas de control, es necesario definir con claridad los siguientes puntos: su propósito, el aspecto que se va considerar; y la unidad de donde se va a tomar la muestra.

Por lo tanto, el establecimiento de los límites de control, así como la selección adecuada de los parámetros, son acciones fundamentales de todo el sistema de control estadístico. Es una actividad integral de la cual depende el éxito del proyecto, por lo que es necesario prestar atención a posibles errores.

El propósito de este tema es que adquieras habilidades para conocer cómo realizar un estudio inicial o, si lo requieres, una revaluación de los procesos de control estadístico. No obstante, no hay que olvidar que sus resultados únicamente son una guía: las decisiones se deben tomar con base en lo que marque el proyecto y los cambios implementados.

Del mismo modo, 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 inurrir al equipo involucrado, definir o cambiar los muestreos actuales y conocer de manera integral los factores que pueden estar impactando al proceso.

Checkpoints

Asegúrate de:

- Identificar las tablas de constantes para el cálculo de los límites de control y su funcionamiento básico.
- Conocer el proceso de establecimiento de los límites de control.
- Conocer de dónde se obtienen los límites de control para monitoreo constante.

Referencias bibliográficas

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

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 los tratados internacionales de Derechos 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 lucrar, reproducirlos, editarlos o modificarlos, 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.