

TEMA 4: Introducción al Control Estadístico de Procesos

- 1 Introducción
- 2 Base estadística del diagrama de control
- 3 Muestreo y agrupación de datos
- 4 Análisis de patrones en diagramas de control

1. Introducción

En cualquier proceso de producción, independientemente de su buen diseño o mantenimiento, siempre existe un grado de variabilidad inherente o natural. Esta variabilidad o ruido de fondo es la acumulación de muchas pequeñas causas esencialmente incontrolables. Si el nivel de variabilidad es pequeño, se considera que el proceso es aceptable y, por tanto, se halla bajo control estadístico. En cambio, cuando el nivel de variabilidad del proceso es superior y se debe a causas atribuibles o controlables, se considera que el proceso no es aceptable o está fuera del control. La variabilidad debida a causas atribuibles se produce, por ejemplo, con el ajuste incorrecto de máquinas, los errores de operarios, defectos de materias primas o combinaciones de las causas anteriores. Usualmente el proceso funciona un largo periodo con causas fortuitas y ocasionalmente se producen, al azar, causas atribuibles que hacen que el proceso cambie y pase a estar fuera de control. El control estadístico de procesos contempla como un objetivo esencial el detectar las causas atribuibles y desarrollar métodos de corrección que eviten la producción masiva de unidades o piezas defectuosas. El diagrama de control es una técnica estadística de control que se suele aplicar ampliamente en procesos de producción en línea y que permite estimar los parámetros del proceso y evaluar su capacidad. El objetivo final del control estadístico es eliminar la variabilidad del proceso. Los diagramas de control proporcionan una reducción importante de dicha variabilidad. En este tema se introducen los elementos básicos que intervienen en el diseño de gráficos de control y en su interpretación. En los temas siguientes se estudiarán algunos casos especiales de uso más frecuente.

2. Base estadística del diagrama de control

El gráfico de control se define en términos de una banda, la región que indica que el proceso está bajo control, delimitada por los límites superior e inferior de control, que se suelen dibujar equidistantes a la línea central de control (representando ésta el valor medio de la característica de la calidad estudiada). El proceso está bajo control si los

puntos muestrales representados se distribuyen aleatoriamente en torno a la línea central en la banda definida por los límites superior e inferior de control. Los puntos muestrales representados reflejan el valor medio muestral de la característica estudiada, que se observa cada cierto intervalo fijo de tiempo. Se aplican métodos para la detección de patrones no aleatorios, que definen el proceso fuera de control, para la eliminación de las causas atribuibles que producen dichas situaciones.

El diagrama de control puede interpretarse en términos de la teoría de contraste de hipótesis. Más concretamente, los puntos que se encuentran entre los límites de control apoyan la hipótesis nula de que el proceso está bajo control; en cambio, los puntos muestrales fuera de la banda que definen los límites de control apoyan la hipótesis alternativa del que el proceso está fuera de control.

La probabilidad de error de tipo I se define entonces como la probabilidad de concluir que el proceso está fuera de control cuando en realidad no lo está. La probabilidad de error de tipo II define entonces la probabilidad de concluir que el proceso está bajo control cuando en realidad está fuera de control. Noté que, por el Teorema Central del Límite, la determinación de los límites de control para el valor medio de una característica numérica equivale a determinar la región crítica para el contraste bilateral sobre dicho valor, bajo la suposición de que la desviación típica poblacional es conocida

En general, se puede diseñar un diagrama de control a partir de la definición de un estadístico W muestral que mida alguna característica de la calidad de interés. Bajo la hipótesis de que la media, μ_W , y la desviación típica, σ_W , de dicho estadístico son conocidas, se establecen los límites de control como sigue: La línea central vendría dada por la media μ_W y los límites superior e inferior vendrían dados, respectivamente, por

$$\begin{aligned}LSC &= \mu_W + K\sigma_W \\LIC &= \mu_W - K\sigma_W\end{aligned}$$

donde se suele considerar $K = 3$. Cuando la media y la desviación típica del estadístico no son conocidas se estiman a partir de m muestras piloto y se definen en términos de dichas estimaciones los que se conocen como límites de prueba.

Los diagramas de control se clasifican en diagramas de control por atributos y por variables. Los primeros se utilizan para controlar el número de unidades defectuosas en el caso en que la característica de la calidad estudiada es cualitativa, y por tanto, no se le puede asociar una escala numérica. Los diagramas de control por variables se diseñan para características numéricas y generalmente se definen para controlar el valor medio y la variabilidad, en términos de la desviación típica o del rango.

En resumen, en el diseño de los gráficos de control se deben especificar los siguientes elementos:

- El tamaño muestral.

- La frecuencia de muestreo.
- Los límites del gráfico.

En el diseño de gráficos de control también intervienen consideraciones de tipo estadístico tales como que el aumento del tamaño muestral n proporciona una reducción de la probabilidad de error del tipo II y, por tanto, una aumento del poder discriminatorio del gráfico para detectar una situación fuera de control. Con frecuencia consideraciones de tipo económico son tenidas en cuenta en el diseño del gráfico para obtener una reducción de los costos asociados al control del proceso.

De lo anterior se deduce que los diagramas de control mejoran la productividad, son una herramienta útil en la prevención de errores, discriminan entre causas atribuibles y fortuitas y proporcionan información para el análisis de la capacidad del proceso.

En el diseño de los límites de control, según se ha comentado anteriormente, se suele elegir un múltiplo de la desviación típica, por ejemplo, los límites de 3σ , aunque también suele ser útil la consideración de un múltiplo de la desviación típica determinado por una probabilidad de error de tipo I prefijada (α). Un aumento de la distancia entre los límites de control produce un incremento de la probabilidad de error de tipo II. Por el contrario, una disminución de esta distancia aumenta la probabilidad de error de tipo I. Si se producen grandes pérdidas en una situación fuera de control, es aconsejable reducir la distancia entre los límites de control para evitar la posibilidad de que el proceso siga funcionando fuera de control. Se pueden establecer también límites probabilísticos, en lugar de límites definidos a partir de múltiplos de la desviación típica, cuando la distribución de la característica es conocida.

Frecuencia de muestreo y tamaño muestral. Un aumento del tamaño muestral permite establecer con más precisión los cambios del proceso y, por tanto, permite detectar los cambios pequeños. De forma similar el aumento de la frecuencia de muestreo permite detectar con más precisión los cambios del proceso. Sin embargo, el aumento de ambos parámetros supone un aumento de costos. Por tanto, se suelen considerar tamaños de muestra más pequeños y se suele aumentar la frecuencia de muestreo. En la determinación de la frecuencia de muestreo se considerarán los siguientes factores:

- Costos de muestreo.
- Pérdidas ocasionadas por una situación fuera de control.
- La tasa de producción.
- Probabilidades de ocurrencia de diversos tipos de cambios en el proceso.

3. Muestreo y agrupación de datos

La agrupación de datos en muestras debe seguir unos criterios que maximicen la posibilidad de detectar y diferenciar las causas atribuibles entre subgrupos y minimicen la posibilidad de diferenciarlas dentro de un subgrupo o muestra. Es decir, el muestreo debe tener como finalidad conseguir muestras homogéneas internamente en relación con las causas atribuibles y con máxima heterogeneidad entre ellas en relación a dichas causas.

Los criterios fundamentales a seguir en la construcción de subgrupos o muestras serían:

- El orden de producción en el tiempo. Se consideran muestras ordenadas en el tiempo respetando, por ejemplo, los turnos en la producción.
- Construcción de muestras con unidades producidas casi en el mismo instante de tiempo (permiten la detección de cambios en el proceso por causas atribuibles y favorecen la estimación de la desviación estándar del proceso en diagramas de control por variables).
- Las unidades de la muestra deben ser representativas en relación con todas las unidades que se han producido desde la extracción de la última muestra. Este aspecto es importante cuando se toman decisiones sobre aceptación de productos que se han fabricado en el intervalo de tiempo transcurrido desde la extracción de la última muestra. También es importante para detectar si el proceso ha estado fuera de control y ha regresado a una situación de control en dicho intervalo de tiempo.
- Extracción de muestras por máquina.
- Extracción de muestras por terminal.
- Extracción de muestras por planta u operario.

Todos estos criterios contribuyen a una mayor utilidad de los diagramas de control.

4. Análisis de patrones en diagramas de control

Los diagramas de control indican que el proceso está fuera de control cuando los puntos muestrales se encuentran fuera de los límites de control, o bien cuando presentan una distribución no aleatoria en torno a la línea central del diagrama. Por ejemplo, la presencia de puntos muestrales consecutivos que describen una poligonal creciente o decreciente se considera un indicio de no aleatoriedad. Estas rachas de puntos muestrales también se pueden situar uniformemente por encima o por debajo de la línea central. Otro ejemplo de no aleatoriedad se presenta cuando todos los puntos muestrales del diagrama se sitúan por encima o por debajo de la línea central. En resumen, los criterios más frecuentes para detectar gráficamente que el proceso está fuera de control son los siguientes:

- Uno o más puntos fuera de los límites de control.
- Rachas ascendentes, descendentes, por encima o por debajo de la línea central (de 8 o más puntos).
- Tres o más puntos consecutivos fuera de los límites de 2σ (límites de advertencia).
- Cuatro o más puntos consecutivos fuera de los límites de 1σ .
- Comportamientos cíclicos.