




Tomas Fontalvo Herrera  Gabriela Oyuela Rodríguez 
Universidad de Cartagena, Colombia

Fabio Mejía Zambrano 
Universidad del Tolima, Colombia

OPEN  ACCESS

Recibido: 03/10/2023

Aceptado: 11/12/2023

Publicado: 15/01/2024

Correspondencia de autores:
tfontalvoh@unicartagena.edu.co



Copyright 2024
by Investigación e
Innovación en Ingenierías

Resumen

Objetivo: Proponer nuevas curvas de operación de las métricas seis sigma para evaluar el desempeño de un sistema productivo mixto (Serie y en paralelo). **Marco teórico:** Para lo anterior se utiliza como marco teórico los conceptos de curva de operación, control estadístico de la producción, métricas seis sigma y sistemas de producción mixto. **Metodología:** se aborda un enfoque heurístico y un análisis de sensibilidad para analizar el comportamiento de los defectos en parte por millón, rendimiento Y, para lo cual se proponen las curvas de operación al variar en rango de 0 a 6 el nivel sigma Z del sistema y de los procesos. **Resultados:** se muestran que el sistema productivo evidencia como máxima capacidad de desempeño de calidad en términos de sigma los valores de Z 5,25, 5,43 y 5,08 respectivamente para los procesos 1, 5, 6. **Conclusión:** Se aporta un método innovador que permite monitorear el desempeño de la calidad en condiciones cambiantes, y analizar como incide estos cambios en la reducción de defectos de cualquier sistema productivo.

Palabras clave: Sistema productivo mixto, curvas de operación, métricas Seis Sigma, Desempeño de calidad.

Abstract

Objective: Propose new operation curves of the six-sigma metrics to evaluate the performance of a mixed production system (serial and parallel). **Theoretical framework:** The concepts of statistical production control operating curves, six sigma metrics and mixed production systems are used as a theoretical framework. **Methodology:** a heuristic approach and a sensitivity analysis are approached to analyze the behavior of defects in part per million, Y yield, for which the operation curves are proposed when varying in a range from 0 to 6 the Z sigma level of the system and the processes. **Results:** show that the productive system evidences as maximum capacity of quality performance in terms of sigma the values of Z 5.25, 5.43 and 5.08 respectively for processes 1, 5, 6. **Conclusion:** An innovative method is provided that allows monitoring quality performance under changing conditions, and analyzing how these changes affect the reduction of defects in any production system.

Keywords: Mixed production system, operating curves, Six Sigma metrics, quality performance.

Introducción

En el contexto mundial marcado por la globalización, se ha generado mayor complejidad para las empresas la adopción de metodologías y herramientas para la producción por la necesidad de mejorar el desempeño de calidad [1]. Por lo tanto, constantemente se presenta el reto de mejorar los desempeños dentro de los procesos productivos. Ahora bien, se han establecido ciertos conceptos que permiten la permanencia de una empresa dentro del mercado, tales como la calidad, siendo comprendida como la satisfacción al cliente. Para el logro de este objetivo se han aplicado nuevas técnicas en la administración de estos procesos con el fin de obtener mejores resultados y mejor desempeño competitivo, en comparación con las empresas que no innovan.

Algunos beneficios de las prácticas de calidad, como el uso de métricas seis sigma son la generación de mayor ventaja competitiva, a partir de un mejor conocimiento de elementos internos que tienen la organización y el uso intensivo de la estadística para monitorear el comportamiento de los procesos [2]. En cuanto a la satisfacción del cliente, el uso de métricas de calidad en los procesos productivos tiene una incidencia directa, al posibilitar la implementación de sistemas de calidad que permiten satisfacer las necesidades de los consumidores identificando el número de defectos lo cual se traduce en la reducción de costos. De este modo, se puede ejercer un mayor control sobre la planificación de los procesos de producción y el control estadístico de la calidad, para que todo esto contribuya en una mayor satisfacción del usuario final en el producto o servicio que se brinde [3, 4].

En la última década, como parte de las técnicas en los procesos productivos ha surgido la metodología de Seis Sigma y sus métricas de calidad, la cual ha significado una revolución hacia el interior de la organización, en la obtención de manera óptima de la mejora de los procesos, productos y servicios, así como el incremento de la rentabilidad y productividad de las empresas [5]. De esta manera, se considera que las métricas de seis sigma contribuyen a la mejora continua de las organizaciones, el aumento de la productividad y a la competitividad de las empresas.

Consecuentemente con lo anterior, el uso de la metodología de Seis Sigma y sus métricas, es una herramienta vital dentro de los procesos productivos de las empresas y contribuyen con el análisis y toma de decisiones para la disminución de la variabilidad de los procesos, y la eliminación de desperdicios, dándole prioridad a las exigencias de los clientes, relacionadas con los requisitos preestablecidos del producto final [6, 7]. Por esto, la importancia de analizar por medio de las métricas de seis sigma en condiciones variables el desempeño los distintos sistemas productivos que se pueden presentar dentro de las empresas, con el fin de conocer que tan eficientes y como se puede alcanzar la disminución de los defectos. Pero lo relevante de esta investigación es el hecho de que a pesar de que en el medio científico se vienen utilizando las métricas de seis sigma, no existe producción científica ni aplicaciones en contextos empresariales en donde se utilicen curvas de operaciones para las métricas de seis sigma, es decir defectos en partes por millón (DPMO), rendimiento (Y) y el nivel de desempeño sigma (Z). Con los cuales se pueda analizar el desempeño del sistema productivo en condiciones variables, lo que permite análisis para mejorar los niveles de calidad del sistema de producción y sus procesos de acuerdo a la estructura de cada organización donde se aplique.

por lo planteado anteriormente esta investigación es innovadora y pertinente científicamente por el nuevo conocimiento y herramientas que aporta en el contexto del control estadístico de la calidad. De lo analizado surgen los siguientes interrogantes para el desarrollo de la presente investigación: ¿cómo valorar el desempeño de un sistema productivo de los procesos y la integralidad del sistema mixto? ¿cómo determinar el número mínimo de defectos para alcanzar el mayor nivel sigma del proceso? ¿cómo construir

las curvas de operación de los procesos y sistema productivo mixto apoyados en las métricas de seis sigma? ¿cómo determinar las capacidades máximas de desempeño del sistema y de los procesos?

Para dar respuesta a los interrogantes de investigación planteados previamente, se establecen los siguientes objetivos: i) valorar el desempeño de un sistema productivo y la integralidad de un sistema de producción mixto, ii) proponer las curvas de operación con las métricas seis sigma para analizar el comportamiento del sistema productivo en condiciones cambiantes, y iii) determinar las capacidades máximas de desempeño del sistema mixto y sus procesos.

Marco teórico

Evaluación de sistemas productivos

Un Sistema es un conjunto de partes que interactúan para alcanzar un fin determinado. Es el conjunto de procedimientos lógicamente ordenados y suficientemente coherentes para dirigir el funcionamiento de un todo. Dentro de ese orden de ideas, autores [8] definen los sistemas productivos como la fusión de un conjunto de personas, máquinas, herramientas para trabajar en armonía y lograr resultados satisfactorios para el proceso en el que intervienen reduciendo los potenciales defectos generado valor y llenando las necesidades de los clientes. Estos sistemas de producción son bastantes diversos, debido a varias decisiones de gestión y a una gran variedad de prácticas, por lo que requieren estructuras y modelos de calidad que se ajusten a sus características [9].

Evaluación de calidad de sistemas productivos

Hoy en día la calidad se ha convertido en una forma de ejecutar operaciones, una forma óptima y normalizada de realizar las tareas, convirtiéndose en esencial para lograr la satisfacción de los clientes a los que sirven, es por esto que diversos autores vienen utilizando y articulando el uso de métricas de seis sigma para evaluar el desempeño de la calidad en diversos contextos organizacionales con lo que se puedan determinar los máximos y mínimos desempeños de calidad en los contextos donde se apliquen [10].

Autores [11] afirman que la evaluación de la calidad debe reconocerse como una herramienta esencial para lograr la eficiencia operativa, y en últimas instancias, el rendimiento de los productos como de los servicios. Debido a que hoy en día la evaluación de la calidad en los servicios ha tomado un valor relevante debido al gran impacto que este genera en las personas, debido a la gran dependencia que este tiene para la gestión de satisfacción en necesidades básicas, razón por la cual se presenta una constante integración del concepto de calidad dentro de los diferentes sistemas productivos, lo anterior apoyado con el uso de la estadística específicamente el uso del nivel Z sigma, dentro de la concepción de diferentes metodologías relacionadas con este criterio estadístico.

Métricas Seis Sigma para evaluar la calidad de sistemas productivos mixtos

Las métricas Seis Sigma se basan en una metodología sistemática y cuantitativa orientada a mejorar los resultados empresariales, buscando siempre lograr procesos de calidad. el objetivo de estas métricas es la reducción de defectos que conducen a una mejora del rendimiento y la satisfacción de los clientes, lo anterior apoyado en los defectos en parte por millón, el rendimiento y el nivel sigma como herramientas apoyadas en la estadística [12].

En este orden de ideas, autores [13] conceptualiza a Seis Sigma y sus métricas como una metodología que funciona como herramienta robusta y objetiva, la cual lleva a la reducción de costos por medio de la prevención de defectos que conduce a un aumento de rentabilidad, proporcionando enfoques basados en

evidencias que apoyan el mejoramiento de la calidad en práctica. De esta misma manera, [14] los autores ratifican esta metodología para la mejora de sistemas productivos, en la que el objetivo es reducir la variabilidad, lo que conlleva a una gran reducción de defectos en la entrega de un producto o servicio al cliente. Basándose en este concepto, se argumenta que el uso sistemático de metodologías mejora los procesos y permite mejorar la capacidad de procesos de forma significativa, al utilizar los conceptos de rendimiento Y, nivel de calidad sigma Z y los defectos en partes por millón DPMO.

En consecuencia, con lo anterior, los autores [10, 15, 16] consideran que estas métricas Seis Sigma contribuyen a analizar los procesos, para la toma de acciones que contribuyen a aumentar la capacidad de estos, de forma que generen un mínimo de defectos por millón de unidades producidas, en concreto obteniendo 3,4 defectos por millón de oportunidades para un nivel óptimo de Z igual a 6. Esta herramienta articula el uso de diferentes técnicas de gestión de la calidad y control estadístico, que combinadas con la medición del desempeño de los procesos permiten centrarse en mejoras focalizadas a nivel de toda la organización y sus procesos.

Metodología

Para alcázar los objetivos de esta investigación, el estudio se abordó desde un modelo epistemológico positivista lógico, desarrollado bajo una concepción heurística, que permitió realizar un análisis de sensibilidad para analizar el comportamiento de las variables propias de seis sigma en la medida que los criterios de desempeño del Sistema productivo cambian. Para lo anterior se desarrolló el siguiente método que implicó el desarrollo de i) planteamiento del sistema de producción mixto, ii) contextualización de las métricas de seis sigma a el sistema productivo y los procesos analizados, iii) determinación de las condiciones de operación del Sistema global de producción, asociado con su máximo desempeño, iv) propuesta de las curvas de operación del Sistema productivo global y de sus proceso y v) determinación de las capacidades en términos del desempeño de calidad Z de cada proceso y el Sistema en general.

Para los cálculos de las métricas de seis sigma se utilizaron los criterios señalados en la Tabla1

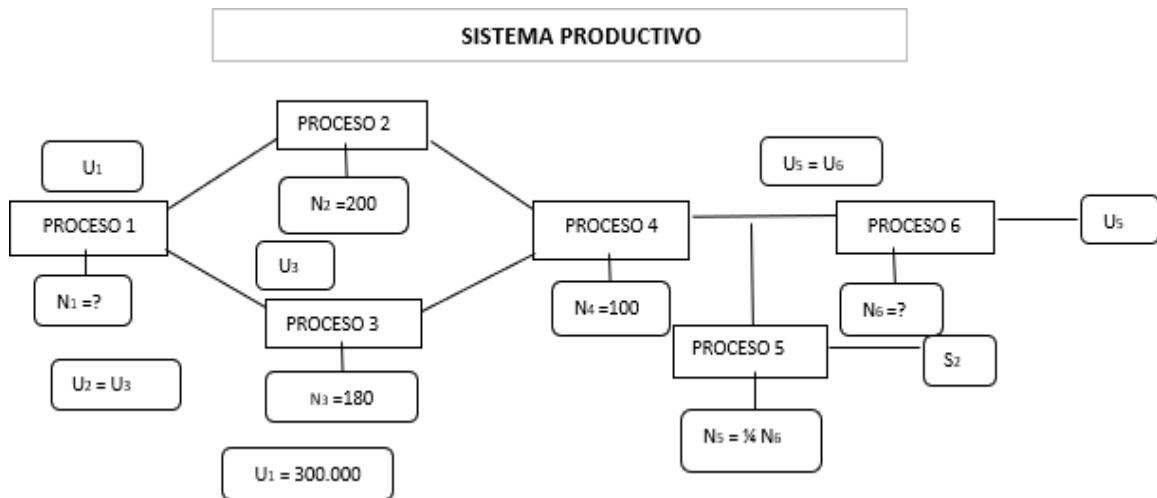
Tabla 1. Métricas Seis Sigma usadas para comparar el desempeño de los sistemas

Métricas	Definición
DPMO	Cantidad de defectos por millón de oportunidades
U	Cantidad de unidades críticas revisadas
O	Oportunidad de error por unidad
Z	Nivel de desempeño de calidad sigma del proceso
n	Número de no conformidades o fallas presentes en el proceso
Y	Rendimiento del proceso

Fuente: Elaboración Propia.

En la Figura 1, se observa el sistema productivo objeto de esta investigación al que se le proponen las curvas de operación de las métricas seis sigma.

Figura 1. Diagrama del sistema productivo mixto



Fuente: Elaboración Propia

Debido a las características propias de los modelos usados para la investigación, fue necesario calcular el DPMO utilizando la ecuación 1, el cual se calcula en función del nivel sigma global, mediante la ecuación 2, de la siguiente forma:

$$DPMO = e^{\left[\frac{29,37 - (z - 0,8406)^2}{2,221} \right]} \quad (1)$$

$$n_G = \frac{DPMO (U \neq 0)}{1.000.000} \quad (2)$$

Luego aplicar de DPMO en función del resultado en la fórmula de n_G ,

Se obtuvo la cantidad total de productos defectuosos que se generan en el sistema. A partir de este valor y teniendo en cuenta que n_G es también la sumatoria de todos los defectos del sistema, se calculó n_6 , a partir de la ecuación 3:

$$n_6 = n_G - n_1 - n_2 - n_3 - n_4 + n_5 \quad (3)$$

Después de determinar la cantidad de unidades defectuosas que se generaron en el proceso 1, se pudo obtener la cantidad de unidades que entran y salen en los demás procesos, para lo cual se consideraron los supuestos operacionales de este sistema productivo mixto. También se determinó las cantidades de DPMO que se generan en cada proceso, usando la ecuación 4:

$$DPMO = \frac{n}{U \neq 0} * 1.000.000 \quad (4)$$

Así como, su nivel sigma con la ecuación 5,

$$z = 0,8406 + \sqrt{29,37 - 2,221 * \ln(DPMO)} \quad (5)$$

Una vez calculadas todas las métricas, se halló el rendimiento de cada proceso y del sistema en general, con la fórmula: $Y = 1 - \left(\frac{n}{U}\right)$, además de la cantidad total de unidades que se producen en cada sistema analizado (D_S)

Todo el proceso mencionado anteriormente se repitió con distintos niveles sigma para comparar el desempeño global y de cada uno de los procesos, lo que conllevó a la propuesta de las curvas de operaciones 1) Z Vs DPMO y, 2) Z Vs Y . Para esto, se realizó un análisis de sensibilidad en escala de Seis Sigma, en el rango permitido de 3,0 a 4,6 de acuerdo con el modelo establecido calculando, los “DPMO” y “ Y ” para cada nivel sigma “ Z ”. Valorando cada nivel sigma según el resultado obtenido, de acuerdo a la Tabla 2:

Tabla 2. Criterios de desempeño para los sistemas en serie y paralelo

Nivel sigma (Z)	Desempeño
$Z < 3,0$	Deficiente
$3,0 \leq Z \leq 3,5$	Aceptable
$3,5 < Z \leq 4,6$	Bueno
$Z > 4,6$	Excelente

Fuente: Elaboración Propia

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las métricas aplicadas en distintos niveles sigma para el sistema objeto de esta investigación.

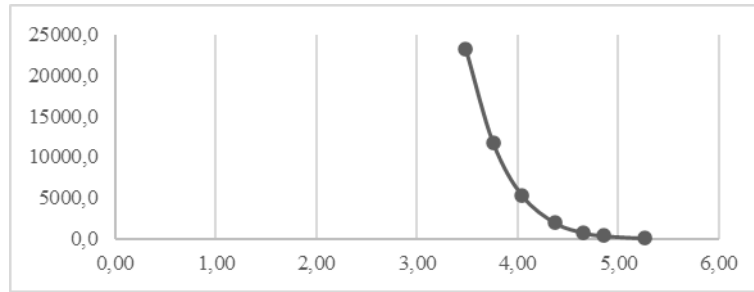
Al realizar variaciones en el nivel sigma global dado inicialmente para el sistema de producción, en las condiciones operación del sistema mostraron que este podía operar en un rango de los niveles sigma de 3,0 a 4,6 y se calculó las métricas de Seis Sigma para el proceso 1, que señaló que la capacidad máxima del nivel sigma Z es 5,12; lo que equivale a un desempeño excelente con rendimientos de 99,99% donde se generan la mínima cantidad de defectos y se procesa una mayor cantidad de unidades.

Tabla 3. Resultado de las métricas Seis Sigma aplicadas al proceso 1 en el sistema productivo

Proceso 1				
U_1	DPMO	n_1	Z_1	Y
300.000	23218	6965	3,48	0,97678175
300.000	11770	3531	3,75	0,98823008
300.000	5292	1587	4,04	0,99470805
300.000	1951	585,	4,37	0,99804856
300.000	769	231	4,65	0,99923077
300.000	377	113	4,86	0,99962212
300.000	82	25	5,26	0,99991719

Fuente: Elaboración Propia

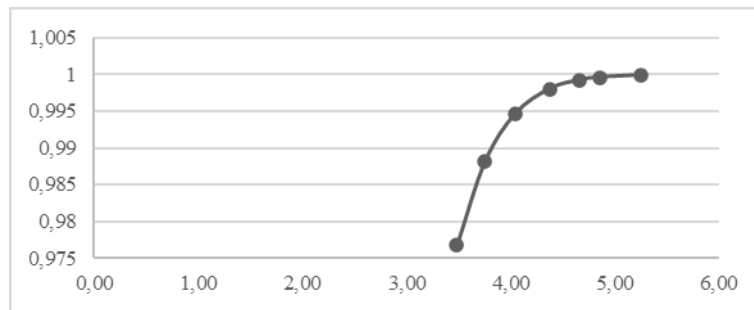
Figura 2. Curva de operación Z vs DPMO proceso 1



Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 3 y la Figura 2 se observan los desempeños del sistema productivo mixto. De donde se analiza que el desempeño del sistema oscila entre $3,48 \geq Z \leq 5,26$ los defectos n para este proceso oscilan entre $6965 \geq Z \leq 25$. Lo cual es significativo en términos de los niveles en que se puede mejorar la calidad.

Figura 3. Curva de operación Z vs Y del proceso 1



Fuente: Elaboración Propia

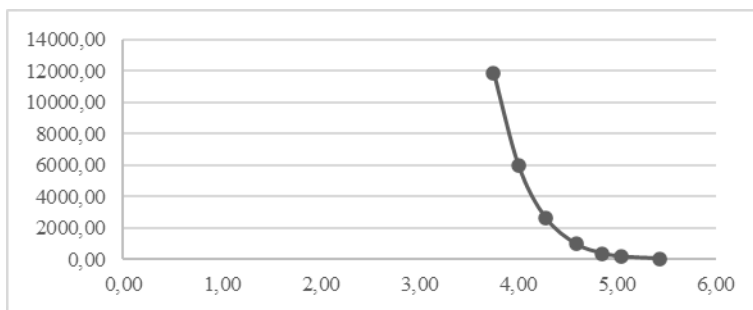
A los procesos 2, 3 y 4 no se le calculan las curvas de operación considerando que las muestras defectuosas son iguales, por lo que no se cumple el precepto de poder evaluar los defectos de variables para diferentes niveles sigma Z del proceso productivo.

Tabla 4. Resultado de las métricas Seis Sigma aplicadas al proceso 7 en el sistema productivo

Proceso 5				
U_1	DPMO	n_1	Z_1	Y
146277	11905	1741	3,75	0,98809542
147995	5965	882	4,00	0,99403529
148966	2665	396	4,27	0,99733566
149467	980	146	4,58	0,9990208
149645	386	57	4,85	0,99961447
149703	190	28	5,04	0,99981068
149748	42	6	5,43	0,99995852

Fuente: Elaboración Propia

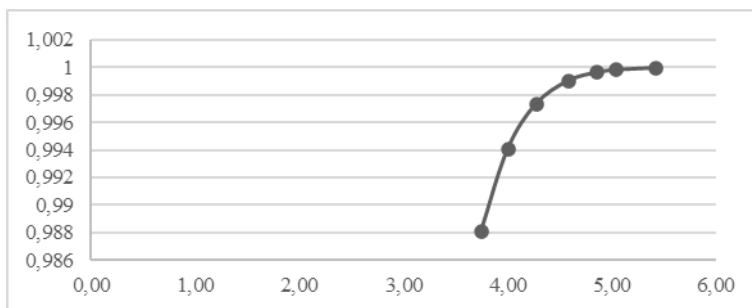
Figura 4. Curva de operación Z vs DPMO proceso 5



Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 4 y la Figura 4 se observan los desempeños del nivel Z para el proceso 5. De donde se analiza que el desempeño del sistema oscila entre $3,75 \geq Z \leq 5,43$ los defectos n para este proceso oscilan entre $1741 \geq n \leq 6$. Lo cual es significativo en términos de los niveles en que se puede reducir los defectos en la medida en se gestione dicho proceso 5.

Figura 5. Curva de operación Z vs Y del proceso 5



Fuente: Elaboración Propia

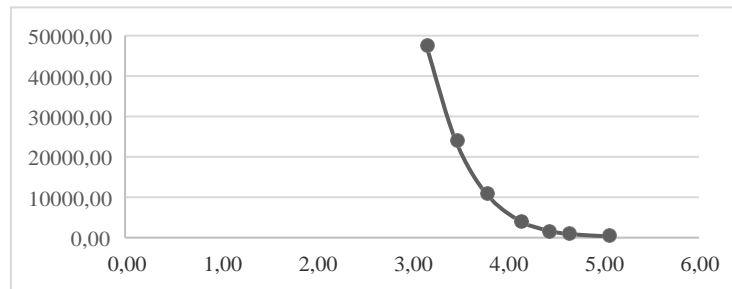
De la Tabla 4 y del Figura 5 se observa que la mayor calidad del sistema productivo en términos del nivel de calidad sigma Z es 5,43 lo refleja en un rendimiento Y de 99,995852 % dicho desempeño muestra el comportamiento del proceso en términos de calidad es excelente.

Tabla 5. Resultado de las métricas Seis Sigma aplicadas al proceso 6 en el sistema productivo

Proceso 6				
U_2	DPMO	n_2	Z_2	Y
146277	47618	6965	3,16	0,95238169
147995	23858	3530	3,47	0,97614116
148966	10657	1587	3,79	0,98934265
149467	3916	585	4,15	0,99608321
149645	1542	230	4,45	0,99845789
149703	757	113	4,66	0,99924274
149748	165	24	5,08	0,99983409

Fuente: Elaboración Propia

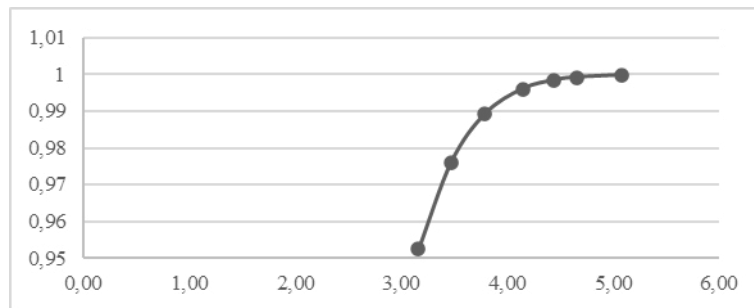
Figura 6. Curva de operación Z vs DPMO proceso 6



Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 4 y la Figura 4 se observan los desempeños del nivel Z para el proceso 5. De donde se analiza que el desempeño del sistema oscila entre $3,16 \geq Z \leq 5,08$ los defectos n para este proceso oscilan entre $6965 \geq Z \leq 24$. Lo cual es excelente en términos de los niveles en que se puede alcanzar buenos niveles de calidad en la medida que se tomen acciones de control y seguimiento sobre este Proceso 6.

Figura 7. Curva de operación Z vs Y proceso 6



Fuente: Elaboración Propia

De la Tabla 5 y la Figura 7 se observa que para el nivel sigma 5,08 señalado el rendimiento máximo Y corresponde a 99,983409 %.

Como hallazgo fundamental de esta investigación se pudo precisar que el proceso con mejor desempeño en el nivel sigma Z es el proceso 6 con un valor de 5,08 que reduce los defectos a 24 unidades, lo que evidencia un nivel de desempeño excelente, Lo cual es importante considerando que el proceso 6, es el proceso que aporta el producto final al cliente. Así mismo se observa la pertinencia de las dos curvas de operaciones calculadas Z vs DPMO, y Z vs Y, como herramientas que permiten evaluar la calidad en el sistema productivo mixto y observar éste en condiciones variables.

Discusión

Como se mencionó con anterioridad la propuesta de estas nuevas curvas operación de las métricas de seis sigma, apunta a la mejora de los procesos con el objetivo de reducir la variabilidad de los procesos en cuanto a la disminución de los defectos. Así mismo permiten identificar la máxima y mínima capacidad del proceso en términos del nivel de desempeño Z sigma. La implementación de este enfoque, analizada las respectivas curvas de operación permite mejoras en la calidad, realizando ajustes que posibiliten la contribución a esta [17, 18, 19, 20] y que se reduzcan drásticamente la disminución de defectos como se puede observar en las curvas de operación calculadas y en los números de defectos en la medida en que el nivel sigma aumenta.

Partiendo del nivel sigma inicial del análisis (3,1) el sistema evidenció como desempeño un rendimiento del 97 %, generando 53841 defectos por millón de oportunidades, para finalmente producir unidades en buenas condiciones de las 300.000 unidades iniciales que ingresan al sistema. Con el análisis de sensibilidad realizado el nivel sigma en el rango de 3,1 a 4,4 para el sistema global, se observa que disminuyó el número de defectos por millón de oportunidades, se incrementa el rendimiento del sistema hasta 99,90%, y también se disminuyó la cantidad de unidades defectuosas, que oscilan para el sistema objeto de estudio entre 16152 a 535 unidades. Es decir, se observa un cambio significativo con pequeñas modificaciones de incremento en el nivel de calidad sigma Z.

Luego de analizar el desempeño mediante los cálculos de las métricas de Seis Sigma del sistema de producción, es evidente que dentro de los distintos procesos que se pueden apreciar dentro del sistema, donde mayor frecuencia hay de variabilidad es en el proceso 5 y en el proceso 6, en estos se denota que a medida que aumenta el rendimiento, disminuye la cantidad de unidades defectuosas, favoreciendo en ultimas al sistema debido a que hay una reducción en defectos por oportunidad.

Si bien se han desarrollado investigaciones para valorar la calidad y efectividad de los procesos productivos, con base en las métricas de Seis Sigma, como lo hicieron los investigadores [21] quienes en su investigación aplicaron métricas de Seis Sigma para evaluar diferentes dimensiones de calidad de un sistema productivo de pastas comestibles, también se ha desarrollado investigaciones aplicando este tipo de metodologías a distintas empresas, entidades con el fin de optimizar sus procesos, encaminándolos a la reducción de variabilidad y defectos en sus productos o servicios. No se observa en el contexto científico herramientas como las propuestas en esta investigación de manera innovadora, específicamente las curvas de operación de las métricas de seis sigma de Z Vs DPMO y Z Vs Y, para establecer el monitoreo de una línea de producción en condiciones variable. Así como criterios que permitan establecer de manera precisa para un nivel de desempeño de calidad Z encontrado el número de defectos que arroja la línea de producción, lo cual es significativo para el contexto científico del control estadístico de la calidad de la producción.

Conclusión

De los resultados y hallazgos obtenidos en la presente investigación, se evidencia el valor teórico para el control estadístico de la calidad de esta investigación para los sistemas productivos de una organización. De igual manera el uso de las métricas de seis sigma permiten la optimización de estos procesos, partiendo de los requerimientos del cliente mejorando la productividad y la competitividad de las organizaciones [18] aportando también a una manera más exacta y verídica de la valoración de desempeño que se pueda presentar dentro de estas.

Como aporte práctico se entrega la comunidad científica y al sector de la producción una herramienta novedosa como son las curvas operaciones de las métricas seis Sigma que permiten analizar y determinar para un sistema productivo o un proceso para un nivel Z el numero que defectos que se genera, los defectos en parte por millón DPMO y el rendimiento Y, lo cual permite la toma de decisiones que repercuten en la calidad y competitividad de los sistemas de producción.

Finalmente, para futuras investigaciones se exhorta a la comunidad científica a ampliar las aplicaciones de las métricas de Seis Sigma para evaluar el desempeño de sistemas productivo en distintas empresas, entidades u organizaciones con el fin de indagar a mayor profundidad el impacto que tiene esta metodología y el aporte que puede significar tanto para la administración de los procesos internos y externos, posibilitando el aumento de cifras en indicadores de calidad y valoraciones de desempeños en los distintos sistemas que se pueden encontrar dentro del mercado.

Referencias

1. J. F. Ramírez Pérez, V. G. López Torres, S. A. Hernández Castillo, y M. Morejón Valdés, "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, vol. 5, no. 4, pp. 151–168, 2021. Doi: 10.47230/unesum-ciencias.v5.n4.2021.584
2. S. Tampubolon y H. H. Purba, "Lean six sigma implementation, a systematic literature review", *Int. J. Prod. Manag. Eng.*, vol. 9, no. 2, p. 125, 2021. Doi: 10.4995/ijpme.2021.14561
3. A. Widodo y D. Soediantono, "Benefits of the six sigma method (DMAIC) and implementation suggestion in the defense industry: A literature review", *ijosmas*, vol. 3, no. 3, pp. 1–12, 2022. Doi: 10.5555/ijosmas.v3i3.138
4. A. Niñerola, M.-V. Sánchez-Rebull, y A.-B. Hernández-Lara, "Quality improvement in healthcare: Six Sigma systematic review", *Health Policy*, vol. 124, no. 4, pp. 438–445, 2020. Doi: 10.1016/j.healthpol.2020.01.002
5. A. A. Abdallah, "Simulated Six Sigma: A multi response optimization", *Qual. Eng.*, vol. 32, no. 4, pp. 583–594, 2020. Doi: 10.1080/08982112.2019.1694151
6. 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. Doi: 10.1504/ijhrdm.2022.121314
7. J. Antony y M. Sony, "An empirical study into the limitations and emerging trends of Six Sigma in manufacturing and service organisations", *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 37, no. 3, pp. 470–493, 2020. Doi: 10.1108/ijqrm-07-2019-0230
8. S. Qayyum, F. Ullah, F. Al-Turjman, y M. Mojtahedi, "Managing smart cities through six sigma DMADICV method: A review-based conceptual framework", *Sustain. Cities Soc.*, vol. 72, no. 103022, p. 103022, 2021. Doi: 10.1016/j.scs.2021.103022
9. Z. Zhu et al., "Life cycle assessment of conventional and organic apple production systems in China", *J. Clean. Prod.*, vol. 201, pp. 156–168, 2018. Doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.032.
10. T. Fontalvo, J. Morelos y N. Garcia, "Evaluación de la calidad de la producción de pastas comestibles mediante Seis Sigma", *Investig. Innov. Ing.*, vol. 10, no. 1, pp. 160–177, 2022. Doi: 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. Doi: 10.1016/j.tws.2021.108257
12. T. Fontalvo, E. De la Hoz- Dominguez, y O. Fontalvo, "Six Sigma method to assess the quality of the service in a gas utility company", *Int. J. Process Manag. Benchmarking*, vol. 12, no. 2, p. 220, 2022. Doi: 10.1504/ijpmb.2022.121628
13. C. Davies, C. Lyons, y R. Whyte, "Optimizing nursing time in a day care unit: Quality improvement using Lean Six Sigma methodology", *Int. J. Qual. Health Care*, 2019. Doi: 10.1093/intqhc/mzz087
14. B. John y S. M. Subhani, "A modified control chart for monitoring non-normal characteristics", *Int. J. Product. Qual. Manag.*, vol. 29, no. 3, p. 309, 2020. Doi: 10.1504/IJPQM.2020.105990
15. F. Olanrewaju, A. Chima Uzorh, y I. Nnanna, "Lean six sigma methodology and its application in the manufacturing industry – A review", *Am. J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 4, no. 3, p. 40, 2019. Doi: 10.11648/j.ajmie.20190403.11
16. I. B. da Silva, M. Godinho Filho, O. L. Agostinho, y O. F. Lima Junior, "A new Lean Six Sigma framework for improving competitiveness", *Acta Sci. Technol.*, vol. 41, no. 1, p. 37327, 2019. Doi: 10.4025/actascitechnol.v41i2.37327

17. I. Kregel, D. Stemann, J. Koch, y A. Coners, "Process mining for six sigma: Utilising digital traces", *Comput. Ind. Eng.*, vol. 153, no. 107083, p. 107083, 2021. Doi: 10.1016/j.cie.2020.107083
18. O. Fontalvo, T. Fontalvo, y R. Herrera, "Evaluation method of the sigma level multidimensional capacity of the service dimensions in a call centre of a telephone company", *Int. J. Product. Qual. Manag.*, vol. 34, no. 3, p. 319, 2021. Doi: 10.1504/ijpqm.2021.119787
19. T. Fontalvo, E. D. Dominguez, y O. Fontalvo, "Six Sigma method to assess the quality of the service in a gas utility company", *Int. J. Process Manag. Benchmarking*, vol. 12, no. 2, p. 220, 2022. Doi: 10.1504/IJPMB.2022.121628
20. T. Fontalvo, E. De la Hoz- Dominguez y Y. Gonzalez, "A Six Sigma approach to measure service quality in key dependencies of a government ministry", *Int. J. Technol. Policy Manag.*, vol. 21, no. 4, p. 317, 2021. Doi: 10.1504/ijtpm.2021.119701
21. T. Fontalvo, R. Herrera, y J. Zambrano, "Three-phase method to assess the logistics service using Six Sigma metrics, Hotelling's T-square control chart and a principal component capacity indicator", *Int. J. Product. Qual. Manag.*, vol. 35, no. 1, p. 17, 2022. Doi: 10.1504/ijpqm.2022.120720.