

Curvas de longitud promedio de corrida de métricas Seis Sigma para evaluar la calidad de un sistema bancario en Colombia

Average Run Length Curves of Six Sigma Metrics to Evaluate the Quality of a Banking System in Colombia

Ana Gabriela Banquez Maturana¹, Tomás José Fontalvo Herrera² y Efraín De la Hoz Granadillo³ 

Universidad de Cartagena - Colombia



INFO ARTÍCULO

Historial del artículo:

Recibido: 10 de marzo de 2023
Aprobado: 14 de abril de 2023

Como citar este artículo:

Banquez Maturana, A., Fontalvo Herrera, T., y De la Hoz Granadillo, E. (2023). Curvas de longitud promedio de corrida de métricas Seis Sigma para evaluar la calidad de un sistema bancario en Colombia. *Revista de jóvenes investigadores Ad Valorem*, 6(1), 57- 82.
<https://doi.org/10.32997/RJIA-vol.6-num.1-2023-5207>

Editor: Adolfo Carbal Herrera
Universidad de Cartagena-Colombia.

Copyright: © 2023. Banquez Maturana, A., Fontalvo Herrera, T., y De la Hoz Granadillo, E. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo la licencia <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad de un sistema bancario en Colombia mediante las curvas longitud promedio de corrida de las métricas Seis Sigma. Como fundamentación teórica se integró los conceptos de curvas longitud promedio de corrida, sistema paralelo y en serie y métricas Seis Sigma. Como metodología, se realizó un estudio estructural, cuantitativo, racional, propositivo, apoyado en información primaria del Banco para desarrollar las siguientes actividades: i) Establecimiento de las condiciones de operación del sistema en estudio; ii) Valoración de las métricas Seis Sigma, iii) Diseño de las curvas n vs Z y ARL vs z ; y, iv) Análisis del desempeño del sistema global y por procesos. Como aporte significativo, se desarrollaron las curvas ARL de métricas Seis Sigma para el sistema bancario y sus sucursales. Como hallazgo, los procesos de mejores desempeños fueron el 1, 2 y 3, con rendimientos (Y) que oscilan entre 99,94% y 99,96%.

Palabras claves: calidad; curvas longitud promedio de corrida; servicios bancarios; Seis Sigma.

ABSTRACTS

The objective of this research was to evaluate the quality of a banking system in Colombia using the average run length curves of Six Sigma metrics. As a theoretical foundation, the concepts of average run length curves, parallel and serial systems and Six Sigma metrics were integrated. As a methodology, a structural, quantitative, rational, proactive study was carried out, supported by primary information from the Bank to develop the following activities: i) Establishment of the operating conditions of the system under study; ii) Assessment of the Six Sigma metrics, iii) Design of the n vs Z and ARL vs z curves; and, iv) Analysis of the performance of the global system and by processes. Significantly, Six Sigma metrics

¹ Administradora Industrial, candidata a Magíster en Inteligencia Artificial, funcionaria de la Vicerrectoría de Aseguramiento de la Calidad de la Universidad de Cartagena y asesora del Consejo Editorial del Journal of Global Operations and Strategic Sourcing.

² Ingeniero Industrial e Ingeniero Químico, Especialista en Gerencia de la Calidad, Máster en Administración, Doctor en Ciencias Sociales, Doctor en Administración y Postdoctor en Administración. Además, es docente de tiempo completo en la Universidad de Cartagena.

³ Doctor en Ingeniería Industrial, Máster en Ingeniería Industrial, Especialista en Estudios Pedagógicos e Ingeniero Industrial. Además, es docente de tiempo completo en la Universidad de Cartagena.

ARL curves were developed for the banking system and its branches. As a finding, the best performing processes were 1, 2 and 3, with yields (Y) ranging from 99.94% to 99.96%.

Keywords: banking services; Six Sigma; quality; average run length curves.

1. Introducción

Hoy en día las organizaciones requieren cambios constantes para responder a las necesidades del contexto, lo cual implica que las organizaciones ajusten su sistema de control estadístico de calidad a las operaciones para responder a los requisitos de los clientes de acuerdo con las condiciones y capacidades empresariales. En este sentido, los autores Kumar et al. (2021) señalan que deben establecerse diferentes estrategias apoyadas en la estadística. Lo cual requiere sistemas de control de calidad exigentes capaces de responder a las nuevas condiciones del mercado y a los avances de la tecnología (Antosz et al, 2022). Lo que también exige que las organizaciones puedan analizar el comportamiento de dichos sistemas operacionales y de servicios en condiciones cambiantes, (Fontalvo y Banquez, 2023) por lo que se hace necesario el uso de Curvas de operación de métricas Seis Sigma, para medir el desempeño del sistema de control estadístico de la calidad. En la misma línea de esta investigación, en el contexto de prestación de servicios el uso de los indicadores o métricas de Seis Sigma ha sido determinante para analizar y mejorar el desempeño en términos de calidad de los sistemas de producción y prestación de servicios, considerando que son criterios adaptables a cualquier contexto productivo y pueden aplicarse desde diferentes perspectivas (Narottam et al., 2019).

Otras investigaciones han abordado el uso de las métricas de Seis Sigma para analizar el comportamiento de organizaciones de servicios con el fin de medir el desempeño a nivel longitudinal, puntual y global en condiciones cambiantes, con lo que se tienen diferentes perspectivas en cuanto al desempeño del contexto evaluado (Gonzales et al., 2019). Consecuente con este enfoque otras investigaciones han analizado el comportamiento variable de las métricas de Seis Sigma, como son defectos en partes por millón DPMO, rendimiento y para condiciones variables del nivel de desempeño de calidad Z, con lo que pueda analizar y supervisar el rango de desempeño del nivel de calidad Z del sistema analizado (Banquez & Fontalvo, 2023).

Otra de estas herramientas de vanguardia en la medición de la calidad de los servicios y procesos productivos es la Curva de longitud promedio de corrida (ARL) de las métricas Seis Sigma, que se distingue por su capacidad de identificar el número de muestras a producir o los servicios a prestar para evidenciar que Z cambio de Z1 a Z2, en el proceso de producción o prestación de servicio (Fontalvo & Banquez, 2023). Es bueno resaltar que las curvas ARL son una herramienta estadística utilizada para monitorear la producción en curso e

identificar desviaciones significativas de los estándares de calidad. En una investigación reciente realizada por Jardim et al. (2019) se abordó las curvas ARL (Average Run Length) con el propósito de detectar defectos o no conformidades (n) de manera temprana en las operaciones. Los resultados obtenidos en dicho estudio apuntan a la viabilidad y utilidad de las curvas ARL como una herramienta efectiva en la evaluación y supervisión de la calidad del proceso de manufactura o de prestación de servicios, lo que permite identificar desviaciones en tiempo real.

No obstante, a pesar de la disponibilidad de estas herramientas, muchas organizaciones hoy en día carecen de prácticas sólidas para medir sistemas productivos o dimensiones de calidad de los servicios prestados en su totalidad o de manera específica. La medición empírica basada en la experiencia de los trabajadores sigue siendo una práctica común, lo que puede dar lugar a la generación de un gran número de inconformidades (Sánchez et al., 2021). Otros aportes en el ámbito investigativo, empresarial y académico de esta investigación es que responde a cerrar una brecha y necesidad en los sistemas de control estadístico de la calidad, porque en la revisión científica no se observan modelos que propongan Curvas de longitud promedio de corrida de las métricas de Seis Sigma con lo que se pueda evaluar el nivel de desempeño Z de un sistema global y sus subprocesos estandarizados para organizaciones de bienes y servicios en condiciones variables en la línea de producción o de prestación de los servicios.

De acuerdo con lo planteado anteriormente, surgieron los siguientes interrogantes para el desarrollo de la investigación: ¿Cómo establecer las condiciones de operación del sistema de control de calidad? ¿De qué forma valorar las métricas Seis Sigma para el sistema? ¿Cómo diseñar las curvas de longitud promedio de corrida de las métricas de Seis Sigma para el sistema de prestación del banco? ¿De qué manera analizar el desempeño del sistema de control estadístico de la calidad? Para dar respuesta a los interrogantes de investigación planteados previamente, se establecieron los siguientes objetivos: 1) Establecer las condiciones de operación del sistema de control de calidad; 2) Valorar las métricas Seis Sigma del sistema bancario; 3) Diseñar las curvas de longitud promedio de corrida de las métricas de Seis Sigma para el sistema de prestación del banco; y 4) Analizar el desempeño del sistema de control estadístico de la calidad.

2. Marco teórico

2.1. Sistema paralelo y en serie

Las estructuras de los sistemas de producción en paralelo generan la ventaja de asignar diferentes responsabilidades y trabajos simultáneamente, lo cual incide en la mejora de la productividad y su efecto en la calidad de las organizaciones (Hadipour et al., 2019). Además, estos criterios de medición generan un sistema confiable y eficiente. También, se pueden utilizar más de un componente en

serie para optimizar el control sobre potenciales defectos en la línea de prestación de servicios o producción (Sodhi, 2023a). Por otro lado, Liu et al., (2020) en esta misma línea de trabajo, señalan la importancia de un sistema serie-paralelo que, trabajado con un enfoque temporal-interactivo, genera condiciones de operación óptimas que se traducen en entregar servicios y productos de manera oportuna. Otros estudio de Lu et al. (2022) se enfocan en la planificación y mejora de las operaciones por medio de múltiples etapas. En esa línea, el estudio de Šulgan et al. (2022) investigan un proceso en paralelo para analizar diferentes variables asociadas con la calidad. Se demuestra que el uso de la producción paralela es una vía para mejorar la producción o la prestación de un servicio.

Ahora bien, de acuerdo con, Xi et al. (2022) la optimización de grandes líneas de producción en serie-paralela es un desafío complejo. Es por ello que en su estudio los autores proponen un modelo que busca minimizar el costo de inversión, manteniendo tasas de rendimiento y tiempos de ciclo deseados mediante la optimización de tipos de máquinas, cantidad de máquinas paralelas y capacidades acumuladas. Se emplea un enfoque de descomposición y coordinación, dividiendo la línea en líneas más pequeñas y optimizándolas individualmente, asegurando problemas de optimización similares a las partes originales. Experimentos numéricos demuestran la eficacia del método en comparación con otros.

Por su parte, la investigación de Tu et al. (2021) se centra en la identificación y mitigación de cuellos de botella en sistemas de producción en serie. Se utiliza un enfoque de teoría de control para maximizar el rendimiento en estado estacionario, considerando receptores de capacidad finita y máquinas de confiabilidad de Bernoulli. La importancia de este estudio radica en mejorar el desempeño de las operaciones de producción en tiempo real, ofreciendo un método más preciso y eficiente que la intuición y la experiencia práctica. Por otra parte, Šulgan et al. (2022) en su estudio presentaron el desarrollo de un proceso en paralelo, como resultado, descubren que este tipo de producción puede resolver problemas simples como el cumplimiento de los requisitos de diseño.

En la línea que se mantienen los dos anteriores estudios, Cadi et al. (2022) en su investigación se centran en un modelo integral para la programación en una línea de producción paralela, con el objetivo de minimizar costos totales y garantizar la demanda de productos. Los resultados indican que el enfoque es eficiente y permite mayor utilidad. Asimismo, Fontalvo y Banquez (2023) en su investigación compararon indicadores de capacidad multivariables en sistemas de producción en serie y en paralelo utilizando métricas Seis Sigma, con el objetivo de determinar las capacidades de los procesos, la incidencia del nivel de desempeño de calidad (Z) en las demás métricas como los defectos (n), los defectos por millón de oportunidades (DPMO) y el rendimiento Y . Como resultado, obtuvieron un rendimiento superior al 90%. Además, se reconoce la

importancia del sistema de producción paralela en la reducción del tiempo de prestación de servicios o producción, la reducción de residuos, la minimización de costos, la utilización de menos tiempo, la fabricación de productos con mayor similitud y la adecuada capacitación de los trabajadores.

2.2. Sistema de medición Seis Sigma

Otras investigaciones se apoyan en la estandarización de criterios de medición, operaciones y procesos que permite valorar un proceso con el fin de determinar los defectos en partes por millón DPMO, el rendimiento Y y el nivel de desempeño de calidad Z (Shaik et al., 2021). Los autores en su trabajo de investigación plantean la modelación de un sistema de control estadístico de la calidad y con base en las condiciones de operación. Apoyados en las métricas Seis Sigma evalúan el desempeño de todo el sistema global y los procesos específico, a través de un análisis heurístico que permitió establecer condiciones de operación del sistema global y sus subprocesos, con lo que se pudo determinar las capacidades máximas y mínimas de las operaciones en función del desempeño de la calidad Z , analizado en condiciones variables (Banquez & Fontalvo, 2023).

Lo anterior es un enfoque que se diferencia, con otros estudios donde se aplican métricas Seis Sigma para determinar la evaluación de forma puntual y de manera estática (Sánchez et al., 2021). Otros autores han abordado la medición de la calidad en las organizaciones apoyadas en las métricas Seis Sigma como son el nivel sigma Z , Los defectos por millón de oportunidades DPMO y los rendimientos Y , contextualizando dichos criterios de medición en las variables de entrada y salida de diferentes procesos productivos para valorar una determinada dimensión de calidad (Simanová et al., 2019). Dichos criterios de medición se valoran a través de un modelo asociado con las métricas Seis Sigma, que busca alcanzar el máximo desempeño de calidad con un nivel de $Z=6$, que genera 3,4 defectos en partes por millón (Qayyum et al., 2021). Con las métricas Seis Sigma, al poder establecer los defectos en partes por millón y los (n) defectos, se pueden calcular los costos totales de la no calidad, con lo que se pueden tomar decisiones que se enfoquen a reducir dichos costos en los procesos críticos e incrementar la productividad operacional (Xi et al., 2022).

En contraste con este enfoque otros autores, señalan que las métricas Seis Sigma, no solo sirven para cuantificar la no calidad en un sistema de control estadístico de la calidad, sino que también propician un enfoque que se traduce en la mejora continua y por ende en la generación de una cultura de calidad que se enfoca en el uso intensivo de la estadística (Liu et al., 2020). Indudablemente, la implementación de métricas Seis Sigma en la medición de los procesos se ha convertido en un método de gran importancia, con un impacto sustancial en la satisfacción del cliente y en la competitividad organizacional.

Conforme a los estudios realizados por Tissir et al. (2023), Banquez & Fontalvo (2023), Skalli et al. (2022) y Fontalvo & Banquez (2023) estas métricas

proporcionan la capacidad de medir y mejorar la calidad y los procedimientos de medición del desempeño de la calidad, ofreciendo una visión global de la situación organizacional. De igual manera, Gupta et al. (2019) han destacado cómo la aplicación de métricas Seis Sigma ha impulsado mejoras notables en diversos sectores, mejorando la eficiencia, calidad y el desempeño en general. Mientras que, Bernardino et al. (2022) en su artículo exponen que la metodología Seis Sigma establece estándares de calidad y facilita el comercio internacional.

Los autores Carrillo et al. (2021) aplicaron el método Seis Sigma en un proceso para reducir el ruido, con lo que lograron mejorar la calidad de sus áreas de trabajo. A su vez, González et al. (2021) en su investigación plantean que la aplicación de Six Sigma y herramientas de control de calidad aseguran el cumplimiento de normas y requisitos que inciden en el mejoramiento de los procesos de prestación de servicios y satisfacción de los clientes. En este sentido, Marín et al. (2023) plantea que con la aplicación de Six Sigma en las operaciones de la empresa logro reducir significativamente el desperdicio. Por su parte, Sodhi (2023a) demuestra que, en medio de la búsqueda de productividad de las empresas, la técnica de Seis Sigma resulta altamente propicia para reducir los niveles de residuos de producción y bajar los costos asociados a ello. Finalmente, Patel y Desai (2023) establecen que la metodología Six Sigma es esencial para mejorar la calidad y eficiencia en diferentes contextos empresariales de bienes y servicios. Además, la aplicación de esta metodología en su estudio redujo las tasas de defectos significativamente del 20,22% al 6,91%.

2.3. Curvas de longitud promedio de corrida de métricas Seis Sigma

En línea con las estrategias previamente discutidas, las curvas longitud promedio de corrida en un sistema productivo, de prestación de servicios o producción, implica el análisis variable de la relación existente entre las métricas de Seis Sigma y los defectos generados en dichos sistemas de prestación de servicios en condiciones cambiantes. Es decir, las curvas que se generan entre Z vs n y Z Vs ARL (Figuras 1 y 2). Lo anterior, es posible cuando se realiza un análisis de sensibilidad asociado a la variación del nivel sigma entre 3 y el máximo desempeño alcanzable del nivel sigma Z del servicio o sistema de producción objeto de estudio, que puede variar de $0 < Z < 6$. Lo que puede llevar a una reducción de defectos de 3,4 defectos por millón de oportunidades. Sin embargo, lo más importante de las curvas de operación de las métricas Seis Sigma es que permiten establecer los niveles de desempeño de calidad Z máximos y mínimos que puede generar un servicio o proceso y con ello determinar los defectos (n) de los servicios generados para cada nivel de calidad Z (Fontalvo & Banquez, 2023). Por lo anterior, se pueden establecer capacidades de desempeño de calidad de todas las operaciones del sistema analizado. Cabe agregar que, la implementación de las curvas de operación son una herramienta que con apoyo de las métricas Seis Sigma pueden mejorar los servicios con el fin de lograr cumplir los requisitos del cliente, pues permiten

comprender las operaciones que no le agregan valor al producto, servicio o procesos (Fontalvo et al., 2021).

Por otro lado, en la investigación de Jardim et al. (2019) se resalta la importancia de las curvas ARL (Average Run Length) para establecer controles efectivos en condiciones cambiantes. Estas curvas ayudan a prevenir tiempos excesivos bajo control o altas tasas de falsas alarmas, asegurando un rendimiento deseable en la gestión de procesos. De forma similar, Argoti & Carrión (2019) en su estudio evidencia la relevancia de las curvas ARL en la evaluación de cartas de control para un proceso específico. Aquí se observa que la curva ARL permite establecer la capacidad de un servicio o proceso productivo para detectar cambios en las condiciones de operación. De acuerdo con Fontalvo et al. (2021) las curvas ARL (longitud promedio de corrida) están en función de tandas de producción para evidenciar que el nivel Sigma (Z) se modificó y permiten monitorear la producción en curso de un proceso productivo o prestación de un servicio estandarizado e indican el número de muestras que se debe tomar para que la curva detecte que el nivel de desempeño de calidad Z cambió.

En otras palabras, las curvas ARL muestran la capacidad que tiene un sistema de producción o prestación de servicio estandarizado, en curso para detectar cuántas muestras se deben tomar para descubrir que el nivel de desempeño de calidad Z sufrió cambios. Lo anterior permite identificar cuándo pueden presentarse falsas alarmas de producto defectuoso en la línea de prestación de un servicio. Los autores presentan la Fórmula 1, para calcular el número de muestras que deben producirse para detectar que el nivel de desempeño de calidad Z cambió de un nivel de desempeño a otro.

$$ARL = \frac{1}{1-Y} \tag{1}$$

Donde,

Y = El porcentaje del producto defectuoso bueno.

1-Y= El porcentaje del producto defectuoso malo.

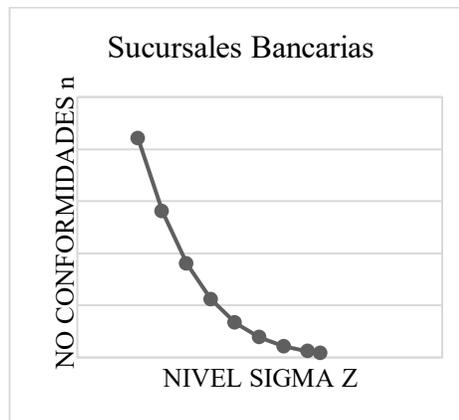


Figura 1. Curva de Operación Z vs. n.

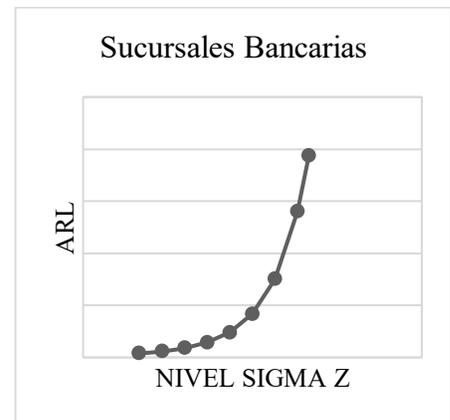


Figura 2. Curvas de longitud promedio de corrida Z vs. ARL.

3. Metodología

Como metodología se realizó un estudio cuantitativo, racional y propositivo, apoyado en información primaria del Banco para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades: 1) establecimiento de las condiciones de operación del sistema de control de calidad del sistema bancario para la medición de los procesos globales e independientes; 2) Establecimiento de las condiciones de operación del sistema de control de calidad; 3) Valoración de las métricas Seis Sigma para el sistema de control estadístico bancario; 4) Diseño de las curvas de longitud promedio de corrida de las métricas de Seis Sigma para el sistema de prestación del banco; y, 5) Análisis del desempeño del sistema de control estadístico de la calidad (Ver Figura 3).

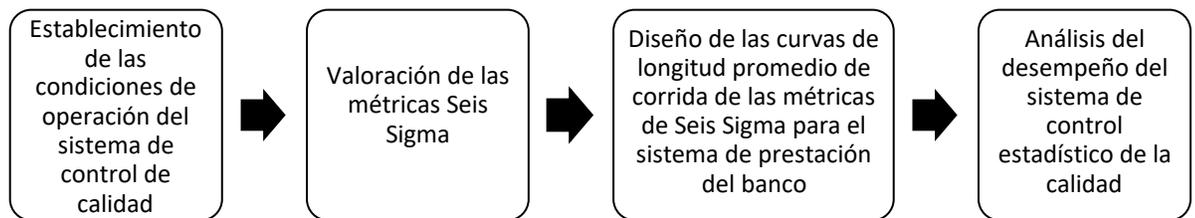


Figura 3. Estructura metodológica para evaluar el sistema bancario

Para el cálculo de las condiciones de operación se utilizó información primaria del Banco objeto de estudio, seguidamente se utilizaron las métricas Seis Sigma que se describen en la Tabla 1, las cuales proporcionan una manera estandarizada de medir y comparar el desempeño del sistema global del banco y sus Sucursales. Este procedimiento anterior permitió construir las curvas de longitud promedio de corrida y de (n) defectos.

Métricas	Definición
DPMO	Número de defectos por millón de oportunidades
U	Número de unidades críticas revisadas
O	Oportunidad de error por unidad
Z	Nivel de desempeño de la calidad Z
N	Número de no conformidades o defectos presentes en el proceso
Y	Rendimiento del proceso y el sistema global

Tabla 1 – Métricas de Seis Sigma y variables para calcular el desempeño del sistema bancario

El sistema bancario objeto de esta investigación está compuesto por 8 sucursales y se evaluó a partir de un nivel de desempeño de la calidad Z inicial de 3 (Z). Lo anterior, junto a las condiciones de operación establecidas en la Figura 4, permitió evaluar la calidad del sistema global y sus sucursales en condiciones cambiantes. El número total de servicios procesados al inicio del sistema fue de 3200. Para el proceso 1, iniciaron 3,200 servicios prestados (U_1 *), de las cuales 53 resultaron defectuosas. En el proceso 2, se procesaron 1,800 servicios (U_2), con 35 servicios defectuosos. Por su parte, la cantidad de

servicios iniciales para el proceso 3, se identificaron en 1,400 servicios (U_3) y 35 servicios defectuosos. Para el proceso 4, 5, 6, 7 y 8, no se especificó la cantidad de servicios iniciales, y un número determinado de servicios defectuosos.

Por lo expuesto anteriormente, se utilizó el modelo matemático diseñado para calcular las no conformidades establecidas en dichos procesos. A continuación, se relacionan condiciones de operación asociadas con los defectos: en el proceso 8 los defectos son igual a la del proceso 6 ($n_6 = n_8$), y los defectos del proceso 2 son iguales a los del proceso 3 y 4. También se encontró que los servicios defectuosos del proceso 3 son iguales a los del proceso 7 ($n_3 = n_7$). De igual manera, la cantidad de defectos generados en el proceso 1 (n_1). A partir del nivel sigma global, que en este caso es de 3, se calculó los defectos en partes por millón de oportunidades (DPMO) utilizando la fórmula 2:

$$DPMO = e^{\left[\frac{29,37 - (z - 0,8406)^2}{2,221} \right]} \quad (2)$$

Posterior a ello, se determinó la cantidad total de servicios que presentan defectos en el sistema global con la fórmula 3:

$$n_G = \frac{DPMO (U*O)}{1.000.000} \quad (3)$$

Luego, se tuvo cuenta la relación de los (n) defectos entre las sucursales del sistema bancario y el sistema global para realizar un balance global de defectos (fórmulas 4, 5, 6, 7, 8 y 9):

$$n_1 = 1/2 n_8 \quad (4)$$

$$n_2 = 1/3 n_6 \quad (5)$$

$$n_3 = 1/3 n_8 \quad (6)$$

$$n_4 = 1/4 n_6 \quad (7)$$

$$n_5 = 1/4 n_6 \quad (8)$$

$$n_6 = n_8 \quad (9)$$

Seguidamente, se pudo calcular la cantidad de servicios que ingresan y salen de cada sucursal bancaria, de acuerdo a las condiciones de operación señaladas previamente, como se muestra a continuación (fórmulas 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16) con el fin de poder calcular las métricas Seis Sigma:

$$S1 = S U_6 \quad (10)$$

$$S_2 = S U_8 \quad (11)$$

$$U_4 = \frac{1}{2} S U_2 = U_G - n_0/2 \quad (12)$$

$$U_5 = S U_4 \quad (13)$$

$$U_6 = \frac{1}{2} S U_2 + S U_5 \quad (14)$$

$$U_7 = \frac{1}{2} S U_3 \quad (15)$$

$$U_8 = \frac{1}{2} S U_3 \quad (16)$$

Así mismo, se determinó las cantidades de DPMO que se generan en cada proceso, usando la fórmula 17:

$$DPMO = \frac{n}{U*O} * 1.000.000 \quad (17)$$

Y el nivel sigma, con la fórmula 18:

$$Z = 0,8406 + \sqrt{29,37 - 2,221 * \ln \ln (DPMO)} \quad (18)$$

Después de haber calculado todas las métricas previamente mencionadas, se obtuvo el rendimiento de cada proceso y del sistema en general utilizando la fórmula 19:

$$Y = 1 - \left(\frac{n}{U}\right) \quad (19)$$

Con lo anterior se calculó para el sistema bancario global y todas las sucursales. Seguidamente, con el rendimiento en condiciones variables se calculó la longitud promedio de corrida ARL para las métricas de Seis Sigma para cada proceso con la fórmula 20:

$$ARL = \frac{1}{1-y} \quad (20)$$

Para construir las curvas de operación, se repitieron todos los cálculos para diferentes Z por medio de un análisis de sensibilidad para calcular las diferentes métricas y los defectos generados modificando el nivel sigma del sistema global Z en un rango de 3 a 6, asociado a las condiciones de operación del sistema y de cada sucursal Bancaria. Luego, se valoró el desempeño de cada nivel sigma en función de los resultados obtenidos, siguiendo los criterios establecidos en la Tabla 2:

Tabla 2 - Criterios de desempeño para el sistema.

NIVEL SIGMA (Z)	NIVEL DE DESEMPEÑO	RENDIMIENTO (Y)
Z < 3,0	Deficiente	Y < 85%
3,0 ≤ Z ≤ 3,5	Bueno	85% ≤ Y < 95%
3,5 < Z ≤ 4,6	Excelente	Y ≥ 95%

4. Resultados

En la Figura 4 del sistema bancario objeto de esta investigación, se visualiza la interacción de las sucursales bancaria en el sistema global, en donde se precisan los servicios prestados y los defectos generados en cada sucursal Bancaria. Lo anterior asociado a las condiciones de operación del sistema de control estadístico de la calidad medido con las métricas Seis Sigma y analizados con las curvas Z Vs n y Z Vs ARL.

Servicios sucursales bancarias

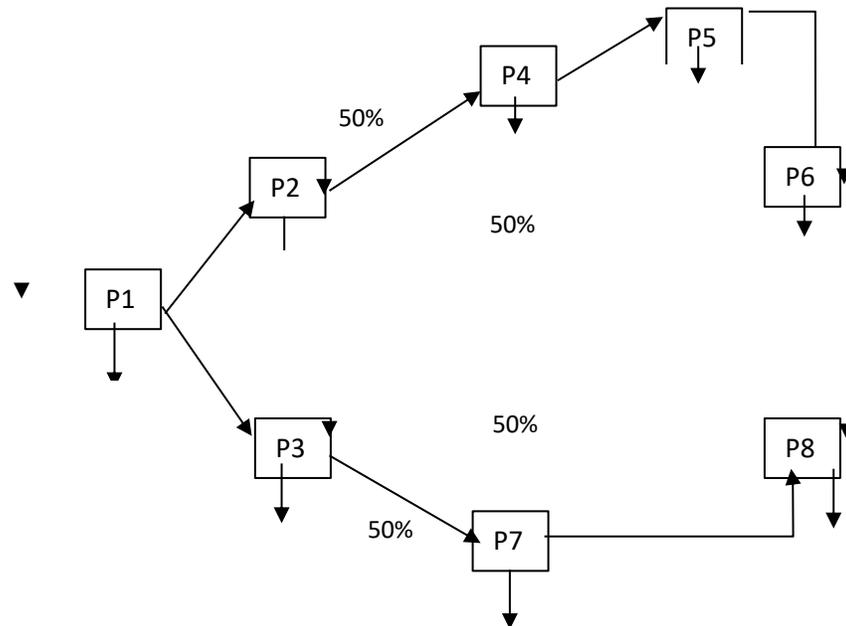


Figura 4 - Diagrama del sistema de sucursales Bancarias

Sucursal Bancaria Global

Para evaluar el desempeño del sistema bancario global, como se señaló previamente, se calcularon las métricas Seis Sigma globales (Observar la Tabla 3) y se construyeron las curvas de operación Z Vs n y Z Vs ARL de acuerdo a las condiciones de operación propias del sistema global y las sucursales.

Tabla 3 - Resultado global de servicios de sucursales Bancarias

Zg	DPMOg	ng	Yg	ARLg	Desempeño
3	65693	210	93,43%	15	Bueno
3,2	43732	140	95,63%	23	Bueno
3,4	28082	90	97,19%	36	Bueno
3,6	17395	56	98,26%	57	Excelente
3,8	10394	33	98,96%	96	Excelente
4	5991	19	99,40%	167	Excelente
4,2	3331	11	99,67%	300	Excelente
4,4	1786	6	99,82%	560	Excelente
4,5	1291	4	99,87%	775	Excelente

Al revisar la Figura 5 y la Tabla 3 se observa que un nivel de calidad sigma (Z) para el sistema global varía de 3 a 4,5 y las inconformidades (n) se generaron de 210, a 4 respectivamente. Además, el desempeño del sistema Z se encontró entre bueno y excelente, correspondiente a los rangos $3,0 \leq Z \leq 4,5$.

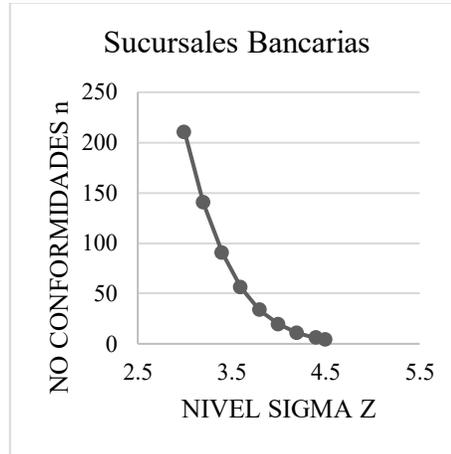


Figura 5 - Curva de Operación n vs. Z Global.

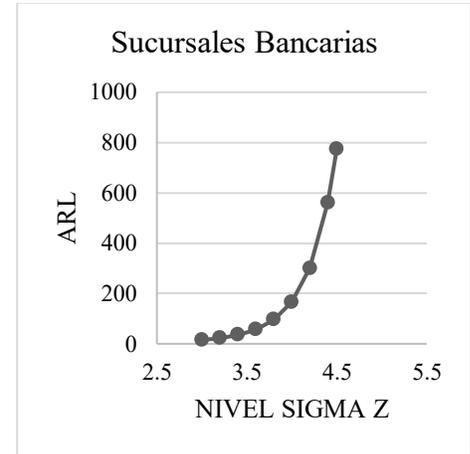


Figura 6 - Curvas longitud promedio de corrida ARL vs Z Global.

El análisis de la Figura 6 y la Tabla 3, correspondiente a la curva de operación Z Vs ARL, es decir, la longitud promedio de corrida, que evidencia que tienen que prestarse 760 servicios (775-15) para que el nivel de desempeño de la calidad sigma cambie de 3 a 4,5. Dicha curva nos muestra para el sistema global y demás sucursales, el comportamiento y sensibilidad que tiene cada sucursal para identificar un cambio de Z_1 a Z_2 .

Sucursal bancaria 1

En la Tabla 4 se observan las métricas Seis Sigma y la longitud promedio de corrida ARL para la sucursal Bancaria 1 en condiciones cambiantes, que permiten establecer las curvas Z Vs n y Z Vs ARL, para determinar su desempeño en términos de calidad.

Tabla 4 - Resultado de la sucursal 1

Z1	DPMO1	n1	Y1	ARL1	Desempeño
3,887	8212	26	99,18%	122	Excelente
4,032	5466	17	99,45%	183	Excelente
4,183	3510	11	99,65%	285	Excelente
4,338	2174	7	99,78%	460	Excelente
4,498	1299	4	99,87%	770	Excelente
4,662	749	2	99,93%	1335	Excelente
4,829	416	1	99,96%	2402	Excelente

Al calcular las métricas Seis Sigma en condiciones cambiantes para la sucursal 1, se evidenció que el nivel de calidad sigma (Z) Cambia de 3,887 a 4,829, lo que genera una variación en el número de defectos de 26 a 1, como se observa en

la Tabla 4 y la Figura 7. Lo anterior, demuestra un excelente desempeño de la sucursal bancaria 1 en condiciones cambiantes, al encontrarse en el rango de $3,5 < Z \leq 4,6$.

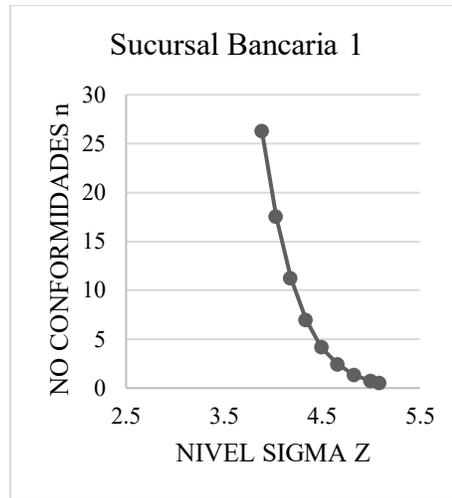


Figura 7. Curva de Operación n vs Z Sucursal 1

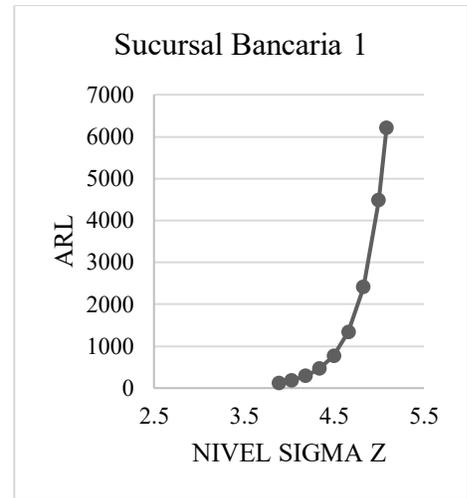


Figura 8- Curvas de longitud promedio de corrida ARL vs Z Sucursal 1

De la Figura 8, se observa la curva de operación Z Vs ARL generada por las métricas Seis Sigma de la sucursal 1, evidencia que tienen que prestarse 2280 servicios (2402-122) para detectar que el nivel de calidad sigma sufra un cambio de 3,887 a 4,829.

Sucursal bancaria 2

En la Tabla 5 se observan los niveles Z, DPMO, defectos n, el rendimiento Y, y la longitud promedio de corrida ARL para la sucursal Bancaria 2.

Tabla 5 - Resultado de la sucursal 2

Z2	DPMO2	n2	Y2	ARL2	Desempeño
3,825	9732	18	99,03%	103	Excelente
3,972	6479	12	99,35%	154	Excelente
4,126	4160	7	99,58%	240	Excelente
4,284	2577	5	99,74%	388	Excelente
4,446	1540	3	99,85%	649	Excelente
4,612	888	2	99,91%	1127	Excelente
4,781	493	1	99,95%	2027	Excelente

Al revisar la Figura 9 y la Tabla 5 se observa que en las condiciones de operación establecidas se pueden observar que el nivel de desempeño de calidad sigma (Z) varía entre 3,82 y 4,781, lo cual incide en la variación de los servicios defectuosos (n), de 18 a 1 en la sucursal Bancaria 2. De los criterios de evaluación establecidos en la Tabla 2 se puede observar que el desempeño de calidad es Excelente.

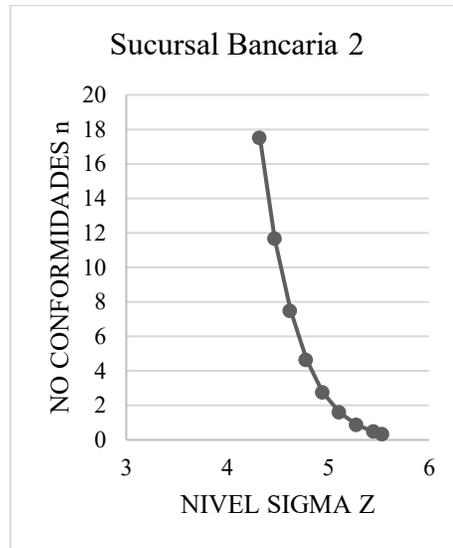


Figura 9. Curva de Operación n vs Z Sucursal 2

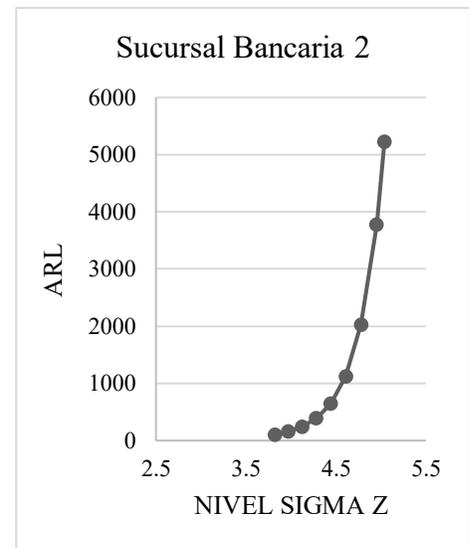


Figura 10. Curvas de longitud promedio de corrida ARL vs Z Sucursal 2

Al revisar la Figura 10 y la Tabla 5, correspondiente a la curva de operación Z Vs ARL de la sucursal 2, evidencia que tienen que prestarse 1924 servicios (2027-103) para que el nivel de calidad sigma sufra un cambio de 3,825 a 4,781. Los 1924 servicios prestados, muestran un servicio menos sensible para detectar que Z cambio en la sucursal bancaria 2

Sucursal bancaria 3

En la Tabla 5 se observan los niveles Z, DPMO, defectos n, el rendimiento Y, y la longitud promedio de corrida ARL para la sucursal Bancaria 3.

Tabla 6 - Resultado de la sucursal 3

Z3	DPMO3	n3	Y3	ARL3	Desempeño
3,730	12513	18	98,75%	80	Excelente
3,882	8330	12	99,17%	120	Excelente
4,040	5349	7	99,47%	187	Excelente
4,202	3313	5	99,67%	302	Excelente
4,368	1980	3	99,80%	505	Excelente
4,537	1141	2	99,89%	876	Excelente
4,710	634	1	99,94%	1576	Excelente

De la Figura 11 y la Tabla 6 se observan las condiciones de operación establecidas, donde el nivel de desempeño de calidad sigma (Z) varía entre 3,73 y 4,71, y los servicios defectuosos (n) varían de 18 a 1. Lo anterior, muestra un excelente desempeño de la sucursal 3.

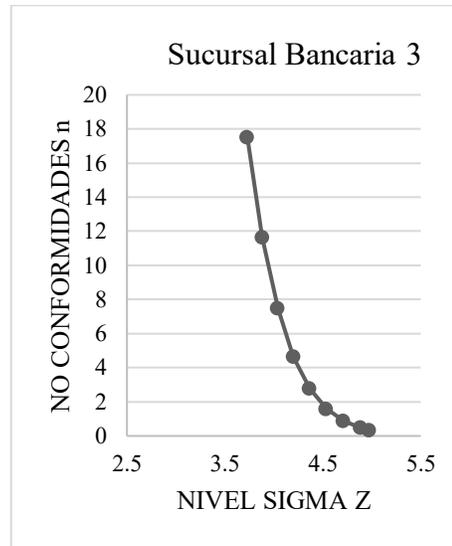


Figura 11. Curva de Operación n vs Z Sucursal 3.

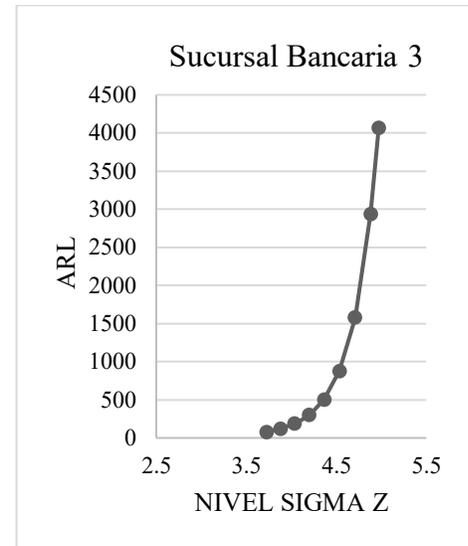


Figura 12. Curvas de longitud promedio de corrida ARL vs Z Sucursal 3

En la sucursal 3, presentada en la Figura 11 y la Tabla 6, se observa que un cambio en el nivel de calidad sigma Z de 3,730 y 4,710, solo es posible al prestarse 1496 servicios, es decir, la diferencia de 1576-80 servicios prestados.

Sucursal bancaria 4

En la Tabla 7 se observan los niveles Z, DPMO, defectos n, el rendimiento Y, y la Longitud promedio de corrida ARL para la sucursal Bancaria 4.

Tabla 7 - Resultado de la sucursal 4

Z4	DPMO4	n4	Y4	ARL4	Desempeño
3,67	14742	13	98,53%	68	Excelente
3,82	9782	9	99,02%	102	Excelente
3,98	6267	6	99,37%	160	Excelente
4,15	3876	3	99,61%	258	Excelente
4,32	2313	2	99,77%	432	Excelente
4,49	1332	1	99,87%	750	Excelente

De la Figura 13 y la Tabla 7, sobre las condiciones de operación de esta sucursal bancaria muestran, que el desempeño del nivel de calidad varía entre 3,67 a 4,49 y, con ello, los servicios defectuosos (n) varían de 13 a 1. Para las condiciones de operación señaladas se observa que la sucursal 4 en todo el proceso mantuvo un desempeño excelente de acuerdo a la Tabla 2.

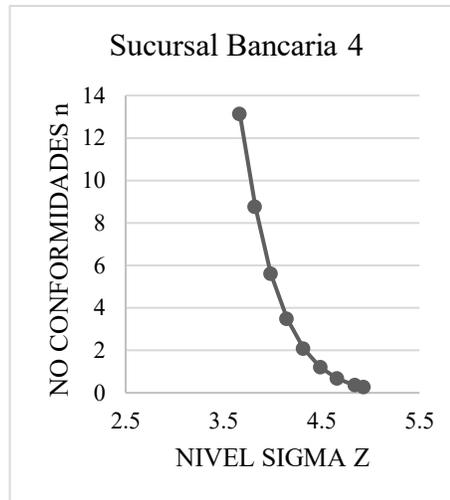


Figura 13. Curva de Operación n vs Z Sucursal 4.

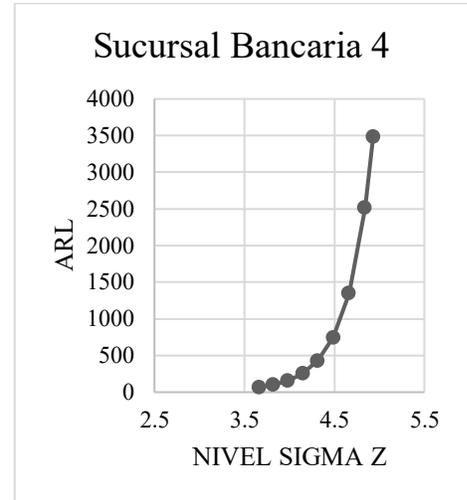


Figura 14- Curvas de longitud promedio de corrida ARL vs Z Sucursal 4

De la Figura 14 y la Tabla 7, correspondiente a la curva de operación Z Vs ARL para la sucursal 4, el nivel de desempeño sigma (Z) para las condiciones de operación de esta sucursal Bancaria de 3,67 y 4,49 cambios, solo es posible si se prestan 682 servicios, es decir la diferencia de 750 – 62 servicios prestados por dicha sucursal, como se observa de la Tabla 7.

Sucursal bancaria 5

En la Tabla 8 se observan los niveles Z, DPMO, defectos (n), el rendimiento Y, y la longitud promedio de corrida ARL para la sucursal Bancaria 5.

Tabla 8 - Resultado de la sucursal 5

Z5	DPMO5	n5	Y5	ARL5	Desempeño
3,660	14962	13	98,50%	67	Excelente
3,819	9878	9	99,01%	101	Excelente
3,982	6306	6	99,37%	159	Excelente
4,148	3891	3	99,61%	257	Excelente
4,318	2319	2	99,77%	431	Excelente
4,490	1334	1	99,87%	749	Excelente

De la Figura 15 y la Tabla 8 se observa que las condiciones de prestación de servicios se encuentran que el nivel de desempeño Z varía de 3,660 y 4,490, lo que genera unos servicios no conformes que oscila entre 13 y 1. Además, se evidencia que la sucursal Bancaria 5 presentó un excelente desempeño de calidad para todas las condiciones de operación, estando su nivel sigma entre el rango de $3,5 < Z \leq 4,6$.

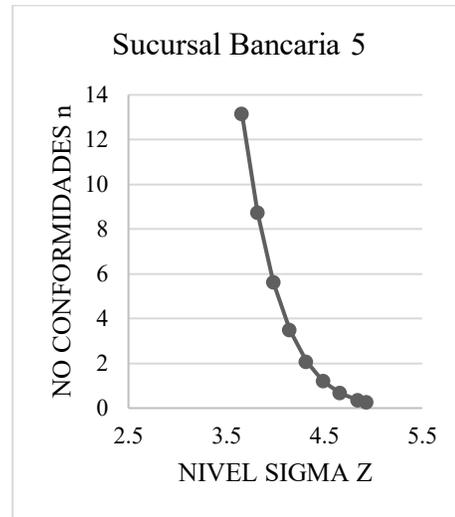


Figura 15. Curva de Operación n vs Z Sucursal 5.

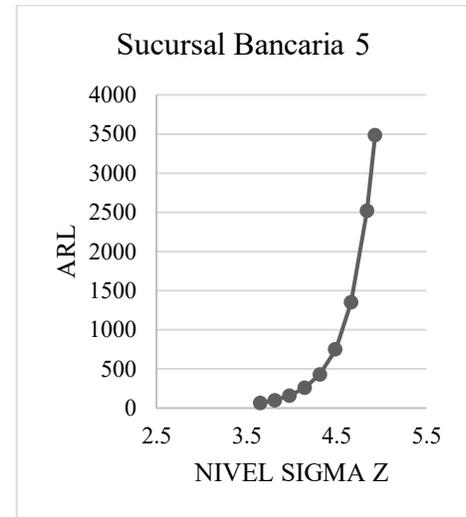


Figura 16. Curvas de longitud promedio de corrida ARL vs Z Sucursal 5.

Al analizar detalladamente la Figura 16 y la Tabla 8, correspondiente a la curva de operación Z Vs ARL de la sucursal 5, resulta evidente que deben prestarse 682 es decir 749 - 67 servicios como se observa en la Tabla 8 para que el nivel de calidad sigma Z cambie de 3,66 y 4,49.

Sucursal bancaria 6

En la Tabla 9 se observan los cálculos de las diferentes métricas asociadas a la función de calidad Seis Sigma que permite evaluar el desempeño a través de las curvas de operaciones señalada Z Vs n y Z Vs ARL, para evaluar la sucursal bancaria 6.

Tabla 9 - Resultado de la sucursal 6

Z6	DPMO6	n6	Y6	ARL6	Desempeño
3,372	29925	53	97,01%	33	Bueno
3,548	19756	35	98,02%	51	Excelente
3,726	12612	22	98,74%	79	Excelente
3,907	7781	14	99,22%	129	Excelente
4,089	4637	8	99,54%	216	Excelente
4,273	2668	5	99,73%	375	Excelente
4,458	1482	3	99,85%	675	Excelente
4,644	794	1	99,92%	1259	Excelente

Cuando se revisa la curva de operación Z Vs n de la sucursal bancaria 6 se puede evidenciar que esta presenta una capacidad de desempeño de la calidad Z que oscila entre 3,372 a 4,644; lo cual genera un rango de servicios no conformes que oscila entre 53 a 1 (Figura 17). De la Tabla 9 se observa que el nivel de desempeño oscila entre Bueno y Excelente.

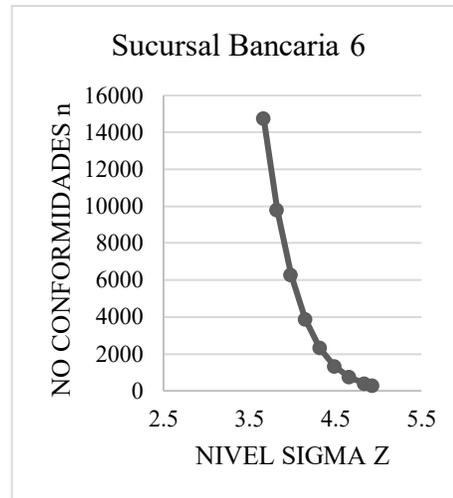


Figura 17. Curva de Operación n vs Z Sucursal 6

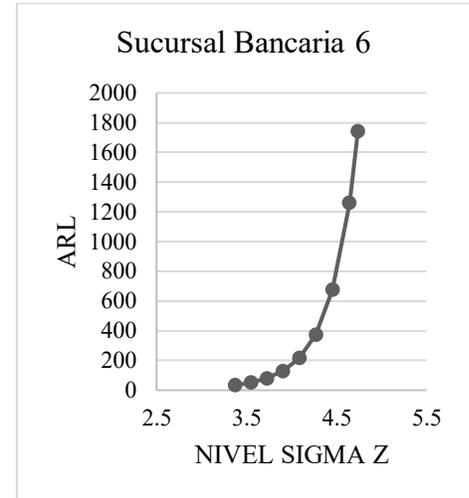


Figura 18. Curvas de longitud promedio de corrida ARL vs Z Sucursal 6

La curva ARL presentada en la Figura 18 muestra que deben prestarse un total de servicios de 1226, como se observa en la Tabla 9, es decir, la diferencia entre 1259 y 33 servicios bancarios prestados, para detectar que el nivel de desempeño Z cambió de 3,372 a 4,644 en su sucursal Bancaria 6.

Sucursal bancaria 7

En la Tabla 10 se observan los cálculos de las diferentes métricas asociadas a la función de calidad Seis Sigma, que permiten evaluar el desempeño a través de las curvas de operaciones señaladas Z Vs n y Z Vs ARL, para evaluar el desempeño de la sucursal bancaria 7.

Tabla 10 - Resultado de la sucursal 7

Z7	DPMO7	n7	Y7	ARL7	Desempeño
3,444	25343	18	97,47%	39	Bueno
3,614	16800	12	98,32%	60	Excelente
3,787	10756	7	98,92%	93	Excelente
3,963	6649	5	99,34%	150	Excelente
4,142	3967	3	99,60%	252	Excelente
4,322	2285	2	99,77%	438	Excelente
4,505	1270	1	99,87%	788	Excelente

Considerando el resultado de las métricas para la sucursal 7 (Tabla 10 y Figura 19) se observa que para las condiciones de operación de la sucursal 7 se observa que el nivel de desempeño Z varía entre $3,444 < Z < 4,505$, lo que muestra que los servicios defectuosos varían entre 18 a 1. De la Tabla 2 y la 10 se puede observar que el desempeño para la sucursal Bancaria 7 varía de bueno y en su gran mayoría alcanza un proceso Excelente.

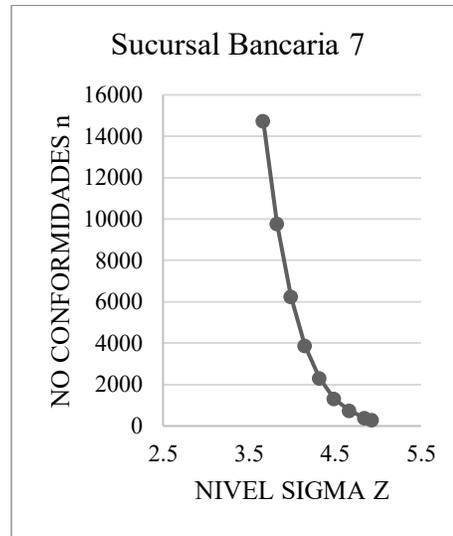


Figura 19. Curva de Operación n vs Z Sucursal 7.

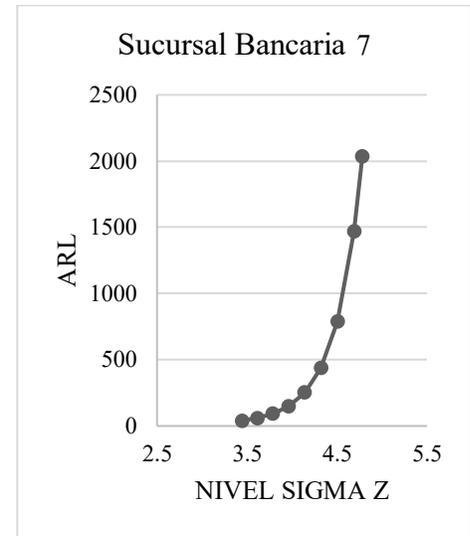


Figura 20. Curvas de longitud promedio de corrida ARL vs Z Sucursal 7.

El análisis de la Figura 20 y la Tabla 10, correspondiente a la curva de operación Z Vs ARL, es decir, la longitud promedio de corrida, evidencia que tienen que prestarse 749 servicios (788-39) para que el nivel de desempeño de calidad sigma Z sufra un cambio de 3,444 a 4,505.

Sucursal bancaria 8

En la Tabla 11 se observan los cálculos de las diferentes métricas asociadas a la función de calidad Seis Sigma, que permiten evaluar el desempeño a través de las curvas de operaciones señaladas Z Vs n y Z Vs ARL, para evaluar el desempeño de la sucursal bancaria 8.

Tabla 11 - Resultado de la sucursal 8

Z8	DPMO8	n8	Y8	ARL8	Desempeño
3,441	25559	53	97,44%	39	Bueno
3,612	16894	35	98,31%	59	Excelente
3,786	10794	22	98,92%	93	Excelente
3,962	6663	14	99,33%	150	Excelente
4,141	3973	8	99,60%	252	Excelente
4,322	2287	5	99,77%	437	Excelente
4,505	1270	3	99,87%	787	Excelente
4,689	681	1	99,93%	1469	Excelente

Al analizar en detalle la Tabla 11 y la Figura 21, se observa que al cambiar el nivel sigma (Z) de 3,441 a 4,689, el número de servicios prestados en esta sucursal bancaria cambia de 53 a 1 bajo dichas condiciones operativas. Además, la Tabla 11 indica que el desempeño de la sucursal varía entre los niveles de "Bueno" y "Excelente."

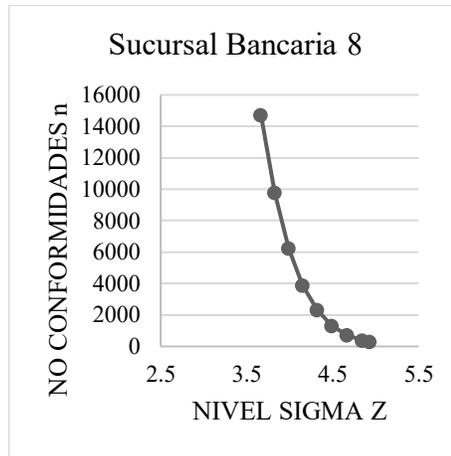


Figura 21. Curva de Operación n vs Z Sucursal 8.

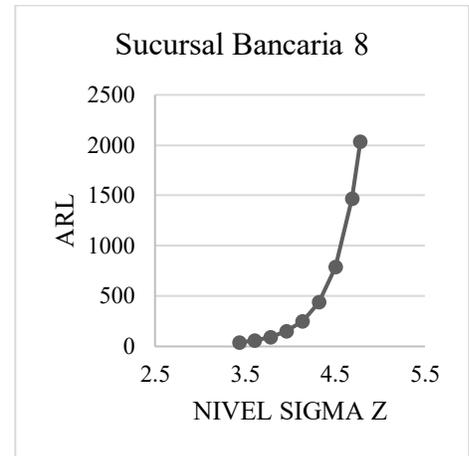


Figura 22. Curvas de longitud promedio de corrida ARL vs Z Sucursal 8.

La curva ARL de la sucursal Bancaria 8 muestra que deben prestarse un total de 1430 servicios, como se observa en la Tabla 11 es decir la diferencia entre 1469-39 para las condiciones de operación de esta sucursal, para lograr detectar que la sucursal Bancaria 8 pueda percibir que el nivel de calidad sigma (Z) cambio de 3,441 a 4,689.

En la Tabla 12 y Tabla 13 se observan como síntesis los hallazgos de esta investigación asociados a los resultados propios de los defectos máximos y mínimos generados para los diferentes niveles de Z, para cada sucursal bancaria. Así como el número de servicios prestados para detectar que el nivel de desempeño cambio de Z_i a Z_{ii} , es decir, permite tener una herramienta que facilita generar alarmas en función de los cambios que se generen en el nivel de desempeño de la Calidad Z para condiciones variables de operación. Lo cual permite tener criterios claros para la toma de decisiones que permitan mejorar la calidad de los servicios prestados en cada sucursal Bancaria.

Tabla 12 - Mejor y peor rendimiento del sistema global.

Zg	DPMOg	ng	Yg	ARLg
3	65693	210	93,43%	15
4,5	1291	4	99,87%	775

Tabla 13 - Menores desempeño del nivel Z de las sucursales bancarias.

Sucursal	Z	DPMO	n	Y	ARL	Desempeño
1	3,887	8212	26	99,18%	122	Excelente
2	3,825	9732	18	99,03%	103	Excelente
3	3,730	12513	18	98,75%	80	Excelente
4	3,67	14742	13	98,53%	68	Excelente
5	3,660	14962	13	98,50%	67	Excelente
6	3,372	29925	53	97,01%	33	Bueno

7	3,444	25343	18	97,47%	39	Bueno
8	3,441	25559	53	97,44%	39	Bueno

Tabla 14 - Mayores desempeño del nivel Z de las sucursales bancarias.

Sucursal	Z	DPMO	n	Y	ARL	Desempeño
1	4,829	416	1	99,96%	2402	Excelente
2	4,781	493	1	99,95%	2027	Excelente
3	4,710	634	1	99,94%	1576	Excelente
4	4,49	1332	1	99,87%	750	Excelente
5	4,490	1334	1	99,87%	749	Excelente
6	4,644	794	1	99,92%	1259	Excelente
7	4,505	1270	1	99,87%	788	Excelente
8	4,689	681	1	99,93%	1469	Excelente

Como principal hallazgo del análisis de las curvas de operación Z vs n, se puede observar que las sucursales bancarias que ofrecen un mejor desempeño en el nivel de calidad son la 1, 2 y 3, con unos niveles de calidad Sigma (Z) en 4,829, 4,781 y 4,710, respectivamente. Según lo anterior, permite que se reduzcan significativamente sus defectos (n) a 1, lo cual demuestra un desempeño excelente. Mientras tanto, las sucursales bancarias que presentan un menor desempeño son la 6, 7 y 8, con unos niveles de calidad sigma (Z) mínimos en 3,372, 3,444 y 3,441, respectivamente. Lo cual, provocaba que sus defectos (n) aumentaran considerablemente de 1 a 53, 18 y 53, cada uno.

Como segundo hallazgo de las curvas ARL, se evidencia que tienen que prestarse, 2280 servicios, es decir la diferencia de 2402-122 para que Z pase de 3,887 a 4,829 en la sucursal 1, al igual 1924 servicios para que Z en la sucursal 2 pase de 3,825 a 4,781 y, finalmente, 1496 servicios para que Z en la sucursal 3 pase de 3,730 a 4,710. Al igual, se resalta que tienen que prestarse, 1226 servicios, para que Z se reduzca de 4,644 a 3,372 en la sucursal 6, asimismo 749 servicios para que Z en la sucursal 7 pase de 4,505 a 3,444 y, por último, 1430 servicios para que Z en la sucursal 8 disminuya de 4,689 a 3,441. Por lo que las sucursales 4 y 5 con 682 servicios a prestar para detectar los cambios máximos y mínimos del nivel de desempeño de la calidad Z en el rango de operación del sistema, generan los menores servicios prestados. Por tanto, estas sucursales son más sensibles para monitorear los cambios en el nivel de desempeño de la calidad en las condiciones de operación propias de la sucursal.

5. Discusion

Dado el desarrollo de la medición del desempeño de Z y su efecto en las métricas Seis Sigma, estudios previos de Gupta et al. (2019), Fontalvo et al. (2021), Madhani (2022), Banquez & Fontalvo (2023), entre otros, han analizado el comportamiento de Z y su incidencia en las otras métricas Seis Sigma. No obstante, en dichos trabajos, a pesar de que se evalúan diferentes sistemas de

prestación de servicios y producción, ninguno ha abordado la construcción de una curva de desempeño ARL con métricas Seis Sigma, que permitan medir la capacidad que tiene un sistema de producción o de servicio en curso para detectar cuántas muestras se deben tomar para descubrir que el nivel de desempeño Z sufrió cambios de Z_1 a Z_2 . Por ello, esta propuesta es innovadora, significativa y es un aporte que se realiza en esta investigación en el área del control estadístico de la calidad y más en el contexto de los servicios.

Ahora bien, el estudio de Fontalvo & Banquez (2023) presentan un método para la medición del desempeño de las condiciones de operación de calidad de un servicio de forma global e integral, a través de las métricas Seis Sigma y un indicador de calidad multivariado. Esto último permite el control y la mejora continua de los procesos, a través de su pronta replanificación. Sin embargo, en dicha investigación no se analiza la curva de longitud promedio de corrida con métricas de Seis Sigma para un sistema de control, lo cual es un aporte significativo e importante de esta investigación.

Por otro lado, en el estudio de Shaik et al. (2021), se aplicó la metodología Seis Sigma. En dicha investigación, se resalta la importancia de las métricas Seis Sigma para analizar la fiabilidad de los procesos organizacionales, comparar procesos, proponer mejoras y establecer un control continuo, al evaluar la incidencia de Z en las otras métricas. De forma similar, en la investigación de Kumar et al. (2021) se examina la relación entre Seis Sigma y la industria 4.0 en el contexto del cambio hacia la fabricación personalizada y la adopción de tecnologías avanzadas. Lo cual es consecuente a lo planteado en esta investigación en donde a través de generación y cálculo de múltiples valores del desempeño de métricas de Seis Sigma para los ocho procesos objeto de estudio, se pueden analizar capacidades en términos de defectos generados y sensibilidad de las curvas de longitud promedio con métricas Seis Sigma de corrida para detectar la capacidad que tiene cada sucursal bancaria para detectar que el nivel de desempeño de la calidad Z cambio de Z_1 a Z_2 .

De los estudios e investigaciones analizadas se resalta la integralidad y sinergia que pueden generarse al articular e integrar las curvas de longitud promedio corrida de métricas Seis Sigma, propuestas en esta investigación y herramientas de la industria 4.0, lo que permite establecer otros criterios para la toma de decisiones que contribuyan a mejorar el desempeño del nivel de calidad Z de las organizaciones donde se implementen los resultados de esta investigación, mejorando la satisfacción de los clientes.

6. Conclusión

Como contribución diferenciadora esta investigación suministra una metodología efectiva e innovadora que permite: 1) establecer las condiciones de operación del sistema de control estadístico de la calidad para un sistema bancario para la medición de los procesos globales e independientes; 2) se

valoraron las métricas Seis Sigma (DPMO, nivel Z, defectos n y desempeño Y, que permitieron determinar; 3) las capacidades máximas y mínimas que tiene el sistema bancario para generar defectos así como la sensibilidad de la curva ARL para las diferentes sucursales Bancarias analizadas; 4) se propusieron las nuevas curvas de operación Z Vs ARL y Z vs n, de las métricas Seis Sigma, para sistema de medición de control estadístico de la calidad que se constituyen en un aporte nuevo para el área del control estadístico de la calidad, y finalmente; y, 5), se analizó de forma holística e integral el desempeño de la calidad de los procesos del sistema Bancario y sus sucursales.

Lo anterior, permitió 1) valorar el desempeño de la calidad Z para cada sucursal y 2) medir la capacidad que tiene un sistema de producción o de servicio en curso para detectar cuántos servicios se deben prestar para descubrir que el nivel de desempeño Z sufrió cambios de Z_1 a Z_2 , para el análisis de la calidad. Y de esta forma poder detectar servicios defectuosos a tiempo en las sucursales del sistema bancario y reducir los costos de no calidad y mejora de los servicios a los clientes.

Como contribución teórica y metodológica, esta investigación articuló conceptos relacionados con las curvas longitud promedio de corrida de las métricas Seis Sigma para un sistema de producción en paralelo y en serie, proponiendo un método eficaz, que permiten evaluar el desempeño del nivel sigma de calidad Z de un sistema bancario y sus sucursales de forma global y puntual. Asimismo, facilita determinar la influencia del nivel de calidad (Z) en los defectos (n), los defectos por millón de oportunidades (DPMO) y el rendimiento (Y), para mejorar las condiciones de operación de cada sucursal.

Como futuras investigaciones, se invita a la comunidad académica, empresarial y científica a replicar el método propuesto y las nuevas curvas de longitud promedio de corrida de las métricas Seis Sigma en otros contextos empresariales, de prestación de servicios o de procesos productivos. Toda vez que, la herramienta planteada en esta investigación es innovadora y efectiva para la medición de la calidad de cualquier proceso productivo o de prestación de servicio, permitiendo la toma de decisiones asociada a los servicios defectuosos prestados, generados y la capacidad para detectar el número de servicios que deben prestarse para detectar que el nivel de desempeño de Calidad Z cambio de un nivel Z_1 a Z_2 .

Referencias bibliográficas

- Antosz K, et al. (2022). Application of Lean Six Sigma for sustainable maintenance: case study. *IFAC-PapersOnLine*, 55(19), 181–186. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.204>.
- Argoti, M., & Carrión, A. (2019). A quasi arl-unbiased u control chart. *International Journal for Quality Research*, 13(2), 451–466. <https://doi.org/10.24874/ijqr13.02-13>.

- Banquez, A & Fontalvo, T. (2023). Global performance evaluation based on multivariable statistical control of a public utility company. *Pesquisa operacional*, 43. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2023.043.00270103>.
- Bernardino L, et al. (2022). Do investments in innovation and quality management systems ensure superior financial performance? A quantitative study of Brazilian publicly traded companies. *Brazilian Business Review*, 19(6), 685–708. <https://doi.org/10.15728/bbr.2022.19.6.6.en>
- Cadi A, et al. (2022). An exact approach to the integration of non-cyclical preventive maintenance scheduling and production planning for a series-parallel production system. *International Journal of Operational Research*, 44(3), 401. <https://doi.org/10.1504/ijor.2022.124104>
- Carrilo M, et al. (2021). Reducción de ruido industrial en un proceso productivo metalmeccánico: Aplicación de la metodología DMAIC de Lean Seis Sigma. *Entre ciencia e ingeniería*, 15(30), 41–48. <https://doi.org/10.31908/19098367.1819>
- Fontalvo, O., Fontalvo, T., & Herrera, R. (2021). Evaluation method of the sigma level multidimensional capacity of the service dimensions in a call center of a telephone company. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 34(3), 319-335. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2021.119787>
- Fontalvo, T., & Banquez A. (2023). Comparative analysis of multivariate capacity indicators for serial and parallel systems. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*. 14(4). <https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2023.10058903>
- González, R., et al. (2021). Evaluación de la estabilidad y análisis de la capacidad del proceso de producción de una empresa de pastas alimenticias. *Visión de futuro*, 26(1), 206–230. <https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2021.26.01.006.es>
- Gonzales, Y., Herrera, R., & Fontalvo, T. (2020). Yield-level performance of quality dimensions through T2 charts and multivariate capacity indicators applied to a fumigation services company. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 41(1), 71-80. <https://doi.org/10.1504/ijise.2020.10035051>
- Gupta, S., Modgil, S., & Gunasekaran., A. (2019). Big data in lean six sigma: a review and further research directions. *International Journal of Production Research*, 58(3): 947-969. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1598599>
- Hadipour, H., Amiri, M., & Sharifi, M. (2019). Redundancy allocation in series-parallel systems under warm standby and active components in repairable subsystems. *Reliability Engineering & System Safety*, 192(106048), e106048. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2018.01.007>
- Jardim, F., Chakraborti, S., & Epprecht, E. (2019). Chart with estimated parameters: The conditional ARL distribution and new insights. *Production and Operations Management*, 28(6), 1545–1557. <https://doi.org/10.1111/poms.12985>

- Kumar, P., et al. (2021). Integration between Lean, Six Sigma and Industry 4.0 technologies. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 13(1-3), 19-37. <https://doi.org/10.1504/ijssca.2021.120224>
- Liu Z, et al. (2020). An adversarial bidirectional serial–parallel LSTM-based QTD framework for product quality prediction. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(6), 1511–1529. <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01530-8>
- Lu L, et al. (2022). Sustainability efficiency of climate change and global disasters based on greenhouse gas emissions from the parallel production sectors – A modified dynamic parallel three-stage network DEA model. *Journal of Environmental Management*, 317(115401), e115401. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115401>
- Madhani P. (2022). Lean Six Sigma deployment in HR: enhancing business performance. *International Journal of Human Resources Development and Management*, 22(1-2), 75-97. <https://doi.org/10.1504/ijhrdm.2022.121314>
- Marín A, et al. (2023). Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 24(1), 1–12. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.1.007>
- Narottam Y, mathiyazhagan K & Kumar K. (2019). Literature review: continuous improvement through Lean Six Sigma. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 28(1), 3-27. <https://doi.org/10.1504/ijpqm.2019.102423>
- Patel M, & Desai D. (2023). Implementation of Six Sigma in the small-scale ceramic industry and its holistic assessment. *International Journal of Quality Engineering and Technology*, 9(2), 110–144. <https://doi.org/10.1504/ijqet.2023.131553>
- Qayyum S, et al. (2021). Managing smart cities through six sigma DMADICV method: A review-based conceptual framework. *Sustainable Cities and Society*, 72: 103022. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103022>
- Sánchez E, et al. (2021). Aplicación de la Metodología Seis Sigma para disminuir la variabilidad de la calidad en la producción de hilo para Tejeduría Plana. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3), 125–137. <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.149>
- Shaik S, Sampson S & Franchetti M. (2021). Evaluating reliability of diesel generator peakers using Six Sigma methodologies. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 13(4), 456-476. <https://doi.org/10.1504/ijssca.2021.120587>
- Simanová L, Sujová A & Gejšoř P. (2019). Improving the performance and quality of processes by applying and implementing Six Sigma Methodology in furniture manufacturing process. *Drvna Industrija*, 70(2), 193–202. <https://doi.org/10.5552/drvind.2019.1768>

- Skalli D, Charkaoui A & Cherrafi A. (2022). Assessing interactions between Lean Six-Sigma, Circular Economy and industry 4.0: toward an integrated perspective. *IFAC-PapersOnLine*, 55(10), 3112–3117. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.207>
- Sodhi H. (2023). A comparative analysis of lean manufacturing, Six Sigma and Lean Six Sigma for their application in manufacturing organisations. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 13(1): 127-144. <https://doi.org/10.1504/ijpmb.2023.127902>
- Šulgan B, Furda P & Labovská Z. (2022). Effect of side reactions in hybrid distillation system: Parallel production of ethyl acetate and glycols. *Chemical Engineering Journal*, 450, 138154. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138154>
- Tissir S, et al. (2023). Lean Six Sigma and Industry 4.0 combination: scoping review and perspectives. *Total Quality Management & Business Excellence*, 34(3–4), 261–290. <https://doi.org/10.1080/14783363.2022.2043740>
- Tu J, et al. (2021). Real-time bottleneck in serial production lines with Bernoulli machines: Theory and case study. *IEEE transactions on automation science and engineering: a publication of the IEEE Robotics and Automation Society*, 18(4), 1822–1834. <https://doi.org/10.1109/tase.2020.3021346>
- Xi S, et al. (2022). Simultaneous machine selection and buffer allocation in large unbalanced series-parallel production lines. *International Journal of Production Research*, 60(7), 2103–2125. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1884306>