



Doi: <https://doi.org/10.70577/asce.v5i1.674>

Recibido: 2026-01-05

Aceptado: 2026-01-19

Publicado: 2026-02-18

Mejora basada en la metodología de Six Sigma, para la reducción de variabilidad en el área de blocks de la rectificadora de motores

Improvement based on the Six Sigma methodology, for the reduction of variability in the block area of the engine grinding plant.

Autores

Milton Iván Villafuerte López¹

Carrera de Ingeniería Industrial

<https://orcid.org/0000-0003-2848-6877>

mvillafuerte@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Quevedo – Ecuador

Ángel Moisés Avemañay Morocho³

Carrera de Ingeniería Industrial

<https://orcid.org/0000-0003-3233-9730>

aavemanaym@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Quevedo – Ecuador

Josselyn Fernanda Bonilla Paredes²

Carrera de Ingeniería Industrial

<https://orcid.org/0009-0008-4910-7577>

jbonillap2@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Quevedo – Ecuador

José David Barros Enríquez⁴

Carrera de Ingeniería Industrial

<https://orcid.org/0000-0003-2165-4065>

jbarros@uteq.edu.ec

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Quevedo – Ecuador

Cómo citar

Villafuerte López, M. I., Bonilla Paredes, J. F., Avemañay Morocho, Ángel M., & Barros Enríquez, J. D. (2026). Mejora basada en la metodología de Six Sigma, para la reducción de variabilidad en el área de blocks de la rectificadora de motores. *ASCE MAGAZINE*, 5(1), 1854–1871.



Resumen

El estudio se desarrolló en la Rectificadora de Motores Pico's con el objetivo de reducir la variabilidad en el área de rectificación de blocks del motor Toyota 2NZ, mejorando la calidad y eficiencia del proceso productivo. Bajo un enfoque de mejora continua, se aplicó la metodología Six Sigma, reconocida por su efectividad en el control y optimización de procesos industriales. La investigación se estructuró con base en el ciclo DMAIC, a través del cual se analizó detalladamente cada etapa del proceso, identificando las causas principales de reprocessos y falta de estabilidad. Los resultados evidenciaron que los errores de medición y las desviaciones dimensionales eran los factores críticos que afectaban la calidad del rectificado. Con base en estos hallazgos, se implementaron acciones de mejora orientadas a la estandarización de procedimientos, la capacitación técnica del personal y el fortalecimiento de los controles de medición. Estas medidas generaron una reducción significativa de defectos y mayor consistencia en los resultados. La aplicación de Six Sigma representa un avance estratégico hacia la excelencia operativa, promoviendo una cultura de calidad y contribuyendo a la eficiencia, precisión y satisfacción del cliente en la rectificación de blocks.

Palabras clave: Six Sigma, DMAIC, Variabilidad, Rectificación, Calidad, Producción.



Abstract

The study was conducted at Pico's Engine Reconditioning Plant with the objective of reducing variability in the Toyota 2NZ engine block reconditioning area, thereby improving the quality and efficiency of the production process. Using a continuous improvement approach, the Six Sigma methodology, recognized for its effectiveness in controlling and optimizing industrial processes, was applied. The research was structured based on the DMAIC cycle, through which each stage of the process was analyzed in detail, identifying the main causes of rework and instability. The results showed that measurement errors and dimensional deviations were the critical factors affecting the quality of the reconditioning. Based on these findings, improvement actions were implemented, focusing on standardizing procedures, providing technical training for personnel, and strengthening measurement controls. These measures resulted in a significant reduction in defects and greater consistency in the results. The application of Six Sigma represents a strategic step towards operational excellence, promoting a culture of quality and contributing to efficiency, precision and customer satisfaction in block grinding.

Keywords: Six Sigma, DMAIC, Variability, Grinding, Quality, Production.



Introducción

La competitividad de los sistemas productivos industriales depende en gran medida de su capacidad para controlar la variabilidad y asegurar la calidad de los procesos. En este contexto, metodologías de mejora continua como Six Sigma se han consolidado como enfoques eficaces para la reducción de defectos, la optimización del desempeño operativo y el fortalecimiento de la confiabilidad de los procesos, mediante el uso sistemático de herramientas estadísticas y de gestión (da Silva et al., 2019; Mittal et al., 2023; Albert, 2017).

En la literatura reciente, el enfoque Six Sigma/DMAIC ha evolucionado desde una lógica centrada únicamente en reducción de variabilidad y defectos hacia marcos integrados que articulan eficiencia operacional, sostenibilidad y soporte digital (Barros Enriquez et al., 2025). En particular, el campo de Green Lean Six Sigma (GLSS) se consolida como una integración explícita de Lean (reducción de desperdicios), Six Sigma (mejora de la calidad) y prácticas “Green” (responsabilidad ambiental), con evidencia de beneficios simultáneos en desempeño operativo y ambiental, aunque todavía con vacíos en métricas estandarizadas y en validaciones empíricas fuera de manufactura tradicional (Ghasemibojd et al., 2025). En esa misma línea, aplicaciones industriales recientes demuestran que combinar DMAIC con herramientas Lean y prácticas de sostenibilidad permite elevar el rendimiento del proceso y la eficiencia del flujo (Barros Enriquez et al., 2025); por ejemplo, se reportan mejoras en nivel sigma y en indicadores de eficiencia del ciclo del proceso (PCE), apoyadas en rediseños de dispositivos, 5S y analítica/dashboards para control y seguimiento (Fitriana et al., 2025).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) permite identificar las causas raíz de la variabilidad, estabilizar procesos y mejorar indicadores clave de desempeño en distintos sectores industriales, incluyendo manufactura, metalmecánica y servicios técnicos especializados (Ramírez Pérez et al., 2021; Wang et al., 2023). En particular, el control estadístico de procesos y el análisis de capacidad constituyen herramientas fundamentales para evaluar el cumplimiento de especificaciones y la estabilidad operativa.

Además, el marco DMAIC está siendo actualizado hacia variantes Industry 4.0-ready, proponiendo hojas de ruta donde tecnologías como Big Data Analytics, Machine Learning, Data Mining, Process

Mining e IoT se incorporan para potenciar tareas de Define-Measure-Analyze-Improve-Control y acelerar ciclos de mejora; esto se concreta en propuestas como DMAIC 4.0, con un conjunto amplio de tareas enriquecidas con tecnologías I4.0 y validación mediante investigación-acción y método Delphi, lo que refuerza su aplicabilidad práctica en distintos sectores (Tanawadee et al., 2025; Arsiwi et al., 2025). La evidencia empírica también muestra resultados medibles cuando DMAIC se usa como “columna vertebral” para implementar Lean: en entornos de talleres/servicios, se han observado incrementos de capacidad del proceso (C_p y C_{pk}) y mecanismos de sostenimiento como tableros PDCA, junto con prácticas de orden y estandarización (Mogatusi et al., 2025). A ello se suman casos orientados a sostenibilidad económico-ambiental en operaciones específicas (p. ej., pintura y pegado) donde DMAIC se usa para reducir pérdidas y mejorar el desempeño integral del proceso (Monteiro et al., 2025).

En los procesos de rectificación de motores, el área de blocks representa una etapa crítica, debido a que la precisión dimensional de los cilindros influye directamente en el desempeño, durabilidad y confiabilidad del motor. En este tipo de operaciones, la variabilidad se manifiesta como dispersión de las mediciones alrededor del valor objetivo y frente a los límites de especificación; cuando dicha dispersión aumenta, se incrementa la probabilidad de piezas fuera de tolerancia, reprocesos y desperdicios (Cobo, 2017). Por ello, el control metrológico y la estandarización de la medición son determinantes para reducir la variabilidad y sostener la estabilidad del proceso. Errores de medición, ausencia de procedimientos estandarizados y deficiencias en el control metrológico pueden generar reprocesos, desperdicios y variabilidad significativa en los resultados finales, afectando la calidad del servicio y la satisfacción del cliente (Díaz Díaz, 2023; Pant et al., 2023).

En la rectificadora de motores objeto de estudio se identificaron problemas asociados a desviaciones dimensionales, reprocesos frecuentes y baja capacidad del proceso. Esto evidenció la necesidad de implementar un enfoque estructurado de mejora que permita estandarizar las mediciones y fortalecer el control del proceso. Frente a esta problemática, la metodología Six Sigma, aplicada bajo el ciclo DMAIC, ofrece un marco sistemático para evaluar el desempeño actual, identificar causas de variabilidad y definir acciones de mejora basadas en datos.

El objetivo de la presente investigación es aplicar Six Sigma mediante DMAIC para reducir la variabilidad en el proceso de rectificación de blocks del motor Toyota 2NZ. Asimismo, se evalúa



el impacto de la intervención en indicadores de calidad, eficiencia y capacidad del proceso. Finalmente, los resultados buscan aportar evidencia empírica sobre la efectividad de Six Sigma en procesos de rectificación de motores y servir como referencia para mejoras en contextos industriales similares.

Material y métodos

La investigación tuvo un enfoque aplicado y cuantitativo, con un diseño descriptivo-analítico de corte transversal, orientado a la reducción de la variabilidad en el proceso de rectificación de blocks mediante la aplicación de la metodología Six Sigma, siguiendo el ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), y tomando en cuenta lo sugerido por Pyzdek y Keller (2024).

Contexto y unidad de análisis

El estudio se desarrolló en el área de rectificación de blocks de una rectificadora de motores, dedicada al reacondicionamiento de motores automotrices. La unidad de análisis correspondió al proceso de rectificación de cilindros del block, el cual incluye las etapas de recepción, diagnóstico, limpieza, medición dimensional, rectificado, verificación final y entrega al cliente. Este proceso fue seleccionado por su impacto directo en la calidad dimensional y funcional del motor.

Datos y recolección de información

Los datos fueron obtenidos a partir de registros operativos y de control de calidad del proceso productivo, recopilados antes y después de la implementación de las acciones de mejora. La información incluyó mediciones dimensionales de los cilindros, registros de piezas fuera de tolerancia, reprocesos y resultados de inspección final.

Las mediciones se realizaron utilizando un calibrador digital con conectividad Bluetooth, lo que permitió asegurar precisión, trazabilidad y almacenamiento sistemático de los datos. Se excluyeron registros incompletos o inconsistentes para garantizar la confiabilidad del análisis.

Variables e indicadores

Las variables principales del estudio fueron la variabilidad dimensional del cilindro, el número de piezas fuera de tolerancia y el porcentaje de defectos. Como indicadores de desempeño se evaluaron la capacidad del proceso mediante los índices Cp y Cpk, el nivel Z, la reducción de reprocesos y el cumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas.

Procedimiento metodológico

El procedimiento se estructuró conforme a las fases del ciclo DMAIC:

- Definir: identificación del problema de alta variabilidad y establecimiento de los requerimientos del cliente.
- Medir: recolección de datos dimensionales y evaluación del desempeño inicial del proceso mediante herramientas estadísticas.
- Analizar: identificación de las principales causas de variabilidad utilizando análisis estadístico y herramientas de calidad.
- Mejorar: implementación de acciones correctivas orientadas a la estandarización del proceso y fortalecimiento del sistema de medición.
- Controlar: seguimiento del proceso mediante gráficos de control y análisis de capacidad, con el fin de asegurar la sostenibilidad de las mejoras.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante gráficos de control \bar{X} -R, histogramas de capacidad, gráficas de probabilidad normal y análisis de capacidad del proceso. Se determinaron los índices Cp, Cpk y nivel Z, permitiendo comparar el comportamiento del proceso antes y después de la implementación de Six Sigma y verificar el cumplimiento de las tolerancias establecidas, tomando en cuenta lo sugerido por Ruiz y Rojas (2018).

Consideraciones éticas

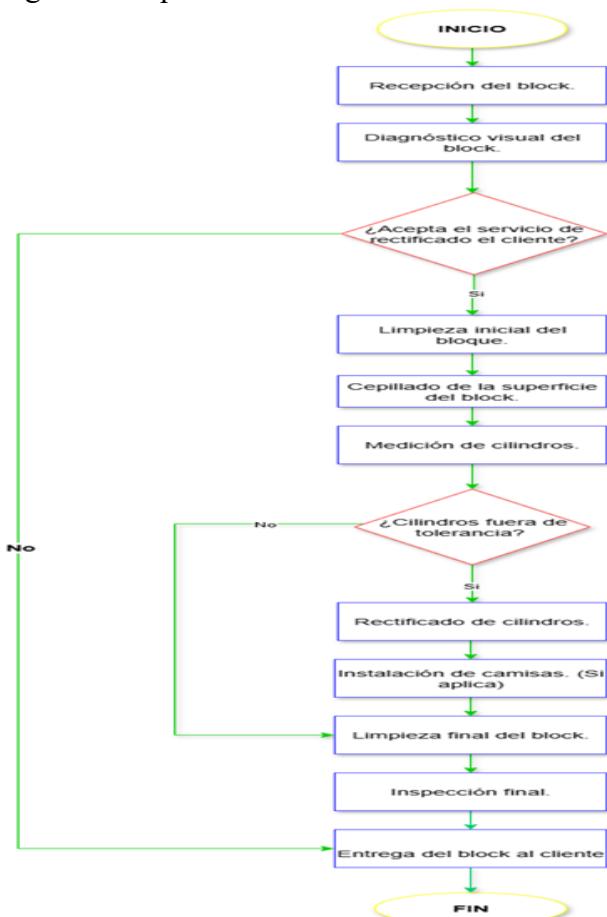
La información utilizada fue tratada de manera confidencial y empleada exclusivamente con fines académicos y de mejora del proceso. No se incluyeron datos personales ni información sensible de

clientes o de la empresa, garantizando el uso ético de los datos y la confidencialidad de la organización analizada.

Resultados

El proceso de rectificación de blocks comprende actividades de inspección, limpieza, rectificado, alineación, control dimensional y verificación final. Para caracterizar el flujo del servicio se elaboró el diagrama general del proceso (Figura 1), el cual permitió identificar las principales actividades y puntos de control involucrados.

Figura 1
Diagrama del proceso de rectificado del block



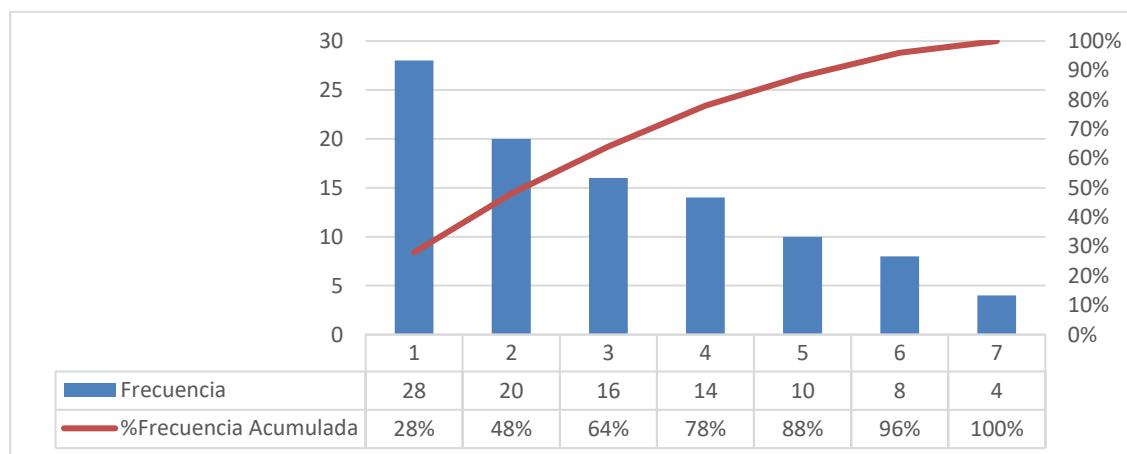
Fuente: Investigación de campo.

En el estado inicial, el proceso comprendió 16 actividades con una duración total de 132 minutos, de los cuales 53 minutos (40,15 %) correspondieron a tiempos improductivos, asociados principalmente a demoras, reprocesos y variación en la ejecución de las mediciones.

Priorización de causas de variabilidad

Para identificar las fuentes principales de variabilidad y orientar la intervención, se aplicó un análisis de Pareto (Figura 2). Los resultados evidenciaron que el mayor porcentaje de incidentes se concentró en tres causas: falta de procedimientos estandarizados (28 %), uso no uniforme de instrumentos de medición (20 %) y desgaste de maquinaria (16 %), las cuales acumularon 64 % de los casos registrados. En consecuencia, estas causas se consideraron críticas para el diseño de las acciones de mejora.

Figura 2
Diagrama de Pareto



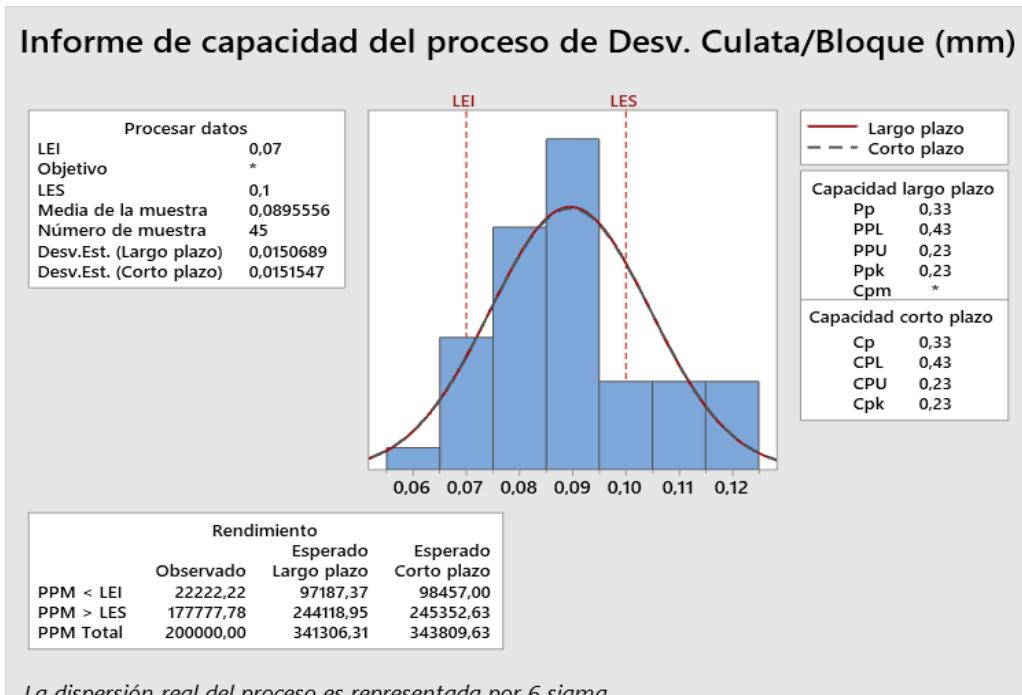
Fuente: Investigación de campo.

Desempeño inicial del proceso y capacidad

El desempeño inicial del proceso se evaluó mediante análisis de capacidad. Los resultados evidenciaron valores de Cpk inferiores a 1, confirmando que el proceso no cumplía de forma consistente con las especificaciones técnicas. En particular, la variable asociada a la desviación inicial presentó un Cpk = 0,23; lo que indica una alta variabilidad y riesgo de piezas fuera de tolerancia (Figura 3).

Figura 3

Análisis de la capacidad en la desviación de los motores de la rectificadora



Fuente: Elaboración propia.

Se observa la capacidad de los datos obtenido que Cpk tiene un valor de 0,23 por ende es menor a 1 y no está realizando todas las especificaciones adecuadas en el proceso de rectificado.

A partir del análisis de las causas priorizadas, se determinó que la principal limitación del proceso correspondía a la ausencia de instrumentos de medición estandarizados y confiables. En respuesta, se incorporó un calibrador digital con conectividad Bluetooth, lo que permitió mejorar la precisión, trazabilidad y consistencia de los registros dimensionales, así como facilitar su análisis estadístico.

Diagrama de análisis del nuevo proceso (DAP) que se lleva a cabo en el rectificado del block con la propuesta planteada

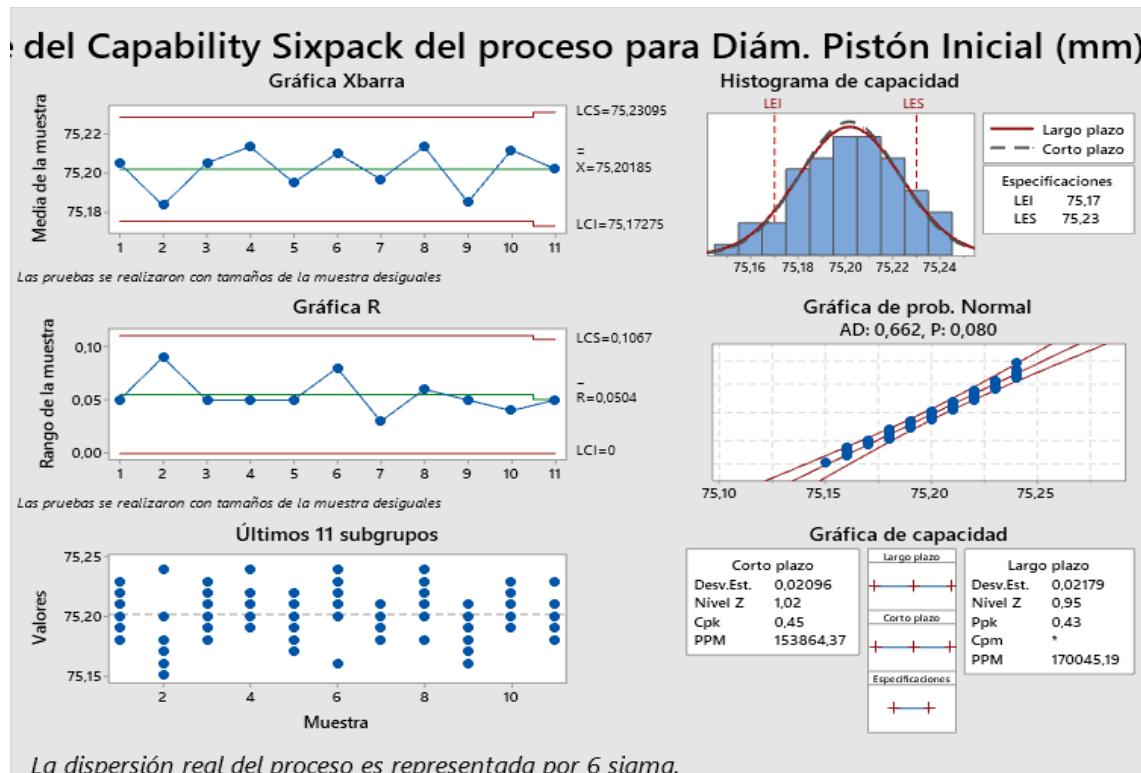
En la comparación del DAP inicial y el proceso propuesto (Figura 5), se evidenció una reducción del 6,06 % en el tiempo total de operación, pasando de 132 a 124 minutos, como resultado de la estandarización del proceso y el uso del calibrador digital.

Análisis de diagrama DAP.

En la comparación del DAP actual y el DAP propuesto, se logró una reducción de 6,06 % en el tiempo total de operación, pasando de 132 minutos a 124 minutos. Esta mejora es consecuencia de la propuesta de implementación del calibrador digital con conexión Bluetooth.

Figura 4

Análisis de capacidad del diámetro del pistón



Fuente: Elaboración propia

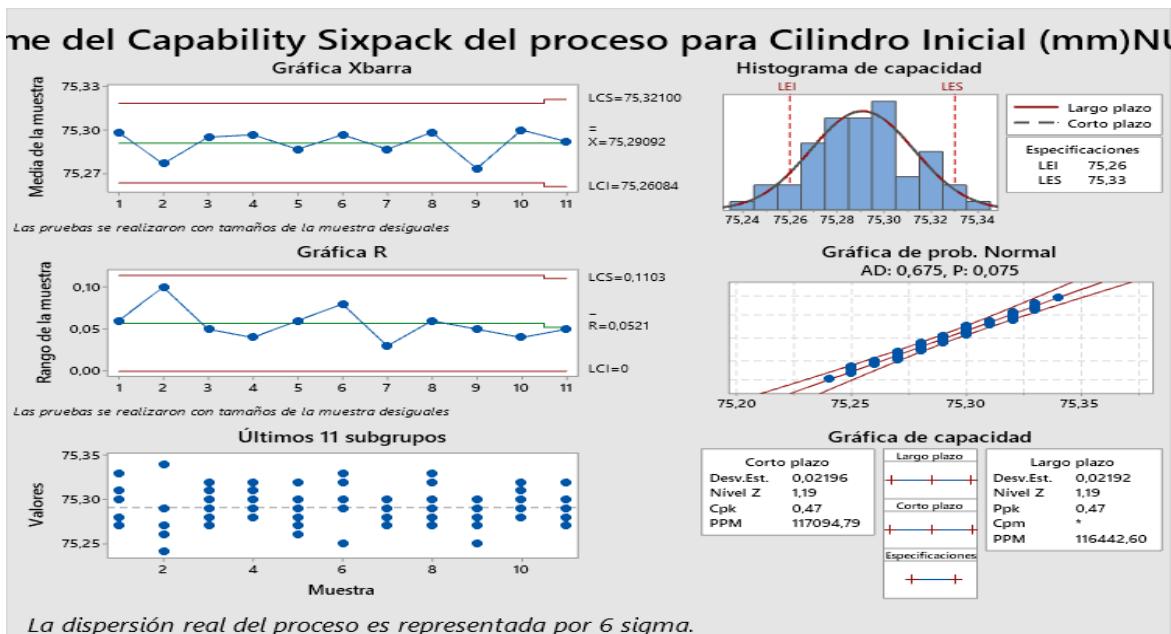
El análisis estadístico indicó que el proceso se mantiene mayormente bajo control, aunque presenta puntos de variabilidad. El histograma mostró un comportamiento estable y la gráfica de capacidad

evidenció un nivel Z de 0,95 a corto plazo, reflejando una mejora progresiva y un acercamiento al cumplimiento de las especificaciones del cliente.

Análisis del informe de capacidad del proceso de cilindro inicial.

Figura 5

Análisis del informe del proceso para cilindro inicial



Fuente: Elaboración propia

Los resultados estadísticos indican que el proceso se mantiene mayormente bajo control, con una media de 75,34, aunque presenta variabilidad en puntos específicos. El histograma de capacidad refleja un proceso estable, mientras que las gráficas R y de subgrupos evidencian dispersión puntual en los datos. La gráfica de capacidad muestra un nivel Z de 1,19 a corto plazo, lo que confirma una mejora del proceso y un avance hacia el cumplimiento de los requisitos del cliente.

Evaluación los resultados esperados analizando su impacto en la calidad del producto del área de blocks.

Análisis de indicadores del área de blocks.

En esta fase se busca comparar cuantitativamente el estado inicial del proceso de rectificación de blocks, caracterizado por una alta variabilidad, frente al estado actual tras la implementación de mejoras.

Tabla 1
Análisis integral de los indicadores

Indicador	Valor inicial	Valor final	Resultado obtenido	Interpretación técnica
Eficacia (%)	66,0	73,84	Incrementó de 66,0 a 73,84 %	Se redujo la variabilidad y aumentó la conformidad de los bloques producidos.
Eficiencia (%)	90,9	96,77	Creció de 90,9 a 96,77 %	Se optimizó el uso del tiempo de ciclo, eliminando actividades improductivas.
Productividad (blocks/HH)	5,68	7,85	Pasó de 5,68 a 7,85 blocks/HH	Se mejoró el aprovechamiento del recurso humano, generando más bloques en menos tiempo.
Operatividad (%)	59,9	65,0	Subió de 59,9 a 65,0 %	Aumentó la disponibilidad efectiva de la jornada laboral, reduciendo paradas.

Nota: Investigación de campo

El análisis integral de los indicadores evidencia una mejora sustancial en el desempeño del área de blocks tras la propuesta de implementación.



Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de la metodología Six Sigma, bajo el ciclo DMAIC, permitió reducir la variabilidad del proceso de rectificación de blocks y mejorar de manera integral su desempeño operativo. Los incrementos observados en los indicadores de eficacia, eficiencia, productividad y operatividad confirman que la estandarización de procedimientos y el fortalecimiento del sistema de medición constituyen factores determinantes para la estabilidad y confiabilidad del proceso.

Estos hallazgos son consistentes con estudios previos que reportan mejoras significativas en procesos industriales mediante la implementación de Six Sigma, particularmente cuando se prioriza el control estadístico y la reducción de errores de medición (da Silva et al., 2019; Mittal et al., 2023; Alarcón, 2023). De igual forma, investigaciones aplicadas en contextos locales han señalado que la capacitación técnica del personal y la estandarización operativa contribuyen de manera directa a la disminución de reprocesos y productos no conformes (Gonzales, 2019; Ordoñez, 2021).

En relación con la variabilidad dimensional, los resultados concuerdan con lo expuesto por Vera (2020), quien destacó que la gestión técnica del desgaste de maquinaria, junto con la aplicación de controles estadísticos, permite mejorar la confiabilidad de los procesos de mecanizado. En el presente estudio, la incorporación de un calibrador digital con conectividad Bluetooth fortaleció el control metrológico, reduciendo la dispersión de los datos y mejorando la capacidad del proceso, lo cual se reflejó en incrementos del nivel Z y en una mayor estabilidad operativa.

Asimismo, los resultados guardan relación con lo reportado por Ramírez y Hernández (2020), quienes evidenciaron que la aplicación de Six Sigma en procesos de rectificado de motores permite reducir defectos y optimizar los tiempos de entrega, coincidiendo con trabajos como Cárdenas (2020). En este trabajo, el aumento del 5,1 % en la operatividad indica una mayor disponibilidad efectiva de la jornada laboral y una reducción de paradas innecesarias, impactando positivamente en la productividad del área de blocks.

A diferencia de estudios que se centran únicamente en la reducción de defectos, esta investigación integra el análisis de capacidad del proceso con indicadores operativos, demostrando que la mejora del sistema de medición no solo reduce la variabilidad dimensional, sino que también fortalece la



eficiencia del proceso y el aprovechamiento del recurso humano. En conjunto, los resultados confirman que la aplicación de Six Sigma constituye una estrategia eficaz para mejorar la confiabilidad operativa y la calidad del servicio en procesos de rectificación de motores, reforzando la evidencia empírica reportada en la literatura.

Conclusiones

La aplicación de la metodología Six Sigma bajo el ciclo DMAIC permitió identificar de manera objetiva las principales fuentes de variabilidad en el proceso de rectificación de blocks, evidenciando que la dispersión de los datos generaba una baja capacidad del proceso y un incumplimiento de las especificaciones técnicas establecidas.

El análisis de capacidad confirmó que, en el estado inicial, los índices Cp y Cpk inferiores a 1 reflejaban un proceso inestable. Tras la implementación de las acciones de mejora, se logró una reducción significativa de las piezas fuera de especificación, destacándose una disminución del 78 % en la variabilidad del diámetro del cilindro, lo que demuestra la efectividad de la metodología para alinear el proceso con los requisitos del cliente.

La estandarización de procedimientos, el fortalecimiento del sistema de medición mediante herramientas de mayor precisión y la capacitación del personal consolidaron una mejora sostenible del proceso, reflejada en incrementos de productividad, eficiencia y confiabilidad operativa. En este sentido, Six Sigma se confirma como una alternativa viable y efectiva para la mejora de procesos de rectificación de motores.

Referencias bibliográficas

1. Alarcón, K. A. (2023). *Modelo de mejora continua, en el área de rectificación de cabezote en la Empresa Rectificadora Pico'S, mediante la metodología Six Sigma* [Tesis]. Universidad Pontificia de Madrid.
2. Albert, E. N., Soler, V. G., & Molina, A. I. (2017). Metodología e implementación de Six Sigma. *3C Empresa*, 8.
3. Aparicio Hernández, J. A., & Muñoz, E. M. (2024). Herramientas estadísticas para reducir la variabilidad en los procesos con Six Sigma. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5–19.
4. Arsiwi, P., Talitha, T., Ramdhani, S., Pramukti, S., Wulandari, H. S., Saputri, E. D., & Rahayu, F. I. (2025). *Integrating Lean Six Sigma into waste management evaluation to enhance supply chain productivity: A case study. Sustainable Engineering and Innovation Case Study*, 7(2), 631–646. <https://doi.org/10.37868/sei.v7i2.id621>.
5. Cárdenas, M. (2022). *Estrategia de mejora de procesos Six Sigma aplicado a la industria textil peruana* [Tesis]. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
6. Cobo, E., Antonio, J., & Muñoz, G. (2017). *Variabilidad*. Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech.
7. da Silva, I. B., Godinho Filho, M., Agostinho, O. L., & Lima Junior, O. F. (2019). A new Lean Six Sigma framework for improving competitiveness. *Acta Scientiarum: Technology*, 41(1).
8. Díaz Díaz, H. K. (2023). Avances en metrología dimensional: nuevas tecnologías y su aplicación en la fabricación. *Revista Multidisciplinaria de Estudios Generales*, 2(3), 11–20.
9. Fitriana, R., Marie, I. A., Sari, D. K., Zagloel, T. Y. M., Ahmad, N., Sasmita, N. F., & Dewansyah, S. (2025). *Quality system improvement using sustainable lean manufacturing and Six Sigma in the heavy components industry. International Journal of Technology*, 16(6), 2211–2229. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v16i6.7758>.
10. Ghasemibojd, F., Franchetti, M. J., & George, B. (2025). *Green lean six sigma for sustainable development: A systematic review of evolution, challenges, and future pathways. Clean Technologies and Environmental Policy*, 27, 9239–9262. <https://doi.org/10.1007/s10098-025-03281-y>
11. Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Control estadístico*. Impreso en México.

12. Mittal, A., Gupta, P., Kumar, V., Al Owad, A., Mahlawat, S., & Singh, S. (2023). The performance improvement analysis using Six Sigma DMAIC methodology: A case study on Indian manufacturing company. *Heliyon*, 9, e14625.
13. Mogatusi, S., Takalani, T., & Gupta, K. (2025). *Leveraging Six Sigma DMAIC for Lean implementation in mechanical workshops*. *Applied Sciences*, 15, 11788. <https://doi.org/10.3390/app152111788>.
14. Barros Enríquez, J., Avemañay Morocho, . A., Villafuerte Lopez, M., Perez Toapanta, A., Simancas Vargas, J., Socasi Gualotuña, M., & Hidalgo Correa, C. (2025). Customer Service Optimization and Management: A Case Study in a Telecommunications Company Using Queueing Model Simulation. *The South African Journal of Industrial Engineering*, 36(4), 13–31. <https://doi.org/10.7166/36-4-3192>
15. Pant, R., Franceschini, F., & Maisano, D. (2023). The role of precision metrology in enhancing manufacturing quality: A comprehensive review. *Engineering Science & Technology Journal*.
16. Pongboonchai-Empl, T., Antony, J., Garza-Reyes, J. A., Tortorella, G. L., Komkowski, T., & Stemann, D. (2026). *DMAIC 4.0 – innovating the Lean Six Sigma methodology with Industry 4.0 technologies*. *Production Planning & Control*, 37(2), 170–191. <https://doi.org/10.1080/09537287.2025.2477724>
17. Pyzdek, T., & Keller, P. (2024). *Manual Six Sigma: Una guía completa para cinturones verdes, cinturones negros y gerentes de todos los niveles* (6.^a ed.). McGraw Hill.
18. Ramírez Pérez, J. F., López Torres, V. G., Hernández Castillo, S. A., & Morejón Valdés, M. (2021). Lean Six Sigma e Industria 4.0, una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones. *UNESUM – Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(4), 151–168.
19. Ruiz, A., & Rojas, F. (2018). *Control estadístico de procesos*. Universidad Pontificia Comillas Madrid.
20. Wang, P. J., Li, G., & Li, X. (2023). Process quality control method for three-cylinder engine balance shaft system. *Applied Sciences*, 13(19), 10788.
21. Barros Enriquez, J. D., Villafuerte López, M. I., Avemañay Morocho, Á. M., Socasi Gualotuña, M. S., & Bustillos Molina, I. T. (2025). Enhancing Customer Service Efficiency in Telecommunications via Queueing Model Simulation: A Quantitative Case Study. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 12, e3001. <https://doi.org/10.26495/pnbcse37>



22. Monteiro, J., Silva, F. J. G., Raguettini, C. C. R., Ferreira, L. P., Luca, R. R., & Sales-Contini, R. C. M. (2025). *Improving the economic and environmental sustainability of painting and glueing operations in a luxury leather goods industry using DMAIC methodology: A case study*. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 27, 4264–4284.
<https://doi.org/10.1007/s10163-025-02357-7>.

Conflictos de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.