Región Científica

e-ISSN: 2954-6168
Región Científica. 2026. 5(2), 2026648
doi: 10.58763/rc2026648

Check for updates

Sistema integral de control de la calidad en un centro de distribución logístico

Operational curves to measure quality in a logistics distribution center

Tomás José Fontalvo Herrera[1], Viviana Margarita Buelvas Deavila[1], Diego Alonso Cardona[1]

RESUMEN

Introducción: El propósito de este estudio aplicado es analizar y controlar el comportamiento de un sistema de distribución logística, estimando el umbral de servicios necesarios para evidenciar variaciones significativas en el nivel Sigma Z.
Metodología: Se utilizó una metodología cuantitativa y racional, estableciendo un modelo de evaluación y criterios de medición basados en curvas operativas y métricas Seis Sigma.
Resultados: La evaluación del sistema logístico y sus procesos reveló variaciones considerables en los niveles de calidad Z, con valores mínimos de 2.92 y máximos de 5.58, es decir, el desempeño de calidad varía entre Deficiente y Excelente según los criterios de desempeño establecidos. Asimismo, la variación impacta en las cantidades de defectos por millón de oportunidades (DPMO), el número de no conformidades (n) y el rendimiento de los procesos (Y). Finalmente, el análisis de las curvas de rendimiento promedio de corrida (RPC) muestra que procesos como el de distribución requieren un mayor número de unidades para detectar el cambio entre Zi y Zii.
Conclusiones: Se demuestra que integrar el análisis de rendimiento promedio de corrida (RPC) y la metodología Seis Sigma en sistemas logísticos optimiza la calidad operativa, fundamenta la toma de decisiones gerenciales y reduce de forma sistemática las no conformidades.

Palabras clave: calidad; curvas de operación; rendimiento promedio de corrida; Seis Sigma.

Clasificación JEL: H83, L32, L95, M15.

ABSTRACT

Introduction: The purpose of this applied study is to analyze and control the behavior of a logistics distribution system, estimating the service threshold required to demonstrate significant variations in the Sigma Z level.
Methodology: A quantitative and rational methodology was used, establishing an evaluation model and measurement criteria based on operating curves and Six Sigma metrics.
Results: The evaluation of the logistics system and its processes revealed considerable variations in the Z quality levels, ranging from a minimum of 2.92 to a maximum of 5.58; that is, quality performance varies between Deficient and Excellent according to the established performance criteria. Furthermore, this variation impacts the number of defects per million opportunities (DPMO), the number of nonconformities (n), and process yield (Y). Finally, the analysis of the Average Run Performance (ARP) curves shows that processes such as distribution require a larger number of units to detect shifts between Zi and Zii.
Conclusions: It is demonstrated that integrating Average Run Performance (ARP) curve analysis and Six Sigma methodology into logistics systems optimizes operational quality, supports managerial decision-making, and systematically reduces nonconformities.

Keywords: average run performance; operating curves; quality; Six Sigma.

JEL Classification: H83, L32, L95, M15

Recibido: 01-08-2026 **Revisado:** 20-10-2026 **Aceptado:** 01-11-2026 **Publicado:** 10-11-2026

Editor: Alfredo Javier Pérez Gamboa

[1]Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.

Citar como: Fontalvo Herrera, T. J., Buelvas Deavila, V. M., & Alonso Cardona, D. (2026). Sistema integral de control de la calidad en un centro de distribución logístico. *Región Científica*, *5*(2), 2026648. https://doi.org/10.58763/rc2026648

INTRODUCCIÓN

El actual panorama competitivo impone a las organizaciones la optimización constante de sus procesos productivos, así como el desarrollo de capacidades para generar e integrar saberes con el propósito de potenciar su rendimiento (Garcia Ramos & Pareja Huacausi, 2021; Robledo-Fernández et al., 2025). La calidad, la eficiencia y el rendimiento son pilares fundamentales para el éxito, y la búsqueda de métodos para optimizarlos es una prioridad estratégica. El mercado

Atribución No Comercial Compartir Igual 4.0 Internacional.

de los servicios logísticos y cada uno de sus procesos han experimentado un desarrollo constante, donde la necesidad de espacio de almacenaje está aumentando debido al aumento de la demanda. Los centros de distribución logística requieren un espacio de almacenamiento moderno y flexible, que posibilite una fácil reorganización y adaptación a las necesidades del mercado (Markowski & Bilski, 2021). Para satisfacer la necesidad de optimizar los procesos logísticos, dos herramientas se destacan como aliadas clave: las métricas Seis Sigma integradas a las curvas de operación. Dicha estrategia es una metodología de gran alcance que, a través de la medición y del diagnóstico de las desviaciones de los procesos, permite caracterizar y eliminar las fuentes de los defectos (Gutiérrez et al., 2021). Su enfoque sistemático busca reducir la probabilidad de errores y optimizar la calidad de los entregables y servicios (Purba et al., 2021). Las curvas de operación, por su parte, son herramientas gráficas que visualizan la relación entre la variabilidad del proceso y la probabilidad de obtener productos conformes a las especificaciones. Permiten evaluar el desempeño del sistema productivo y tomar decisiones informadas para optimizar su rendimiento (Sáenz et al., 2021). Sin embargo, a pesar del potencial de estas herramientas, aún existen vacíos en su aplicación en contextos de distribución logística. Se necesitan modelos que permitan evaluar el desempeño global y específico de sistemas productivos, utilizando las métricas de Seis Sigma (Delahoz-Domínguez et al., 2022).

La importancia de este artículo de investigación radica en la comprensión y mejora del funcionamiento de los sistemas de distribución logística en entornos dinámicos por medio de las curvas de operación de métricas Seis Sigma. Como motivación principal de esta investigación, se aporta un método de control estadístico de la calidad para un centro de distribución logístico estructurado mediante las métricas Seis Sigma y sus gráficas de desempeño promedio de corrida, que permite comprender y reducir los errores en condiciones cambiantes del sistema de operación, lo que contribuye a elevar la calidad de los procedimientos para alcanzar un desempeño excepcional y una cadena de suministro ágil y confiable. Además, se analiza la influencia de la variabilidad Z, el rendimiento del sistema en el desempeño de la calidad del sistema objeto de estudio, con lo que se pueden comprender las condiciones de operación del sistema en condiciones variables, que permiten tomar decisiones oportunas y pertinentes para mejorar la calidad de acuerdo con las diferentes condiciones de operación.

Dentro de este escenario, surgen las siguientes preguntas que orientarán el curso de la investigación actual: ¿Cómo establecer sistemas de control estadístico para medir la calidad de los procesos logísticos? ¿Cómo medir el desempeño de calidad de un centro de distribución logística con las métricas Seis Sigma? ¿Cómo valorar y controlar el desempeño de calidad de forma puntual en entornos cambiantes? Para abordar estos interrogantes de investigación, se definen los siguientes propósitos: Optimización del nivel Sigma (Z): 1) Estructurar un modelo de control estadístico para medir la excelencia de los procesos logísticos. 2) Valorar las métricas Seis Sigma en los procesos del sistema logístico. 3) Elaborar gráficas de desempeño promedio de corrida para detectar la cantidad de unidades a suministrar a fin de observar el cambio entre los niveles sigma Z de los procesos del sistema.

Fundamentación teórica

Calidad en la distribución logística

El desarrollo económico se encuentra en un proceso de cambio constante, impulsado por la incertidumbre del mercado y clientes cada vez más exigentes (Benavides et al., 2026). Por este motivo, las industrias, para satisfacer las altas expectativas de los clientes, deben estar comprometidas a mejorar en aspectos tecnológicos, administrativos y operativos. Esto es especialmente cierto en los centros de distribución logística, donde es fundamental mantenerse a la vanguardia con las innovaciones constantes para poder ser competitivos y sostenibles en cada uno de sus procesos (Mendoza & Suarez, 2023). En este contexto, la distribución de mercancías debe concebirse como un eslabón estratégico de la organización enfocada en ofrecer un servicio de alta calidad a sus clientes, lo cual exige examinar, valorar, medir y controlar con rigurosidad todo lo que se implemente en dicho proceso.

Un aspecto clave para satisfacer correctamente a los clientes es entregar los productos en la cantidad, tiempo y lugar requeridos (Ascón et al., 2022). Para cumplir con estos requisitos, las empresas deben buscar y aplicar estrategias que posibiliten optimizar el desempeño operativo bajo criterios de excelencia, eficiencia económica y adaptabilidad, con el objetivo de tomar decisiones efectivas (Mittal et al., 2019). Entre estas soluciones, existen múltiples modelos y estrategias que promueven la optimización permanente en logística, destacando entre estas la herramienta estadística Seis Sigma.

La metodología Seis Sigma es potencialmente aplicable a los procesos de distribución logística debido a su capacidad para identificar problemas de variabilidad y dispersión en determinados indicadores o especificaciones, y fomentar la mejora de procesos mediante el análisis de las causas de los defectos para luego controlarlos. Esto contribuye directamente al perfeccionamiento constante de las empresas, aumentando tanto el rendimiento operativo como el nivel competitivo (Ramírez Pérez et al., 2021). Por lo tanto, el control Seis Sigma es altamente efectivo para robustecer la calidad en la distribución logística. Se ha comprobado que Seis Sigma es una metodología exitosa en muchas organizaciones, generando beneficios que van desde el incremento de la satisfacción de los usuarios hasta la optimización de costos operativos (Pano

Nava et al., 2022). Además, Seis Sigma es particularmente eficaz para optimizar procesos logísticos, ayudando en la toma de decisiones mediante el análisis estadístico del rendimiento y garantizando una mejora continua a bajo costo.

Métricas Seis Sigma para la medición de la calidad

Las métricas Seis Sigma se han establecido como herramientas fundamentales para evaluar y mejorar la calidad de los procesos industriales, reduciendo significativamente la probabilidad de ocurrencia de defectos (Bharath & Shankar, 2020; Fontalvo Herrera et al., 2026; Kumar & Khanduja, 2021). Se trata de una perspectiva novedosa que disminuye los fallos, el derroche y la variabilidad del proceso con el fin de elevar tanto la productividad como la calidad (Singh, 2020). Lo anterior demuestra que las métricas Seis Sigma son propicias para la optimización de los centros de distribución logísticos, promoviendo el éxito y mejorando la posición competitiva de la organización (Kumar et al., 2020).

Los sistemas de distribución logísticos pueden evaluarse usando las métricas Seis Sigma, entre las cuales se destaca el número de errores por millón de oportunidades (DPMO), métrica que busca medir el desempeño y calidad de la operación al cuantificar el volumen de fallas en relación con la totalidad del número de eventos potenciales de defecto (Pinilla et al., 2021). Por otro lado, se encuentra el número de no conformidades (N), que evalúa cualquier desviación del producto o servicio respecto a los estándares de calidad, ayudando a diagnosticar y mitigar desviaciones operativas en la actividad, y el rendimiento del proceso (Y), el cual mide su capacidad de generar salidas conformes con los límites determinados por el cliente o los parámetros de especificación del producto (Veena & Prabhushankar, 2020).

La adopción de herramientas y técnicas de calidad basadas en Seis Sigma en un centro de distribución logístico tiene como propósito optimizar la productividad y mitigar los defectos. Al emplear los indicadores principales del modelo como el volumen de errores por millón de oportunidades (DPMO), el cálculo de las desviaciones y la tasa de rendimiento de estos procesos, se logra entender, comprender y reducir los fallos en las operaciones, lo que favorece el desarrollo de mejoras. Además, dicha filosofía de control se fundamenta en el análisis riguroso de datos y métricas para disminuir la variabilidad del proceso y mejorar su estabilidad, por lo que su aplicación contribuye a la existencia de una serie de ventajas significativas para el centro de distribución logístico y sus procesos a lo largo del tiempo (Sharma, 2020).

Fontalvo-Herrera et al. (2025) resaltan que la metodología Seis Sigma agiliza la identificación de procesos que necesitan mejoras urgentes, permitiendo así una reducción de la variación y una mejora en su estabilidad, con el objetivo final de alcanzar un nivel específico de calidad. Además, investigaciones académicas han señalado que las compañías que implementan iniciativas de Seis Sigma experimentan mejoras significativas en la eficiencia de sus procesos de producción y/o servicios (Luna Amador, 2021). En este contexto, las nuevas curvas de operación de métricas Seis Sigma ofrecen un instrumento poderoso para valorar y perfeccionar el rendimiento de los esquemas de distribución logística.

Curvas de rendimiento promedio de corrida

Las curvas de rendimiento de las métricas Seis Sigma se presentan como herramientas clave que facilitan la evaluación del desempeño de un proceso en entornos cambiantes, y la realización del análisis para determinar las condiciones de calidad de múltiples sistemas productivos, mediante el uso de las métricas Seis Sigma como lo son los defectos por millón de oportunidades DPMO, no conformidades N, y rendimiento Y, generadas en el proceso productivo (T. Fontalvo Herrera et al., 2024; T. J. Fontalvo Herrera et al., 2024).

Al representar estas curvas, se puede observar la fluctuación en la capacidad de un proceso según el nivel de calidad sigma Z, lo que facilita la identificación tanto de la capacidad óptima como de la mínima de rendimiento en un proceso, al igual que la toma de decisiones informadas para la mejora y reducción de no conformidades (T. Fontalvo Herrera et al., 2024; T. J. Fontalvo Herrera et al., 2024).

De acuerdo con lo anterior, las curvas de rendimiento promedio de corrida (RPC) son herramientas que resultan útiles en la evaluación de la estabilidad y capacidad de un proceso y son propicias para optimizar sistemas logísticos, mejorando la productividad de todo el sistema. Representadas gráficamente, estas curvas ofrecen una visión detallada de cómo el proceso se desempeña en términos de producción (Balza Franco et al., 2019).

Las curvas de RPC en la presente investigación se fundamentan en dos enfoques fundamentales: el cálculo de la RPC mayor, que es el número de unidades necesarias para detectar un incremento significativo en los valores sigma (Z mayor y Y mayor), y el cálculo de la RPC menor, que indica el número de unidades requeridas para identificar una disminución significativa en los valores sigma (Z menor y Y menor), basándose en el siguiente modelo. En cuanto a la disparidad entre la RPC mayor y la RPC menor, esta posibilita el cálculo del número de unidades a producir (np)necesario para notar el cambio de Zi a Zii:

$$RPC = \frac{1}{1 - Y_i} = total\ de\ unidades\ a\ generar\ para\ lograr\ un\ rendimiento\ Y_i$$

$$Y_i = \%\ de\ productos\ de\ producto\ bueno$$

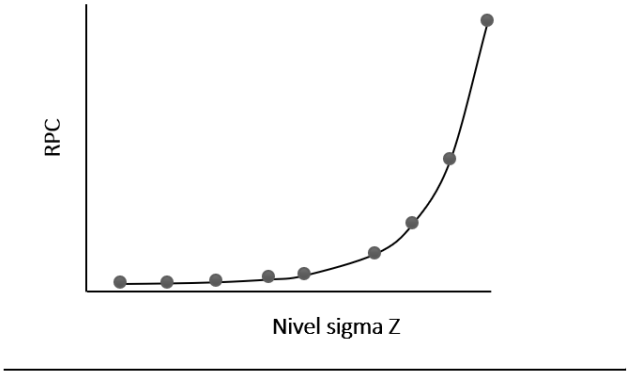
$$1 - Y_i = \%\ de\ productos\ defectuosos$$

$$Z_{i_{Mayor}} \rightarrow Y_{i_{Mayor}} = RPC_{i_{Mayor}} = \frac{1}{1 - Y_{Mayor}} = n_{i_{Mayor}}$$

$$Z_{i_{Menor}} \rightarrow Y_{i_{Menor}} = RPC_{i_{Menor}} = \frac{1}{1 - Y_{Menor}} = n_{i_{Menor}}$$

Al evaluar la relación entre los valores de RPC para los distintos niveles sigma (Z), se observa que guardan una relación directamente proporcional, representada gráficamente de la siguiente manera:

Figura 1.
Representación operativa de (RPC) por cada nivel Sigma (Z)

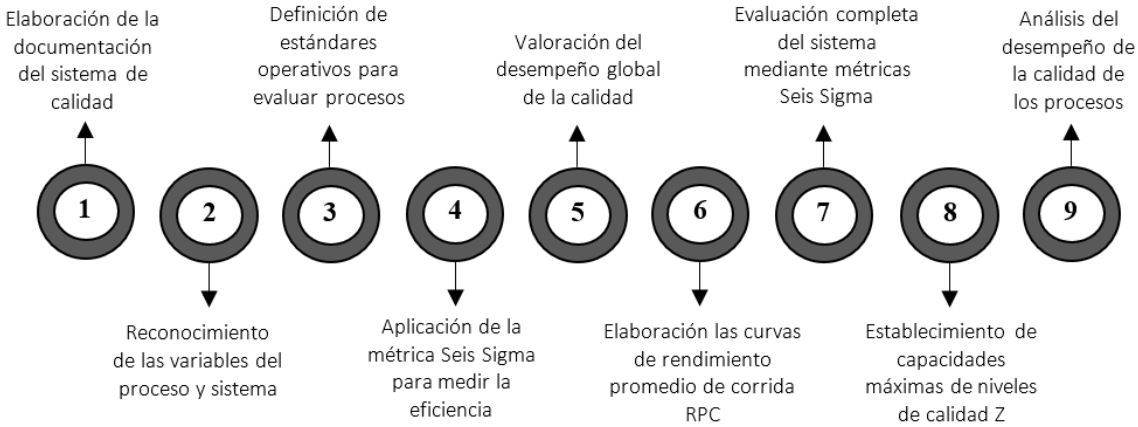


Fuente: Elaboración propia.

METODOLOGÍA

Este trabajo se abordó desde una concepción de investigación básica, a través de la cual se integraron conceptos de control estadístico de la calidad, las matemáticas y las métricas Seis Sigma que permitieron establecer un sistema integral de control de la calidad para valorar y controlar la calidad de un sistema de distribución logística y sus procesos por medio de las curvas de operación propuestas y el tablero de control del sistema. Lo anterior se realizó a través de un paradigma positivista lógico, que permitió, desde una concepción racional de diseño, establecer el modelo matemático del sistema logístico para valorar la calidad. Posteriormente, por medio de un análisis de sensibilidad, considerando las condiciones de operación del objeto de estudio, se modificó el nivel de desempeño del nivel sigma Z del sistema y de los procesos, con lo que se obtuvieron las variables de respuesta, datos e información primaria necesaria para calcular las métricas y curvas de calidad propuestas en esta investigación. Integradas dentro del método propuesto que se señala en la Figura 2. El cual está compuesto por nueve fases para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación.

Figura 2.
Proceso sistemático para el desarrollo de la investigación



Fuente: elaboración propia

Con el propósito de analizar el rendimiento del sistema, se utilizaron las métricas Seis Sigma, cuyos detalles se encuentran especificados en la Tabla 1.

Tabla 1.
Métricas Seis Sigma de rendimiento sistémico

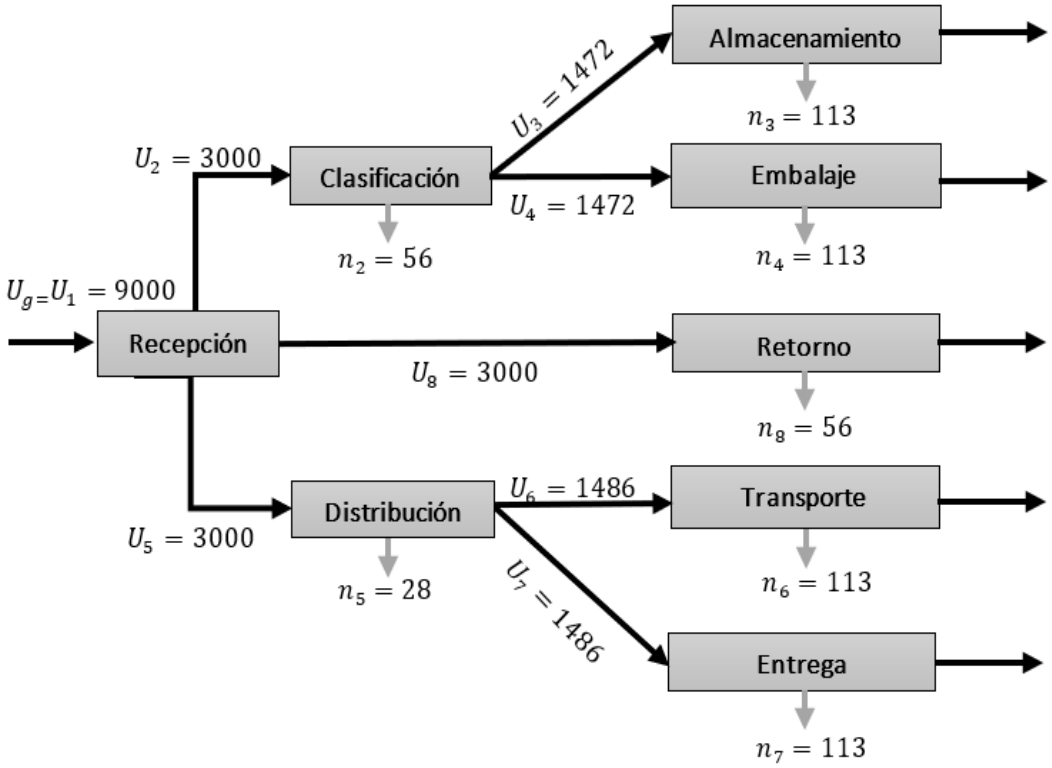
Métrica	Descripción
DPMO	Errores obtenidos por cada millón de oportunidades de falla
U	Volumen de unidades críticas inspeccionadas en el proceso.
O	Eventos potenciales de error por cada unidad evaluada.
Z	Indicador de capacidad o nivel de calidad Sigma.
n	No conformidades
Y	Rendimiento del proceso
RPC	Rendimiento (Y) promedio de corrida

Fuente: elaboración propia

Para cumplir con los requisitos de la fase inicial del proceso sistemático, se aplicaron las métricas mencionadas al sistema de distribución logística, compuesto por ocho procesos diferentes, tal como se ilustra en la figura 2. La evaluación definió un nivel sigma global (Zg), que indica el número de unidades defectuosas producidas por el conjunto de procesos.

Durante el inicio del sistema logístico, se realizó el reconocimiento de las variables del proceso y sistema. Se llevó a cabo la asignación de unidades para cuatro de los ocho procesos involucrados. Las cantidades asignadas se establecieron de la siguiente manera: al proceso 1 (recepción), se le asignaron 9000 unidades (U1), que a su vez fueron distribuidas entre el proceso 2 (clasificación), asignándole 3000 unidades (U2), el proceso 5 (distribución), asignándole 3000 unidades (U5), y el proceso 8 (retorno), asignándole 3000 unidades (U8). Cabe mencionar que la asignación de unidades hacia los procesos 3 (almacenamiento) y 5 (distribución) se da exclusivamente de las unidades salientes del proceso 2 (clasificación), y la asignación de unidades hacia los procesos 6 (transporte) y 7 (entrega) se da exclusivamente de las unidades salientes del proceso 5 (distribución).

Figura 3.
Diagrama del sistema de distribución logístico



Fuente: elaboración propia

Es fundamental comprender que las unidades en los diferentes procesos logísticos son la clave para entender el flujo de producción en este sistema y tienen repercusiones significativas en la evaluación de su desempeño mediante las métricas previamente mencionadas.

Con el propósito de medir la eficiencia del sistema y evaluar el desempeño de este, se realizó un análisis de la cantidad de defectos que se generan en cada proceso. Este análisis comenzó con el cálculo de la cantidad total de productos defectuosos que produce el sistema en general (ng), utilizando la siguiente fórmula:

$$n_g = \frac{DPMO \text{ x } U \text{ x } O}{1000000} \qquad (1)$$

El DPMO se determina en función del nivel sigma global (Zg), empleando la siguiente fórmula:

$$DPMO = e^{\left[\frac{29.3-(z-0.8406)^2}{2,221}\right]} \qquad (2)$$

El cálculo del DPMO, seguido de su aplicación en la fórmula de (ng), permitió determinar la cantidad total de productos defectuosos que genera el sistema. Este valor, junto con la consideración de (ng), como la suma total de defectos en el sistema y que:

$$n_2 = \frac{1}{2}n_3 \qquad (3)$$
$$\mathrm{n}_5 = \frac{1}{2}\mathrm{n}_2 \qquad (4)$$
$$\mathrm{n}_3 = \mathrm{n}_4 = \mathrm{n}_6 = \mathrm{n}_7 \qquad (5)$$
$$\mathrm{n}_8 = \frac{1}{2}\mathrm{n}_3 \qquad (6)$$

Como se aprecia, todas las fórmulas están relacionadas con n3, En base a esto, la ecuación general para calcular (ng), se define de la siguiente manera:

$$n_g = n_3 + n_4 + n_6 + n_7 + \frac{1}{2}n_3 + \frac{1}{2}n_3 + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}n_3\right) \qquad (7)$$

La solución de la ecuación conduce a la siguiente expresión:

$$n_3 = \frac{n_g}{(21 \div 4)} \qquad (8)$$

Tras calcular el volumen de unidades no conformes asociadas a todos los subprocesos del sistema, se determinó el número de unidades que ingresan y egresan de cada uno, descontando las unidades defectuosas antes de avanzar al siguiente. Del mismo modo, se evaluaron los índices de errores por millón de oportunidades (DPMO) en cada etapa de la cadena utilizando la siguiente ecuación:

$$DPMO = \frac{n}{U \text{ x } O} \text{ x } 1000000 \qquad (9)$$

Asimismo, se estableció el nivel sigma que le corresponde:

$$\mathrm{Z} = \sqrt{29.3 - 2.221 \text{ x } \ln\ (\mathrm{DPMO})} + 0.8406 \qquad (10)$$

También se calculó el valor de Ug y el resto de las unidades salientes de cada proceso, haciendo uso de las siguientes fórmulas:

$$\mathrm{U_g} = \mathrm{U_2} + \mathrm{U_3} + \mathrm{U_4} + \mathrm{U_5} + \mathrm{U_6} + \mathrm{U_7} + \mathrm{U_8} \qquad (11)$$
$$\mathrm{U_3} = \frac{(\mathrm{U_2} - \mathrm{n_2})}{2} \qquad (12)$$
$$\mathrm{U_4} = \frac{(\mathrm{U_2} - \mathrm{n_2})}{2} \qquad (13)$$
$$\mathrm{U_6} = \frac{(\mathrm{U_5} - \mathrm{n_5})}{2} \qquad (14)$$
$$\mathrm{U_7} = \frac{(\mathrm{U_5} - \mathrm{n_5})}{2} \qquad (15)$$

Habiendo calculado las métricas mencionadas, se estableció el rendimiento de cada proceso y del sistema en su conjunto a través de la fórmula 16.

$$Y = 1 - \left(\frac{n}{U}\right) \qquad (16)$$

Finalmente se determinó el rendimiento promedio de corrida para cada uno de los procesos individuales y el proceso global empleando la siguiente fórmula.

$$RPC = 1/(1 - Y) \qquad (17)$$

Asimismo, se definieron los estándares operativos para evaluar los procesos. Basado en las condiciones establecidas, se ejecutó una simulación de sensibilidad variando los niveles sigma Z entre 3.0 y 5.1. Esta variación permitió comparar el rendimiento de las operaciones particulares y de la estructura en general, cuyos resultados se evaluaron utilizando la Tabla 2 como referencia.

Tabla 2.
Escala de valoración del rendimiento operacional según el nivel Sigma (Z)

Rango Sigma (Z)	Clasificación del desempeño
$Z < 3.0$	Deficiente
$3.0 \leq Z \leq 3.5$	Aceptable
$3.5 \leq Z \leq 4.6$	Sobresaliente
$Z > 4.6$	Excelente

Fuente: Elaboración propia

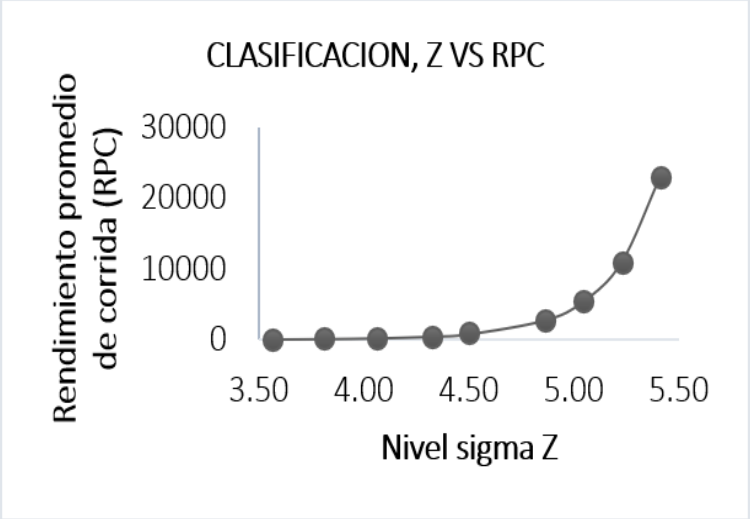
RESULTADOS

A continuación, se desglosan los resultados alcanzados a lo largo de la valoración analítica del sistema de distribución logística, enfocados en la implementación de la metodología Seis Sigma. En la primera sección, se analizan las curvas de RPC para distintos niveles sigma (Z), permitiendo identificar el comportamiento de los procesos bajo diferentes niveles de la variabilidad y de control de calidad. Posteriormente, se muestra un tablero de control diseñado para supervisar las operaciones logísticas, con indicadores clave de desempeño. Finalmente, se incluyen las tablas de resultados correspondientes a los indicadores Seis Sigma determinados para cada una de las fases del centro de distribución, evidenciando las mejoras en eficiencia y reducción de errores.

Análisis - Curvas de rendimiento promedio de corrida (RPC) para cada nivel sigma (Z)

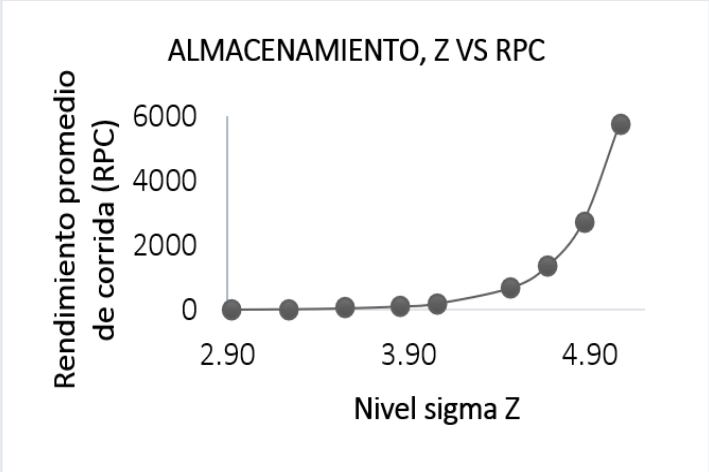
En este análisis, se evalúa el rendimiento de los procesos del sistema de distribución logística a través de la implementación de métricas Seis Sigma, orientando la atención hacia el comportamiento de las curvas de RPC, las cuales permiten identificar la variabilidad y la eficacia de cada proceso al trabajar con diferentes niveles sigma (Z).

Figura 4.
Curva de rendimiento promedio de corrida (RPC2) para cada nivel sigma (Z2)



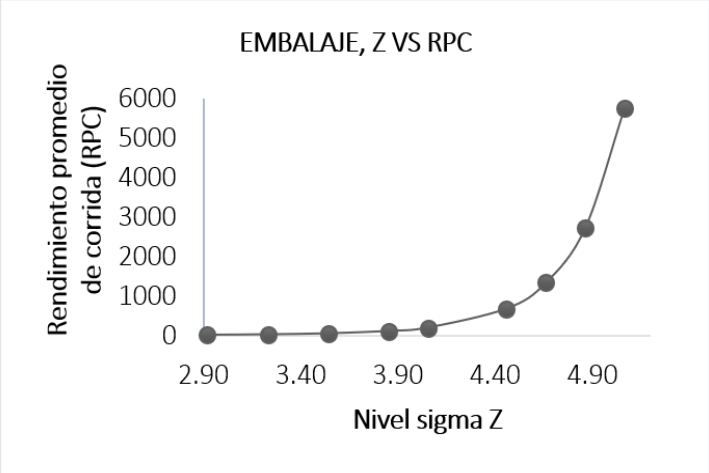
Fuente: Elaboración propia

Figura 5.
Curva de rendimiento promedio de corrida (RPC3) para cada nivel sigma (Z3)



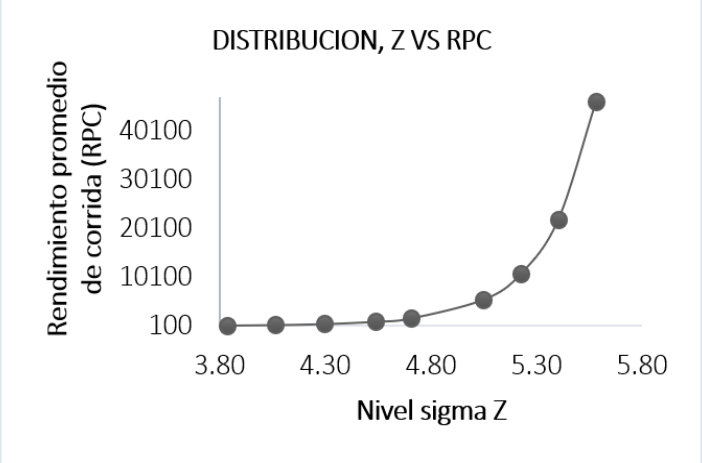
Fuente: Elaboración propia

Figura 6.
Curva de rendimiento promedio de corrida (RPC4) para cada nivel sigma (Z4)



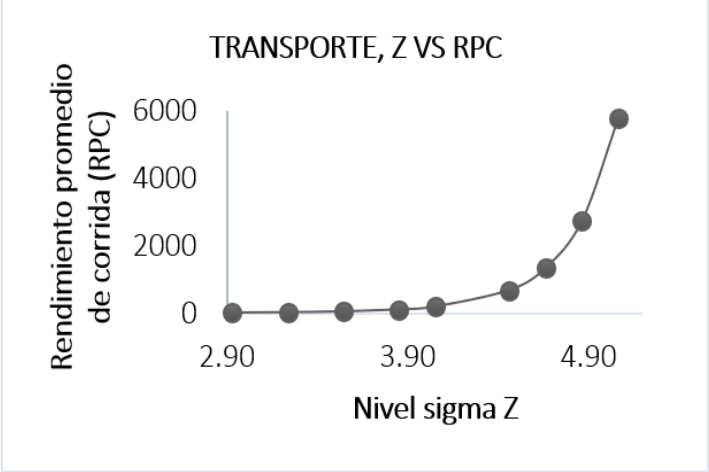
Fuente: Elaboración propia

Figura 7.
Curva de rendimiento promedio de corrida (RPC5) para cada nivel sigma (Z5)



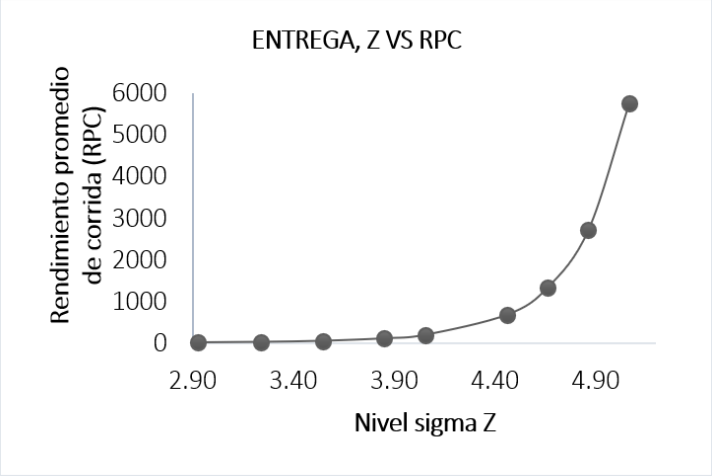
Fuente: Elaboración propia

Figure 8.
Curva de rendimiento promedio de corrida (RPC6) para cada nivel sigma (Z6)



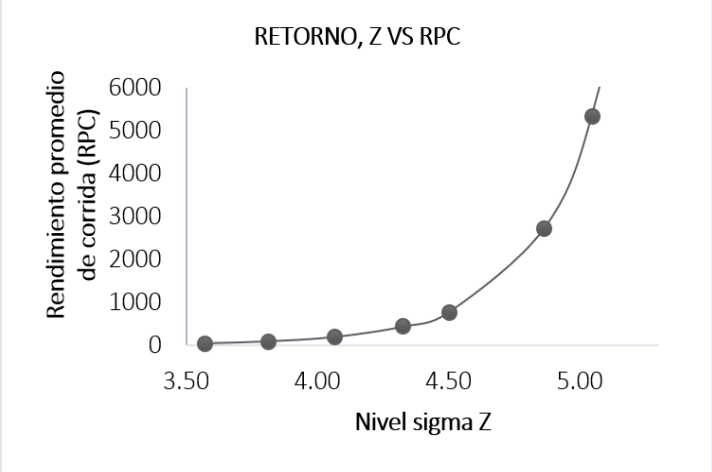
Fuente: Elaboración propia

Figura 9.
Curva de rendimiento promedio de corrida (RPC7) para cada nivel sigma (Z7)



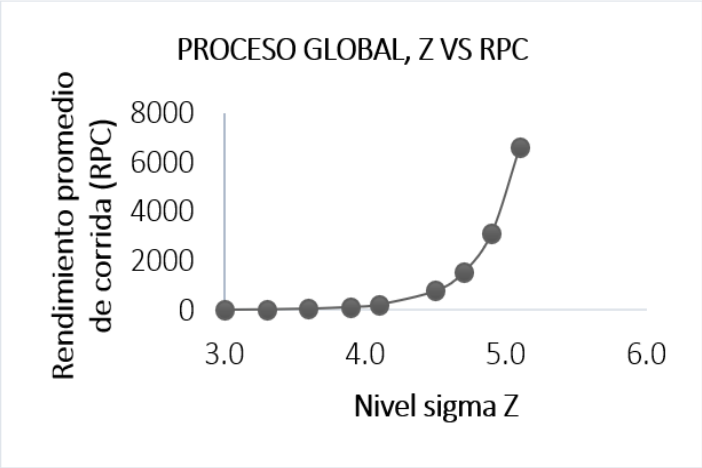
Fuente: Elaboración propia

Figura 10.
Curva de rendimiento promedio de corrida (RPC8) para cada nivel sigma (Z8)



Fuente: Elaboración de los autores

Figura 11
Curva de rendimiento promedio de corrida (RPCg) para cada nivel sigma (Zg)



Fuente: Elaboración de los autores

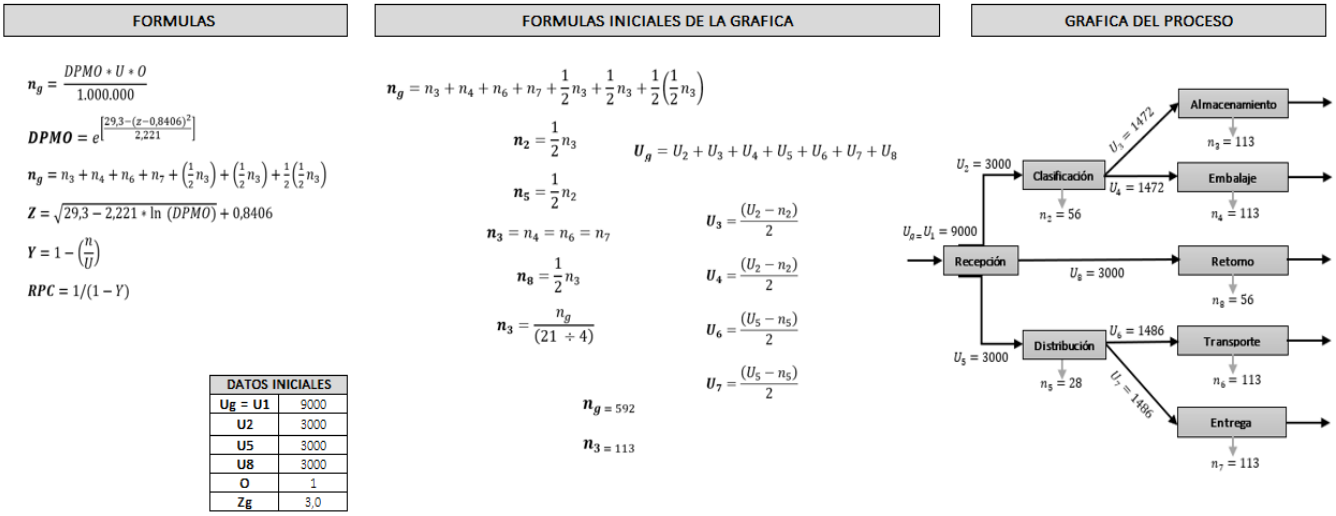
Al realizar el análisis de los procesos del sistema de distribución logística, se observa que en el proceso de Distribución los valores de RPC oscilan entre 107 y 46 064 unidades, siendo este el proceso que presenta mayor variabilidad al necesitar 45 957 unidades para detectar el cambio entre Zi (sobresaliente) y Zii (excelente). Además, los procesos de Clasificación y Retorno presentan un rendimiento promedio de corrida similar, con valores entre 53 y 23 032 unidades, necesitando 22 997 unidades para detectar el cambio entre Zi (sobresaliente) y Zii (excelente) de dichos procesos.

De manera similar ocurre en los procesos de Almacenamiento, Embalaje, Transporte y Entrega, los cuales presentan valores de rendimiento promedio de corrida entre 13 y 5 758 unidades, es decir, se requieren 5 758 unidades para detectar el cambio entre Zii (deficiente) y Zii (excelente) en dichos procesos. Por último, el proceso global presentó un rendimiento promedio de corrida con valores que oscilan entre 15 y 6 581 unidades, necesitando así 6 566 unidades para detectar el cambio de Zii (aceptable) y Zii (excelente).

Tablero de control del sistema de operaciones de distribución logístico

A continuación se presenta el tablero de control del sistema de operaciones de distribución logística, valorado mediante el uso de indicadores y gráficas de desempeño correspondientes a las métricas Seis Sigma, las cuales permiten analizar el desempeño en términos de la calidad alcanzada, así como también analizar el desempeño de todos los procesos bajo escenarios simulados del nivel sigma Z, conforme a lo expuesto en las figuras 12 y 13, seguidamente se observan los cálculos de las gráficas de las cuales podemos analizar las siguientes circunstancias.

Figura 12.
Tablero de operaciones



Fuente: Elaboración propia

Figure 13.
Tablero con cálculos de las gráficas

TABLAS DE PROCESOS

PROCESO GLOBAL

n3	Zg	DPMOg	ng	Yg	RPC
112,6	3,0	65693	591	93,43%	15
60,3	3,3	35202	317	96,48%	28
29,8	3,6	17395	157	98,26%	57
13,6	3,9	7927	71	99,21%	126
7,7	4,1	4487	40	99,55%	223
2,2	4,5	1291	12	99,87%	775
1,1	4,7	656	6	99,93%	1525
0,6	4,9	321	3	99,97%	3111
0,3	5,1	152	1	99,98%	6581

CLASIFICACION

U2	Z2	DPMO2	n2	Y2	RPC
3000	3,57	18769	56	98,12%	53
3000	3,81	10058	30	98,99%	99
3000	4,06	4970	15	99,50%	201
3000	4,33	2265	7	99,77%	442
3000	4,50	1282	4	99,87%	780
3000	4,86	369	1	99,96%	2712
3000	5,05	187	1	99,98%	5337
3000	5,23	92	0	99,99%	10889
3000	5,41	43	0	100,00%	23032

ALMACENAMIENTO

U3	Z3	DPMO3	n3	Y3	RPC
1472	2,92	76514	113	92,35%	13
1485	3,23	40640	60	95,94%	25
1493	3,54	19979	30	98,00%	50
1497	3,85	9079	14	99,09%	110
1498	4,05	5135	8	99,49%	195
1499	4,46	1476	2	99,85%	678
1500	4,66	750	1	99,93%	1334
1500	4,86	367	1	99,96%	2722
1500	5,07	174	0	99,98%	5758

EMBALAJE

U4	Z4	DPMO4	n4	Y4	RPC
1472	2,92	76514	113	92,35%	13
1485	3,23	40640	60	95,94%	25
1493	3,54	19979	30	98,00%	50
1497	3,85	9079	14	99,09%	110
1498	4,05	5135	8	99,49%	195
1499	4,46	1476	2	99,85%	678
1500	4,66	750	1	99,93%	1334
1500	4,86	367	1	99,96%	2722
1500	5,07	174	0	99,98%	5758

DISTRIBUCION

U5	Z5	DPMO5	n5	Y5	RPC
3000	3,84	9385	28	99,06%	107
3000	4,06	5029	15	99,50%	199
3000	4,30	2485	7	99,75%	402
3000	4,54	1132	3	99,89%	883
3000	4,71	641	2	99,94%	1560
3000	5,05	184	1	99,98%	5424
3000	5,22	94	0	99,99%	10674
3000	5,40	46	0	100,00%	21778
3000	5,58	22	0	100,00%	46064

TRANSPORTE

U6	Z6	DPMO6	n6	Y6	RPC
1486	2,93	75789	113	92,42%	13
1492	3,24	40435	60	95,96%	25
1496	3,54	19930	30	98,01%	50
1498	3,85	9069	14	99,09%	110
1499	4,05	5131	8	99,49%	195
1500	4,46	1475	2	99,85%	678
1500	4,66	750	1	99,93%	1334
1500	4,86	367	1	99,96%	2722
1500	5,07	174	0	99,98%	5758

ENTREGA

U7	Z7	DPMO7	n7	Y7	RPC
1486	2,93	75789	113	92,42%	13
1492	3,24	40435	60	95,96%	25
1496	3,54	19930	30	98,01%	50
1498	3,85	9069	14	99,09%	110
1499	4,05	5131	8	99,49%	195
1500	4,46	1475	2	99,85%	678
1500	4,66	750	1	99,93%	1334
1500	4,86	367	1	99,96%	2722
1500	5,07	174	0	99,98%	5758

RETORNO

U8	Z8	DPMO8	n8	Y8	RPC
3000	3,57	18769	56	98,12%	53
3000	3,81	10058	30	98,99%	99
3000	4,06	4970	15	99,50%	201
3000	4,33	2265	7	99,77%	442
3000	4,50	1282	4	99,87%	780
3000	4,86	369	1	99,96%	2712
3000	5,05	187	1	99,98%	5337
3000	5,23	92	0	99,99%	10889
3000	5,41	43	0	100,00%	23032

Fuente: Elaboración propia

Luego de aplicar las métricas Seis Sigma (Z) en los procesos del sistema de distribución logístico, se evidencia que los procesos de Almacenamiento y Embalaje presentan tasas de fallas por millón de oportunidades (DPMO) que oscilan entre 76 514 y 174, siendo los procesos con valores más altos en la escala de desviación del modelo. El proceso de Distribución presentó cantidades que oscilan entre 9 385 y 22 DPMO, posicionándose como la operación con menor nivel de error de todo el sistema. En cuanto al proceso global, las cantidades de DPMO varían entre 65 693 (lo que indica un nivel de calidad bajo, propenso a los errores) y 152 (lo que representa un nivel de calidad superior, aunque manteniendo margen para la optimización).

En cuanto a las no conformidades (n), se observa que los procesos de Clasificación y Retorno cuentan con la misma cantidad, las cuales varían entre 56 y 0 no conformidades; de manera similar ocurre en los procesos de Almacenamiento, Embalaje, Transporte y Entrega, cuya cantidad de no conformidades oscila entre 113 y 0 no conformidades. A su vez, el proceso de Distribución se destaca por tener la menor cantidad de no conformidades, oscilando entre 28 y 0. Por último, en el proceso global se observa una cantidad de no conformidades que varía entre 591 y 1.

En lo que se refiere al rendimiento (Y), inicialmente los procesos de Almacenamiento y Embalaje presentaron un rendimiento con valores entre 92.35% y 99.96%, siendo estos los procesos con menor rendimiento del sistema, de manera similar, los procesos de Transporte y Entrega mostraron un rendimiento con valores entre 92.42% y 99.98%. Seguidamente, en los procesos de Clasificación y Retorno, se observa un mejor rendimiento con valores que van desde 98.12% hasta alcanzar el 100%). Por su parte, el proceso de Distribución muestra el mejor rendimiento del sistema, presentando valores que varían entre 99.06% y 100% para los distintos niveles de Z. Por último, el proceso global mostró rendimientos que varían desde 93.43% hasta 99.98% (lo que evidencia un alto nivel de desempeño, pero con áreas que aún pueden mejorar).

Consolidado de resultados asociados a las métricas Seis Sigma estimadas en las diferentes fases del centro de distribución logística

A continuación, se presentan las tablas 3 y 4, las cuales muestran la relación entre diferentes variables clave del sistema de distribución logístico, a diversos niveles sigma (Z). Esta información posibilita examinar la dinámica particular de las operaciones y de la estructura consolidada, favoreciendo un entendimiento más profundo del rendimiento integral.

Dado que el proceso de Recepción (proceso 1) presenta ausencia total de no conformidades (n), no se configura el concepto de curvas de operación. En consecuencia, este no será considerado en los análisis relacionados con las curvas características de operación para los defectos por millón de oportunidades (DPMO), rendimiento Y, y RPC para los

niveles sigma (Z).

Tabla 3.
Umbrales mínimos de capacidad operativa por subproceso según métricas Seis Sigma

Proceso	Z_i		n_i	Y_i	RPC_i	Desempeño
Global	3.0	65693	56	93.43%	15	Aceptable
Clasificación	3.57	18769	56	98.12%	53	Sobresaliente
Almacenamiento	2.92	76514	113	92.35%	13	Deficiente
Embalaje	2.92	76514	113	92.35%	13	Deficiente
Distribución	3.84	9385	28	99.06%	107	Sobresaliente
Transporte	2.93	75789	113	92.42%	13	Deficiente
Entrega	2.93	75789	113	92.42%	13	Deficiente
Retorno	3.57	18769	56	98.12%	53	Sobresaliente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.
Umbrales máximos de capacidad operativa por subproceso según métricas Seis Sigma

Proceso	Z_{ii}	$DPMO_{ii}$	n_{ii}	Y_{ii}	RPC_{ii}	Desempeño
Global	5.1	152	1	99.98%	6581	Excelente
Clasificación	5.41	43	0	100%	23032	Excelente
Almacenamiento	5.07	174	0	99.98%	5758	Excelente
Embalaje	5.07	174	0	99.98%	5758	Excelente
Distribución	5.58	22	0	100%	46064	Excelente
Transporte	5.07	174	0	99.98%	5758	Excelente
Entrega	5.07	174	0	99.98%	5758	Excelente
Retorno	5.41	43	0	100%	23032	Excelente

Fuente: Elaboración propia

Los hallazgos derivados de la implementación del control estadístico Seis Sigma en la estructura global de distribución logística evidencian que los niveles de calidad sigma Z varían considerablemente, con valores mínimos de 2.92 y máximos de 5.58; es decir, el desempeño de calidad varía entre Deficiente y Excelente.

Analizando los procesos de manera individual, se evidencia que existe similitud entre los valores de los procesos de Clasificación y Retorno; los resultados arrojan valores de Z de 3.57 a 5.41, generando un desempeño que varía entre Sobresaliente y Excelente. Los procesos de Almacenamiento y Embalaje presentan valores sigma entre 2.92 y 5.07, variando su desempeño entre Deficiente y Excelente. Los procesos de Transporte y Entrega tienen valores sigma que van desde 2.93 a 5.07, con desempeño Deficiente y Excelente, respectivamente.

El proceso de Distribución se destaca al tener niveles sigma entre 3.84 y 5.58, variando entre desempeño Sobresaliente y desempeño Excelente. Esta diversidad impacta los índices de fallas por millón de oportunidades (DPMO), los cuales oscilan entre 22 y 76.514, y a su vez se distingue por tener la menor cantidad de desviaciones bajo esta métrica, registrando un mínimo de apenas 22 fallas por millón. Por su parte, los niveles sigma del proceso global fluctúan entre 3.0 y 5.1, siendo estos desempeños aceptable y excelente, respectivamente. Asimismo, se ha evidenciado una contracción notable en el volumen de no conformidades (n) en la mayoría de los procesos. Los procesos de Almacenamiento, Embalaje, Transporte y Entrega pasaron de un máximo de 113 a 0 no conformidades, alcanzando la máxima capacidad del sistema con 0 unidades defectuosas. En cuanto al rendimiento (Y) de los procesos evaluados, se observa una variabilidad entre 92.35% y 100%. El proceso de Distribución destacó al alcanzar el rendimiento máximo de 100%; en cuanto al proceso global, su rendimiento alcanza un valor mínimo de 93.43% y un valor máximo de 99.98%.

Como hallazgos, se observa que los niveles de rendimiento Sigma Z en el sistema de distribución logística presentan una variabilidad considerable, oscilando entre 2.92 y 5.58. Esto indica que el desempeño de los procesos varía desde un nivel Deficiente hasta Excelente. En particular, el proceso de distribución destaca con un nivel sigma (Z) máximo de 5.58, lo que indica un desempeño Excelente; lo cual es significativo considerando el objeto de estudio analizado.

Además, se ha identificado que el número de defectos por millón de oportunidades (DPMO) en el proceso de distribución es el más bajo, con 22 DPMO, lo que resalta la efectividad de este proceso en comparación con otros que tienen cifras

significativamente más altas, como Almacenamiento y Embalaje, que muestran defectos que oscilan entre 76.514 y 174.

Se observa también una relación positiva entre el rendimiento del sistema (Y) y el nivel sigma Z, sugiriendo que a medida que aumenta el nivel sigma Z, el rendimiento mejora. Adicionalmente, se evidencia que cuando el nivel sigma (Z) aumenta, la cantidad de no conformidades (n) disminuye, indicando que, a mayores niveles de calidad, se producen menos no conformidades, alcanzando un estado en el que algunos procesos presentan 0 unidades defectuosas.

En última instancia, el examen de las curvas de RPC demuestra que el volumen de unidades indispensables para detectar cambios en el rendimiento varía entre los diferentes procesos. Por ejemplo, el proceso de distribución requiere más unidades para detectar el cambio entre Z (sobresaliente) y Z (excelente), mientras que otros, como embalaje y entrega, requieren menos. De la Tabla 4 también se puede evidenciar de las curvas RPC que el proceso de Distribución es el menos sensible al momento de registrar fluctuaciones en el nivel de desempeño de Z. Por el contrario, los procesos de Almacenamiento, Embalaje, Transporte y Entrega exhiben una susceptibilidad significativamente mayor para capturar variaciones en sus parámetros de calidad. Bajo esta perspectiva, la curva de RPC establece criterios que permiten priorizar las estrategias dirigidas a optimizar el esquema bajo monitoreo y control, en función de la sensibilidad para detectar un cambio en Z del proceso analizado.

DISCUSIÓN

De los resultados de esta investigación y en coherencia con los objetivos planteados, se observa la pertinencia del sistema de control estadístico de la calidad integral que permitió evaluar de forma integral y particular los diferentes procesos del sistema logístico objeto de esta investigación. Asimismo, este permitió determinar que el proceso de mayor desempeño fue el de distribución y los de menor desempeño fueron Almacenamiento, Embalaje, Transporte y Entrega. De igual manera el gran aporte de esta investigación se centra en el método desarrollado que al considerar el sistema logístico como un todo, permitió evaluar de forma integral todo el sistema objeto de estudio por medio del tablero integral de control que integra métricas de Seis Sigma, curvas de operación de métricas Seis Sigma y las curvas de RPC de métricas Seis Sigma articulado de forma sistemática para controlar y evaluar el sistema objeto de esta investigación. Lo cual es innovador, analizado desde el control estadístico de la calidad.

Sin embargo, en literatura científica, se encuentran diversas investigaciones sobre la logística en diferentes contextos organizacionales. Un caso específico es el estudio de Şişman (2023), en el cual se aplicó el enfoque Seis Sigma para mejorar los sistemas logísticos, optimizando la cadena de suministro y reduciendo notablemente los costos de transporte y otros gastos en una industria de plástico. Como resultado, se lograron reducciones tanto en los costos como en las cantidades residuales de plástico. Sin embargo, el autor se centró en la reducción de defectos y gastos; no obstante, no se observan análisis asociados con los cambios en los niveles de desempeño Z en condiciones variables, como se propone en esta investigación relacionada con las curvas de RPC con métricas Seis Sigma, lo que permita no solo medir sino también controlar las variaciones del nivel de desempeño Z en los procesos. Lo anterior contribuye a priorizar las acciones de mejora sobre los procesos, así como tomar las acciones de mejora en función del nivel de sensibilidad de los procesos.

De manera similar, la investigación de Panayiotou & Stergiou (2023) tuvo como objetivo desarrollar un modelo que contribuyera a la identificación de mejoras en las operaciones del canal de abastecimiento de una firma minorista, mediante la implementación de Seis Sigma. Su propósito fue optimizar el flujo logístico comercial, brindando una guía integral para la aplicación de Seis Sigma en el sector minorista, un ámbito de gran relevancia para la economía. Sin embargo, esta investigación por medio del sistema de control estadístico Integral y el tablero de mando integral aporta a este sistema de operaciones y cualquier otro que aplique este método un conjunto de mediciones de forma cuantitativas y gráficas que permite a los responsables de la calidad en las organizaciones, tomar acciones para el mejoramiento de la calidad. De igual manera, esta investigación proporciona herramientas que permiten medir las capacidades máximas y mínimas de cada proceso y de esta forma controlar las variaciones en el nivel de calidad Z.

El estudio de Ramires & Sampaio (2022) explora los beneficios de la aplicación de Seis Sigma y la minería de procesos en la logística de suministros, con el fin de identificar y corregir errores operativos. Aunque esta investigación no utiliza curvas operativas para la evaluación del sistema, se diferencia de la presente al introducir el poder analítico de la minería de procesos con el propósito de elevar los estándares de calidad en los flujos de abastecimiento. También, otros autores como Samaranayake et al. (2024) evaluaron la implementación de Seis Sigma para abordar problemas en los procesos logísticos. Esta herramienta posibilitó el aislamiento y resolución de desviaciones críticas del canal de distribución, derivando en la minimización de residuos. No obstante, como enfoque diferenciador de esta investigación, está el hecho que a diferencia de los estudios señalados previamente que básicamente evalúan de forma puntual la calidad, el método desarrollado plantea la estructuración de un esquema de monitoreo estadístico integral que integra múltiples herramientas del control estadístico univariado, para desde una perspectiva holística evaluar y controlar un sistema logístico en condiciones variables del nivel de desempeño Z, lo que se constituye en un aporte novedoso dentro del área

de estudio de esta investigación, lo cual es replicable en cualquier otro sistema de operacionales.

Además, por la concepción misma del estudio y el método planteado, se permite estructurar el sistema de control estadístico y establecer un balance general de defectos en el sistema, para posteriormente valorar el sistema objeto de estudio y controlarlo por medio de las herramientas de control estadístico señaladas. Esta investigación cierra una brecha y aporta una nueva visión de utilizar las herramientas de control estadístico de forma diferente a las tradicionales, donde se aplican las técnicas de calidad, de forma puntual e individual a la característica, características o procesos evaluados y no de forma integral y sistemática como se propone en esta investigación.

CONCLUSIONES

Como aporte teórico, la presente investigación básica aplicada articula los conceptos de sistema de un centro de distribución logístico, los parámetros Seis Sigma y el modelado del rendimiento promedio de corrida, orientados a identificar variaciones en los niveles de desempeño de calidad de los procesos logísticos en condiciones variables, lo que robustece la toma de decisiones en tiempo real, consiguiendo de esta manera optimizar los resultados y minimizar el número de defectos o errores, un aspecto crucial en esta industria. Por consiguiente, la metodología fundamentada en el RPC adquiere una gran relevancia en el entorno competitivo actual de los centros de distribución logísticos, ya que son organizaciones que se encuentran inmersas en escenarios de constantes cambios, en los que existen altos estándares de calidad y necesitan herramientas, métodos y modelos que les permitan evaluar de manera efectiva el desempeño de sus procesos.

Como contribución práctica y distintiva de esta investigación, se hizo uso de las métricas de Seis Sigma y curvas de RPC para medir las capacidades propias del centro de distribución logístico y ajustarlas a diferentes niveles sigma Z, para analizar la reacción del sistema en condiciones variables, y así poder calcular el número de servicios que se deben prestar para identificar las variaciones, demostrando que es una metodología eficiente y novedosa, que permite medir la dispersión del desempeño global e individual de los procesos del centro de distribución logístico, representado una ventaja para la toma de decisiones.

En concreto, al aplicar la metodología Seis Sigma y realizar el análisis de las curvas de RPC, se revela que procesos como el de distribución necesitan una mayor cantidad de unidades para detectar el cambio entre Zi (sobresaliente) y Zii (excelente), mientras que los procesos de embalaje o entrega necesitan una menor cantidad de unidades para detectar el cambio entre Zi (deficiente) y Zii (excelente). De acuerdo con lo anterior, se confirma que la metodología es verídica y permite la correcta medición de los procesos.

Como potencial limitación o requerimiento para replicar el método propuesto en cualquier otro contexto organizacional, es importante que se establezca un sistema de recolección de datos estandarizado, para que la información para valorar el sistema esté dimensionalmente integrada desde una perspectiva sistemática de acuerdo con el modelo matemático del sistema de control estadístico de la calidad propuesto.

Se invita a la comunidad científica a emplear en futuras investigaciones y contextos logísticos las curvas de RPC que se han introducido y analizado en esta investigación, teniendo en cuenta que son una herramienta propicia para centros de distribución logística y múltiples sistemas de producción en los que sea imprescindible la medición y control de defectos. Con lo que se puede valorar la calidad de un sistema de control de una empresa y con base en esto tomar decisiones de mejora considerando las condiciones de operación variables del sistema analizado.

REFERENCIAS

Ascón, J. E. G., Natividad, R. o. S., Sotelo, J. F. A., Alegre, L. R. R., Pittman, J. A. A., Loza, A. D. M. B., & Tiznado, M. D. P. (2022). Six Sigma and improvement of the logistics process in the construction retail industry. *Proceedings Of The 20th LACCEI International Multi-Conference For Engineering, Education And Technology: "Education, Research And Leadership In Post-pandemic Engineering: Resilient, Inclusive And Sustainable Actions"*. https://doi.org/10.18687/laccei2022.1.1.789

Balza Franco, V., Paternina Arboleda, C., & Cardona Arbeláez, D. (2019). Prácticas colaborativas en la cadena de suministro: una revisión conceptual. *Saber, ciencia y libertad, 14*(2), 77-101. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=736980319005

Benavides, M. R. C., Cortés, J. A. Z., & Barrios, N. R. (2026). Models for risk management in the procurement process within organizational contexts: A systematic literature review. *Multidisciplinary Reviews, 10*(2), 2027101. https://doi.org/10.31893/multirev.2027101

Bharath, A. A., & Shankar, M. G. (2020). Developing a framework for economically improving the quality of a construction process by Six Sigma. *International Journal Of Six Sigma And Competitive Advantage, 12*(2-3), 294-312. https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2020.110978

Delahoz-Domínguez, E., Zuluaga-Ortiz, R., Periñan-Luna, A., & Mendoza-Brand, S. (2022). Un enfoque de Seis Sigma para evaluar la calidad de la educación superior en Colombia. *Revista De Métodos Cuantitativos Para La Economía Y La Empresa, 33*, 386–407. https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.5313

Fontalvo Herrera, T. J., Banquez Maturana, A. G., & Mendoza Villero, K. (2024). Performance of a concurrent parallel production system through new operating curves of Six Sigma metrics. *Production, 34*, e20230040. https://doi.org/10.1590/0103-6513.20230040

Fontalvo Herrera, T. J., Delahoz-Domínguez, E. J., & Barrios, N. R. (2026). Evaluation and Prediction Methods for a Steel Company Using Six Sigma Metrics, Capability Indicators, and Markov Chains. *Eng*, *7*(8), 383. https://doi.org/10.3390/eng7080383

Fontalvo Herrera, T., Mejia Zambrano, F., & Oyuela Rodríguez, G. (2024). Evaluación con curvas de operación de métricas seis sigma el desempeño de sistemas productivos mixtos. *Investigación E Innovación En Ingenierías, 12*(1), 1–12. https://doi.org/10.17081/invinno.12.1.6680

Fontalvo-Herrera, T., Morelos-Gómez, J., & Simancas-Caicedo, S. A. (2025). Evaluación del desempeño de un sistema de transporte de pasajeros y carga mediante curvas de operación, métricas Seis Sigma y un indicador de capacidad geométrico multivariable. *Saber, Ciencia y Libertad*, *20*(2), 343-373. https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2025v20n2.13214

Garcia Ramos, K. E., & Pareja Huacausi, J. M. (2021). *Análisis de experiencias de la metodología Six Sigma en las organizaciones en los últimos diez años. Una revisión de la literatura*. https://hdl.handle.net/11537/27705

Gutiérrez, J. N. M., Saldivar, D. O., Chumacero, S. M. Q., Cuadros, M. J. L., Curo, G. G., & Dumont, J. R. D. (2021). Estrategia de mejora de procesos Six Sigma aplicado a la industria textil. *Revista De Investigación Científica Y Tecnológica Alpha Centauri, 2*(3), 72–90. https://doi.org/10.47422/ac.v2i3.45

Kumar, S., & Khanduja, D. (2021). Cost of poor quality reduction in auto sector: an exploration with Six-Sigma. International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage, *13*(1-3), 271-288. https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2021.120249

Kumar, S., Brahma, G., Kaur, P., & Gupta, B. K. (2020). A case study on quality improvement of connecting rod assembly line using Six Sigma DMAIC cycle. *International Journal Of Six Sigma And Competitive Advantage, 12*(2-3), 234-249. https://doi.org/10.1504/ijssca.2020.110982

Luna Amador, J. A. (2021). Implementación de la metodología Sigma Seis como herramienta de gestión en el proceso de manejo de equipajes en una aerolínea en la ciudad de Cartagena. *Revista De Jóvenes Investigadores AD Valorem*, *4*(2), 103–120. https://doi.org/10.32997/RJIA-vol.4-num.2-2021-3703

Markowski, T., & Bilski, P. (2021). Optimization of Autonomous Agent Routes in Logistics Warehouse. *International Journal Of Electronics And Telecommunications*, *67*(4), 559-564. https://doi.org/10.24425/ijet.2021.137846

Mendoza, L. P., & Suarez, E. V. (2023b). Lean Six Sigma como herramienta de apoyo en la logística empresarial. Una Revisión Sistemática de la Literatura. *Boletín De Innovación, Logística Y Operaciones, 5(2), 50–61*. https://doi.org/10.17981/bilo.5.2.2023.05

Mittal, S., Khan, M. A., Purohit, J. K., Menon, K., Romero, D., & Wuest, T. (2019). A smart manufacturing adoption framework for SMEs. *International Journal Of Production Research*, *58*(5), 1555-1573. https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1661540

Panayiotou, N. A., & Stergiou, K. E. (2023). Development of a retail supply chain process reference model incorporating Lean Six Sigma initiatives. *International Journal Of Lean Six Sigma*, *14*(1), 209-251. https://doi.org/10.1108/ijlss-04-2021-0079

Pano Nava, C. M., Núñez Piña, F., Zapien Rodríguez, J. M., Lazcano Cortes, G., & Núñez Pérez, F. A. (2022). Lean six sigma para solución de problemas logísticos: caso real terminal de contenedores en Michoacán. *Ciencia Latina Revista*

Científica Multidisciplinar, *6*(1), 511-529. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1515

Pinilla, J. C., Navarrete, F. N., Vergara, K. L., Campos, J. G., Navarrete, T., & Acevedo, J. S. C. (2021). Aplicación de la metodología seis sigma para mejorar la calidad de la estimación de densidad básica de la madera en Acacia mearnsii. *Ciencia & Investigación Forestal, 27*(1), 19–42. https://doi.org/10.52904/0718-4646.2021.470

Purba, H. H., Nindiani, A., Trimarjoko, A., Jaqin, C., Hasibuan, S., & Tampubolon, S. (2021). Increasing Sigma levels in productivity improvement and industrial sustainability with Six Sigma methods in manufacturing industry: A systematic literature review. *Advances in Production Engineering & Management*, *16*(3), 307-325. https://doi.org/10.14743/apem2021.3.402

Ramires, F., & Sampaio, P. (2022). Process mining and lean six sigma: a novel approach to analyze the supply chain quality of a hospital. *International Journal Of Lean Six Sigma*, *13*(3), 594-621. https://doi.org/10.1108/ijlss-12-2020-0226

Ramírez Pérez, J. F., López Torres, V. G., Hernández Castillo, S. A., & Morejón Valdés, M. (2021). Lean six sigma e industria 4.0, una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones: lean six sigma e industria 4.0 en la administración de operaciones. *UNESUM - Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, *5*(4), 151–168. https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v5.n4.2021.584

Robledo-Fernández, J. C., del Carmen Angulo-Vásquez, M., & Cardona-Arbelaez, D. (2025). La Socialización Organizacional como Pilar para la Gestión del Conocimiento en Entidades Promotoras de Salud: Caso Mutualser EPS. *Saber, Ciencia y Libertad*, *20*(1), 315-338. https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2025v20n1.13166

Sáenz, L., Aguilera, K., Heredia, R., Romero, T., Donoso, C., & Singaña, M. (2021). Fragilización de aceros inoxidables dúplex SAF 2205 y SAF 2507 sometidos a tratamientos térmicos de envejecimiento artificial. *Revista Ingeniería UC, 28*(1), 121–128. https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i1.7

Samaranayake, P., McLean, M. W., & Weerabahu, S. K. (2024). Application of lean and quality improvement methods for improving operational performance in coal supply chains: a case study. *International Journal of Quality & Reliability Management*, *41*(6), 1594-1622. https://doi.org/10.1108/IJQRM-04-2023-0138

Sharma, J., Tyagi, M., Panchal, D., & Singh, R. P. (2022). Contemplation of food industry attributes confronted in smooth adoption of Lean Six Sigma practices. *International Journal Of Six Sigma And Competitive Advantage, 14*(1), 32-69. https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2022.124294

Singh, M., & Rathi, R. (2020). Investigation of critical success factors associated with Lean Six Sigma implementation in MSMEs using best worst method. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, *12*(2-3), 209-233. https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2020.110976

Şişman, G. (2023). Implementing Lean Six Sigma methodology to reduce the logistics cost: a case study in Turkey. *International Journal Of Lean Six Sigma*, *14*(3), 610-629. https://doi.org/10.1108/ijlss-02-2022-0054

Veena, T., & Prabhushankar, G. (2020). Identification of Critical Success Factors for implementing Six Sigma methodology and grouping the factors based on ISO 9001:2015 QMS. *International Journal Of Six Sigma And Competitive Advantage, 12*(1), 1-19. https://doi.org/10.1504/IJSSCA.2020.107463

FINANCIACIÓN
Los autores declaran que no se recibieron rubros o financiación para el desarrollo de la presente investigación.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS
Los investigadores certifican que este trabajo se realizó de forma independiente y que no poseen vínculos comerciales o personales que comprometan la integridad ética del manuscrito.

DECLARACIÓN DE USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL
No se utilizó IA en el desarrollo del artículo.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA
Conceptualización: Tomás José Fontalvo Herrera.
Curación de datos: Tomás José Fontalvo Herrera, Viviana Margarita Buelvas Deavila.
Análisis formal: Tomás José Fontalvo Herrera, Diego Alonso Cardona.

Investigación: Tomás José Fontalvo Herrera, Viviana Margarita Buelvas Deavila, Diego Alonso Cardona.
Metodología: Tomás José Fontalvo Herrera.
Administración del proyecto: Tomás José Fontalvo Herrera.
Software: Tomás José Fontalvo Herrera, Viviana Margarita Buelvas Deavila, Diego Alonso Cardona.
Supervisión: Tomás José Fontalvo Herrera, Diego Alonso Cardona.
Validación: Tomás José Fontalvo Herrera, Viviana Margarita Buelvas Deavila, Diego Alonso Cardona.
Visualización: Tomás José Fontalvo Herrera, Viviana Margarita Buelvas Deavila, Diego Alonso Cardona.
Redacción – borrador original: Tomás José Fontalvo Herrera, Viviana Margarita Buelvas Deavila, Diego Alonso Cardona.
Redacción – revisión y edición: Tomás José Fontalvo Herrera, Viviana Margarita Buelvas Deavila, Diego Alonso Cardona.