

Análisis de Falsas Alarmas en Gráficos de Control

Analysis of False Alarms in Control Charts
Análise de Alarmes Falsos em Gráficos de Controle

Carlos Takeo Akamine^{1,2}

carlos.akamine@uol.com.br

José Carlos Guimarães Soares¹

jose.soares19@fatec.sp.gov.br

1 – Faculdade de Tecnologia de São Paulo - SP

2 – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Recebido

Received

Recibido

23 jul. 2025

Jul. 23, 2025

23 jul. 2025

Aceito

Accepted

Aceptado

02 ago. 2025

Aug. 02, 2025

02 ago. 2025

Publicado

Published

Publicado

01 out. 2025

Oct. 01, 2025

01 oct. 2025

<https://git.fateczl.edu.br>

e_ISSN

2965-3339

DOI

10.5281/zenodo.20166125

São Paulo

v. 4 | n. 1

v. 4 | i. 1

e41374

Outubro/Dezembro

October/December

Octubre/Diciembre

2025



Resumen:

Los gráficos de control son herramientas estadísticas utilizadas en el Control Estadístico de Procesos (SPC) para monitorear la estabilidad de los procesos de producción. Durante el monitoreo, puede haber signos descritos como alarmas que indiquen problemas en el proceso, y un aspecto invariable de los gráficos de control es la aparición de falsas alarmas. Estos son indicios de problemas en el proceso cuando no hay anomalías. El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la frecuencia de ocurrencia de falsas alarmas de acuerdo con los tipos de patrones de puntos en el gráfico. El estudio se realizó mediante simulación utilizando el lenguaje de programación Python y los resultados indican que la frecuencia de falsas alarmas aumenta con el uso adicional de alarmas complementarias y su tipo. El número promedio de inspecciones hasta la falsa alarma tiende a disminuir y caer al 80% cuando se utilizan cinco tipos de alarmas.

Palabras clave: Control estadístico de procesos; Gráfico de control; Falsa alarma.

Resumo:

Os gráficos de controle são ferramentas estatísticas utilizadas no Controle Estatístico de Processo (CEP) para monitorar a estabilidade de processos produtivos. Durante o monitoramento podem ocorrer sinais descritos como alarmes que indicam problemas no processo e um aspecto invariável dos gráficos de controle é a ocorrência de alarmes falsos. Estes são indicações de problemas no processo quando não há anormalidade. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a frequência de ocorrência de alarmes falsos de acordo com os tipos de padrões de pontos no gráfico. O estudo foi conduzido através de simulação utilizando a linguagem de programação Python e os resultados indicam que a frequência de alarmes falsos aumenta de acordo com o uso adicional de alarmes complementares e do seu tipo. O número médio de inspeções até o alarme falso tende a diminuir e cair até a 80% quando cinco tipos de alarmes forem utilizados.

Palavras-chave: Controle Estatístico de Processo; Carta de Controle; Alarme Falso.

Abstract:

Control charts are statistical tools used in Statistical Process Control (SPC) to monitor the stability of production processes. During monitoring, signals—referred to as alarms—may occur, indicating potential problems in the process. An inherent aspect of control charts is the occurrence of false alarms, which are indications of problems when no actual abnormality exists. This study aims to evaluate the frequency of false alarms based on different types of point patterns on the chart. The analysis was conducted through simulation using the Python programming language, and the results indicate that the frequency of false alarms increases with the inclusion of

additional alarm types. The average number of inspections until a false alarm tends to decrease, dropping by up to 80% when five types of alarms are used.

Keywords: *Statistical Process Control; Control Charts; False Alarms.*

1. INTRODUCCIÓN

La calidad es un factor decisivo para el éxito y la supervivencia de organizaciones que desarrollan constantemente métodos para ofrecer productos y servicios de alto valor añadido y satisfacer las demandas de los clientes, además de reducir los costes asociados a la falta de calidad. En este contexto, el control de calidad se vuelve necesario como herramienta y como método formal para garantizar la excelencia.

El Control Estadístico de Procesos (CEP) contiene un conjunto de herramientas para evaluar, mantener y mejorar la calidad de los procesos de producción. Entre las diversas herramientas que componen el CEP, existen los gráficos de control, también conocidas como Gráficos de Control o Gráficos de Shewhart. Esta técnica utiliza métodos estadísticos y gráficos que permiten a los implicados llevar a cabo acciones, de forma objetiva y eficaz, cuando hay una anomalía en el proceso de producción.

El presente trabajo analiza el gráfico de control medio y la indicación de un problema en el proceso cuando funciona correctamente. La literatura lo describe como una falsa alarma (MONTGOMERY, 2009) y, en un proceso de producción, las alarmas pueden interrumpir la producción para evaluación y, una vez que el proceso funciona correctamente, la interrupción no fue necesaria.

En el diseño de los gráficos de control, es necesario especificar su nivel de sensibilidad a las discrepancias de procesos, así como evitar muchas indicaciones incorrectas de desajuste. El estudio utiliza la simulación de Monte Carlo para evaluar el número medio de falsas alarmas según los tipos de patrones de anomalías que se emplean en la tabla de control. El producto de este trabajo puede aplicarse en el ensamblaje de gráficos de control.

2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Walter A. Shewhart es conocido como el creador del Control de Procesos Estadísticos y su creación tuvo lugar cuando trabajó en los años 20 en *Bell Telephone Laboratories* (Reyes y Vicino, 2018). El CEP proporciona herramientas para el control de calidad de procesos y una de las herramientas del CEP es el cuadro de control, que consiste en un gráfico con una característica de calidad y se utiliza para monitorizar el proceso de producción. Shewhart creó esta herramienta basándose en métodos estadísticos que garantizan su operatividad.

Existen varios tipos de gráficos de control y su uso depende del rasgo de calidad que se esté monitorizando y de la distribución de probabilidad asociada. La variable puede ser discreta cuando asume valores en puntos (normalmente enteros), y algunos ejemplos de este tipo de variables son el número de defectos en cada pieza y el número de defectos en un lote de piezas. Los modelos de distribución de probabilidad son el Binomial y el de Poisson (Montgomery, 2009).

Otro tipo de variable es la continua y, en este caso, los resultados suelen estar en el dominio de los números reales y, por ejemplo, del diámetro y peso de las piezas

de automóviles. Entre los diversos modelos de distribución de variables continuas, destaca la distribución normal.

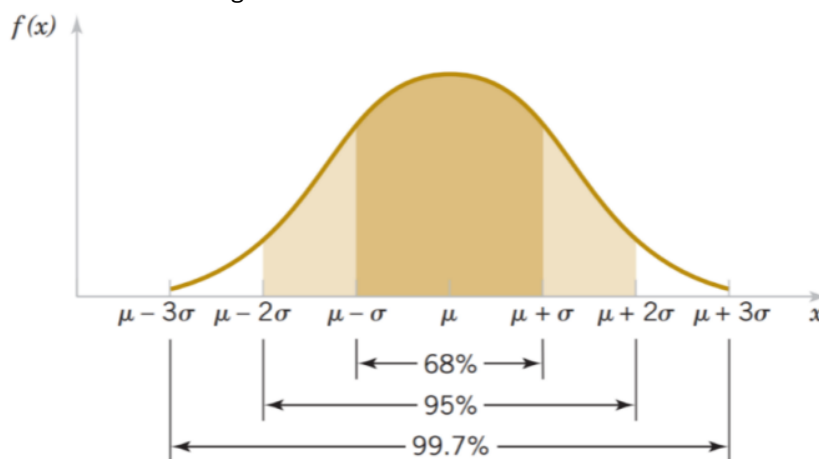
En el caso de variables continuas, los gráficos de control más comunes son la media (gráfico $\bar{x}$) que busca analizar y monitorizar la media poblacional (μ) utilizando medias muestrales ($\bar{x}$). Otro gráfico muy utilizado es el gráfico de amplitudes (gráfico R), que busca analizar y monitorizar la varianza poblacional (σ^2) utilizando las amplitudes, $R = \text{máximo} - \text{mínimo}$, de cada muestra.

2.1. DISTRIBUIÇÃO NORMAL

La distribución normal es más importante en el área de estadística y aseguramiento de la calidad. La apariencia visual de esta distribución es en forma de campana, simétrica, y el valor de la función tiende a cero cuando la variable tiende a menos o más infinito. La función densidad de probabilidad está dada por la ecuación 1. La media de esta distribución se representa por μ y la desviación estándar por σ . La Figura 1 describe su formato.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, \quad \text{para } -\infty < x < \infty \quad (1)$$

Figura 1 – Curva de distribución normal.



Fuente: Elaboración propia (2025)

Cada distribución normal al sumar y restar una desviación estándar de la media contiene aproximadamente el 68% de los valores, aproximadamente el 95% al sumar y restar dos desviaciones estándar de la media, y el 99,7% al sumar y restar tres desviaciones estándar de la media. La Figura 1 muestra esta característica.

2.2. DISTRIBUIÇÃO MUESTRAL DEL TEOREMA DE MEDIA Y DEL LÍMITE CENTRAL

La toma de decisiones basada en la muestra se conoce como inferencia estadística, y gran parte de este procedimiento deriva del conocimiento de la distribución de la característica de las estadísticas utilizadas en la muestra y llamada distribución muestral. Si la estadística utilizada en la investigación es la media muestral ($\bar{x}$), esta distribución se conoce como la distribución muestral de la media, y el teorema del límite central describe las características de esta distribución.

"Para muestreo aleatorio simple ($X_1, \dots, X_n$), tomado de una población con media μ y varianza σ^2 , la distribución muestral de la media ($\bar{x}$) se aproxima, para n grandes, a una distribución normal con media μ y varianza σ^2/n ." (BUSSAB; MORETTIN, 2010).

2.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Según MONTGOMERY (2009), la prueba de hipótesis se caracteriza por una afirmación sobre los valores de los parámetros de una distribución de probabilidad y las conclusiones se basan en datos muestrales y están sujetas a errores. Los errores que pueden ocurrir se denominan Error Tipo I y Error Tipo II.

En el procedimiento de elaboración de la prueba de hipótesis, es necesario definir dos hipótesis, una de ellas llamada hipótesis nula (H_0), que es una afirmación inicial sobre el valor del parámetro, y la hipótesis alternativa tiene como objetivo contrarrestar la primera afirmación.

La conclusión de la prueba de hipótesis depende de la estadística utilizada en la muestra y de su distribución de probabilidad. Si la estadística utilizada es la media muestral, la conclusión de la prueba se basa en la distribución normal bajo la condición conocida de σ^2 . Dependiendo de los valores obtenidos por la muestra, la decisión en una prueba de hipótesis es rechazar la hipótesis nula o no la hipótesis nula según la probabilidad de cometer un error previamente establecido llamado nivel de significación.

2.3.1. TIPOS DE ERRORES

El rechazo de la hipótesis nula implica que la hipótesis alternativa debe ser la situación del parámetro poblacional, pero dado que los valores de esta afirmación provienen de una muestra aleatoria, esta afirmación puede ser falsa y por ello denominarse Error de Tipo I.

$$\alpha = P\{\text{error tipo I}\} = P\{\text{rechazar } H_0 | H_0 \text{ es verdadera}\} \quad (2)$$

Por otro lado, no rechazar la hipótesis nula implica indicar que no hay evidencia estadística de que la hipótesis alternativa sea verdadera, pero dado que los valores provienen de una muestra aleatoria, esta afirmación puede ser falsa y por ello llamada error tipo II, y la probabilidad de error tipo II se describe en la ecuación 3.

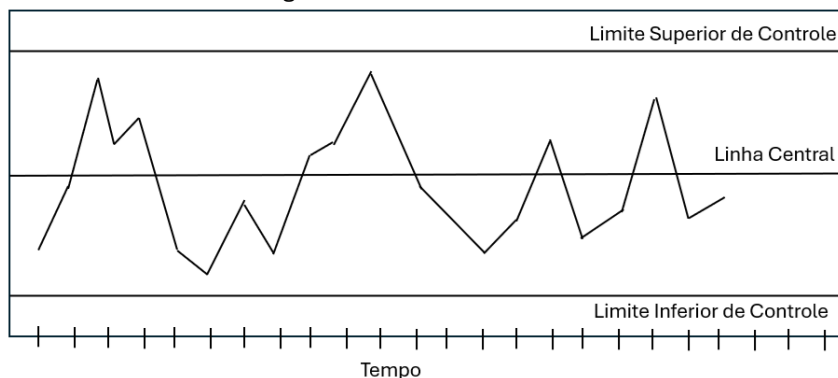
$$\begin{aligned} \beta &= P\{\text{error tipo II}\} \\ &= P\{\text{dejar de rechazar } H_0 | H_0 \text{ es falsa}\} \end{aligned} \quad (3)$$

2.4. GRÁFICO DE CONTROL

El gráfico de control está compuesto básicamente por tres líneas horizontales llamadas Límite Superior de Control (LSC), Límite Inferior de Control (LIC) y Línea Central (LC), además de varios puntos interconectados y equidistantes que provienen de las estadísticas de cada muestra recogida a lo largo del tiempo. La Figura 2 muestra un gráfico de control típico.

Cuando el proceso está en condiciones normales de funcionamiento, los puntos solo varían debido a causas inherentes al proceso, y en esta condición el proceso se describe como bajo control y los puntos siguen la distribución normal.

Figura 2 – Gráfico de control.



Fuente: Elaboración propia (2025).

Sin embargo, si hay algún desajuste en el proceso, los puntos tienden a sufrir mayores variaciones que conducen a mayores defectos en los productos y, en esta situación, el proceso se considera descontrolado, y los puntos tienden a generar otros patrones que se diferencian de un proceso bajo control.

Desde la perspectiva del método estadístico, los patrones puntuales corresponden a una prueba de hipótesis donde la hipótesis nula corresponde a la suposición de que el proceso está bajo control y la hipótesis alternativa de que está fuera de control. En caso de que los agujeros formen un patrón descontrolado (alarma), el proceso de producción debe evaluarse para su reparación.

Uno de los problemas en el diseño de los gráficos de control es la ocurrencia de falsas alarmas y el número de falsas alarmas es un factor para tener en cuenta. El número medio de inspecciones hasta la ocurrencia de una falsa alarma (ARL) se define mediante la ecuación 4, y cuanto mayor sea el valor ARL, menos paradas innecesarias deben producirse en el proceso.

$$ARL = \frac{1}{P(\text{falsa alarma} | \text{proceso sob control})} = \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

2.4.1. GRÁFICO DEL MEDIO (GRÁFICO $\bar{x}$)

El gráfico de control promedio monitoriza la media de un proceso (μ) que está bajo control. Los puntos contenidos en el gráfico son la media ($\bar{x}$) de datos muestrales de tamaño "n" en cada instante del tiempo. Los límites de los gráficos de medias se describen en las ecuaciones 5 a 7.

$$LIC_{\bar{x}} = \mu + k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu \quad (6)$$

$$LIC_{\bar{x}} = \mu - k \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

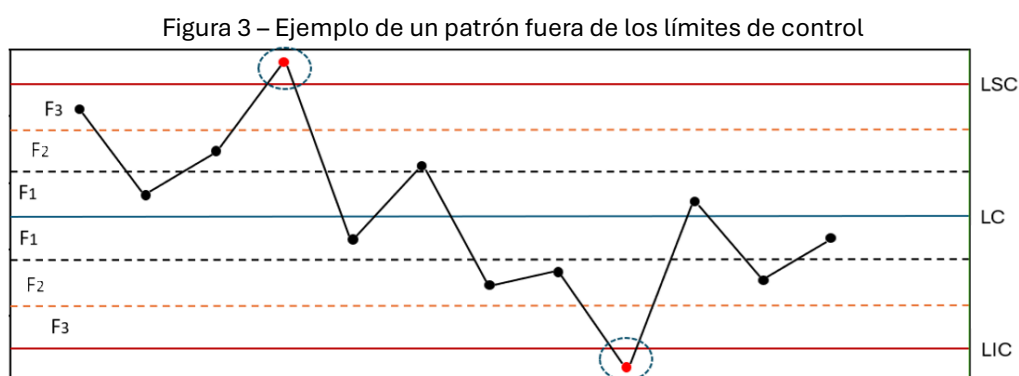
Donde "k" corresponde al número de desviaciones estándar respecto a la media y, si $k = 1$, aproximadamente el 68% de los puntos están dentro de este intervalo, y si $k = 2$, aproximadamente el 95% de los puntos encajan dentro de este intervalo y si $k = 3$ aproximadamente el 99,7% de los puntos encajan en este rango. Estos porcentajes se conocen porque la distribución de las medias sigue una

distribución normal. Los gráficos tradicionales usan el valor de 3 para k .

En gráficos con $k = 3$, es posible separar la banda por encima y por debajo de la línea central en 3 bandas espaciadas por igual y cada banda corresponde al ancho de una desviación estándar. La Figura 3 muestra F1, F2 y F3. Las tiras se utilizan para identificar algunos de los patrones de proceso fuera de control. El alcance asociado a F3 se llama rango de advertencia porque está cerca de los límites de control.

2.5. PATRONES DE PUNTOS EN UN GRÁFICO DE CONTROL PROMEDIO

Se dice que el proceso está bajo control cuando los puntos siguen la distribución normal y cada nuevo punto no genera ninguno de los patrones fuera de control. Shewhart creó el patrón fuera de control como la aparición de un punto fuera de los límites de control, como se muestra en la Figura 3.



Fuente: Elaboración propia (2025)

La probabilidad de falsa alarma de este estándar es de 0,0026998 y el ARL es de aproximadamente 370 inspecciones de media hasta que ocurre esta falsa alarma.

El texto de JURAN (1982) sugiere que el proceso puede estar fuera de control si sigue uno de los patrones de diez puntos descritos en el Cuadro 1. Los desarrolladores de las tablas de control pueden elegir los patrones para monitorizar el proceso y es común usar el primero de la tabla y complementarlo con los demás. Uno de los problemas en el uso de varios estándares es la mayor incidencia de falsas alarmas, que es el objetivo de este trabajo.

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Este trabajo es teórico y utiliza la simulación de Montecarlo (Fishman, 1996) para medir el número de falsas alarmas según el patrón descontrolado descrito en el Cuadro 1. Los cinco tipos de alarmas para el estudio se describieron como: AF_1, AF_2, AF_3, AF_4 y AF_5.

El primer tipo de alarma, creado por Shewhart, se usará en todas las simulaciones porque las demás se consideran complementarias y el lenguaje de programación para obtener los resultados es Python, y los códigos utilizados están disponibles en [github https://github.com/jcgsoares/Analise_Alarmes_Falsos.git](https://github.com/jcgsoares/Analise_Alarmes_Falsos.git).

Cuadro 1. Patrón de puntos fuera de control.

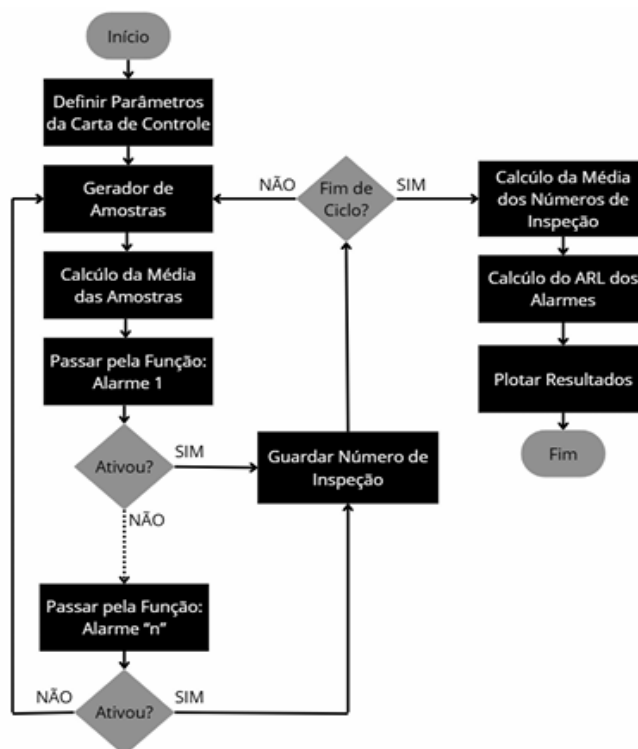
Descripción	Descripción del patrón de puntos fuera de control
AF_1.	Un punto fuera de los límites del control
AF_2.	Dos de tres puntos consecutivos entre el rango de advertencia, pero todos dentro de los límites de control.
AF_3.	Cuatro o cinco puntos consecutivos en el mismo rango de la línea central y más allá de los límites de un sigma.
AF_4.	Seis puntos consecutivos ascendiendo o descendiendo y dentro de los límites de control.
AF_5.	Una secuencia de ocho puntos consecutivos en el mismo lado de la línea central y todos dentro de los límites de control.
AF_6.	Catorce puntos en secuencia alternando arriba y abajo.
AF_7.	Quince puntos seguidos en el rango de sigma.
AF_8.	Ocho puntos seguidos sin puntos en la franja de advertencia.
AF_9.	Un patrón inusual o no aleatorio en los datos.
AF_10.	Uno o más puntos cerca de un umbral de alerta o control

Fuente: Elaboración propia (2025).

3.1. ALGORITMO Y DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo en la Figura 4 muestra el funcionamiento del programa utilizado en la simulación. El proceso comienza con la definición de los parámetros fundamentales para la construcción del gráfico de control, que son: la media, la desviación estándar y el tamaño de las muestras.

Figura 4 – Diagrama de flujo del algoritmo del simulador.



Fuente: Elaboración propia (2025).

El sistema entonces genera muestras y calcula sus respectivas medias. Con cada nueva media obtenida, el algoritmo comprueba si activa algún tipo de alarma,

comenzando por la función correspondiente a la Alarma 1. Si esto no se activa, el proceso continúa probando las demás funciones, hasta que la alarma "n". Cuando se activa una alarma, se almacena el número de inspecciones realizadas hasta ese momento. Si no se activa ninguna alarma, se genera una nueva muestra y el ciclo se repite.

Este proceso continúa hasta alcanzar el número de ciclos previamente definidos. Al final, el algoritmo calcula la media de los números de inspección, determina la longitud media de ejecución de cada tipo de alarma detectada y finalmente presenta los resultados.

4. RESULTADOS E DISCUSIONES

En todas las simulaciones, la cantidad de repeticiones fue de 50.000 veces y el valor de referencia ARL para falsas alarmas es la alarma proveniente de un punto fuera de los límites de control (AF_1). El Cuadro 2 muestra los valores ARL de falsas alarmas para cada tipo de alarma.

Cuadro 2. Falsa alarma ARL.

Tipos de alarmes	ARL
AF_1	370,40
AF_2	302,04
AF_3	300,89
AF_4	412,75
AF_5	256,59

Fuente: Elaboración propia (2025).

La AF_4 de alarma tiene el ARL más alto, lo que indica que la probabilidad de que ocurra esta alarma es menor que AF_1 y la menor es el AF_5 con la mayor probabilidad de que ocurra. La tabla 1 describe los porcentajes de ocurrencia de cada tipo de alarma en las combinaciones y el valor ARL.

Al combinar los tipos de alarma con el AF_1 se observa una caída en los valores de ARL de falsas alarmas como se esperaba. Combinando dos alarmas puede reducirse aproximadamente un 50%, con tres alarmas hay una caída de aproximadamente un 65%, con cuatro alarmas ocurre en aproximadamente un 75% y con cinco en un 80%.

El tipo AF_5 alarma, cuando se combina con las demás, siempre ocurre con mayor frecuencia y, al insertar esta alarma como indicio de descontrol, tiende a aumentar la cantidad de falsas alarmas en la monitorización. El tipo AF_4 alarma es el que tiene menos impacto en la frecuencia de las falsas alarmas.

Tabla 1. Falsas alarmas y porcentajes de ARL.

% de ocurrencia en 50.000 simulaciones					ARL
AF_1	-----	-----	-----	-----	370,4
100,0%					
AF_1	AF_2	-----	-----	-----	166,2
44,7%	55,3%				
AF_1	AF_3	-----	-----	-----	164,3
45,1%	54,9%				
AF_1	AF_4	-----	-----	-----	196,7
53,9%	46,1%				
AF_1	AF_5	-----	-----	-----	150,2
40,9%	59,1%				
AF_1	AF_2	AF_3	-----	-----	109,0
30,2%	36,2%	33,6%			
AF_1	AF_2	AF_4	-----	-----	120,5
32,8%	39,3%	27,8%			
AF_1	AF_2	AF_5	-----	-----	101,3
27,9%	33,8%	38,3%			
AF_1	AF_3	AF_4	-----	-----	120,6
32,7%	40,2%	27,1%			
AF_1	AF_3	AF_5	-----	-----	105,1
28,2%	34,4%	37,4%			
AF_1	AF_4	AF_5	-----	-----	114,4
31,1%	25,6%	43,3%			
AF_1	AF_2	AF_3	AF_4	-----	89,1
24,2%	29,0%	27,0%	19,8%		
AF_1	AF_2	AF_3	AF_5	-----	79,8
21,6%	26,2%	24,1%	28,1%		
AF_1	AF_3	AF_4	AF_5	-----	86,9
23,4%	28,2%	19,0%	29,4%		
AF_1	AF_2	AF_3	AF_4	AF_5	68,4
18,7%	22,8%	20,6%	14,6%	23,4%	

Fuente: Elaboración propia.

5. CONCLUSIÓN

En el diseño de los gráficos de control, los gestores evalúan el nivel de sensibilidad de los gráficos ante las discrepancias que se producen en el proceso. En este caso, cuanto más rápido se detecte el problema, menor es el coste de calidad, pero, por otro lado, el número de falsas alarmas tiende a aumentar, lo que incrementa el coste.

El presente trabajo cuantifica el número medio de falsas alarmas en el gráfico de control medio según el tipo de patrón de puntos fuera de control utilizado en los gráficos de control. El Gráfico 3, desarrollado en este trabajo, permite a los gestores predecir el porcentaje de falsas alarmas que pueden ocurrir según el uso de dos o más patrones de puntos fuera de control.

La frecuencia de las falsas alarmas aumenta con la cantidad de patrón de falsas alarmas y puede duplicarse al usar dos de ellas, y al usar cinco puede disminuir el valor ARL hasta en un 80% en comparación con la alarma creada inicialmente por Shewhart desde un punto fuera de los límites de control.

REFERENCIAS

- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 9. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.
- FISHMAN, G. S. **Monte Carlo: Concepts, Algorithms, and Applications**. 1 ed. New York: Springer Science & Business Media, 1996.
- JURAN; J. M., **Quality Control Handbook**. 6 ed. Indianapolis: Western Electric Co., 1982.
- MONTGOMERY, D., C. **Introduction to Statistical Quality Control**, 6 ed. New York: John Wiley & Sons, 2009.
- REYES; A. E. L, VICINO; S. R. **Controle Estatístico de Qualidade**. Disponível em Acesso em 29 abr. 2018.