

# CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESOS Y METROLOGÍA EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN BUQUE EN GRADA

Salvador Naya<sup>1</sup> y José Ángel Fraguela<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Matemáticas. Escuela Politécnica Superior. Universidad de A Coruña. (salva@udc.es)

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Naval y Oceánica. Escuela Politécnica Superior. Universidad de A Coruña. (fraguela@cdf.udc.es)

## RESUMEN

La monotorización de procesos mediante el control estadístico de procesos (CEP) y las técnicas usadas en Metrología, basadas en analizar la reproductividad y repetitividad de las medidas (RyR), suelen presentarse como dos métodos distintos de cara a controlar un proceso. En este trabajo se propone la utilización conjunta de ambas técnicas, analizando los aspectos comunes de cara a controlar la variabilidad en la toma de mediciones. Se presentará la aplicación de estas técnicas de calidad al proceso de construcción de un buque en grada, concretamente al control dimensional y de calidad de los paneles de acero utilizados.

**Palabras e frases clave:** Control Estadístico de Procesos, Control Ingenieril de Procesos, Metrología.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un primer objetivo del Control Estadístico de procesos (SPC) es identificar la naturaleza de las causas comunes de variabilidad (aquéllas que están permanentemente presentes en un proceso) y cuantificar su efecto, con el fin de establecer la capacidad del proceso para las diferentes características de calidad. Las causas comunes producen en los resultados del proceso una pauta de variabilidad, generalmente estable y globalmente predecible, que define la capacidad del proceso para satisfacer determinadas especificaciones. Cuando en un proceso sólo están presentes sus causas comunes de variabilidad se dice que el proceso está “bajo control”. Por otra parte, en un proceso es posible que existan otras causas que afecten a la variabilidad, llamadas causas especiales de variabilidad, que suelen tener un carácter esporádico y puntual, y que provocan las denominadas “salidas de control” del proceso. Las causas especiales están asociadas, por tanto, a hechos excepcionales como averías o fallos humanos.

Un segundo objetivo del SPC es el establecimiento de un sistema de observación, permanente, que detecte precozmente la aparición de causas especiales de variabilidad y ayude a identificar su origen, con el fin último de eliminarlas del proceso y tomar medidas que eviten su reaparición futura. Su fundamento es la toma periódica de muestras, y la representación gráfica de estadísticos adecuadamente elegidos (como la media o la desviación típica de las muestras) que actúan como señales de aviso de las salidas de control.

La Metrología entendida como la ciencia de las mediciones, tiene como objetivo el estudio de la incertidumbre que se produce en los procesos de medición. Para ello estima la variabilidad y la repetitividad (RyR) de las medidas con la intención de ajustar lo mejor posible las características de calidad a sus valores deseados. Al igual que en el control estadístico de procesos se definen índices para medir la capacidad de los procesos en metrología también

son habituales índices para verificar el instrumento de medición y la repetitividad de las medidas.

Una vez introducido el problema sobre las dos posibles formas de controlar los procesos en el contexto de calidad, en la segunda sección presentaremos las ideas básicas de ambas técnicas, la tercera sección se presentará una aplicación real de un control de procesos y la metrología en la medición de los paneles utilizados en la construcción de un buque en un Astillero y, finalmente, la última sección, estará dedicada a las conclusiones.

## 2. CONTROL ESTADÍSTICO FRENTE A METROLOGÍA

El control estadístico de procesos tiene como principal objetivo conseguir productos y procesos robustos para lo que suele utilizar gráficos, llamados también gráficos Shewhart en honor a uno de los considerados como padre de esta ciencia, el profesor Walter Shewhart, que fue quien los propuso cuando trabajaba en los laboratorios de la compañía americana Bell Telephone en el año 1931.

Un gráfico de control bien diseñado debe avisar, lo antes posible, de la aparición de una causa especial de variabilidad y ayudar a su identificación y eliminación. Es muy importante, en consecuencia, que todo el gráfico de control que se implante venga acompañado de su correspondiente plan de reacción, que precise las medidas que deben adoptarse en función de la naturaleza de las posibles señales de falta de control que puedan aparecer. Los límites que aparecen en un gráfico de control indican la variabilidad que cabe esperar para el estadístico graficado (por ejemplo la media de  $n$  observaciones) en el caso de que el proceso se halle bajo control, es decir, actuando sólo las causas comunes de variabilidad. Debe quedar claro que estos límites de control no tienen en principio nada que ver con las especificaciones establecidas para la característica estudiada. Es, en efecto, muy frecuente que límites de control calculados aplicando las fórmulas estándar de los manuales que no se adaptan a la naturaleza de un determinado proceso, se traduzcan en reiteradas falsas alarmas (el gráfico indica una salida de control a pesar de que el proceso está realmente bajo control) que finalmente generan una falta de confianza en el gráfico y su abandono.

Los gráficos de control tienen unas sencillas fórmulas que dependen de la media de las submuestras y de estimaciones de la desviación típica, para lo que se suelen usar las medias de las desviaciones de cada submuestra o las medias de los recorridos, en función de esto se obtienen las siguientes expresiones, en las que los valores de las constantes están tabulados en función del tamaño de la submuestras.

$$\begin{array}{ll} \text{Gráfico } \bar{X} \left\{ \begin{array}{l} LCI = \bar{\bar{X}} - A_1 \cdot \bar{S} \\ LCS = \bar{\bar{X}} + A_1 \cdot \bar{S} \end{array} \right. & \text{Gráfico } \bar{R} \left\{ \begin{array}{l} LCI = \bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R} \\ LCS = \bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R} \end{array} \right. \\ \\ \text{Gráfico } S \left\{ \begin{array}{l} LCI = B_3 \cdot \bar{S} \\ LCS = B_4 \cdot \bar{S} \end{array} \right. & \text{Gráfico } R \left\{ \begin{array}{l} LCI = D_3 \cdot \bar{R} \\ LCS = D_4 \cdot \bar{R} \end{array} \right. \end{array}$$

En la Figura 1 de la sección siguiente puede verse uno de estos gráficos en el que se aprecian distintas submuestras fuera de control. La Figura 2 representa la salida para un gráfico tipo S.

Es un error muy frecuente en la industria la confusión entre ambos aspectos de control y, en particular, la creencia de que los gráficos de control clásicos del SPC son los que indican, a partir de las señales de salidas de control, la necesidad de adoptar una decisión de regulación del proceso manejando una variable compensatoria. Una señal de falta de control (si el gráfico se ha construido correctamente) indica la aparición en el proceso de una causa especial que debe ser identificada, pero el proceso, aun hallándose bajo control, puede presentar una variabilidad indeseable que quizás sea posible reducir manejando adecuadamente variables compensatorias mediante el EPC. En definitiva, SPC y RyR no son dos alternativas excluyentes, sino dos enfoques complementarios, y ambos deben ser utilizados, siempre que sea posible, para optimizar el control de un proceso.

### 3. IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL A UN PROCESO EN UN ASTILLERO

Como ejemplo de aplicación de un control de procesos veremos la implementación de un sistema de control en un astillero dedicado a la construcción de buques, con la intención de controlar una serie de variables de interés. En un primer paso se desarrolló un control estadístico para verificar que el acero cumplía con los requisitos de calidad que fija la correspondiente norma, concretamente se analizó como variable de calidad el límite elástico.

Gráfico X-bar para el límite elástico del acero

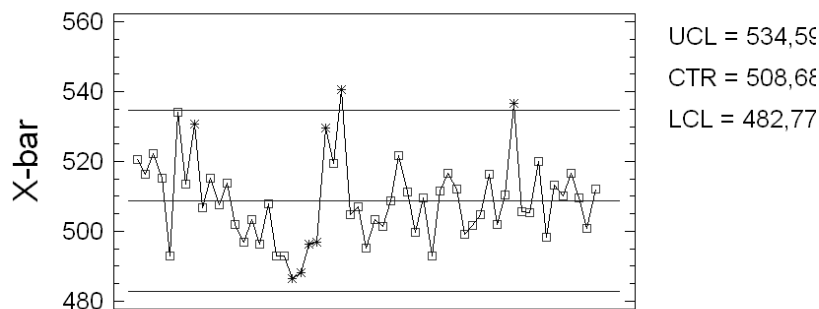


Figura 1: Gráfico de medias para la variable de interés del acero.

Gráfico S para el límite elástico

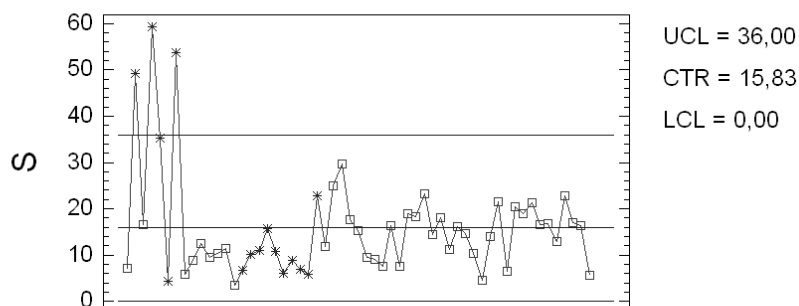


Figura 2: Gráfico S para la variable de interés, límite elástico del acero.

De cara a controlar el proceso no era posible hacer agrupamientos en submuestras, por lo que optamos por considerar muestras de tamaño uno. En este caso, nos vemos obligados al uso de gráficos de medias individuales. Para este tipo de control es necesario hacer un agrupamiento en bloques o por rangos móviles de los datos, en submuestras, para estimar la variabilidad.

Finalmente, hemos utilizado una opción distinta a los gráficos de Shewhart. Esta última propuesta consiste en hacer uso de los gráficos de sumas acumuladas, propuestos por vez primera por Page en 1954, también llamados gráficos CUSUM. A diferencia de los gráficos clásicos, la decisión sobre si el proceso está o no bajo control se toma tras el análisis sistemático de toda, o de la mayor parte, de la serie temporal de medias. El gráfico CUSUM presenta, además, la ventaja de que tiene un ARL (Average Run Length) del orden de la mitad de un gráfico tipo Shewhart. Teniendo en cuenta que el ARL es una buena medida para comparar dos gráficos de control ya que representa la longitud media del número de muestras necesarias hasta encontrar una señal de fuera de control.

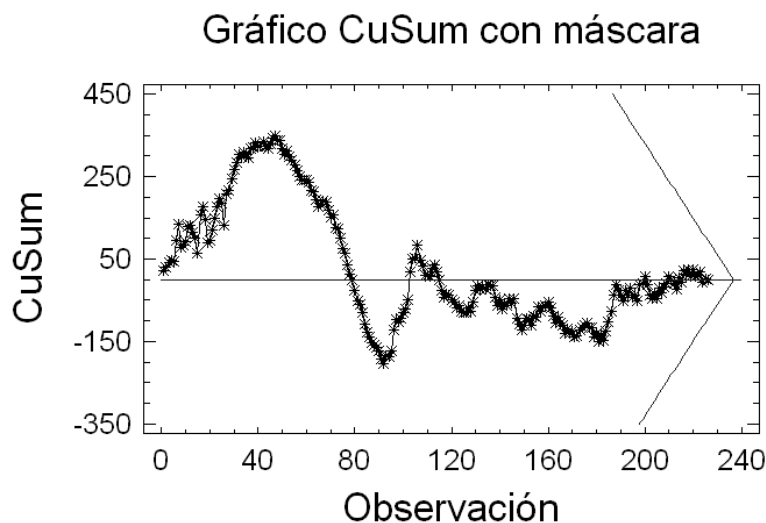


Figura 3: Gráfico CuSum para la variable de interés, límite elástico del acero.

En la Figura 3 se muestra una de estas salidas correspondiente a un gráfico CUSUM para la variable de control del límite elástico para 224 muestras de tamaño 1. Este gráfico, a diferencia del gráfico de medias, representa en el eje X, el número de muestra, y en el eje de ordenadas, representa las sumas parciales de las observaciones menos la media del proceso. En este caso concreto se ha usado un gráfico CUSUM con máscara, que permite detectar la falta de control, siempre que aparezcan puntos fuera de esa máscara o plantilla. Para más detalles sobre la construcción de este gráfico puede acudir al texto de Montgomery (2005) entre otros.

En cuanto al estudio metrológico hemos seguido para su implementación la norma EN 10080 que indica que la determinación de los niveles de calidad garantizable se llevará a cabo mediante la obtención de los “valores característicos” para las diferentes características de calidad. Dichos valores característicos se calculan a partir de los resultados obtenidos en la totalidad de los ensayos realizados para la población considerada (por ejemplo chapas de acero de construcción naval) durante un determinado periodo de tiempo (por ejemplo, en el último semestre).

Hemos analizado la variabilidad de las piezas tomando 3 medidas diferentes con 5 operarios distintos, calculando los índices de reproducibilidad y repetitividad entre operarios y entre medidas. Estos índices los hemos comparado con los obtenidos mediante la estimación de la capacidad del proceso observando que nos dan valores similares.

#### **4. CONCLUSIONES**

Como conclusión a lo anteriormente expuesto podría resaltarse la ventaja que tiene combinar métodos que permiten controlar la variabilidad de los procesos, como es el caso del control estadístico de procesos, con métodos que lo que persiguen es verificar que las mediciones sean correctas como el caso del control de incertidumbre que proponen las técnicas de Metrología.

Además hemos visto que el empleo de los gráficos CUSUM suponen una mejora en el control estadístico por cuanto tienen en cuenta toda la serie de estudio y evitan el problema que de la selección de tamaños de submuestras.

Finalmente, hemos analizado los distintos índices de metrología para controlar las mediciones y los hemos relacionado con los índices de capacidad utilizados en el control estadístico aplicando estos resultados a los procesos de construcción típicos de un astillero.

#### **REFERENCIAS**

Black-Nembhard, H y Chen S. (2007). Cuscore Control Charts for Generalized Feedback-control Systems. *Quality and Reliability Engineering International*, 23, 483–502.

Box G. E. P. y Luceño A. (1997). *Statistical Control by Monitoring and Feedback Adjustment*. Wiley. New York.

Nembhard H, Changpetch P. (2006). Detected monitoring using cuscore charts for seasonal time series. *Quality and Reliability Engineering International*. 10,766-786.

Del Castillo E. (2002). *Statistical Process Adjustment for Quality Control*. Wiley. New York.

Montgomery D. C. (2005). *Introduction to Statistical Quality Control (5th edn)*. Wiley. New York.