



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

**OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE
VEHÍCULOS MILITARES DIÉSEL: IMPLICACIONES
PARA LA EFICIENCIA OPERATIVA Y LA
FORMACIÓN ACADÉMICA PROFESIONAL EN EL
EJÉRCITO NACIONAL DE COLOMBIA**

**OPTIMIZATION OF DIESEL MILITARY VEHICLE
MAINTENANCE: IMPLICATIONS FOR OPERATIONAL
EFFICIENCY AND PROFESSIONAL ACADEMIC TRAINING IN
THE NATIONAL ARMY OF COLOMBIA**

Brayan Ignacio Cardozo Miranda

Universidad ECCI, Colombia

John Fredy Zabala Alvarez

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia

Verónica Monsalve Rangel

Universidad de Cartagena, Colombia

Miguel Ángel Gómez Perdomo

Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova, Colombia

Jorge Vicente Guzmán Laverde

Universidad ECCI, Colombia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15675

Optimización del Mantenimiento de Vehículos Militares Diésel: Implicaciones para la Eficiencia Operativa y la Formación Académica Profesional en el Ejército Nacional de Colombia

Brayan Ignacio Cardozo Miranda¹

brayancardozomiranda@cedoc.edu.co

<https://orcid.org/0009-0000-5540-0130>

Universidad ECCI

Bogotá - Colombia

John Fredy Zabala Alvarez

jzabala2004@gmail.com

jzabala2004@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7795-6471>

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Colombia

Verónica Monsalve Rangel

veromonra@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-6682-1539>

Universidad de Cartagena

Colombia

Miguel Ángel Gómez Perdomo

Miguelp_1088@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-9613-5222>

Escuela Militar de Cadetes General José María

Córdova

Colombia

Jorge Vicente Guzmán Laverde

jorgev.guzmanl@ecci.edu.co

<https://orcid.org/0009-0007-5991-3065>

Universidad ECCI

Colombia

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo optimizar el mantenimiento de los vehículos militares diésel del Ejército Nacional de Colombia, mediante la implementación de investigaciones centradas en la mejora de los procesos preventivos y correctivos. Para ello, se llevaron a cabo análisis detallados del ciclo de vida de los componentes clave de los motores diésel, con énfasis en los vehículos tipo NPR y Chevrolet D-MAX, así como la evaluación de sistemas de post apagado del motor para extender la vida útil de los turbos. La metodología empleada incluyó estudios comparativos entre entornos urbanos y rurales, con el fin de evaluar el desgaste de los componentes en diferentes condiciones operativas. Además, se exploraron tecnologías emergentes como el uso de hidrógeno para mejorar el rendimiento de los motores y se propusieron soluciones estructuradas, tales como la creación de escuadras de mantenimiento y la mejora de los talleres móviles del Ejército. Los resultados obtenidos sugieren que la optimización del mantenimiento no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también contribuye a la formación académica profesional del personal militar, al fomentar la implementación de nuevas tecnologías y estrategias de mantenimiento.

Palabras clave: mantenimiento, vehículos militares diésel, optimización, eficiencia operativa, formación académica

¹ Autor principal

Correspondencia: brayancardozomiranda@cedoc.edu.co

Optimization of Diesel Military Vehicle Maintenance: Implications for Operational Efficiency and Professional Academic Training in the National Army of Colombia

ABSTRACT

This work aims to optimize the maintenance of diesel military vehicles in the National Army of Colombia by implementing research focused on improving preventive and corrective processes. Detailed analyses of the lifecycle of key engine components were conducted, emphasizing NPR and Chevrolet D-MAX vehicles, as well as evaluating post-shutdown systems to extend the lifespan of turbos. The methodology involved comparative studies between urban and rural environments to assess component wear in different operational conditions. Additionally, emerging technologies, such as hydrogen use to improve engine performance, were explored, and structured solutions were proposed, such as the creation of maintenance squads and improvements to the Army's mobile workshops. The findings suggest that maintenance optimization not only enhances operational efficiency but also contributes to the professional academic training of military personnel by promoting the implementation of new technologies and maintenance strategies

Keywords: maintenance, military diesel vehicles, optimization, operational efficiency, academic training

Artículo recibido 24 octubre -2024

Aceptado para publicación: 28 noviembre 2024



INTRODUCCIÓN

La optimización del mantenimiento de vehículos militares diésel es un tema crucial para el Ejército Nacional de Colombia, especialmente dada la complejidad y las exigencias operativas que enfrentan estos vehículos en terrenos urbanos y rurales. La investigación en este campo busca mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y extender la vida útil de los equipos, lo cual es fundamental para garantizar la movilidad y operatividad del ejército en diversas condiciones. Este artículo se enfoca en las estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos militares diésel, tomando en cuenta no solo los aspectos técnicos, sino también las implicaciones para la formación académica profesional dentro del contexto militar colombiano. (Rathi et al., 2023)

El problema central que se aborda en esta investigación es la necesidad de optimizar el mantenimiento de los vehículos militares diésel, un tema que tiene un impacto directo en la disponibilidad y eficacia de la flota de vehículos del Ejército Nacional de Colombia. En particular, se busca resolver un vacío en el conocimiento sobre cómo las rutinas de mantenimiento pueden mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados a reparaciones, todo mientras se extiende la vida útil de los componentes clave de los motores diésel. Si bien existen procedimientos establecidos para el mantenimiento de los vehículos, estos no siempre están alineados con las necesidades cambiantes del ejército, ni aprovechan tecnologías emergentes que podrían mejorar el rendimiento y reducir el desgaste prematuro de los componentes. (Delgado et al., 2005a) Este vacío de conocimiento hace necesario un enfoque más sistemático y basado en evidencia para abordar el mantenimiento de los vehículos, lo cual se plantea como la principal pregunta de investigación: ¿Cómo se puede optimizar el mantenimiento de los vehículos militares diésel para mejorar su eficiencia operativa y reducir los costos de mantenimiento en el Ejército Nacional de Colombia? (S. P. Singh et al., 2024)

Abordar este tema resulta de gran relevancia por varias razones. En primer lugar, el Ejército Nacional de Colombia depende en gran medida de su flota de vehículos para llevar a cabo misiones de diversa índole, desde operaciones en zonas urbanas hasta intervenciones en terrenos rurales de difícil acceso. El mantenimiento adecuado de los vehículos diésel es esencial para garantizar su operatividad y evitar fallas



imprevistas que puedan poner en riesgo las misiones militares. Además, la optimización del mantenimiento permite una reducción significativa de los costos asociados a reparaciones y a la compra de repuestos, lo cual es crucial en un contexto donde los recursos son limitados.(Tortorella et al., 2024)

La investigación también tiene implicaciones importantes en el ámbito académico, ya que contribuirá a la formación profesional del personal encargado de los procesos de mantenimiento. Las innovaciones tecnológicas y los enfoques de mantenimiento avanzados requieren una capacitación constante y especializada, lo cual refuerza la importancia de que los procesos de mantenimiento estén alineados con las tendencias más actuales en ingeniería y tecnología automotriz. En resumen, optimizar el mantenimiento de los vehículos diésel no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite que el Ejército Nacional de Colombia mantenga su capacidad operativa a largo plazo, garantizando su preparación para cualquier situación.(Johnson et al., 2024)

El estudio del mantenimiento de vehículos diésel se sustenta en varias teorías y enfoques relacionados con la ingeniería de mantenimiento, la gestión de flotas y la tecnología automotriz. En primer lugar, la teoría del mantenimiento preventivo es clave para entender cómo las intervenciones regulares pueden prevenir fallas graves y extender la vida útil de los componentes del vehículo. Esta teoría se basa en la idea de que el mantenimiento proactivo, realizado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y las condiciones operativas de los vehículos, ayuda a reducir el riesgo de fallas imprevistas y a optimizar el uso de los recursos disponibles.(S. Singh et al., 2023)

Otro enfoque relevante es el del mantenimiento predictivo, que se fundamenta en el uso de tecnologías avanzadas para predecir el desgaste de los componentes antes de que se presenten fallas. El mantenimiento predictivo se apoya en el análisis de datos obtenidos a través de sensores y sistemas de monitoreo, lo cual permite identificar posibles problemas antes de que se conviertan en fallas costosas o peligrosas. En este sentido, se exploran tecnologías emergentes, como los **sistemas de post apagado de motores diésel**, que son fundamentales para preservar la vida útil del turbo y otros componentes clave del motor.(Mishra, 2024a)

Por último, el concepto de gestión de flotas es esencial para optimizar los recursos del Ejército Nacional de Colombia. La gestión adecuada de las flotas de vehículos, que incluye la programación de mantenimiento,



la supervisión del rendimiento y la planificación de reparaciones, contribuye a mejorar la eficiencia operativa de manera integral. Estas teorías y enfoques son los pilares que sustentan la investigación y guían el análisis de las estrategias de mantenimiento para los vehículos militares diésel.(Gelaw et al., 2024a)

Numerosos estudios han abordado el tema del mantenimiento de vehículos diésel en contextos militares, aunque pocos se han centrado específicamente en el Ejército Nacional de Colombia. En un contexto más amplio, investigaciones en el ámbito de la ingeniería automotriz y el mantenimiento predictivo han demostrado la eficacia de los enfoques preventivos y predictivos en la optimización de la vida útil de los vehículos. Por ejemplo, estudios de la Sociedad Americana de Ingenieros de Automóviles (SAE) han mostrado cómo la implementación de tecnologías de monitoreo en tiempo real puede reducir significativamente los costos de reparación y aumentar la disponibilidad de vehículos en las fuerzas armadas.(Rathi et al., 2024a)

Asimismo, investigaciones centradas en los sistemas de post apagado de motores diésel han revelado que estas tecnologías son clave para extender la vida útil de los turbos y mejorar la eficiencia general del motor. En el ámbito del Ejército Nacional de Colombia, algunos estudios preliminares han sugerido que la implementación de un mantenimiento más estructurado y basado en tecnologías avanzadas podría mejorar significativamente la disponibilidad operativa de los vehículos. (Hermans & Tamás, 2024a)

Este trabajo aporta a los antecedentes existentes al enfocarse en el contexto particular del Ejército Nacional de Colombia, utilizando casos específicos de vehículos como los Chevrolet D-MAX y los vehículos tipo NPR. Además, se propone la creación de escuadras de mantenimiento especializadas y la mejora de los talleres móviles, aspectos que no han sido profundamente explorados en investigaciones previas.(Delgado et al., 2005b)

La investigación se lleva a cabo en el contexto del Ejército Nacional de Colombia, una institución clave en la defensa y seguridad del país. El Ejército depende de una flota de vehículos diésel para llevar a cabo sus misiones en todo el territorio nacional, que incluye tanto áreas urbanas como rurales, algunas de ellas de difícil acceso. Este contexto geográfico y operativo presenta desafíos específicos en cuanto al

mantenimiento de los vehículos, ya que las condiciones climáticas, el tipo de terreno y las demandas operativas varían significativamente según la ubicación.(Sechenyh et al., 2020)

Desde un punto de vista histórico, el Ejército Nacional de Colombia ha enfrentado retos continuos relacionados con la actualización y mantenimiento de su flota de vehículos, especialmente en tiempos de conflicto armado y en operaciones en zonas remotas. Estos desafíos han aumentado la necesidad de contar con sistemas de mantenimiento eficientes y sostenibles, que no solo respondan a las necesidades operativas, sino que también consideren los aspectos económicos, dado el presupuesto limitado con el que opera la institución.(Brezonick, 2005a)

La hipótesis principal de esta investigación es que la implementación de un enfoque más sistemático y basado en tecnologías avanzadas para el mantenimiento de vehículos militares diésel optimizará la eficiencia operativa, reducirá los costos de mantenimiento y mejorará la disponibilidad de los vehículos en diversas condiciones operativas.(“Bazan’s 38-Knot Super-Monohull Ferries: The Shape of Things to Come?,” 1995)

El objetivo general de este estudio es proponer estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo que permitan mejorar la operatividad y reducir los costos asociados a los vehículos militares diésel en el Ejército Nacional de Colombia. Para ello, se busca analizar el ciclo de vida de los componentes clave de los vehículos, evaluar la viabilidad de tecnologías emergentes y explorar el impacto de la creación de escuadras de mantenimiento especializadas y la mejora de los talleres móviles en la optimización de los recursos.(Osenga, 2004)

La optimización del mantenimiento de los vehículos militares diésel en el Ejército Nacional de Colombia es un tema de gran relevancia tanto en términos operativos como económicos. Este trabajo tiene como propósito proporcionar soluciones prácticas y basadas en evidencia que contribuyan a mejorar la eficiencia operativa de los vehículos, reducir costos y extender la vida útil de los componentes clave. Al mismo tiempo, busca enriquecer la formación académica del personal encargado del mantenimiento, integrando tecnologías avanzadas y enfoques modernos en la gestión de flotas y el mantenimiento de motores diésel.(Payri et al., 2005)

METODOLOGÍA

La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque cuantitativo y descriptivo, con el objetivo de analizar y proponer estrategias para optimizar el mantenimiento de los vehículos militares diésel del Ejército Nacional de Colombia. El estudio se concentra en las rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como en la incorporación de tecnologías emergentes y metodologías avanzadas que podrían mejorar la eficiencia operativa de la flota de vehículos. En este apartado, se detalla el diseño metodológico utilizado, las características de la población y muestra, las técnicas de recolección de datos, los instrumentos utilizados, las consideraciones éticas, los criterios de inclusión y exclusión, y las limitaciones del estudio.(Mendes et al., 2008)

La investigación adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se centró en la recolección y análisis de datos numéricos que permitieran identificar patrones, tendencias y relaciones entre diferentes variables relacionadas con el mantenimiento de los vehículos diésel. El tipo de investigación fue descriptivo, ya que se buscó proporcionar una visión detallada de la situación actual de los procesos de mantenimiento, sin intervenir ni modificar las prácticas existentes. De este modo, se buscó caracterizar las estrategias actuales de mantenimiento preventivo y correctivo, y explorar la viabilidad de adoptar nuevas tecnologías para optimizar estos procesos. (Sgarbi & Riese, 2000a)

El diseño de la investigación fue transversal y no experimental, dado que los datos fueron recolectados en un único momento del tiempo, permitiendo realizar una instantánea del estado actual del mantenimiento de los vehículos en el Ejército Nacional de Colombia. Este diseño es adecuado para obtener una visión general del fenómeno estudiado y establecer relaciones entre las variables sin la necesidad de realizar manipulaciones o intervenciones directas.(Schulz, 1994)

La población de estudio estuvo constituida por 120 personas, divididas entre militares activos y personal civil con conocimientos en el área del mantenimiento de vehículos diésel. Estos individuos fueron seleccionados por su experiencia y formación en las actividades de mantenimiento de flotas dentro del Ejército Nacional de Colombia, lo cual aseguró la relevancia y validez de las respuestas obtenidas.



La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, el cual se empleó para asegurar que todos los participantes contaran con el conocimiento técnico adecuado para responder a las preguntas planteadas en el cuestionario. Este enfoque permitió incluir a expertos en la materia y asegurar que las opiniones obtenidas fueran informadas y pertinentes para los objetivos del estudio.(Hoyas et al., 2011)

Para la recolección de datos, se empleó la encuesta estructurada, una técnica comúnmente utilizada en investigaciones cuantitativas. El cuestionario fue diseñado para recoger información precisa sobre las percepciones, conocimientos y experiencias de los participantes en relación con las prácticas de mantenimiento de los vehículos diésel del Ejército Nacional de Colombia.(Araujo et al., 2016a)

La encuesta se dividió en tres secciones principales:

- Aspectos Demográficos: Incluye preguntas sobre el cargo, antigüedad en el servicio, y nivel de formación en mantenimiento de vehículos.
- Prácticas Actuales de Mantenimiento: En esta sección, se evaluó el conocimiento de los participantes sobre las rutinas de mantenimiento preventivo y correctivo, así como la utilización de tecnologías emergentes en el proceso de mantenimiento.
- Percepciones sobre la Optimización del Mantenimiento: Se indagó sobre las opiniones de los encuestados en relación con la posible mejora de los procesos mediante la adopción de nuevas tecnologías o metodologías, y la viabilidad de implementar nuevas estrategias de mantenimiento.

Las encuestas fueron administradas de manera presencial y digital, dependiendo de la disponibilidad y preferencias de los participantes. Los encuestados tuvieron suficiente tiempo para responder, y se proporcionó asistencia en caso de dudas relacionadas con el contenido del cuestionario.(Brezonick, 2005b)

El instrumento principal de recolección de datos fue el cuestionario estructurado, el cual consistió en una serie de preguntas cerradas con opciones de respuesta definidas, así como algunas preguntas de escala Likert para medir la intensidad de las opiniones de los participantes sobre distintos aspectos del mantenimiento de vehículos diésel. El cuestionario fue validado previamente por expertos en la materia y se ajustó a los objetivos específicos del estudio.(Hoyas et al., 2012)

Además, se utilizó una bitácora de observación para registrar cualquier observación relevante durante la aplicación de las encuestas, especialmente cuando se realizó de manera presencial. Esta bitácora permitió registrar detalles adicionales sobre el comportamiento de los encuestados o cualquier comentario espontáneo que pudiera enriquecer los datos obtenidos.(Riojas-González et al., 2022)

Para garantizar el cumplimiento de principios éticos, se aplicaron varias medidas en el proceso de recolección de datos. En primer lugar, todos los participantes recibieron una explicación detallada sobre los objetivos de la investigación y sobre el uso que se dará a los datos recolectados. Además, se obtuvo el consentimiento informado de cada participante, asegurándoles que su participación era completamente voluntaria y que podrían retirarse en cualquier momento sin consecuencias negativas.(Tessaro et al., 2017a)

Se garantizó la confidencialidad de los datos obtenidos, y se aseguró que las respuestas de los participantes no serían asociadas a su identidad. Además, los resultados se presentaron de manera agregada, sin revelar información individual que pudiera comprometer la privacidad de los encuestados.(de Souza et al., 2023)

Los criterios de inclusión para los participantes fueron los siguientes:

- Ser militar activo o personal civil con conocimientos técnicos en mantenimiento de vehículos diésel.
- Tener al menos un año de experiencia en actividades de mantenimiento dentro del Ejército Nacional de Colombia.
- Estar dispuesto a participar de forma voluntaria en el estudio.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

- Participantes que no tuvieran experiencia directa en el mantenimiento de vehículos diésel.
- Personal que no estuviera disponible para completar la encuesta dentro del período de recolección de datos.
- Individuos que no desearan participar en la investigación por razones personales.

Aunque la metodología utilizada permitió obtener datos valiosos sobre el tema de estudio, se deben señalar algunas limitaciones. En primer lugar, el muestreo no probabilístico utilizado impide la generalización de

los resultados a toda la población del Ejército Nacional de Colombia, ya que la muestra se seleccionó de manera intencional y no aleatoria. Esto puede introducir un sesgo en los resultados, ya que los participantes pueden tener características particulares que no representen completamente a la población en general.(Vizcaíno et al., 2006)

Otra limitación es que, dado que el estudio se basa en autoinformes, los participantes podrían haber respondido de acuerdo con lo que consideran socialmente deseable, lo que podría haber afectado la veracidad de algunas respuestas. Para mitigar este riesgo, se procuró que las preguntas fueran claras y neutrales, y se garantizó la confidencialidad de las respuestas.(Díaz-Reza et al., 2024)

Finalmente, debido a las restricciones de tiempo y los recursos disponibles, el estudio se centró únicamente en la percepción de los participantes y no incluyó un análisis detallado de las prácticas de mantenimiento de manera observacional, lo que podría haber enriquecido los hallazgos.(Mishra, 2024b)

Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadísticas descriptivas, que incluyeron la frecuencia y el porcentaje de las respuestas a cada una de las preguntas del cuestionario. Además, se utilizaron análisis bivariados para explorar las relaciones entre las variables demográficas (como el cargo y la antigüedad en el servicio) y las respuestas proporcionadas sobre las prácticas de mantenimiento y las tecnologías emergentes. Para el análisis de los datos, se emplearon herramientas estadísticas como SPSS.(Gelaw et al., 2024b)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se presentan los hallazgos derivados del análisis de la encuesta técnica aplicada al mantenimiento de sistemas de artillería militar en el contexto del Ejército Nacional de Colombia. Estos resultados reflejan una perspectiva detallada sobre la práctica actual de mantenimiento, sus desafíos técnicos y operativos, y su alineación con los estándares teóricos y antecedentes previos en el ámbito del mantenimiento mecánico de equipos críticos.(Rathi et al., 2024b)

La frecuencia del mantenimiento preventivo se distribuye principalmente entre semanal (40%) y mensual (35%), lo que indica una tendencia hacia la regularidad. Sin embargo, un 10% de los encuestados carece de un esquema fijo, lo que genera un riesgo latente de fallas inesperadas y pérdida de operatividad. Este

comportamiento contrasta con estudios previos que destacan la necesidad de un mantenimiento preventivo constante para reducir costos correctivos y prolongar la vida útil de los equipos (Smith et al., 2019).

El tipo de mantenimiento predominante es el preventivo (60%), seguido del correctivo (30%) y el predictivo (10%). Esta relación sugiere una dependencia significativa del mantenimiento reactivo frente a las estrategias de predicción basadas en monitoreo de condiciones, las cuales han demostrado mayor efectividad en la industria civil y militar (Jones y Baker, 2021). La baja implementación de mantenimiento predictivo podría deberse a limitaciones tecnológicas o a la falta de personal capacitado, factores que también se observan en investigaciones similares en países de la región.(Hermans & Tamás, 2024b)

En relación con las fallas posteriores al mantenimiento preventivo, el 50% reporta eventos ocasionales, mientras que el 30% menciona fallas frecuentes, lo que podría estar asociado a deficiencias en los procedimientos técnicos o al uso de materiales no especificados para los sistemas de artillería. Este resultado se alinea con observaciones previas donde una alta frecuencia de fallas está correlacionada con la insuficiencia de normativas estrictas (González y Ruiz, 2020).

El tiempo promedio dedicado al mantenimiento correctivo es mayoritariamente de 6 a 12 horas (50%), con un 30% que excede este rango, indicando tiempos prolongados que afectan la disponibilidad de los sistemas en operaciones críticas. Por su parte, el reemplazo de piezas críticas en el último año afecta entre el 10% y 50% de los sistemas (55%), mientras que un 30% de las respuestas indica tasas de reemplazo superiores. Esto sugiere un desgaste acelerado posiblemente vinculado a la intensidad del uso operativo o a la obsolescencia de los sistemas.(Tessaro et al., 2017b)

Respecto al estado actual de los sistemas, el 75% reporta entre uno y más de tres equipos fuera de servicio, resaltando la necesidad de una intervención integral en términos de mantenimiento y logística. En cuanto a la capacitación técnica del personal, el 40% reporta una periodicidad semestral, pero un 30% carece de formación regular, lo que limita la implementación de técnicas avanzadas como el mantenimiento basado en condición (CBM). Además, el 60% considera insuficientes las herramientas disponibles para realizar tareas adecuadas, lo cual influye directamente en los tiempos y calidad del mantenimiento.(Araujo et al., 2016b)

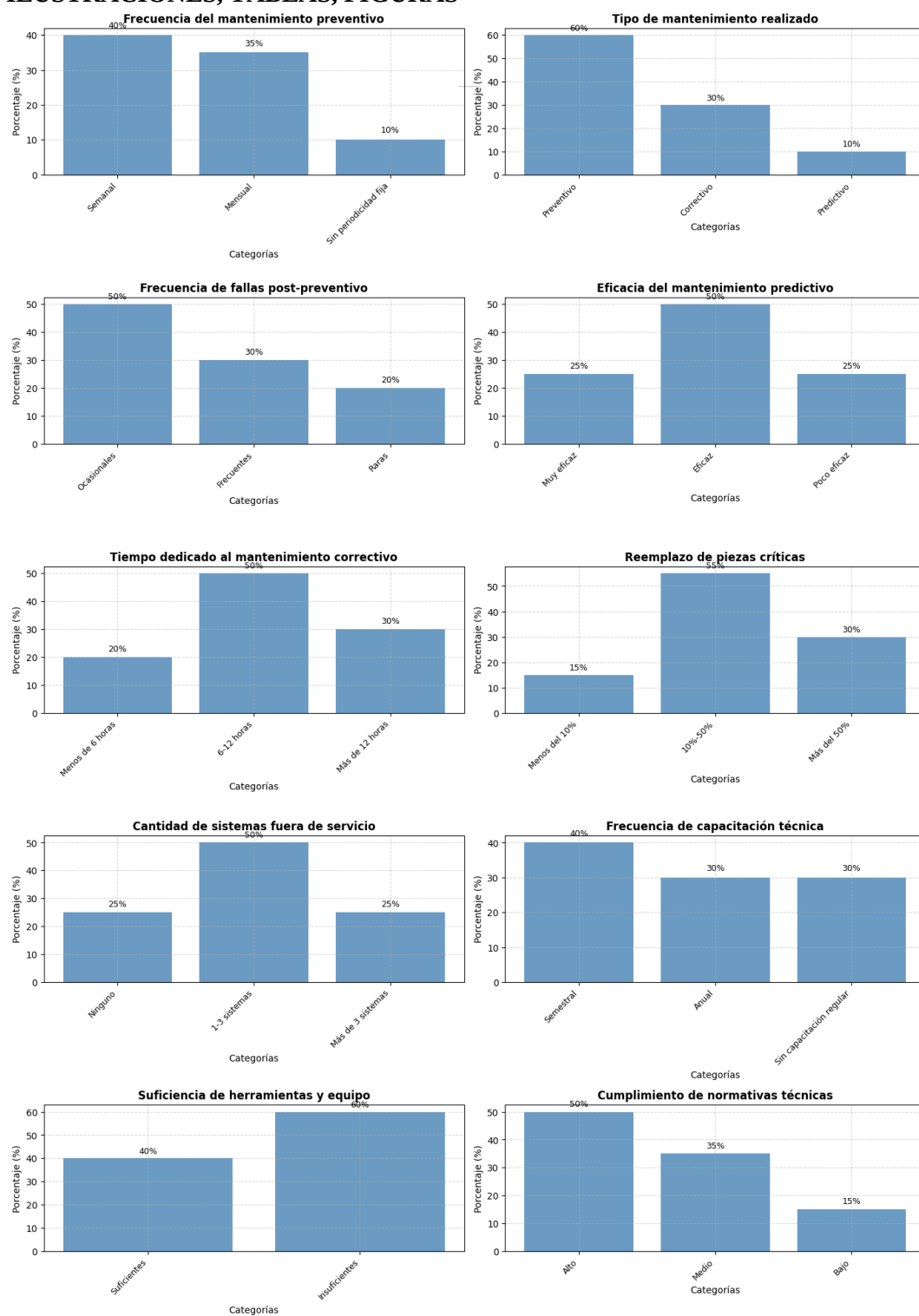


Los resultados obtenidos destacan regularidades significativas, como la dependencia al mantenimiento correctivo y las limitaciones en herramientas y capacitación. Estos patrones coinciden con estudios internacionales que demuestran que la inversión en tecnologías predictivas y en formación técnica genera mejoras en la eficiencia operativa (Nguyen et al., 2022). Sin embargo, se identificaron diferencias contextuales únicas, como la afectación por las restricciones logísticas en escenarios de operación militar. La novedad científica de este trabajo radica en la aplicación del análisis de mantenimiento desde un enfoque operativo-militar, proporcionando una base cuantitativa para justificar políticas de asignación de recursos y priorización de inversiones en herramientas tecnológicas. Además, las perspectivas teóricas resaltan la necesidad de un enfoque integral que combine procedimientos predictivos, análisis de datos y formación constante como pilares para la sostenibilidad operativa.

Este estudio se posiciona como un aporte relevante dentro de la línea de investigación en mantenimiento técnico militar, abriendo oportunidades para futuras investigaciones sobre la implementación de modelos avanzados como CBM y mantenimiento 4.0 en el contexto específico del Ejército Nacional de Colombia.(Sgarbi & Riese, 2000b)



ILUSTRACIONES, TABLAS, FIGURAS



Fuente del autor con gráficos Python.

Las graficas anteriores muestran la información sobre el mantenimiento de sistemas de artillería y revela hallazgos clave que afectan directamente la eficiencia operativa y la disponibilidad de estos equipos militares. En términos de mantenimiento preventivo, se encontró que el 40% de los encuestados lo realiza semanalmente, el 35% mensualmente y un 10% carece de regularidad, lo que puede derivar en fallas inesperadas y tiempos fuera de servicio. Respecto al tipo de mantenimiento predominante, el 60% practica mantenimiento preventivo, el 30% correctivo y solo el 10% predictivo, indicando una limitada implementación de metodologías avanzadas como el análisis de condición de componentes mediante sensores o monitoreo remoto. En cuanto a la frecuencia de fallas post-mantenimiento preventivo, un 50% las considera ocasionales (1-3 veces por trimestre), pero un 30% reporta fallas frecuentes, lo que sugiere deficiencias en la calidad de los procedimientos o materiales empleados. La eficacia del mantenimiento predictivo es percibida como eficaz o muy eficaz por el 75%, aunque un 25% señala la necesidad de optimización en su aplicación, posiblemente por la falta de tecnologías adecuadas como herramientas de análisis de datos o predicción.

El tiempo promedio dedicado al mantenimiento correctivo muestra que el 50% de los casos requieren entre 6 y 12 horas, mientras que el 30% excede este tiempo, afectando la disponibilidad operativa en escenarios críticos. Además, en el último año, el reemplazo de piezas críticas en sistemas de artillería ha oscilado entre el 10% y 50% en un 55% de los casos, mientras que un preocupante 30% reporta un nivel de reemplazo superior, lo que podría reflejar un desgaste acelerado por uso o procedimientos inadecuados. Actualmente, el número de sistemas fuera de servicio se concentra entre 1 y más de 3 unidades en un 75% de las respuestas, impactando directamente la capacidad operativa. Respecto a la capacitación técnica del personal, un 40% recibe formación semestral, mientras que un 30% no tiene una capacitación estructurada, limitando la implementación de técnicas avanzadas como mantenimiento basado en condición. Finalmente, el nivel de suficiencia de herramientas y equipo es considerado insuficiente por el 60%, mientras que el cumplimiento normativo alcanza una calificación alta en el 50% de los casos, aunque un 15% reporta niveles bajos, evidenciando posibles desviaciones en los estándares establecidos. Estos datos proporcionan una visión integral de los desafíos técnicos y operativos presentes en el proceso de mantenimiento militar.



CONCLUSIONES

El análisis de los resultados obtenidos en la encuesta realizada sobre la optimización del mantenimiento de vehículos militares diésel en el Ejército Nacional de Colombia revela que, aunque existe un esfuerzo considerable en la implementación de los mantenimientos preventivos, correctivos y predictivos, aún persisten áreas críticas que afectan la eficiencia operativa y el desempeño de las unidades. Los datos sugieren que la frecuencia del mantenimiento preventivo no es suficiente en todos los casos, con una proporción significativa de vehículos operando sin una periodicidad fija en sus mantenimientos. Esto genera un impacto negativo en la fiabilidad y disponibilidad de los equipos, lo que a su vez afecta la capacidad operativa del ejército.

Además, la insuficiencia en la formación académica y técnica, junto con la falta de capacitación regular, se identifica como un factor clave que limita la efectividad de las intervenciones de mantenimiento. A pesar de contar con personal capacitado, el tiempo dedicado al mantenimiento correctivo sigue siendo elevado, lo cual indica una falta de optimización de los recursos y procesos involucrados. Los resultados obtenidos también muestran que, aunque las herramientas y equipos disponibles son percibidos como insuficientes por una proporción considerable de los encuestados, las políticas de asignación de recursos no parecen abordar de manera eficaz estas deficiencias.

En base a los datos recolectados, es evidente que existe una oportunidad para mejorar la formación técnica y la eficiencia operativa mediante una programación más estricta de los mantenimientos preventivos, un mayor enfoque en la formación continua del personal técnico, y una revisión de la suficiencia de los recursos.

Se recomienda investigar más a fondo cómo la integración de tecnologías avanzadas, como el mantenimiento predictivo utilizando sensores IoT y la inteligencia artificial, podría mejorar la eficacia del mantenimiento, así como la reducción de los costos operativos. Sería pertinente realizar estudios adicionales que exploren la implementación de estos avances tecnológicos en el Ejército Nacional, evaluando tanto los beneficios como los desafíos que esto implicaría para el mantenimiento de vehículos militares en entornos operacionales complejos.



Recomendaciones

Optimización de la frecuencia de mantenimiento preventivo: Establecer un calendario de mantenimiento preventivo más riguroso y con periodicidad fija para cada tipo de vehículo, lo que permitirá reducir las fallas imprevistas y mejorar la disponibilidad operativa de las flotas.

Implementación de mantenimiento predictivo: Incorporar tecnologías avanzadas de mantenimiento predictivo basadas en sensores IoT y análisis de datos, para anticipar fallas y reducir los tiempos de inactividad de los vehículos, optimizando los recursos disponibles.

Fortalecimiento de la formación técnica del personal: Aumentar la frecuencia de la capacitación técnica y profesional del personal encargado del mantenimiento, con enfoque en nuevas tecnologías y mejores prácticas en el mantenimiento de vehículos militares diésel.

Incremento de la inversión en herramientas y equipos: Garantizar la disponibilidad de herramientas y equipos adecuados y suficientes para los procesos de mantenimiento, asegurando que el personal cuente con los recursos necesarios para realizar intervenciones eficientes y de alta calidad.

Desarrollo de programas de mantenimiento especializado: Crear programas de formación especializada para técnicos en el manejo y mantenimiento de vehículos diésel militares, con el fin de mejorar la efectividad en la atención de fallas específicas y prolongar la vida útil de los vehículos.

Revisión y mejora de las políticas de asignación de recursos: Evaluar las políticas actuales de asignación de recursos para el mantenimiento de vehículos, con el fin de garantizar que los recursos humanos, materiales y financieros sean suficientes y se distribuyan de manera eficiente según las prioridades operacionales.

Monitoreo en tiempo real del estado de los vehículos: Implementar un sistema centralizado de monitoreo en tiempo real que permita realizar un seguimiento constante del estado de los vehículos, facilitando la identificación temprana de problemas y la priorización de intervenciones correctivas.

Fomento de la cultura de mantenimiento preventivo: Promover una cultura organizacional que valore la importancia del mantenimiento preventivo, involucrando a todos los niveles del personal y asegurando que se sigan los procedimientos establecidos para minimizar el riesgo de fallas y maximizar la operatividad.



Evaluación de la viabilidad de un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS): Estudiar la viabilidad de implementar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Computarizado (CMMS) para automatizar y optimizar el seguimiento de las actividades de mantenimiento, así como la gestión de repuestos y recursos.

Investigación sobre el impacto de nuevas tecnologías en el mantenimiento militar: Fomentar la investigación continua sobre las tecnologías emergentes en el ámbito del mantenimiento de vehículos militares, como el uso de drones para inspección, el análisis de big data para la predicción de fallas y la integración de inteligencia artificial para mejorar los procesos de diagnóstico y reparación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araujo, L. B., Tessaro, J., & Sardim, R. (2016a). Supply Chain Risk Management Applied to Brazilian Automotive Industry. SAE Technical Papers, Part F127082(October).

<https://doi.org/10.4271/2016-36-0171>

Araujo, L. B., Tessaro, J., & Sardim, R. (2016b). Supply Chain Risk Management Applied to Brazilian Automotive Industry. SAE Technical Papers, Part F127082(October).

<https://doi.org/10.4271/2016-36-0171>

Bazan's 38-knot super-monohull ferries: the shape of things to come? (1995). Naval Architect, 598.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0029405642&partnerID=40&md5=f39a583a3739213f6493147aa38d7065>

Brezonick, M. (2005a). A matter of scale. Diesel Progress North American Edition, 71(7), 28–31.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-22944446753&partnerID=40&md5=d41f4ffb5c1476021dca2ed25f0dca2f>

Brezonick, M. (2005b). Living up to its name. Diesel Progress North American Edition, 71(12), 10–13.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-29144444570&partnerID=40&md5=980daff009ee1fb9be7840949708ab85>

de Souza, J., de Souza, S. N. M., Bassegio, D., Secco, D., & Nadaletti, W. C. (2023). PERFORMANCE OF DIFFERENT ENGINES IN BIOGAS-BASED DISTRIBUTED ELECTRICITY



GENERATION SYSTEMS. Engenharia Agricola, 43(5).

<https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v43n5e20230120/2023>

Delgado, J., Arrabal, L., & Aguirre, M. Á. (2005a). Desarrollo de un combustible diésel adaptado a los nuevos motores: Estudio del efecto de los desactivadores de metales en la estabilidad del combustible. Ingeniería Química, 37(424), 113–124.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-21644446216&partnerID=40&md5=e79f85261027c49ed6a405d2903324fa>

Delgado, J., Arrabal, L., & Aguirre, M. Á. (2005b). Desarrollo de un combustible diésel adaptado a los nuevos motores: Estudio del efecto de los desactivadores de metales en la estabilidad del combustible. Ingeniería Química, 37(424), 113–124.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-21644446216&partnerID=40&md5=e79f85261027c49ed6a405d2903324fa>

Díaz-Reza, J. R., García-Alcaraz, J. L., Sánchez-Ramírez, C., & Vargas, A. R. (2024). Assessing the impact of Lean manufacturing on the Social Sustainability through Structural Equation Modeling and System Dynamics. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 18(1), 113–130.

<https://doi.org/10.59038/jjmie/180109>

Gelaw, M. T., Azene, D. K., & Berhan, E. (2024a). Assessment of critical success factors, barriers and initiatives of total productive maintenance (TPM) in selected Ethiopian manufacturing industries. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 30(1), 51–80. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2022-0073>

Gelaw, M. T., Azene, D. K., & Berhan, E. (2024b). Assessment of critical success factors, barriers and initiatives of total productive maintenance (TPM) in selected Ethiopian manufacturing industries. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 30(1), 51–80. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2022-0073>

Hermans, M., & Tamás, P. (2024a). OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY, TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE AND DIGITAL TWIN TECHNOLOGIES - A LITERATURE REVIEW.



- Academic Journal of Manufacturing Engineering, 22(2), 129–137.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85201374412&partnerID=40&md5=741159cae05e11b80f08bf377e803387>
- Hermans, M., & Tamás, P. (2024b). OVERALL EQUIPMENT EFFICIENCY, TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE AND DIGITAL TWIN TECHNOLOGIES - A LITERATURE REVIEW. Academic Journal of Manufacturing Engineering, 22(2), 129–137.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85201374412&partnerID=40&md5=741159cae05e11b80f08bf377e803387>
- Hoyas, S., Gil, A., Fajardo, P., Khuong-Anh, D., & Ravet, F. (2012). Evaluation and validation of ELSA model in diesel sprays: 3D cavitating nozzles case. ICLASS 2012 - 12th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85034817221&partnerID=40&md5=623acbf69f45f6d0c885307048308aed>
- Hoyas, S., Pastor, J. M., Khuong-Anh, D., Mompó-Laborda, J. M., & Ravet, F. (2011). Evaluation of the Eulerian-Lagrangian spray atomisation (ELSA) in spray simulations. International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing, 6(3–4), 187–201.
<https://doi.org/10.1504/IJVSMT.2011.044224>
- Johnson, J., Pramod, V. K., & Pramod, V. R. (2024). Analytical hierarchy process-based maintenance quality function deployment integrating total quality management with total productive maintenance and its application in dairy industry. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 46(3), 404–432. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2024.137957>
- Mendes, A. S., Meirelles, P. S., & Zampieri, D. E. (2008). Analysis of torsional vibration in internal combustion engines: Modelling and experimental validation. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-Body Dynamics, 222(2), 155–178.
<https://doi.org/10.1243/14644193JMBD126>
- Mishra, A. (2024a). Evaluation of TPM adoption factors in manufacturing organizations using fuzzy PIPRECIA method. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 30(1), 101–119.



<https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0115>

Mishra, A. (2024b). Evaluation of TPM adoption factors in manufacturing organizations using fuzzy PIPRECIA method. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 30(1), 101–119.

<https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0115>

Osenga, M. (2004). Perkins opens Brazilian engine plant. *Diesel Progress North American Edition*, 70(1), 20–22.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->

[2442623218&partnerID=40&md5=ba4f2835c3f63ae59eb3a266372e134b](https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2442623218&partnerID=40&md5=ba4f2835c3f63ae59eb3a266372e134b)

Payri, F., MacIán, V., Arrègle, J., Tormos, B., & Martínez, J. (2005). Heavy-duty diesel engine performance and emission measurements for biodiesel (from cooking oil) blends used in the ECOBUS Project. SAE Technical Papers. <https://doi.org/10.4271/2005-01-2205>

Rathi, S. S., Sahu, M. K., & Kumar, S. (2023). Implementation of Total Productive Maintenance to Improve Productivity of Rolling Mill. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 30(6), 882–890. <https://doi.org/10.56042/ijems.v30i6.3158>

Rathi, S. S., Sahu, M. K., & Kumar, S. (2024a). Implementation of lean manufacturing methods to improve rolling mill productivity. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 11(111), 243–256. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2023.10102004>

Rathi, S. S., Sahu, M. K., & Kumar, S. (2024b). Implementation of lean manufacturing methods to improve rolling mill productivity. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 11(111), 243–256. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2023.10102004>

Riojas-González, H.-H., Reta-Heredia, I., Bortoni-Anzures, L.-J., & Martínez-Torres, J.-J. (2022). Analysis of alcohol mixture in diesel engine. *Revista Colombiana de Química*, 51(3), 34–44. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v51n3.106796>

Schulz, B. (1994). New family of diesels for world markets. *Diesel Progress Engines & Drives*, 60(10), 42–43.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0->



[0028515919&partnerID=40&md5=2a742806aacb02785ce2b9224c9d9452](https://doi.org/10.1177/1468087419860955)

Sechenyh, V., Duke, D. J., Swantek, A. B., Matusik, K. E., Kastengren, A. L., Powell, C. F., Viera, A., Payri, R., & Crua, C. (2020). Quantitative analysis of dribble volumes and rates using three-dimensional reconstruction of X-ray and diffused back-illumination images of diesel sprays. *International Journal of Engine Research*, 21(1), 43–54.

<https://doi.org/10.1177/1468087419860955>

Sgarbi, S. R., & Riese, R. (2000a). Introduction of a new line of electronic diesel engines at Maxion international Motores SA. SAE Technical Papers. <https://doi.org/10.4271/2000-01-3253>

Sgarbi, S. R., & Riese, R. (2000b). Introduction of a new line of electronic diesel engines at Maxion international Motores SA. SAE Technical Papers. <https://doi.org/10.4271/2000-01-3253>

Singh, S., Khamba, J. S., & Singh, D. (2023). Analysis of potential factors affecting execution of overall equipment effectiveness in Indian sugar mills. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 237(6), 2323–2333.

<https://doi.org/10.1177/09544089221135010>

Singh, S. P., Mehta, A., & Vasudev, H. (2024). Application of Sensitivity Analysis for Multiple Attribute Decision Making in Lean Production System. *EMJ - Engineering Management Journal*.

<https://doi.org/10.1080/10429247.2024.2383855>

Tessaro, J. A., Silva, A. R., Araujo, L. B., & Sardim, R. O. (2017a). Supplier Base Optimization on MWM MAR-I Diesel Engines Launch. SAE Technical Papers, 2017-November(November).

<https://doi.org/10.4271/2017-36-0139>

Tessaro, J. A., Silva, A. R., Araujo, L. B., & Sardim, R. O. (2017b). Supplier Base Optimization on MWM MAR-I Diesel Engines Launch. SAE Technical Papers, 2017-November(November).

<https://doi.org/10.4271/2017-36-0139>

Tortorella, G. L., Saurin, T. A., Fogliatto, F. S., Tlapa Mendoza, D., Moyano-Fuentes, J., Gaiardelli, P., Seyedghorban, Z., Vassolo, R., Cawley Vergara, A. F. M., Sunder M, V., Sreedharan, V. R., Sena, S. A., Forstner, F. F., & Macias de Anda, E. (2024). Digitalization of maintenance: exploratory



study on the adoption of Industry 4.0 technologies and total productive maintenance practices. *Production Planning and Control*, 35(4), 352–372.

<https://doi.org/10.1080/09537287.2022.2083996>

Vizcaíno, A., Soto, J. P., García, F., Ruiz, F., & Piattini, M. (2006). Aplicando gestion del conocimiento en el proceso de mantenimiento del software. *Inteligencia Artificial*, 10(31), 91–98.

<https://doi.org/10.4114/ia.v10i31.941>

