

GRAFICOS DE CONTROL DE ATRIBUTOS PARA PROCESOS DE ALTA CALIDAD BASADOS EN EL CONTEO ACUMULADO DE ÍTEMS CONFORMES

JOEKES, SILVIA ⁽¹⁾; SMREKAR, MARCELO ⁽²⁾; PIMENTEL BARBOSA, EMANUEL ⁽³⁾

(1) *Instituto de Estadística y Demografía – Facultad de Ciencias Económicas – UNC*

(2) *Laboratorio de Ingeniería y Mantenimiento Industrial –Facultad de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales - UNC*

(3) *Departamento de Estatística, Universidad.Estadual de Campinas –Unicamp - Campinas,
SP , Brasil*

Correo electrónico de los autores: joekess@eco.unc.edu.ar, msmrekar@efn.uncor.edu,
emanuel@ime.unicamp.br

RESUMEN

Los gráficos de control de atributos son generalmente empleados para monitorear la fracción de ítems no conformes de un proceso. Sin embargo, el tradicional gráfico p de Shewhart ha mostrado ser inadecuado para monitorear procesos con muy baja proporción de defectos. Para tratar con esta dificultad han sido propuesta nuevas alternativas algunas de las cuales consisten en la determinación de gráficos de control clasificados en la categoría de gráficos de conformidades acumuladas, que tienen a la distribución geométrica o la distribución binomial negativa o a alguna de sus variantes como distribuciones de probabilidad subyacente. Entre estos gráficos se destacan, el gráfico de CCC (Cumulative Count of Conforming) que considera el conteo acumulado de ítems producidos hasta que se detecta un ítem no conforme, el gráfico CCC- r que se basa en el recuento acumulado de ítems producidos antes de que se observen r ítems no conformes y el gráfico CCS (cumulative conforming samples) empleado en casos en que la inspección se realiza por muestreo. Sin embargo, aunque estos gráficos han demostrado ser útiles en el seguimiento de un proceso de alto rendimiento, poseen la característica de incrementar el tiempo medio en dar una señal de falsa alarma cuando el proceso comienza a deteriorarse. Para evitar esta dificultad, se determinan los límites de control a partir de diferentes procedimientos de maximización de la longitud media de corrida (ARL) cuando el proceso se encuentra bajo control. En este trabajo se determinan las características subyacentes de cada uno de estos gráficos y el cálculo de los límites de control adecuados.

PALABRAS CLAVE: Gráficos de control, Procesos de alta calidad, Conteo acumulado de conformidades, ARL insesgado

INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo, muchas empresas han logrado estándares de calidad realmente altos y en la actualidad la fracción de no conformes de algunos procesos de producción es tan baja, que se mide normalmente en unidades de ppm (partes por millón). Esta situación hace que se deba prestar especial atención a los métodos de control empleados, dado que los tradicionales gráficos de Shewhart ya no deberían ser utilizados.

Para dar solución a esta problemática varias técnicas de control alternativas, basadas en el conteo acumulado de ítems conformes entre no conformidades, han sido propuestas por diferentes autores entre los cuales se destacan; Calvin (1983), Goh (1987), Lucas (1989), Bourke (2001), Kaminsky et al (1992), Chan et al. (2000, 2003), Kuralmani et al. (2002), Chen y Cheng (2005, 2010), Chen (2009), Zhang et al. (2004, 2005, 2012), entre otros.

Estas nuevas propuestas consisten en la determinación de gráficos de control, clasificados en la categoría de gráficos de conformidades acumuladas, que tienen a la distribución geométrica o la distribución binomial negativa o a alguna de sus variantes como distribuciones de probabilidad subyacentes. Estos gráficos se conocen como gráficos tipo CCC y entre ellos se destacan los gráficos CCC, CCC- r , y CCS.

Los gráficos de control basados en el conteo de conformidades acumuladas, generalmente asumen de manera implícita que los productos son inspeccionados artículo por artículo (o secuencialmente) siguiendo el orden de producción. Sin embargo, hay situaciones en las que la producción es inspeccionada muestra por muestra y en estos casos el orden original de producción de cada ítem, no se conserva. La motivación de este tipo de inspección está normalmente relacionada con la economía que significa la inspección por muestras en procesos con grandes volúmenes de producción.

En este trabajo se discuten las diferentes versiones del gráfico CCC.

Gráfico CCC para inspección secuencial

El gráfico CCC es muy útil en situaciones en que la inspección se realiza considerando una unidad por vez o cuando se trabaja con procesos de manufactura automáticos. Esta es una técnica de gran relevancia para el caso de control de procesos cuando se observa un gran

número de unidades conformes consecutivas entre dos no conformidades. El gráfico de control consiste en monitorear esta cantidad y las decisiones se determinan sobre la base de establecer si este número es grande o pequeño.

La idea que subyace a los gráficos CCC es el hecho de que el número de unidades conformes entre dos no conformidades cambia cuando la fracción de no conformes se desplaza. No es sencillo observar estos desplazamientos en procesos cercanos a cero defectos dado que éstos suelen ser muy reducidos. Una estrategia consiste en realizar el conteo acumulado de unidades conformes entre dos no conformidades. De esta manera, cuanto más pequeños sean los números graficados en el gráfico CCC, el proceso nos indica que hay muchas unidades no conformes en el tiempo y luego, el proceso se juzga como fuera de control. Por otro lado, si el número de unidades conformes entre dos no conformidades es grande, entonces el proceso probablemente ha mejorado y esto puede ser utilizado para considerar el mejoramiento del proceso aún en las cercanías de cero defectos.

Si x es el número de unidades observadas antes de que una unidad no conforme se presente, luego, $(x - 1)$ unidades serán conformes y una, la x -ésima, será no conforme. Este conteo sigue una distribución geométrica y a partir de ella se determinan los límites del gráfico de control. En el gráfico CCC cuando un ítem defectuoso es observado, x se resetea a 0 y el conteo de ítems conformes o no defectuosos comienza nuevamente. Luego, el gráfico de control se construye graficando los conteos acumulados de ítems conformes entre dos no conformes.

La longitud promedio de corrida (ARL) se define como el número esperado de puntos representados en un gráfico de control antes que una señal de fuera de control sea observada. El ARL debería ser grande cuando el proceso es considerado bajo control o cuando opera en un nivel preestablecido. Cuando este nivel se desplaza, el ARL debería disminuir de manera que la señal de alarma se determine rápidamente.

Se ha determinado que en los gráficos de control basados en la distribución geométrica, el tiempo medio hasta que se produce una señal de alarma puede inicialmente incrementarse cuando el proceso se ha deteriorado (aumenta p). En estos casos el máximo ARL no se encuentra en el valor nominal del proceso lo cual es común en distribuciones asimétricas (Xie et al., 2000). Desde el punto de vista práctico, esto implica que podría tomar más tiempo para

la alarma cuando el proceso se ha deteriorado que cuando es normal, aún en el caso de utilizar límites de probabilidad exactos.

Para eliminar este problema, se presenta un procedimiento para la obtención de límites de control óptimos para el gráfico CCC, basado en la maximización del ARL en el valor deseado de p , que consiste en obtener nuevos límites de control multiplicando los límites originales por el factor de ajuste.

Gráfico CCC- r

El gráfico CCC- r constituye una extensión del gráfico CCC. Las ventajas de utilizar los gráficos CCC- r han sido exploradas por muchos autores, entre los que se destacan; Kaminsky et al.(1992), Nelson, (1994), Xie et al.,(2000, 2002), Chan et al.,(2001), Chen (2009), Chen y Cheng, (2010), Albers, (2010), entre otros.

El gráfico CCC- r se utiliza para monitorear el conteo acumulado de ítems conformes producidos hasta detectar r ítems no conformes. Luego, esta cantidad puede ser vista como la suma de r variables aleatorias independientes con distribución geométrica. Además, si la probabilidad de encontrar un ítem no conforme es p y si x indica el conteo acumulado de ítems inspeccionados hasta la observación del r -ésimo ítem no conforme, luego x sigue una distribución binomial negativa con parámetros (r, p) .

El gráfico CCC- r tiene una mejor performance respecto al gráfico CCC para detectar desplazamientos en la proporción de no conformidades de un proceso. Sin embargo, a medida que r aumenta, el gráfico CCC- r se torna más sensible a pequeños cambios en los desplazamientos de los valores de p especialmente cuando estos se refieren a un incremento (deterioro del proceso). En la práctica r no debería ser muy grande dado que se necesitarían acumular más observaciones antes de que pueda tomarse una decisión. Por este motivo, se sugiere comúnmente que el valor de r no supere a 5 (Xie et al., 1999).

Sobre la base de los estudios previos realizados, Chen y Cheng (2010) derivaron los límites de control para los gráficos CCC- r considerando un factor de ajuste basado en un modelo de regresión para varios valores de r . Por otro lado, Chen, (2009) determinó un procedimiento para calcular los límites de control óptimos para los gráficos CCC- r con un ARL cuasi-maximal y cuasi-insesgado.

Gráfico CCS para inspección por muestreo

La inspección por muestreo es un procedimiento habitual en las empresas, principalmente cuando se trata de procesos con altos volúmenes de producción y necesidad de economizar los controles. Debido a que el orden original de los datos no se conserva cuando la inspección se realiza por muestreo, una alternativa lógica consiste en monitorear el número acumulado de muestras hasta que se detecta un número especificado de productos no conformes.

Con la intención de dar respuesta a problemas de este tipo que surgen en la práctica cuando se monitorean procesos de alta calidad bajo inspección por muestreo, surgieron los gráficos de control CCS (Cumulative conforming samples) o CCC_G (Cumulative count of conforming groups) (Zhang et al., 2005, 2012).

Supongamos un proceso de alta calidad en el que las unidades producidas son inspeccionadas muestra por muestra. La probabilidad de que una muestra contenga más de un producto no conforme es muy pequeña en estos procesos, por lo que es razonable definir una muestra como “no conforme” cuando contiene uno o más ítems no conformes y como “conforme” en caso contrario. Dentro de cada muestra, el orden original de producción se pierde, mientras que este orden se mantiene entre muestras. Por este motivo, la elección lógica consiste en monitorear el número acumulado de muestras conformes hasta que una muestra no conforme sea observada.

Luego, si X es la estadística muestral del gráfico CCS, es decir, el número acumulado de muestras de tamaño n inspeccionadas (incluyendo la última) hasta que el r -ésimo ítem no conforme sea encontrado, luego X es una variable aleatoria con función de distribución F_X . Los límites de control se determinan a partir de esta función, considerando una tasa de falsa alarma aceptable, α , que permita detectar el incremento en p (deterioro del proceso) o su disminución (mejora del proceso).

Surge inmediatamente que el gráfico CCS se reduce al gráfico CCC cuando $n = r = 1$, y al $CCC-r$ cuando $n = 1$ y $r > 1$. Cuando $r = 1$, no es dificultoso encontrar una solución para el cálculo de los límites de control del gráfico CCS. Sin embargo, cuando $r > 1$, la solución a este problema necesita de la implementación de un programa de computación para obtener un cálculo aproximado.

Para el gráfico CCS la longitud promedio de corrida (ARL) se define como el número promedio de valores de la estadística X graficados antes de que un punto indique una señal de

fuera de control. Sin embargo, este concepto del ARL no suele ser una buena medida de performance del gráfico CCS debido a que el número de puntos graficados no se corresponde con el número de muestras tomadas. Una medida más apropiada es el número promedio de unidades que deben ser inspeccionadas antes de que una señal de fuera de control sea detectada. Esta medida de performance se conoce como ANI (average number of items inspected). En el caso $p = p_0$, se obtiene el ANI bajo control denominado ANI_0 .

RESULTADOS

Mediante este trabajo se mostrarán las cartas del tipo CCC realizadas empleando el programa R, los resultados obtenidos para el cálculo de los límites de control de los diferentes gráficos y su aplicación con datos reales.

Se difundirá también un estudio comparativo de las propuestas de Chen y Cheng (2010) y Chen (2009) (que son diferentes autores), mediante el cálculo de las curvas de potencias de ambas cartas y un gráfico de los ARL de las mismas calculado sobre un único conjunto de datos simulados. Estos indicadores se analizan como medida de la sensibilidad de cada carta de control y de su habilidad para detectar corrimientos en la fracción de no conformes del proceso del valor nominal p_0 a otros valores de p . Además, dado que estos autores proponen cartas de control donde no se evidencia que el riesgo de falsa alarma sea el especificado, se muestra el estudio de las probabilidades de error tipo I para distintos valores de p y r de estas cartas de control, considerando su comparación con el valor nominal especificado.

También se discutirá la performance del gráfico CCS para diferentes valores de p , n y r , y el valor preestablecido del ANI_0 . De esta manera se podrán efectuar recomendaciones para el uso adecuado de este tipo de gráfico de control en diferentes situaciones prácticas.

REFERENCIAS:

- ✓ Albers, W. (2010). The optimal choice of binomial negative charts for monitoring high quality processes. *Journal of Statistic Planning and Inference*. 140 (1), 214-225.
- ✓ Chan, L.Y., Lai, C.D., Xie, M., Goh, T.N.,(2003). A two-stage decision procedure for monitoring processes with low fraction nonconforming. *European Journal of Operational Research* 150 (2), 420-436.
- ✓ Chen, Jung-Tai (2009) A New Approach to Setting Control Limits of Cumulative Count of Conforming Charts for High-yield Processes *Quality and Reliability Engineering International*.; 25:973-986

- ✓ Chen, P.W. and Cheng C. S. (2010). An ARL-unbiased Approach to Setting Control Limits of CCC-r Chart for High-Yield Processes. *Journal of Quality* –Vol. 17; N°6; p. 435-451
- ✓ Xie, M., Lu, X.S. and Goh, T.N. (1999): A quality monitoring and decision-making scheme for automated production processes. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 16, 148-157.
- ✓ Xie, M., Goh, T. N., and Kuralmani, V. (2000). On optimal setting of control limits for geometric chart, *International Journal of Reliability Quality and Safety Engineering*, 7, 1, 17-25.
- ✓ Xie, M; Goh, T.N. and Kuralmani, V(2002). Statistical models and control charts for high quality processes. Kluwer Academic Publishers.
- ✓ Zhang, C.W., Xie, M., Goh, T.N., (2005). On Cumulative conforming type of Control Charts for high quality processes under sampling inspection. *Economic Quality Control*. Vol. 20, N°2, 205-222
- ✓ Zhang, C.W., Xie, M., Jin, T. (2012) An improved self-starting cumulative count of conforming chart for monitoring high-quality processes under group inspection. *International Journal of Production Research*. 1-18