

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

Evaluating the performance of a passenger and freight transportation system using operating curves, Six Sigma metrics, and a multivariate geometric capacity indicator

Tomás Fontalvo-Herrera¹

Universidad de Cartagena – Cartagena, Colombia
tfontalvoh@unicartagena.edu.co

José Morelos Gómez²

Universidad de Cartagena – Cartagena, Colombia
jmorelosg@unicartagena.edu.co

Sandy-Andrea Simancas-Caicedo³

Universidad de Cartagena – Cartagena, Colombia
ssimancasc@unicartagena.edu.co

Cómo citar/ How to cite: Fontalvo, T., Morelos, J. & Simancas, S. (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. *Revista Saber, Ciencia y Libertad*, 20(2), 343 – 374. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2025v20n2.13214>

Resumen

Esta investigación evalúa el desempeño de un sistema de transporte de carga y pasajeros en contextos operativos variables, aplicando herramientas del Control Estadístico de la Calidad, específicamente

Fecha de recepción: 24 de septiembre de 2025

Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA

Fecha de evaluación: 15 de octubre de 2025

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Fecha de aceptación: 29 de octubre de 2025

Published by Universidad Libre

Artículo resultado del proyecto de investigación: Diseño metodológico para el análisis 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

¹ Doctor Ciencias Sociales - Mención Gerencia, Universidad de Cartagena, Colombia.

² Doctor Ciencias Sociales – Mención Gerencia, Universidad de Cartagena, Colombia.

³ Administrador Industrial, Universidad de Cartagena, Colombia.

la metodología Seis Sigma. Se utilizó un enfoque cuantitativo con métricas como DPMO, n y Y, tanto a nivel del sistema como de procesos internos. También se analizó un indicador de capacidad de calidad geométrico multivariado. Se desarrollaron curvas de operación para hacer un análisis de sensibilidad y observar cómo varía el Nivel Sigma (Z) en distintos escenarios. Esta aproximación permitió identificar puntos críticos y oportunidades de mejora. El estudio se sustentó en artículos científicos publicados desde 2021. Los resultados muestran que el sistema puede alcanzar un Nivel Sigma máximo de 4,57, equivalente a una probabilidad del 99,90 % de funcionamiento sin errores. El indicador obtuvo un valor de 0,88543, reflejando un desempeño excelente. Se concluye que Seis Sigma es útil para mejorar la calidad y apoyar la toma de decisiones.

Palabras clave

Carga; calidad; control estadístico multivariante; curvas de operación; desempeño; nivel sigma; pasajero; seis sigmas; servicios; sistema de control; transporte.

Abstract

This research evaluates the performance of a freight and passenger transportation system in variable operating contexts, applying Statistical Quality Control tools, specifically the Six Sigma methodology. A quantitative approach was used with metrics such as DPMO, n, and Y, both at the system and internal process levels. A multivariate geometric quality capability indicator was also analyzed. Operating curves were developed to perform a sensitivity analysis and observe how the Sigma Level (Z) varies in different scenarios. This approach allowed identifying critical points and opportunities for improvement. The study was based on scientific articles published since 2021. The results show that the system can achieve a maximum Sigma Level of 4.57, equivalent to a 99.90% probability of error-free operation. The indicator obtained a value of 0.88543, reflecting excellent performance. It is concluded that Six Sigma is useful for improving quality and supporting decision-making.

Keywords

Burden; quality; multivariate statistical control; operating curves; performance, sigma level; passenger; six sigma; services; control system; transportation.

Introducción

El funcionamiento eficiente de un sistema de transporte influye directamente en la dinámica del mercado global, ya que este permite mover personas y bienes, lo que facilita el intercambio comercial, impulsa el crecimiento económico, mejora el valor de los productos y conecta distintos territorios, por lo que influye directamente en casi todas las actividades humanas [1]. Ahora bien, para que los servicios de transporte realmente funcionen bien, es fundamental que se gestionen con calidad, en aspectos como la puntualidad, la seguridad y la confianza son muy valorados por los usuarios [2]. Al mismo tiempo, las exigencias del mercado competitivo obligan a las empresas prestadoras de este tipo de servicio a reducir sus costos operativos y aumentar la productividad, lo que requiere implementar herramientas que puedan optimizar y medir sus procesos, por lo que para lograrlo hay que medir y analizar qué tan eficiente es el sistema [3]. En ese contexto, los enfoques direccionalizados a la gestión de la calidad han cobrado gran importancia, como lo es el Control Estadístico de la Calidad, dentro del cual la metodología Seis Sigma se posiciona como unas de las más efectivas, esta técnica se basa en el análisis de datos y el uso de herramientas estadísticas para identificar variaciones en los procesos, tanto en producción como en servicios [4]. Complementariamente la aplicación de indicadores como el limitador de capacidad de calidad geométrico multivariable, permite realizar una evaluación integral del comportamiento del sistema, este tipo de indicador considera múltiples variables de desempeño como el rendimiento promedio, la estabilidad del servicio y otros factores críticos interrelacionados [5]. Evaluar el sistema bajo esta perspectiva, no solo permite verificar los estándares de calidad establecidos, sino también identificar oportunidades de mejora que contribuyan a una operación más eficiente, confiable y sostenible a lo largo del tiempo. De lo anterior la motivación de esta investigación es valorar de manera detallada el desempeño de la calidad, de un sistema destinado tanto al transporte de pasajeros como de carga, se plantea una propuesta que contempla la utilización de hojas de cálculo y un análisis de sensibilidad como herramienta principal para la simulación de distintos escenarios operativos. Lo que a través de esta estrategia se busca

identificar posibles oportunidades de mejora de las curvas de operación de las métricas seis sigmas, al tiempo que se examinan las condiciones específicas que podrían contribuir significativamente a optimizar el rendimiento del sistema en cuestión. Esta evaluación tiene como finalidad disminuir la ocurrencia de errores operacionales o la reducción de las no conformidades presentadas, a la vez que se promueve un mejor desempeño general del servicio [6].

En este contexto, se formulan una serie de preguntas clave que orientan y estructuran el enfoque de la investigación. Entre las más relevantes se encuentran las siguientes: ¿cuál es el procedimiento adecuado para establecer un sistema de medición que permita evaluar la calidad del desempeño en un servicio de transporte?; ¿de qué manera pueden utilizarse las métricas Seis Sigma para valorar dicho desempeño de forma cuantitativa?; ¿cómo es posible diseñar curvas operativas basadas en estas métricas que faciliten el seguimiento del sistema bajo condiciones variables?; ¿Cómo evaluar la calidad integral del sistema con el uso del indicador de capacidad de calidad geométrico multivariado? [7] Con el fin de responder a estas preguntas de investigación, se definieron los principales objetivos de la presente investigación.

i. Diseñar un sistema de control estadístico de la calidad para monitorear el desempeño de la calidad de un sistema de transporte. **ii.** Evaluar el comportamiento del sistema de transporte utilizando indicadores basados en la metodología Seis Sigma. **iii.** Desarrollar curvas operativas que faciliten el seguimiento del desempeño del sistema de transporte en contextos de variabilidad. **iv.** Valorar el desempeño del sistema de transporte por medio de la aplicación del indicador de capacidad de calidad geométrico multivariado. Con base a todo lo anterior el presente artículo se estructura de la siguiente forma.

Marco Teórico

Métricas Seis Sigma para evaluar la calidad de un sistema de transporte

La metodología Seis Sigma proporciona un enfoque integral para evaluar y mejorar la calidad de los procesos a nivel organizacional [8] enfocándose en la reducción sistemática de defectos, la optimización de la eficiencia y el incremento del rendimiento operativo [9] Esta técnica es aplicable en diversos sectores, incluyendo la industria de servicios, donde se analiza el diseño y la ejecución de actividades para determinar la competitividad y calidad del servicio ofrecido [10] el propósi-

to principal consiste en reinterpretar los datos obtenidos para generar iniciativas efectivas que dinamicen la evolución organizacional del sistema , ajustando las ofertas a las exigencias del cliente, erradicando procesos ineficientes del flujo operativo y disminuyendo incidencias en las salidas [11] .En el sector del transporte, la gestión eficaz de la calidad es fundamental para garantizar mejoras en aspectos clave como los tiempos de operación, la capacidad adecuada para movilizar pasajeros y mercancías, y la reducción de daños y pérdidas durante el proceso [12] Además, la aplicación de Seis Sigma en sistemas logísticos ha demostrado beneficios concretos, como la reducción significativa de tiempos de entrega y daños en mercancías, así como la mejora en la satisfacción del cliente [13].

Esta investigación analiza dos clases de servicios de transporte. En relación con el transporte de pasajeros, los usuarios tienden a valorar cómo el sistema responde a sus necesidades, especialmente cuando se implementan soluciones más Ajustadas a sus preferencias [14] En cuanto al transporte de carga, este cumple un papel clave en la gestión eficiente del movimiento de mercancías, aportando al valor de los productos mediante el traslado de bienes y materias primas a diversas distancias. [15] Para ello, se utilizan diferentes métodos de transporte adaptados a las particularidades de las cargas y las rutas, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes [16]. La percepción de calidad en los servicios de transporte está directamente relacionada con la experiencia del cliente y suele evaluarse mediante criterios subjetivos que reflejan cómo los usuarios interpretan el cumplimiento de ciertos estándares por parte del sistema [17] Estos criterios varían según el enfoque del estudio, e incluyen elementos como infraestructura, eficiencia, accesibilidad y costos [18] Una administración de calidad eficiente no solo incrementa la satisfacción del cliente, sino que también ayuda a disminuir costos y a optimizar la productividad en las operaciones [19].

Control estadístico para la mejora de procesos mediante métricas Seis Sigma

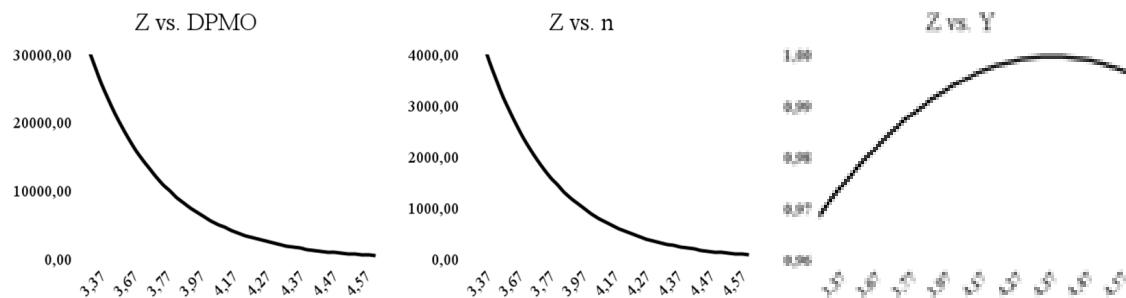
El control estadístico de las métricas de seis sigma es una herramienta fundamental dentro de la administración de la calidad orientada al monitoreo, análisis y mejora continua de los procesos productivos o de servicios [20] Su principal función es identificar variaciones en los procesos que puedan afectar la calidad del producto o servicio final, diferenciando entre causas comunes y causas especiales [21] Esta distinción permite implementar acciones correctivas adecuadas, con el fin de mantener la estabilidad operativa y reducir errores o desperdicios [22] Esta metodología ha sido ampliamente adoptada en diversos sectores como una estrat-

tegia eficaz para mejorar la calidad, reducir la variabilidad y aumentar la satisfacción del cliente, así mismo se basa en un enfoque estadístico riguroso que permite medir el desempeño de los procesos a través de métricas específicas como el nivel sigma, el valor DPMO (Defectos por Millón de Oportunidades), y los rendimientos [23]. Estas métricas facilitan la evaluación objetiva del desempeño del proceso y su alineación con los estándares de calidad establecidos el control estadístico de las métricas Seis Sigma permite una supervisión sistemática, basada en datos reales, que favorece la toma de decisiones informadas [24]. A través del uso de gráficos de curvas de operación, análisis de defectos y estudios de correlación [25] Las organizaciones pueden detectar desviaciones tempranas, minimizar desperdicios, reducir costos y garantizar una mejora continua. Además, esta combinación proporciona una base sólida para implementar el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) la aplicación del control estadístico de las métricas Seis Sigma fortalece la cultura de calidad dentro de las organizaciones, al enfocarse en la optimización de los procesos desde una perspectiva científica y estructurada [26] Este enfoque no solo mejora los resultados operativos, sino que también contribuye a elevar la competitividad, la productividad y la fidelización del cliente en el mediano y largo plazo [27].

Curvas de operación de métricas Seis Sigma

Las curvas operativas asociadas a las métricas Seis Sigma establecen una representación gráfica que vincula el comportamiento de indicadores clave (DPMO, cantidad de defectos n y rendimiento Y) con la evolución del desempeño del proceso dentro de un rango específico. Este intervalo abarca desde el nivel Sigma Z mínimo hasta el máximo que el sistema puede alcanzar para optimizar sus operaciones, A través de estas gráficas, es posible realizar un seguimiento visual integral de los procesos, identificando con precisión áreas críticas que requieren intervención [28]. Esta metodología facilita la toma de decisiones basada en datos confiables, permitiendo ajustar las condiciones operativas del sistema de manera holística, al integrar el análisis de todos sus subprocesos, la elaboración de estas curvas se fundamenta en el cálculo de las variaciones de las métricas Seis Sigma, utilizando algoritmos que modelan su comportamiento bajo diferentes escenarios de calidad, el cual está sujeto a condiciones de variabilidad dentro de un rango del nivel de desempeño de calidad sigma Z comprendido de 0 y 6 [29].

Gráfico 1. Curva de operación Z vs DOMO; **Gráfico 2.** Z vs n; **Gráfico 3.** Curva de operación Z vs Y.



Fuente: elaboración propia de los autores

Indicador de capacidad de calidad geométrico multivariable

El indicador de capacidad de calidad geométrico multivariable es una medida estadística utilizada para evaluar el desempeño global de un proceso cuando este depende de múltiples variables interrelacionadas [30]. Su propósito es determinar si el proceso opera dentro de un rango aceptable de variación y calidad, considerando la correlación entre las variables que influyen en los resultados, así mismo, Esta herramienta permite representar el comportamiento del sistema en un espacio multidimensional, facilitando el análisis de estabilidad y conformidad del proceso respecto a los objetivos de calidad establecidos [31].

Este indicador se alinea con los principios de Six Sigma, ya que permite cuantificar el grado en que un proceso cumple con los niveles de calidad requeridos, ayudando a identificar variaciones no deseadas, optimizar el desempeño, y reducir defectos en función de estándares estadísticos exigentes [32]. La cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CM = \frac{1}{\sqrt[k]{\prod_{j=1}^k P_j^{1/k}}} \quad (1)$$

Esta nueva herramienta utiliza el promedio geométrico de las unidades que cumplen con los estándares en las k dimensiones consideradas para el control de calidad, por lo que facilita la estimación del porcentaje promedio de unidades no conformes en las k dimensiones, haciendo uso de las métricas propias del enfoque Seis Sigma.

Metodología

Esta investigación se desarrolla desde un enfoque cuantitativo y se enmarca dentro de un tipo de investigación básica, centrada en el análisis del sistema de transporte de pasajeros y carga. En este contexto, se diseña un modelo de control de calidad aplicado al sistema, utilizando un análisis lógico y propositivo. El objetivo principal es establecer curvas operativas basadas en el control estadístico de calidad, apoyadas en las métricas de Seis Sigma y fundamentos matemáticos. Para medir el desempeño del sistema propuesto, se consideran las variables de entrada y salida, así como las métricas de Seis Sigma definidas en el modelo de control estadístico. Esto permitió evaluar la calidad del sistema a través del nivel sigma global, el cual se situó entre 3.0 (indicando un bajo desempeño) y 4.57 (indicando un alto desempeño), según las métricas Z de Seis Sigma. De esta forma, se analizó tanto la calidad general del sistema como la de sus procesos mediante las curvas operativas construidas con base en dichas métricas. Para llevar a cabo la investigación y alcanzar los objetivos planteados, se establecieron nueve fases estratégicas organizadas en ocho actividades principales:

- I) Estudio detallado del diagrama del proceso.
- II) Determinación de las variables involucradas.
- III) Obtención de los valores de U, Z, N y Y.
- IV) Estandarización de los valores correspondientes a N.
- V) Construcción de las gráficas de operación.
- VI) Evaluación individual de los procesos utilizando indicadores del enfoque Seis Sigma.
- VII) Análisis integral del sistema completo a través de métricas Seis Sigma.
- VIII) Redacción de conclusiones finales.

Estas fases fueron implementadas con el propósito de obtener los resultados esperados. Asimismo, para realizar un análisis estructurado y sistemático de los procesos y del sistema de transporte de pasajeros y carga (Ver Figura 1), se utilizaron las variables y métricas del enfoque Seis Sigma, detalladas en la Tabla 1, correspondiente.

Tabla 1.

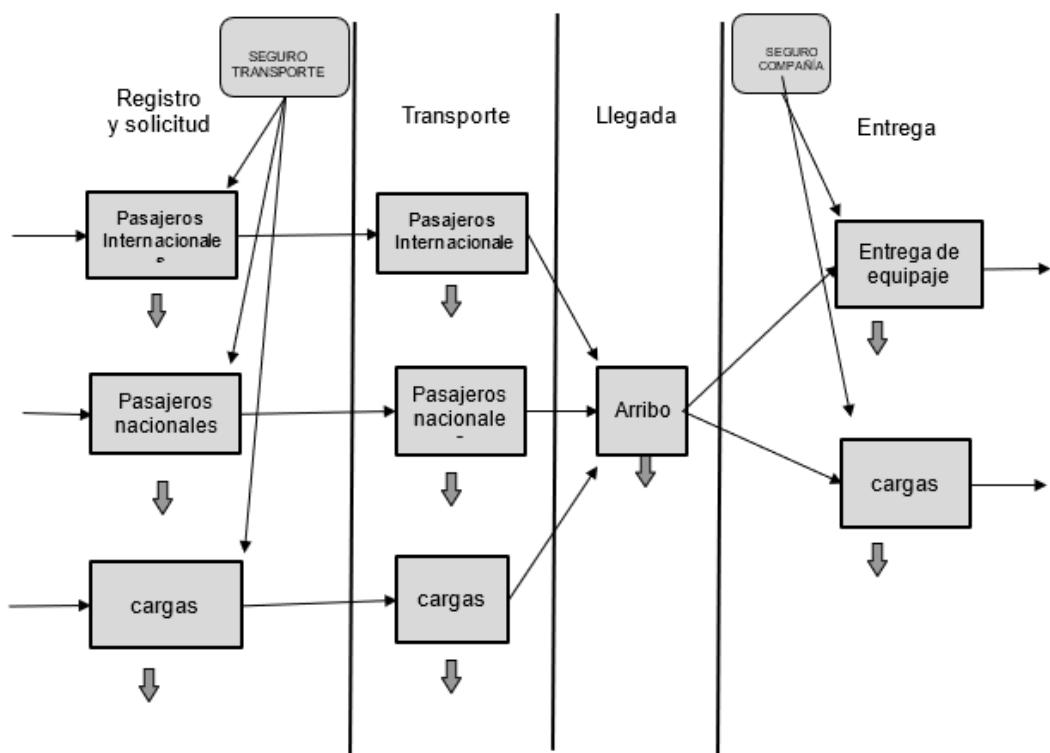
Métricas seis sigma usadas para comparar el desempeño de los sistemas

| MÉTRICAS | DEFINICIÓN |
|----------|---|
| DPMO | Cantidad de defectos por millón de oportunidades |
| U | Cantidad de unidades críticas revisadas |
| O | Oportunidad de error por unidad |
| Z | Nivel sigma o nivel de desempeño de la calidad para el proceso evaluado |
| N | Número de no conformidades o fallas presentes en el proceso |
| Y | Rendimiento del proceso |

Fuente: elaboración propia

Figura 1.

Sistema de transporte de pasajero y carga



Fuente: elaboración propia

Para poder definir adecuadamente el flujo de operaciones en la prestación del servicio de transporte, es esencial tener un conocimiento detallado del sistema, en especial sobre cómo están distribuidos los servicios. Por esta razón, antes de proceder con una evaluación del desempeño, es indispensable analizar su estructura operativa. El sistema objeto de estudio está conformado por cuatro etapas y un total de nueve procesos, los cuales se ilustran en la Figura 1.

Desde el inicio, esta tiene un funcionamiento determinado por un Nivel Sigma, que define la cantidad esperada de servicios no conformes en cada proceso. En la primera etapa, identificada como ‘Solicitud y registro’, operan tres procesos de manera paralela: uno destinado a los pasajeros internacionales, otro a los pasajeros nacionales y un tercero enfocado en el manejo de cargas. Cada uno de estos procesos recibe un porcentaje proporcional del total de usuarios o mercancías a transportar, correspondiente a un seguro que actúa como medida de protección tanto para los individuos como para sus pertenencias.

La segunda etapa, denominada ‘Transporte’, también involucra tres procesos simultáneos, los cuales se encargan exclusivamente de aquellas solicitudes y registros que fueron aceptados en la fase anterior. Después de completar el traslado de pasajeros y carga desde el origen hasta el destino, la tercera etapa, ‘Llegada al destino’, se responsabiliza de recibir los transportes realizados exitosamente, en el proceso de arribo. Luego los servicios que cumplen con los criterios establecidos son canalizadas hacia la cuarta y última etapa, ‘Entrega’, en la cual se llevan a cabo dos procesos paralelos relacionados con la entrega de equipajes y de carga, que a su vez se le proporciona porcentaje de un seguro de la compañía que garantiza estos procesos, cuando llega a su destino final.

Para llevar a cabo la investigación, se consideró fundamental determinar inicialmente la cantidad de servicios y productos defectuosos por cada millón de oportunidades (DPMO) que genera el sistema en su totalidad. Este cálculo se realizó utilizando la ecuación 2 descrita en las métricas de Seis Sigma.

$$DPMO_G = e^{\frac{29,3 - (z - 0,8406)^2}{2,221}} \quad (2)$$

Más adelante, se estableció el número total de servicios y productos que ingresan al sistema (U_g). Cabe destacar que, para la fase de solicitud y registro, es necesario definir el total de servicios que ingresan a cada proceso como:

$$U'_i = U_i + ST_i; i = 1, \dots, 3 \quad (3)$$

Donde ST_i corresponde al número de seguros que ingresaron en cada uno de los procesos de la fase de solicitud y registro, y se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} ST_1 &= 0,8 * U_1 \\ ST_2 &= 0,6 * U_2 \\ ST_3 &= U_3 \end{aligned} \quad (4)$$

En este sentido, el valor de U_g depende de la cantidad de pasajeros internacionales (U_1), nacionales (U_2), carga (U_3) y seguros (ST) que ingresan a la fase de solicitud y registro, por lo que su cálculo se realizó utilizando la siguiente fórmula:

$$U_g = U'_1 + U'_2 + U'_3 + ST'_1 + ST'_2 + ST'_3 \quad (5)$$

Una vez calculados $DPMO_g$ y U_g , se procedió a calcular la cantidad de servicios no conformes del sistema, aplicando la fórmula general de n_g :

$$n_g = \frac{DPMO_g * U_g * O_g}{1.000.000} \quad (6)$$

Una vez que se determinó la cantidad total de servicios y productos defectuosos generados en el sistema, se utilizó este valor y la relación entre los procesos para calcular los defectos por proceso mediante un balance global de defectos.

$$\begin{aligned} n_2 &= 2n_1 \\ n_3 &= \frac{1}{20}n_1 \\ n_4 &= \frac{1}{3}n_1 \\ n_5 &= \frac{1}{5}n_1 \\ n_6 &= 2 * (\frac{1}{20})n_1 \\ n_7 &= \frac{1}{10}n_1 \\ n_8 &= \frac{n_1}{\frac{10}{3}} \\ n_9 &= \frac{\frac{n_1}{20}}{4} \end{aligned} \quad (7)$$

Como puede observarse, todas las ecuaciones están vinculadas a la variable n_1 . A partir de esta relación, la fórmula general para determinar (n_G) se establece de la siguiente forma:

$$n_G = n_1 + 2n_1 + \frac{1}{20}n_1 + \frac{1}{3}n_1 + \frac{1}{5}n_1 + 2 * \frac{1}{20}n_1 \\ + \frac{1}{10}n_1 + \frac{\frac{n_1}{10}}{3} + \frac{\frac{n_1}{20}}{4} \quad (8)$$

La resolución de la ecuación (7) permitió expresar la cantidad de unidades defectuosas correspondientes al proceso de solicitud y registro de pasajeros internacionales (n_1).

$$n_1 = \frac{n_G}{3.8291\epsilon} \quad (9)$$

Tras obtener el valor de n_1 , se procedió a determinar la cantidad de servicios y productos no conformes generadas en los demás procesos utilizando las ecuaciones (7).

Con el fin de establecer la cantidad de unidades que ingresan a los procesos posteriores a la fase de solicitud y registro, se determinaron las unidades transferidas a cada uno de ellos, como se muestra a continuación

$$U_4 = U_1' - n_1 \quad (10)$$

$$U_5 = U_2' - n_2 \quad (11)$$

$$U_6 = U_3 - n_3 \quad (12)$$

$$U_7 = U_4 + U_5 + U_6 - n_4 - n_5 - n_6 \quad (13)$$

Conforme a lo representado en la Fig. 1, la salida de la etapa de llegada al destino se reparte de manera equitativa en dos partes, cada una destinada a un proceso diferente dentro de la fase de entrega. En consecuencia, se genera la siguiente ecuación:

$$U_8 = U_9 = \frac{(U_7 - n_7)}{2} \quad (14)$$

Cabe destacar que, para la última fase de entrega de equipaje y carga, mencionada anteriormente se debe incluir el valor porcentual del seguro de la compañía,

aplicado a estos dos últimos procesos, donde S_7 representa el número de salidas de la fase de llegada a destino.

$$Sc_8 = 50\%S_7$$

$$Sc_9 = 50\%S_7 \quad (15)$$

Además, se utilizaron los resultados de n para calcular las cantidades de DPMO generadas en cada proceso mediante la ecuación.

$$DPMO = \frac{n}{n*o} * 1.000.000 \quad (16)$$

Para calcular el Nivel Sigma correspondiente a cada servicio, el valor de $DPMO$ de cada uno, se reemplazó en la fórmula Z :

$$Z = \sqrt{29,3 - 2,221 * \ln \ln DPMO + 0,8406} \quad (17)$$

La última métrica, considerada en la investigación, se calculó para determinar el rendimiento de cada servicio mediante la siguiente fórmula:

$$Y = 1 - \frac{n}{n*o} * 100\% \quad (18)$$

Todo este procedimiento se replicó utilizando distintos niveles de sigma, para el sistema de transporte de cargas y pasajeros con el objetivo de comparar el desempeño del sistema bajo cada condición. Para ello, los datos fueron gestionados de forma aleatoria dentro de la escala sigma permitida por el modelo. La evaluación del rendimiento se basó en los criterios definidos en la Tabla 2.

Tabla 2.

Criterios de desempeño para el sistema de transporte de pasajeros y carga

| NIVEL SIGMA (Z) | DESEMPEÑO(D) |
|-----------------------|---------------|
| $Z < 3,0$ | Deficiente |
| $3,0 \leq Z \leq 3,5$ | Aceptable |
| $3,5 \leq Z \leq 4,6$ | Sobresaliente |
| $Z > 4,6$ | Excelente |

Fuente: elaboración propia

Después de calcular los rendimientos individuales de la variable de respuesta Y en cada una de las observaciones realizadas, se procedió a obtener los promedios de rendimiento correspondientes a cada uno de los 9 servicios del sistema de transporte de pasajeros y carga. Considerando que cada proceso está caracterizado por 4 fases clave del desempeño, lo que permitió aplicar el indicador de capacidad de calidad geométrico multivariante a través de la siguiente ecuación:

$$MCp = \frac{1}{3} \emptyset \left[\frac{(Y_1 * Y_2 * Y_3 * Y_4 * Y_5 * Y_6 * Y_7 * Y_8 * Y_9)}{2} \right] \frac{1}{N} + 1 \quad (11)$$

Seguidamente, se describen los criterios empleados para interpretar el desempeño del indicador multivariante geométrico dentro del sistema evaluado (Ver Tabla 3).

Tabla 3.

Criterios del indicador para el sistema de transporte de pasajeros y carga

| MCPI | DESEMPEÑO |
|--------------|---------------|
| ÍNDICE < 0,5 | Deficiente |
| ÍNDICE ≤ 0,7 | Aceptable |
| ÍNDICE ≤ 0,9 | Excelente |
| ÍNDICE > 0,9 | Sobresaliente |

Fuente: elaboración propia

Resultados

Este estudio analizó un sistema de Transporte de pasajeros y carga, utilizando métricas Seis Sigma y curvas de operación para evaluar su desempeño en distintos escenarios. Se emplearon métricas como DPMO Z, Y y N, que permitieron visualizar el comportamiento de los procesos y del sistema global, destacando cómo el índice Z mínimo y máximo influye en la tasa de defectos, las no conformidades y la productividad. Además, como parte del análisis integral, se evaluó el comportamiento del indicador de capacidad de calidad geométrico multivariado, resultados presentadas a continuación en cada proceso.

Métricas Seis Sigma aplicadas a cada proceso y al sistema de transporte de cargas y pasajeros

La calidad del sistema y de sus nueve procesos fue evaluada bajo condiciones operativas que consideran un Nivel Sigma Z mínimo (aceptable) de 3,00. Esta evaluación se realizó utilizando métricas de Seis Sigma, lo que permitió evidenciar diferencias significativas entre las distintas fases y procesos del sistema, tal como se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4.

Valores mínimos de las métricas seis sigmas

| Métricas Seis Sigma (valores mínimos) | | | | | |
|---------------------------------------|----------------------|--------|--------|--------|-----------|
| Proceso | n | DPMO | Z | Y | Desempeño |
| Sistema global | 10.117 | 65.693 | 3,00 | 93,43% | Aceptable |
| Solicitud y registro | Pasajeros int | 2.642 | 88.067 | 2,84 | 91,19% |
| | Pasajeros nac | 5.284 | 88.067 | 2,84 | 91,19% |
| Transporte | Cargas | 132 | 66.050 | 3,00 | 93,39% |
| | Pasajeros int | 881 | 17.148 | 3,61 | 98,29% |
| | Pasajeros nac | 528 | 5.825 | 4,01 | 99,42% |
| | Cargas | 264 | 68.306 | 3,0 | 93,17% |
| Llegada al destino | Llegada al destino | 264 | 1.831 | 4,39 | 99,82% |
| | Entrega de equipajes | 88 | 815 | 4,64 | 99,92% |
| | Entrega de cargas | 33 | 306 | 4,91 | 99,97% |

Fuente: elaboración propia

El análisis del desempeño del sistema, considerando los valores mínimos de las métricas Seis Sigma, revela variaciones significativas en las diferentes etapas, como se logra visualizar en la tabla 5.

En la primera etapa del sistema, se observa un desempeño notablemente bajo, lo cual se refleja en la ineficiencia de los procesos de solicitud y registro. Estos procesos operan con niveles Sigma Z de 2.84 para los pasajeros internacionales e igualmente para los pasajeros nacionales, lo que se traduce a tasas de no conformidades altas de 10.117 y 2.642, las cargas con nivel sigma de 3.0 y fallas de 132. Estos valores representan los niveles Sigma Z más bajos dentro de todo el sistema,

siendo los únicos procesos que se encuentran en esta categoría, manteniendo un desempeño deficiente y aceptable en esta fase inicial.

Durante la segunda etapa, el rendimiento de los procesos es considerado bueno, con un aumento en comparación con la fase anterior. En este periodo, el transporte de pasajeros internacionales alcanza un nivel Sigma Z de 3.61, con unidades considerablemente de no conformidades de 881, mientras que el transporte de pasajeros nacionales un 4,01 y el de carga se mantiene en 3.00 respectivamente, con fallas un poco altas de 528 y 264, lo que indica una calidad sobresaliente y aceptable. Por otro lado, las etapas correspondientes a la llegada al destino, la entrega de equipajes y cargas muestran un nivel de desempeño sobresaliente y excelente. El proceso de arribo o llegada al destino alcanza un nivel Sigma Z de 4.39, demostrando una alta eficiencia en esta fase y no conformidades de 264 igual al proceso anterior. Además, los procesos de entrega de equipajes y de cargas evidencian niveles Sigma Z aún más elevados, con valores de 4.64 y 4,91, respectivamente, lo que indica una calidad superior y una reducción significativa en la ocurrencia de servicios no conformes en 88 y 33.

Una vez realizada la evaluación general del desempeño del sistema y de sus procesos, se estableció un nivel Sigma Z global de 3.00, que se considera aceptable para el funcionamiento del sistema, lo que generó no conformidades de 10.117 y un DPMO de 65.693 y rendimientos de 93,43% clasificado como aceptable. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad en el que se modifica este valor para examinar cómo afectaba la capacidad y la calidad del sistema. Este análisis permitió identificar que el nivel Sigma Z máximo que el sistema puede alcanzar, optimizando la utilización de sus recursos y minimizando las fallas en los procesos, es de 4.57. Este resultado se presenta detalladamente en la Tabla 5 y representa un punto óptimo para equilibrar la eficiencia y la calidad operativa del sistema.

Tabla 5.

Valores máximos de las métricas seis sigmas

| Proceso | n | Métricas Seis Sigma (valores máximos) | | | | Desempeño |
|----------------|-----|--|------|--------|---------------|-----------|
| | | DPMO | Z | Y | | |
| Sistema global | 157 | 1.023 | 4,57 | 99,90% | Sobresaliente | |

| Métricas Seis Sigma (valores máximos) | | | | | | |
|--|---------------|----|-------|------|---------|---------------|
| Proceso | | n | DPMO | Z | Y | Desempeño |
| Solicitud y registro | Pasajeros int | 41 | 1.371 | 4,48 | 99,86% | Sobresaliente |
| | Pasajeros nac | 82 | 1.371 | 4,48 | 99,86% | Sobresaliente |
| | Cargas | 2 | 1.028 | 4,57 | 99,90% | Sobresaliente |
| Transporte | Pasajeros int | 14 | 254 | 4,96 | 99,97% | Excelente |
| | Pasajeros nac | 8 | 86 | 5,25 | 99,99% | Excelente |
| | Cargas | 4 | 1.029 | 4,6 | 99,90% | Excelente |
| Llegada al destino | | 4 | 27 | 5,53 | 100,00% | Excelente |
| Entrega de equipajes | | 1 | 12 | 5,72 | 100,00% | Excelente |
| Entrega de cargas | | 1 | 4 | 5,94 | 100,00% | Excelente |

Fuente: elaboración propia

El análisis del desempeño del sistema, considerando los valores máximos de las métricas Seis Sigma, revela variaciones significativas en las diferentes etapas. Al implementar un Nivel Sigma Z de 4.57, el sistema experimenta una transición de un desempeño adecuado a uno excepcional. En los procesos iniciales de solicitud y registro, se alcanza un desempeño óptimo al establecer niveles Sigma Z de 4,48, reduciendo los servicios no conformes para pasajeros internacionales a 41, nacionales a 82 y las cargas con un nivel sigma de 4,57, eliminando 2 fallas, lo que refleja una operación altamente eficiente.

En la etapa de transporte, se observan mejoras sustanciales, en internacionales sube el nivel sigma a 4,96 logrando disminuir a tan solo 14 servicios no conformes, para nacionales registra un nivel sigma de 5,25 y una reducción de servicios no conformes de 8, particularmente en el manejo de cargas, donde el nivel Sigma Z aumenta de un rango aceptable a 4.6, logrando reducir significativamente tan solo 4, clasificándose esta etapa en un desempeño excelente. Las fases finales del proceso (llegada y entrega) consolidan su eficacia al elevar sus métricas Sigma Z de 5.53 para la llegada al destino y reducir al igual que el proceso anterior 4 servicios no conformes, para la entrega de equipajes un nivel sigma de 5,72 y 5.94 para la entrega de cargas, logrando estos dos últimos procesos reducir a tan solo 1 servicio no conforme del sistema, manteniendo estándares de excelencia operativa y posicionándolos como los más eficientes del sistema. Este resultado contrasta con la solicitud y registro, que requiere atención para elevar sus estándares de calidad, aunque mantiene un desempeño sobresaliente.

Análisis de curvas de operación de fallas en los procesos (η) para cada Nivel Sigma Z

Mediante un estudio de sensibilidad basado en curvas operativas, se logró cuantificar la reducción necesaria de defectos en los procesos para superar el nivel Sigma Z global aceptable de 3.00 y alcanzar el nivel de calidad de 4.57 (clasificado como sobresaliente), según los datos expuestos en la Tabla 2. En el marco del sistema analizado, las no conformidades identificadas se vinculan a problemáticas como el procesamiento incorrecto de solicitudes, errores en los registros, fallas durante los traslados e incumplimientos en los tiempos de entrega. Esta evaluación permitió establecer los umbrales críticos de mejora requeridos para optimizar el desempeño global del sistema, identificando específicamente las áreas donde la mitigación de errores impacta directamente en la elevación del nivel Sigma Z. Los resultados destacan la necesidad de implementar controles más rigurosos en las etapas de gestión de solicitudes, precisión en los registros, eficiencia logística durante los traslados y cumplimiento de los protocolos de entrega, con el fin de alcanzar el nivel óptimo de calidad operativa (Ver Tabla 6).

Tabla 6.

No conformidades a reducir

| No conformidades (n) | | | | | |
|----------------------|----------------------------|---------|--------|---------|---------|
| Proceso | Z(mín) | n (mín) | Z(máx) | n (máx) | Reducir |
| Sistema global | 3,00 | 10.117 | 4,57 | 157 | 9.959 |
| Solicitud y registro | Pasajeros int | 2,84 | 2.642 | 4,48 | 41 |
| | Pasajeros nac | 2,84 | 5.284 | 4,48 | 82 |
| Transporte | Cargas | 3,00 | 132 | 4,57 | 2 |
| | Pasajeros int | 3,61 | 881 | 4,96 | 14 |
| | Pasajeros nac | 4,01 | 528 | 5,25 | 8 |
| Llegada al destino | Cargas | 3,0 | 264 | 4,6 | 4 |
| | Llegada al destino | 4,39 | 264 | 5,53 | 4 |
| | Entrega de equipajes | 4,64 | 88 | 5,72 | 1 |
| Entrega de cargas | Entrega de cargas | 4,91 | 33 | 5,94 | 1 |
| | Fuente: elaboración propia | | | | |

Las mejoras acumulativas permitieron al sistema global alcanzar un funcionamiento sobresaliente y excelente, si reduce 9,959 los servicios no conformes del sistema de transporte, logrando una variación Sigma Z global de 3.00 a 4.57. Este salto cualitativo no solo refleja una gestión más eficiente, sino también una reducción sustancial de costos operativos y un incremento en la satisfacción de los usuarios, según los parámetros técnicos establecidos.

En la etapa inicial de Solicitud y registro, la cual reducen 2,601 servicios no conformes en Pasajeros internacionales y 5,202 en Pasajeros nacionales, conduciendo a un aumento del nivel Sigma Z de 2.84 a 4.48 en ambos procesos, representando una mejora sustancial en su desempeño. Asimismo, la eliminación de 130 servicios no conformes en el proceso de Cargas reflejándose en un incremento del Sigma Z de 3.00 a 4.57 optimizando su operatividad, lo que mantuvo a esta fase en un funcionamiento sobresaliente.

En la fase de Transporte, se redujo 867 servicios no conformes en Pasajeros internacionales, lo que incrementa su nivel Sigma Z de 3.61 a 4.96, mientras que la reducción de 520 en Pasajeros nacionales lo elevaría de 4.01 a 5.25, marcando una diferencia significativa en la calidad del servicio. Para el Transporte de cargas, la eliminación de 260 servicios no conformes llevaría su Sigma Z de 3.00 a 4.6, pasando así a un desempeño excelente a todos los procesos en esta fase.

Respecto a la fase de Llegada al destino, se debe reducir 260 servicios no conformes, lo que permitiría que su nivel Sigma Z aumente de 4.39 a 5.53, alcanzando un desempeño sobresaliente.

En la etapa final de entrega, se debe de reducir 87 servicios no conformes en Equipajes, lo que se refleja en la elevación de su Sigma Z de 4.64 a 5.72, y la eliminación de 33 servicios no conformes en Cargas lo incrementa de 4.91 a 5.94, este último representando el máximo nivel posible de todo el sistema.

Análisis de curvas de operación de defectos por millón de oportunidades (DPMO) para cada Nivel Sigma Z

Se incorporó el indicador DPMO (defectos por millón de oportunidades), evaluando su comportamiento mediante gráficos operativos. La tabla 5 detalla la reducción necesaria de servicios no conformes por millón de oportunidades para

superar el Sigma Z global de 3.00 (aceptable) y alcanzar el nivel máximo de 4.57 (sobresaliente) que el sistema puede asumir (Ver Tabla 7).

Tabla 7.

Defectos por millón de oportunidades a reducir.

| Defectos por millón de oportunidades (DPMO) | | | | | |
|---|---------------|------------|--------|------------|---------|
| Proceso | Z(mín) | DPMO (mín) | Z(máx) | DPMO (máx) | Reducir |
| Sistema global | 3,00 | 65.693 | 4,57 | 1.023 | 64.670 |
| Solicitud y registro | Pasajeros int | 2,84 | 88.067 | 4,48 | 1.371 |
| | Pasajeros nac | 2,84 | 88.067 | 4,48 | 1.371 |
| | Cargas | 3,00 | 66.050 | 4,57 | 1028 |
| Transporte | Pasajeros int | 3,61 | 17.148 | 4,96 | 254 |
| | Pasajeros nac | 4,01 | 5.825 | 5,25 | 86 |
| | Cargas | 3,0 | 68.306 | 4,6 | 1.029 |
| Llegada al destino | 4,39 | 1.831 | 5,53 | 27 | 1.805 |
| Entrega de equipajes | 4,64 | 815 | 5,72 | 12 | 804 |
| Entrega de cargas | 4,91 | 306 | 5,94 | 4 | 301 |

Fuente: elaboración propia

La calidad operativa demostrada a través del análisis de sensibilidad en las curvas de operación, logró demostrar en cada proceso, comenzando como en la fase inicial, esta puede escalar de un nivel deficiente y aceptable a uno sobresaliente mediante la reducción de 86.696 incidencias por millón de oportunidades en solicitudes y registros de pasajeros internacionales y nacionales, lo cual tiene un impacto en el nivel de Z de 2.84 a 4.48. Para el proceso de cargas, se requiere eliminar 65.022 servicios no conformes por millón de oportunidades, dando como resultado una elevación del nivel Sigma Z de 3.00 a 4.6 en este caso. En la etapa de transporte, alcanzar un rendimiento excelente exige disminuir 16.894 trasladados no conformes por millón para pasajeros internacionales y 5.739 para nacionales, reflejándose en un nivel Z de 4,96 y 5,25. En cuanto al transporte de cargas, la excelencia se logra al suprimir 67.278 servicios no conformes por millón de oportunidades, generando un incremento del nivel Sigma Z de 4.6. Las fases finales (llegada y entrega) mantienen su desempeño óptimo al reducir 1.805 fallos por millón en llegadas, 804 en entregas de equipajes y 301 en cargas, lo que permite escalar sus Sigma Z a 5.53, 5.72 y 5,94, respectivamente. Estas mejoras acumulativas permitirían al sistema reducir 64.670 servicios defectuosos por millón de

oportunidades, lo cual se traduce en un aumento del nivel Sigma Z global de 4.57. Este avance refleja una optimización integral que equilibra eficiencia operativa y calidad del servicio.

Análisis de curvas de operación de porcentaje de rendimiento (Y) para cada Nivel Sigma Z

El estudio incorporó el indicador de rendimiento (Y), definido como el porcentaje de servicios libres de defectos generados durante la operación. Este parámetro se analizó mediante gráficos operacionales, evaluando su relación con el Sigma Z global para determinar el incremento porcentual requerido en Y que permita alcanzar el nivel Sigma Z máximo del sistema (Tabla 8).

Tabla 8.

Rendimiento aumentar

| Rendimiento (Y) | | | | | |
|------------------------|----------------------|---------|--------|---------|---------------|
| Proceso | Z(mín) | Y (mín) | Z(máx) | Y (máx) | Aumentar |
| Solicitud y registro | Sistema global | 3,00 | 93,43% | 4,57 | 99,90% 6,47% |
| | Pasajeros int | 2,84 | 91,19% | 4,48 | 99,86% 8,67% |
| | Pasajeros nac | 2,84 | 91,19% | 4,48 | 99,86% 8,67% |
| Transporte | Cargas | 3,00 | 93,39% | 4,57 | 99,90% 6,50% |
| | Pasajeros int | 3,61 | 98,29% | 4,96 | 99,97% 1,69% |
| | Pasajeros nac | 4,01 | 99,42% | 5,25 | 99,99% 0,57% |
| Llegada al destino | Cargas | 3,0 | 93,17% | 4,6 | 99,90% 6,73% |
| | Entrega de equipajes | 4,39 | 99,82% | 5,53 | 100,00% 0,18% |
| | Entrega de cargas | 4,64 | 99,92% | 5,72 | 100,00% 0,08% |
| Entrega de equipajes | Entrega de cargas | 4,91 | 99,97% | 5,94 | 100,00% 0,03% |

Fuente: elaboración propia

El sistema de transporte de pasajeros y carga puede alcanzar un desempeño de calidad excepcional, pasando de una variación nivel sigma Z de 3,00 a 4.57, mediante un incremento del 6.47% en su rendimiento operativo global, de esta manera pasa de un funcionamiento aceptable a sobresaliente, por lo que, para lograrlo, cada fase requiere ajustes específicos:

Para la fase de solicitudes y registros: La tasa de éxito debe aumentar un 8.67%, con nivel sigma de 4.48 en procesos internacionales y nacionales, para las cargas un 6,50%, alcanzando un nivel sigma de 4.57, lo que clasificó a estos procesos en un funcionamiento sobresaliente.

En la fase de transporte, los trasladados exitosos necesitan mejorar un 1,69% para pasajeros internacionales, un 0,57% para nacionales, con niveles sigma superiores a 4.9 y un 6.73% para cargas, destacando una mejora considerable pasando de 3.0 a 4.6, en la llegada y la entrega, garantizan el 100% de éxito en arribos y entregas exige incrementos mínimos pero críticos: 0.18% en llegadas, 0.08% en entrega de equipajes y 0.03% en cargas, con niveles sigma superiores a 5.00 Este enfoque sistémico permite optimizar cada eslabón de la cadena logística, desde la gestión inicial de solicitudes hasta la etapa final de entrega, asegurando un desempeño homogéneo y sostenible.

Análisis del Indicador de capacidad de calidad geométrico multivariable para el sistema de transporte de pasajeros y carga.

El estudio incorporó el indicador de capacidad de calidad geométrica con el objetivo de valorar el desempeño global del sistema, calculado a partir del promedio de la variable de respuesta Y para los nueve procesos que componen el sistema, bajo un enfoque multivariado alineado con las métricas de Seis Sigma (Ver Tabla 9).

Tabla 9.

Promedio de Y de cada proceso

| | Proceso | Promedio Y | |
|----------------------|---------------|------------|----------|
| Solicitud y registro | Pasajeros int | 98,14% | 0,996050 |
| | Pasajeros nac | 98,14% | |
| | Cargas | 98,60% | |
| Transporte | Pasajeros int | 99,64% | |
| | Pasajeros nac | 99,88% | |
| | Cargas | 98,57% | |
| Llegada al destino | | 99,96% | |
| Entrega de equipajes | | 99,98% | |
| Entrega de cargas | | 99,99% | |

Fuente: elaboración propia

Después de obtener los promedios de la variable Y de todos los procesos, según lo indicado en la tabla 9, se procede a implementar la ecuación 11 del indicador propuesto.

$$MCp = \frac{1}{3} \bar{\theta} \left[\frac{0,9814 * 0,9814 * \dots * 0,9998 * 0,9999}{2} \right]^{\frac{1}{9} + 1}$$

$$MCp = \frac{1}{3} \bar{\theta}[0,96050]$$

$$MCp = 0,88543$$

El resultado obtenido por este sistema de transporte, fue de 0,88543 este valor se encuentra dentro del rango de 0.7 a 0.9, lo que, según los criterios de evaluación, indica un desempeño global excelente. El alto valor obtenido refleja que el sistema no solo presenta niveles de calidad elevados en los distintos procesos, sino también una consistencia y estabilidad temporal en su funcionamiento. Esto es especialmente relevante considerando que el indicador integra múltiples variables de desempeño, permitiendo una visión más completa del comportamiento operativo.

En la tabla 9 se observa que los promedios de Y para cada proceso superan en todos los casos el 98%, destacándose los procesos de llegada a destino y entrega de equipajes y carga, con valores cercanos al 100%. Estos altos niveles de rendimiento individual contribuyen significativamente al valor global del indicador multivariable, demostrando que el sistema mantiene estándares de calidad robustos en la mayoría de sus componentes. Además, la baja dispersión entre los promedios sugiere que no existen procesos críticos que comprometan la estabilidad general del sistema. En conclusión, el valor del indicador respalda que el sistema opera con un alto grado de desempeño, con un comportamiento estable, alineado con los principios de mejora continua, promovidos por metodologías como Seis Sigma.

Hallazgos

Los resultados obtenidos en el presente estudio permitieron alcanzar los cuatro objetivos propuestos, generando hallazgos importantes sobre la aplicación de herramientas Seis Sigma y el indicador de capacidad geométrico multivariable en la mejora del sistema de transporte de pasajeros y cargas:

En primer lugar, respecto al objetivo de establecer un sistema de control estadístico para evaluar el desempeño del sistema y sus procesos, la implementación de Seis Sigma permitió cuantificar objetivamente el nivel de desempeño inicial. Se identificó una línea base con un nivel sigma de 3.0 y un rendimiento del 93.43%, equivalente a 65,693 defectos por millón de oportunidades. Este sistema de medición demostró que el mejor proceso fue la entrega de cargas con un desempeño excelente, eliminando casi todas las fallas y reduciéndola a solo una con un nivel sigma de 5,94 y un rendimiento del 100%, a su vez se detectó que los peores procesos fueron los de pasajeros internacionales y nacionales con fallas muy altas de 2.642 y 5.284 y un nivel sigma de 2,84 y rendimientos de 91,19%. Este sistema fue fundamental para diagnosticar deficiencias operativas y orientar procesos de mejora continua.

En segundo lugar, en relación con la evaluación del comportamiento del sistema mediante métricas Seis Sigma, el análisis de sensibilidad evidenció una mejora progresiva en el rendimiento del sistema a medida que se incrementaron los niveles sigma. En el escenario más favorable, se logró un rendimiento del 100% con una unidad defectuosa, lo que reflejó una significativa reducción de la variabilidad del proceso. Este hallazgo ratifica la utilidad de las métricas Seis Sigma como herramientas eficaces para evaluar, controlar y optimizar el desempeño de sistemas complejos.

En tercer lugar, con respecto al objetivo de construir curvas operativas para el monitoreo del sistema bajo condiciones variables, se desarrollaron representaciones gráficas que permitieron observar la relación entre el nivel sigma y el comportamiento del sistema. Estas curvas facilitaron la toma de decisiones dinámicas e informadas, permitiendo identificar escenarios óptimos para minimizar defectos y maximizar la estabilidad del sistema. El proceso más sensible, donde la reducción de no conformidades ('n') genera un mayor impacto en el aumento del nivel Sigma Z, se encuentra en la etapa inicial de Solicitud y registro, particularmente en los procesos de Pasajeros nacionales y Pasajeros internacionales. Estos procesos requieren una reducción considerable en el número de no conformidades (5,202 y 2,601 respectivamente) para lograr un aumento significativo en el nivel Sigma Z (1.64 en ambos casos), lo que indica que abordar las ineficiencias en esta etapa tendría el efecto más pronunciado en la mejora del nivel Sigma general del sistema. Asimismo, se confirmó que el monitoreo continuo basado en datos contribuye no solo a la mejora operativa, sino también a la sostenibilidad del proceso a largo plazo.

Finalmente, al valorar el desempeño del sistema por medio del indicador de capacidad de calidad geométrico multivariado, se obtuvo un valor de 0,88543. Este resultado se ubica dentro del rango de 0.7 a 0.9, lo que, según los criterios de evaluación, indica que el sistema presenta un desempeño excelente. Este alto nivel de desempeño puede atribuirse a una adecuada coordinación operativa, consistencia en la prestación del servicio y control de las variables críticas que afectan la calidad. Además, sugiere que el sistema mantiene una estabilidad significativa en el tiempo, lo cual es fundamental para garantizar un servicio sostenible y confiable tanto para el transporte de pasajeros como de cargas.

Discusión

Los hallazgos alcanzados en las fases anteriores del análisis permiten abordar la discusión en torno a los cuatro objetivos planteados, destacando no solo la aplicación de herramientas de Seis Sigma para la mejora del sistema de transporte de pasajeros y carga, sino también la evaluación del indicador de capacidad de calidad geométrico portivariables. Esta evaluación proporciona una visión más precisa del desempeño del sistema, permitiendo identificar áreas críticas y establecer comparaciones significativas con investigaciones previas, ya sea por similitud o contraste

En relación con el establecimiento de un sistema de control estadístico para evaluar el desempeño del sistema y sus procesos, la aplicación de Seis Sigma permitió identificar de manera precisa el nivel de desempeño del sistema, estableciendo una línea base con una sigma de 3.0 y un rendimiento del 93.43%, equivalente a 65.693 defectos por millón de oportunidades. Esta aproximación facilitó la cuantificación objetiva del desempeño inicial. Comparativamente, un estudio desarrollado en un operador logístico evidenció mejoras sustanciales tras la implementación de herramientas de medición y mejora continua, incrementando el nivel de servicio del 87.79% al 95.98% y la utilización de la flota del 71.97% al 92.7%, superando incluso las metas del cliente [12] De forma similar, en una terminal de contenedores, la aplicación de herramientas como Value Stream Mapping, diagramas causales y gráficos de control estadístico permitió alcanzar un nivel sigma de 4.3 y un rendimiento del 99.74%, junto con una reducción significativa de tiempos de ciclo y costos operativos [25] Estos estudios coinciden con los hallazgos del presente trabajo, al demostrar que un sistema estructurado de medición y control estadístico es clave para diagnosticar deficiencias y orientar procesos de mejora continua.

Respecto a la evaluación del desempeño del sistema mediante métricas Seis Sigma, el análisis de sensibilidad realizado en esta investigación mostró una clara mejora en el rendimiento operativo conforme se incrementó el nivel sigma de 3.0 a 4.57. En el escenario más favorable, se registró tan solo una unidad defectuosa y un rendimiento del 100%, evidenciando una drástica reducción en la variabilidad del proceso. Esta evolución guarda similitud con los resultados obtenidos en el caso de Transportes Pereda, donde el nivel sigma del proceso de mantenimiento aumentó de 1.44 a 3.82, logrando incrementos significativos en productividad (+24.49%), eficiencia (+9.41%) y eficacia (+9.21%), junto con una reducción del 10.73% en los costos de mantenimiento [33]. Asimismo, en el sector de alimentos, la implementación de Seis Sigma permitió reducir la merma en un 33.3% durante el proceso de elaboración de alta repostería, optimizando el flujo operacional y generando beneficios económicos [34]. Estos resultados reafirman que las métricas Seis Sigma constituyen herramientas efectivas para diagnosticar el desempeño, reducir defectos y optimizar procesos en diversos sistemas.

En la construcción de curvas de operativas que monitoreen el sistema bajo condiciones variables, el presente estudio permitió visualizar, a través del análisis gráfico, el impacto directo de los niveles sigma en el desempeño del sistema. Estas curvas facilitaron la toma de decisiones dinámicas, evidenciando los escenarios ideales para minimizar defectos y maximizar la estabilidad del sistema. Este enfoque también ha sido validado en estudios del sector minero, donde la aplicación de Seis Sigma y el uso de herramientas estadísticas permitieron un incremento del 23% en la productividad de camiones y del 31% en excavadoras, como resultado de un monitoreo continuo y ajustado a las condiciones cambiantes del proceso [35]. Un estudio adicional en el mismo sector reportó incrementos similares (21% y 31%), así como beneficios adicionales en términos de seguridad, bienestar laboral y reducción de emisiones de carbono, lo cual demuestra que el monitoreo continuo basado en datos permite no solo mejoras operativas, sino también sostenibilidad a largo plazo [36].

Finalmente, el último objetivo, de la valoración del desempeño del sistema por medio del indicador de capacidad de calidad geométrico multivariado. El desempeño global obtenido para este indicador fue de 0,88543, lo que, según los criterios establecidos, indica un desempeño excelente. Este resultado refleja una adecuada coordinación operativa, consistencia en la prestación del servicio y un control efectivo de las variables críticas que influyen en la calidad, además de una estabilidad significativa en el tiempo. Al comparar este hallazgo con otros sistemas

mas evaluados mediante el mismo indicador, se observa que en un servicio de salud se obtuvo un valor de 1,301, lo cual también indica un desempeño excelente [37]. De igual manera, en un sistema de prestación hotelera, se reportó un valor de 0,91163, [38] igualmente clasificado como excelente. Aunque los valores numéricos difieren, todos coinciden en reflejar altos niveles de calidad, lo que confirma la utilidad del indicador geométrico multivariado para evaluar el desempeño en distintos contextos de servicio.

Conclusiones

Los resultados de esta investigación destacan la importancia teórica del control estadístico de calidad en el sistema de transporte, lo que demuestra que el uso de métricas Six Sigma facilita la optimización de los procesos al centrarse en los requerimientos del sistema, lo que contribuye a mejorar tanto la productividad como la competitividad. Se logró desarrollar un sistema de evaluación enfocado en el criterio de desempeño, que permite analizar el transporte de pasajeros y carga identificando las variaciones en los procesos según las condiciones en las que operan. Gracias a esto fue posible definir un rango de niveles Sigma, desde el mínimo hasta el máximo posible, que el sistema puede alcanzar para mejorar su funcionamiento. Además, también se comprobó que esta herramienta es efectiva para monitorear la calidad del sistema, ya que permite observar cómo cambian las métricas Seis Sigma ante distintas situaciones operativas, e igualmente también se observó como el indicador de capacidad de calidad geométrico multivariable, nos permitió analizar el desempeño global del sistema resultando ser excelente. En definitiva, la metodología aplicada resultó eficaz para analizar sistemas de transporte de pasajeros y carga, ya que permite identificar los procesos con mayor influencia en la calidad del servicio. Además, proporciona una herramienta útil y confiable para la toma de decisiones fundamentadas en datos, gracias al uso de herramientas estadísticas automatizadas

En conjunto, los resultados del presente trabajo se alinean con las tendencias observadas en la literatura vista, destacando la eficacia de la metodología Seis Sigma para diagnosticar, mejorar y controlar procesos complejos en sectores logísticos y de transporte, con impactos significativos en la productividad, la calidad del servicio y la sostenibilidad operativa.

Referencias

- [1]. Barbosa, V. F. (2024). Aplicação do Lean Seis Sigma no planejamento de manutenção: proposta para redução do número de paradas corretivas da frota de caminhões Sany SKT90S. [En línea]. Disponible en: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/6770>
- [2]. Silva, M. C. D. (2021). Proposta de aplicação da metodologia DMAIC para melhoria de um processo no setor de transporte de uma instituição federal de ensino superior. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2021. [En línea]. Disponible en: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/8606>
- [3]. Cisneros, L., Asimbaya, A., Velásquez, P., & Garay, V. (2022). El control de calidad en la administración de transporte terrestre. Dominio De Las Ciencias, 8(2), 22–44. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.23857/dc.v8i2.2631>
- [4]. Pimienta, L., & Vargas, E. (2023). 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. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.17981/bilo.5.2.2023.05>
- [5]. Alatefi, M.; Al-Ahmari, A.M.; AlFaify, A.Y. New Approach for Process Capability Analysis Using Multivariate Quality Characteristics. Appl. Sci. 2023, 13, 11616. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app132111616>
- [6]. Alves, H. C. (2023). Aplicação da metodologia Seis sigmas num terminal portuário de contentores (Master's thesis, Universidade NOVA de Lisboa (Portugal)). [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10362/175768>
- [7]. Holguín Londoño, M, Escobar Mejía, A, Buitrago Largo, D. (2024). Introducción al control de calidad y Seis Sigma. Universidad Tecnológica de Pereira. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/15263>.
- [8]. Socconini, L. (2021) Lean Six Sigma Yellow Belt. Manual de certificación. Ed. Marge Books.
- [9]. P. M. Madhani, Lean Six Sigma deployment in HR: enhancing business performance, Int. J. Hum. Resour. Dev. Manag., vol. 22, no. 1/2, p. 75, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1504/ijhrdm.2022.121314>

- [10]. T. Fontalvo-Herrera., J. Morelos-Gómez., N. Garcia “Evaluación de la calidad de la producción de pastas comestibles mediante Seis Sigma”. Investigación e Innovación en Ingenierías, vol. 10, nº1, 160-177, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.17081/invinno.10.1.5696>
- [11]. H. Wang, G. Zhang, S. Zhou, y L. Ouyang, “Implementation of a novel Six Sigma multi-objective robustness optimization method based on the improved response surface model for bumper system design”, Thin-Walled Struct., vol. 167, no. 108257, p. 108257, 2021.[En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.1082571>
- [12]. Aire W. R., Borra J. E., Ortiz E. A., Quispe V. J. (2021). Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar la calidad del servicio de transporte en un operador logístico [Tesis de Maestría, Universidad ESAN. Escuela de Administración de Negocios para Graduados]. Repositorio Institucional Universidad ESAN. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12640/2738>
- [13]. Moretto, E. & Júnior, A. (2024). Multicriteria model to support the hiring of road freight transport services in Brazil. Sustainability, 16(9), 3804. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su16093804>
- [14]. Salgado Medina, L. A., & Núñez Ramírez, D. A. (2021). Mejora de la gestión de la productividad de la flota de carguío y acarreo UM Cuajone, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma para disminuir las demoras operativas en el relevo del personal. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/659078>
- [15]. Rosas Rojas, J. J. (2023). Lean Six Sigma aplicado en la mina Santa Luisa para reducir el costo de transporte de mineral. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14414/164111>
- [16]. Garcia Torres, N, Panizo Cardona, C y Cárdenas-Gutiérrez, J. (2022). Transporte de carga: Actividad estratégica para la competitividad empresarial. Bogotá- Ecoe Ediciones. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6496>
- [17]. Mayoral, M. A. M., & Socuéllamos, J. M. (2022). Lean Seis Sigma para la mejora de procesos. Universidad Miguel Hernández. [En línea]. Disponible en:<https://editorial.umh.es/2022/01/13/lean-seis-sigma-para-la-mejora-de-procesos/>
- [18]. Tazhiyev, R., Dirsehan, T., Baimukhanbetova, E. & Sandykbaeva, U. (2024). Road freight quality management in Industry 4.0: International experience and perspectives in Kazakhstan. Economies, 12(8), 218. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/economies12080218>
- [19]. M. A. Langle Flores, J. G. Malacara Navejar, y M. de L. Castillo Carrillo, «Herramientas

estadísticas Seis Sigma aplicadas a procesos en la industria de los adhesivos», *Cult. Científico. y Tecnol.*, vol. 21, n.º 3, pp. 5–23, sep. 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.20983/culcyt.2024.3.2.1>

- [20]. Montiel-Pérez, D., Anaya-Fuentes, G. E., & Ramírez-Reyna, S. B. (2023). Proceso para la toma de decisiones en la fase de definición de la metodología seis sigmas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria*, 7(1), 9121-9136. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5040
- [21]. Puma Cruz, R. (2022). Reducción de la variabilidad en el ensamble del producto lavatorio portátil empleando Six Sigma, en la empresa Andhina Ingeniería E.I.R.L. Universidad San Ignacio de Loyola. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14005/12990>
- [22]. García, R., Juárez, S., Guevara, I. y García, J. E. C. (2021). DMAIC – SIX SIGMA: DMAIC Six Sigma. *Revista RELAYN- Micro Y Pequeñas Empresas En Latinoamérica*, 5(3), 164–190[En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.46990/relayn.2021.5.3.174>
- [23]. Josué, L. G. I., & Rodrigo, P. M. A. (2025). Estudio Lean six sigma en los procesos de corte y confección de la empresa D'Christian–Maryuri. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/43842>
- [24] Jiménez Morales, L. B. (2022). Diseño de investigación de un procedimiento para control estadístico en la calidad de medidas, aplicando metodología Six Sigma, en una empresa dedicada a la confección de prendas de vestir ubicada en Mixco, Guatemala (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala). [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.ucc.edu.ni/id/eprint/1253>
- [25]. Pano, C.M, Núñez, F., Zapien, J.M., Lazcano, G. y Núñez, F.A. (2022) Lean Six Sigma para la solución de problemas logísticos: caso real terminal de contenedores en Michoacán. *Ciencia Latina: Revista multidisciplinaria*, 6 (1), 511-529. [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i1.1515
- [26]. T. Ahmed, R. Begum, y S. Ahmed, “Application of Six Sigma tools in footwear industry: an emerging economy case”, *Int. J. Product. Qual. Manag.*, vol. 38, núm. 2, p. 211, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1504/ijpqm.2023.129607>
- [27]. Pascual Sulca, E. (2021). Lean Six Sigma. Metodología para la implementación de procesos de mejora en las organizaciones. Caso práctico empresa privada. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/661>
- [28]. Herrera, T. J. F., García, K., & Maturana, A. G. B. (2025). Curvas de operación de métricas Seis Sigma para evaluar la calidad de un proceso de producción paralelo con-

- vergente. *Prospectiva*, 23(1). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15665/rp.v23i1.3380>
- [29]. T. Fontalvo-Herrera., F. Mejía-Zambrano., y G. Oyuela-Rodríguez. "Evaluación con curvas de operación de métricas Seis Sigma el desempeño de sistemas productivos mixtos". *Investigación e Innovación en Ingenierías*, vol. 12, nº1, 1-12, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.17081/invinno.12.1.6680>
- [30]. Chakraborty, A.K., & Chatterjee, M. (2021). *Handbook of Multivariate Process Capability Indices* (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9780429298349>
- [31]. Herrera, R. J. (2021). Índices de capacidad multivariados: nuevas propuestas. Editorial Universidad del Atlántico. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12834/978>
- [32]. Chakraborty, A.K., & Chatterjee, M. (2021). *Handbook of Multivariate Process Capability Indices* (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9780429298349>
- [33]. Cabello García, C. J., Falcon Sovero, D. F. (2023). Aplicación de la metodología Six Sigma para incrementar la productividad en el área de mantenimiento preventivo de Transportes Pereda, Lima, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14005/15654>
- [34]. López-Desposorios, M., Escalona-Veloz, A., Juárez-Vite, A., Rivera-Gómez, H., & Corona-Armenta, J. R. (2024). Herramientas sistémicas para mejorar la productividad en el sector alimenticio. *Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 12, 99-104. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial3.13415>
- [35] .Côbo, P. H. G. (2023). Aumento da produtividade das frotas de transporte e de carregamento através da metodologia Lean Seis Sigma. [En línea]. Disponible en:<http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/5297>
- [36]. Coutinho, H. L., Pereira, B. I., Pinto, R. J. L., Lima, H. M. de, & Costa, L. de V. (2024). Como a metodologia de melhoria contínua - Lean Seis Sigma pode aumentar a produtividade dos equipamentos de carga e transporte. *Caderno Pedagógico*, 21(12), e10162. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n12-025>
- [37] Herrera, T. J. F., & Granadillo, E. J. D. L. H. (2022) Modelo de evaluación del desempeño por medio de indicadores de capacidad multivariante del servicio de la superintendencia de salud en Colombia ISSN 2168-0612 FLASH DRIVE ISSN 1941-9589 ONLY-

NE, 133. [En línea]. Disponible en: <https://theibfr.com/wp-content/uploads/2022/05/ISSN-1941-8589-V17-N2-2022-1>

[38]. Herrera, T. J. F., Acosta, R. H., & Maturana, A. G. B. (2024). Performance evaluation method of the service quality dimensions using Six Sigma metrics, the main components' quality indicator and the geometric capacity indicator. *Engineering Management in Production and Services*, 16(1). [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/0103-6513.202400>