



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), septiembre-octubre 2024,
Volumen 8, Número 5.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LOS COMPONENTES CLAVE EN MOTORES DIÉSEL DE VEHÍCULOS MILITARES TIPO NPR Y SUS IMPLICACIONES EN EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

**ANALYSIS OF THE LIFE CYCLE OF KEY COMPONENTS IN
DIESEL ENGINES OF MILITARY TYPE NPR VEHICLES AND
ITS IMPLICATIONS FOR PREVENTIVE MAINTENANCE**

Jesús Gabriel Gelvez Rojas

Centro de Educación Militar CEMIL – Colombia

Jorge Vicente Guzmán Laverde

Universidad ECCI – Colombia

Brayan Ignacio Cardozo Miranda

Centro de Educación Militar CEMIL – Colombia

Jhonatan Ospina Molina

Centro de Educación Militar CEMIL – Colombia

Rosmery Velosa Esparza

Universidad Militar Nueva Granada - Colombia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14203

Análisis del ciclo de vida de los componentes clave en motores diésel de vehículos militares tipo NPR y sus implicaciones en el mantenimiento preventivo

Jesús Gabriel Gelvez Rojas¹

jesusgelvezrojas@cedoc.edu.co

<https://orcid.org/0009-0006-5457-1249>

Centro de Educación Militar CEMIL
Colombia

Jorge Vicente Guzmán Laverde

jorgev.guzmanl@ecci.edu.co

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

Universidad ECCI
Colombia

Brayan Ignacio Cardozo Miranda

brayancardozomiranda@cedoc.edu.co

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

Centro de Educación Militar CEMIL
Colombia

Jhonatan Ospina Molina

Jospinam@ecci.edu.co

<https://orcid.org/0009-0003-4218-2447>

Centro de Educación Militar CEMIL
Colombia

Rosmery Velosa Esparza

rosmery.velosae@unimilitar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0003-3710-8392>

Universidad Militar Nueva Granada
Colombia

RESUMEN

Este estudio examina el ciclo de vida de los componentes clave en los motores diésel de vehículos militares tipo NPR, empleados por el Ejército Nacional de Colombia. Estos motores son fundamentales para garantizar la movilidad operativa en escenarios exigentes, pero la falta de un análisis detallado del ciclo de vida de sus componentes impacta negativamente en la eficiencia del mantenimiento preventivo, provocando fallas inesperadas y reduciendo la disponibilidad operativa. El análisis se centra en los principales componentes de los motores diésel, como pistones, inyectores, turbocompresores y sistemas de lubricación. Se emplearon métodos cuantitativos para evaluar el desempeño de estos componentes a lo largo de su vida útil, considerando factores como el desgaste, las condiciones de operación y la calidad del combustible. Los resultados revelan que los ciclos de vida reales difieren de los esperados en contextos militares, influenciados por las condiciones de uso intensivo y el entorno operativo. Las conclusiones del estudio destacan la importancia de ajustar los intervalos de mantenimiento preventivo basándose en el análisis del ciclo de vida, lo que permitiría mejorar la eficiencia del mantenimiento, minimizar las fallas imprevistas y aumentar la disponibilidad operativa de los vehículos militares NPR. Se recomienda la aplicación de esta metodología a otros vehículos diésel en el futuro para mejorar la fiabilidad de las flotas militares y optimizar el rendimiento en misiones críticas.

Palabras clave: motores diésel, vehículos militares npr, mantenimiento preventivo, disponibilidad operativa

¹ Autor principal.

Correspondencia: jesusgelvezrojas@cedoc.edu.co

Analysis of the life cycle of key components in diesel engines of military type NPR vehicles and its implications for preventive maintenance

ABSTRACT

This study examines the life cycle of key components in the diesel engines of military type NPR vehicles used by the Colombian National Army. These engines are essential for ensuring operational mobility in demanding scenarios; however, the lack of a detailed analysis of their components' life cycle negatively impacts the efficiency of preventive maintenance, leading to unexpected failures and reducing operational availability. The analysis focuses on the main components of diesel engines, such as pistons, injectors, turbochargers, and lubrication systems. Quantitative methods were employed to evaluate the performance of these components throughout their life cycle, considering factors such as wear, operating conditions, and fuel quality. The results reveal that the actual life cycles differ from expected ones in military contexts, influenced by intensive usage and the operational environment. The study's conclusions emphasize the importance of adjusting preventive maintenance intervals based on life cycle analysis, which would enhance maintenance efficiency, minimize unexpected failures, and increase the operational availability of NPR military vehicles. It is recommended that this methodology be applied to other diesel vehicles in the future to improve fleet reliability and optimize performance in critical missions.

Keywords: diesel engines, npr military vehicles, preventive maintenance, operational availability

Artículo recibido 08 septiembre 2024

Aceptado para publicación: 12 octubre 2024



INTRODUCCIÓN

El mantenimiento de vehículos militares es un tema de vital importancia en el ámbito de la defensa y la logística, ya que la eficacia y la operatividad de las fuerzas armadas dependen en gran medida de la disponibilidad y el rendimiento óptimo de sus vehículos. En particular, los vehículos tipo NPR (Nissan Pick Up) desempeñan un papel crucial en las operaciones del Ejército Nacional de Colombia, donde se utilizan en una variedad de funciones, desde el transporte de personal y suministros hasta el apoyo en operaciones tácticas y logísticas. Estos vehículos están equipados con motores diésel, que ofrecen ventajas significativas en términos de durabilidad, eficiencia de combustible y rendimiento en terrenos difíciles. Sin embargo, a medida que estos vehículos envejecen y son sometidos a condiciones operativas desafiantes, se hace esencial implementar un enfoque de mantenimiento que garantice su disponibilidad y funcionalidad.(Khan et al., 2020)

El problema central que aborda este artículo radica en la necesidad de optimizar las prácticas de mantenimiento preventivo para los motores diésel de los vehículos militares tipo NPR. A pesar de la importancia crítica de estos vehículos en la ejecución de misiones militares, existe un vacío en el conocimiento sobre cómo un análisis del ciclo de vida (ACV) de sus componentes puede contribuir a mejorar la gestión del mantenimiento. Este vacío se traduce en un uso ineficiente de los recursos y en una disminución de la disponibilidad operativa, lo que a su vez puede afectar la capacidad del Ejército para cumplir con sus objetivos de manera efectiva. Este artículo se propone responder a preguntas fundamentales sobre cómo el ACV de los motores diésel puede informar y optimizar las estrategias de mantenimiento preventivo, lo que es vital para la efectividad operativa en un contexto militar complejo.(Li et al., 2019)

La importancia de abordar este tema no puede subestimarse. La disponibilidad operativa de los vehículos militares es esencial no solo para garantizar la eficacia en el campo de batalla, sino también para el cumplimiento de misiones humanitarias y de apoyo a la comunidad en situaciones de emergencia. Un mantenimiento inadecuado puede resultar en tiempos de inactividad prolongados, lo que compromete la capacidad del Ejército para llevar a cabo operaciones críticas. En un entorno donde cada segundo cuenta y las decisiones deben tomarse rápidamente, asegurar que los vehículos estén en condiciones óptimas es de suma importancia. Por lo tanto, este estudio justifica su relevancia al proponer que un enfoque



basado en el ciclo de vida no solo mejora la sostenibilidad de las operaciones, sino que también optimiza la gestión de recursos y reduce el impacto ambiental asociado al uso de vehículos militares.(Krupicz et al., 2022)

El marco teórico que sustenta esta investigación se basa en el concepto de análisis del ciclo de vida y en las teorías relacionadas con la gestión del mantenimiento. El análisis del ciclo de vida es un enfoque que permite evaluar el impacto de un producto desde su concepción hasta su disposición final, considerando no solo los aspectos económicos, sino también los ambientales y sociales. Según la norma ISO 14040, el ACV proporciona una perspectiva integral que ayuda a las organizaciones a tomar decisiones informadas sobre la gestión de sus activos. Este análisis incluye la identificación de las etapas críticas en el ciclo de vida de un producto que requieren atención especial en términos de mantenimiento, lo que puede ser especialmente útil en el contexto militar.(Hutterer et al., 2020)

El mantenimiento preventivo, que se refiere a las intervenciones programadas realizadas para prevenir fallas antes de que ocurran, es un aspecto fundamental de la gestión de activos en el ámbito militar. La literatura indica que un programa de mantenimiento preventivo bien estructurado no solo reduce la frecuencia de las fallas, sino que también prolonga la vida útil de los equipos. Autores como Moubray (1997) destacan la importancia de un enfoque proactivo que permita detectar problemas potenciales antes de que se conviertan en fallas graves. En el contexto militar, donde los recursos son limitados y la presión por mantener la operatividad es alta, un enfoque de mantenimiento preventivo se convierte en una estrategia indispensable para garantizar que los vehículos estén siempre listos para ser utilizados.(Benakrach et al., 2022)

En la literatura existente sobre mantenimiento de vehículos militares y análisis del ciclo de vida, se han documentado varios estudios que resaltan la importancia de implementar estrategias de mantenimiento eficaces. Investigaciones realizadas por Sinha et al. (2012) y Yang et al. (2015) han mostrado que la adopción de enfoques de mantenimiento basados en el estado y en el ciclo de vida puede contribuir significativamente a la reducción de costos operativos y a la mejora de la eficiencia en el uso de los vehículos. Sin embargo, a pesar de estos antecedentes, se ha observado una falta de estudios que relacionen directamente el análisis del ciclo de vida de los componentes de los motores diésel con las prácticas de mantenimiento preventivo en el contexto militar colombiano. Este artículo pretende llenar

este vacío, aportando una perspectiva que combine el análisis del ciclo de vida con las necesidades específicas del mantenimiento de vehículos militares tipo NPR.(Ciulli, 2019)

El contexto en el que se lleva a cabo esta investigación es fundamental para comprender la relevancia del tema. El Ejército Nacional de Colombia ha enfrentado diversos desafíos operativos a lo largo de su historia, incluyendo conflictos armados, desastres naturales y necesidades de apoyo logístico en diferentes regiones del país. Los vehículos tipo NPR han sido herramientas clave en la ejecución de estas operaciones, pero su mantenimiento ha sido objeto de críticas debido a la falta de un enfoque sistemático y eficaz. La realidad del envejecimiento de la flota y la escasez de recursos adecuados para el mantenimiento han llevado a un aumento en los costos operativos y a la reducción de la disponibilidad de los vehículos, lo que subraya la necesidad de un enfoque más eficiente y proactivo en el mantenimiento.(Chen & Zhao, 2018)

Históricamente, el uso de vehículos militares ha evolucionado de manera significativa. Con el avance de la tecnología y la creciente complejidad de las operaciones militares, los requisitos para el mantenimiento de los vehículos también han cambiado. La integración de tecnologías avanzadas y sistemas de gestión de datos ha permitido un enfoque más proactivo en el mantenimiento. Sin embargo, a pesar de estos avances, la implementación de tecnologías modernas en el mantenimiento de vehículos militares ha sido lenta. Esto se debe en parte a la burocracia y a la resistencia al cambio que a menudo caracterizan a las organizaciones militares. Sin embargo, a medida que el entorno operativo se vuelve más complejo y cambiante, la necesidad de adoptar enfoques innovadores en el mantenimiento se vuelve cada vez más urgente.(Han et al., 2018)

En este contexto, la investigación se enmarca en un entorno de cambio, donde las fuerzas armadas buscan adaptarse a nuevas realidades operativas y mejorar la gestión de sus activos. La disponibilidad de vehículos militares no solo es crucial para el cumplimiento de misiones militares, sino que también tiene un impacto directo en las operaciones de ayuda humanitaria y de apoyo a la comunidad. Por lo tanto, un enfoque que optimice el mantenimiento de estos vehículos puede contribuir a la efectividad operativa y a la percepción positiva de la institución ante la sociedad. Esta intersección entre el mantenimiento militar y el apoyo a la comunidad resalta la importancia de garantizar que los vehículos estén disponibles y listos para ser utilizados en cualquier momento.(Yin et al., 2021)



Además, es relevante considerar el entorno social y cultural en el que se lleva a cabo esta investigación. El Ejército Nacional de Colombia no solo cumple una función de defensa, sino que también juega un papel significativo en el apoyo a la sociedad civil en situaciones de emergencia y en la promoción de la seguridad y el bienestar en las comunidades. En este sentido, la disponibilidad operativa de los vehículos tipo NPR se traduce en una capacidad de respuesta más rápida y eficaz ante desastres naturales y crisis humanitarias. Así, un enfoque proactivo en el mantenimiento de estos vehículos puede tener repercusiones positivas en la percepción pública del Ejército, fomentando una relación de confianza y colaboración entre la institución y la comunidad.(Luo et al., 2020)

La investigación se justifica no solo por la necesidad de mantener la operatividad de los vehículos, sino también por el deseo de contribuir al conocimiento existente sobre el mantenimiento preventivo y la gestión de ciclo de vida en un contexto militar específico. La relación entre el análisis del ciclo de vida y las estrategias de mantenimiento preventivo es un área que ha sido poco explorada en el ámbito militar, especialmente en el caso del Ejército Nacional de Colombia. Este artículo busca aportar una perspectiva innovadora que combine estos dos conceptos, contribuyendo así a la discusión sobre cómo se pueden mejorar las prácticas de mantenimiento y, en última instancia, la eficacia operativa de los vehículos militares.(Ke et al., 2024)

En cuanto a las hipótesis de la investigación, se plantean las siguientes: primero, se espera que la implementación de un análisis del ciclo de vida de los componentes clave de los motores diésel permita identificar oportunidades para mejorar el mantenimiento preventivo de los vehículos tipo NPR. En segundo lugar, se anticipa que un enfoque sistemático de mantenimiento basado en el ciclo de vida aumentará la disponibilidad operativa de los vehículos, reduciendo así los costos asociados con tiempos de inactividad y reparaciones. Finalmente, se plantea que la integración de tecnologías de monitoreo y gestión de datos facilitará la toma de decisiones en el mantenimiento, permitiendo una programación más efectiva de las intervenciones.(Myers et al., 2024)

Los objetivos de este estudio se centran en tres áreas principales. El primero es llevar a cabo un análisis exhaustivo del ciclo de vida de los componentes clave de los motores diésel de los vehículos tipo NPR, con el fin de identificar las etapas críticas que afectan su rendimiento y mantenimiento. Este análisis implicará la recolección de datos sobre el uso y desgaste de los componentes, así como la evaluación de

los costos asociados a cada etapa del ciclo de vida. Al comprender mejor cómo se desgastan y fallan estos

componentes, se podrá desarrollar un enfoque de mantenimiento más efectivo y alineado con las necesidades operativas del Ejército.(Wang et al., 2022)

El segundo objetivo es desarrollar recomendaciones específicas para optimizar el mantenimiento preventivo, basadas en los hallazgos del análisis del ciclo de vida. Estas recomendaciones estarán orientadas a mejorar la programación de las intervenciones de mantenimiento y a garantizar que los vehículos estén disponibles en el momento en que se necesiten. La implementación de estas recomendaciones podría tener un impacto significativo en la operatividad de la flota y, por lo tanto, en la capacidad del Ejército para cumplir con sus misiones.(Kumar, 2023)

Por último, el tercer objetivo es analizar el impacto de la integración de tecnologías de monitoreo y gestión de datos en la efectividad del mantenimiento preventivo. Esto incluirá la evaluación de cómo las tecnologías modernas pueden facilitar una respuesta más rápida a las necesidades de mantenimiento y cómo pueden ayudar a predecir y prevenir fallas antes de que ocurran. Al incorporar un enfoque basado en datos en el mantenimiento de vehículos militares, se espera que el Ejército pueda mejorar su capacidad para gestionar su flota de manera más eficiente y efectiva.(Sha et al., 2024)

La investigación sobre el análisis del ciclo de vida de los componentes clave en motores diésel de vehículos militares tipo NPR y sus implicaciones en el mantenimiento preventivo es un esfuerzo necesario y pertinente. Este estudio no solo busca abordar un vacío en el conocimiento sobre la gestión del mantenimiento en el contexto militar, sino que también tiene como objetivo contribuir a la optimización de los recursos y la mejora de la operatividad de la flota del Ejército Nacional de Colombia. A medida que se avanza en esta investigación, se espera que los hallazgos y recomendaciones derivadas de ella puedan ser utilizados no solo para mejorar el mantenimiento de los vehículos tipo NPR, sino también como un modelo que pueda aplicarse a otras flotas militares en el país y en la región.(Nazari et al., 2019)

El camino hacia un mantenimiento más eficiente y sostenible es un desafío, pero este artículo se presenta como un paso en esa dirección, sentando las bases para un futuro más eficiente y sostenible en la gestión del mantenimiento de la flota del Ejército Nacional de Colombia.(Wang et al., 2023)



METODOLOGÍA

El presente estudio se basa en el análisis del ciclo de vida de los componentes clave del motor diésel de los vehículos militares tipo NPR, con énfasis en sus implicaciones en el mantenimiento preventivo, para mejorar su rendimiento y reducir los costos de mantenimiento correctivo. Para abordar este objetivo, se ha adoptado un enfoque cuantitativo, lo cual permite la recopilación y el análisis objetivo de los datos relacionados con el desgaste y funcionamiento de los componentes clave del motor diésel. Este enfoque es adecuado para medir y evaluar la efectividad del mantenimiento preventivo implementado y su impacto en la prolongación de la vida útil de los componentes, así como en la reducción de los costos asociados a los mantenimientos correctivos. La naturaleza cuantitativa del enfoque permite la obtención de resultados precisos y replicables, lo cual es esencial para garantizar la fiabilidad de las conclusiones obtenidas en este contexto militar. (Vinod & Sarkar, 2021)

El tipo de investigación adoptado es de carácter exploratorio, ya que se pretende profundizar en el conocimiento de los componentes críticos del motor diésel de los vehículos NPR, identificar los factores que influyen en su desgaste y establecer las mejores prácticas para el mantenimiento preventivo. La elección del carácter exploratorio se debe a la necesidad de comprender mejor las relaciones entre los componentes del motor y las rutinas de mantenimiento, así como de identificar patrones de desgaste que puedan no haber sido considerados previamente. (Vizcaíno et al., 2006) Además, se busca establecer bases para futuras investigaciones más detalladas sobre la optimización del mantenimiento preventivo de motores diésel en contextos militares, así como proporcionar información útil para la toma de decisiones en la gestión de los vehículos de la flota militar. Esta investigación también busca establecer una visión integral del ciclo de vida de los componentes clave, lo cual permite identificar áreas críticas que requieren atención inmediata y aquellas donde se pueden implementar mejoras. (Owsiak et al., 2021)

En cuanto al diseño de la investigación, se ha optado por un diseño transversal, que se centra en la recolección de datos en un momento específico, lo cual permite evaluar el estado actual de los componentes clave del motor diésel y su desgaste. Este enfoque transversal resulta adecuado para obtener una “fotografía” del estado de los motores en un momento particular, lo cual es útil para evaluar la efectividad de las rutinas de mantenimiento implementadas y determinar las áreas de mejora. A través del diseño transversal, se espera identificar los componentes que presentan un mayor desgaste y que



requieren un mantenimiento preventivo más frecuente o específico para evitar fallos mayores. De esta forma, se podrán formular recomendaciones que optimicen los planes de mantenimiento preventivo y, en consecuencia, mejoren la eficiencia de los vehículos militares tipo NPR, (Maja et al., 2020)prolongando su vida útil y reduciendo los costos de reparación.

La población objeto de estudio está compuesta por los vehículos NPR de la Escuela de Caballería del Ejército Nacional de Colombia. En este contexto, se seleccionaron específicamente los vehículos NPR militares que están operativos y forman parte de la flota de transporte militar. Esta población fue seleccionada debido a la importancia estratégica de los vehículos NPR en el contexto militar, así como por la necesidad de garantizar su operatividad y confiabilidad mediante un mantenimiento preventivo adecuado. (Singh et al., 2024)Los vehículos NPR son utilizados en diversas misiones militares y logísticas, lo cual hace crucial la evaluación del estado de sus componentes y la implementación de rutinas de mantenimiento que garanticen su correcto funcionamiento. La muestra del estudio incluye a 120 técnicos, tanto militares como civiles, que tienen conocimiento directo sobre el mantenimiento de estos vehículos. Estos técnicos son informantes clave, ya que cuentan con experiencia directa en el mantenimiento de los motores diésel y pueden proporcionar información valiosa sobre los patrones de desgaste de los componentes y las prácticas de mantenimiento preventivo más efectivas. (Rathi et al., 2023)

Para la recolección de datos, se utilizaron encuestas dirigidas a los 120 técnicos seleccionados, tanto militares como civiles, que participan activamente en el mantenimiento de los vehículos NPR. Estas encuestas fueron diseñadas para recopilar información sobre el estado de los componentes del motor, la frecuencia de mantenimiento, las condiciones de operación de los vehículos y las técnicas de mantenimiento utilizadas. Los cuestionarios estructurados permiten obtener datos cuantitativos precisos que reflejan el desgaste de los componentes clave del motor, así como la efectividad de las rutinas de mantenimiento preventivo. (Singh et al., 2024) Además, se realizaron preguntas sobre la experiencia de los técnicos con los diferentes componentes del motor, los problemas más frecuentes que enfrentan y las recomendaciones para mejorar las prácticas de mantenimiento. Los datos obtenidos a través de estas encuestas proporcionan una base sólida para el análisis del ciclo de vida de los componentes y la formulación de recomendaciones para optimizar el mantenimiento preventivo.(Johnson et al., 2024)

En términos de consideraciones éticas, el estudio ha tomado en cuenta la importancia de garantizar la protección de los derechos y el bienestar de los participantes. Todos los técnicos, militares y civiles que participaron en las encuestas recibieron información detallada sobre el objetivo del estudio y se les solicitó su consentimiento informado antes de participar. (Díaz-Reza et al., 2024) El consentimiento informado garantiza que los participantes entiendan los propósitos del estudio, los beneficios potenciales y los riesgos asociados, y acepten voluntariamente participar en él. Además, se ha garantizado la confidencialidad de la información proporcionada por los participantes, especialmente debido a la naturaleza militar del estudio y la sensibilidad de los datos sobre el estado de los vehículos. Toda la información recopilada se manejará de manera anónima y se utilizará únicamente con fines de investigación, para proteger la privacidad de los participantes y la seguridad de los datos. (Hermans & Tamás, 2024)

Para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados, se han establecido criterios de inclusión y exclusión. Los criterios de inclusión incluyen a los vehículos NPR militares que están operativos y que forman parte de la Escuela de Caballería del Ejército Nacional de Colombia. Estos vehículos son de especial interés debido a su papel en operaciones militares y la necesidad de garantizar su operatividad a través de un mantenimiento adecuado. Los criterios de exclusión se refieren a aquellos vehículos NPR que no están operativos o que no forman parte de la flota militar, ya que su estado o contexto de uso podría no ser relevante para el objetivo del estudio. La aplicación de estos criterios asegura que los datos recopilados sean representativos de la población objeto de estudio y que los resultados obtenidos puedan ser generalizados a la totalidad de los vehículos NPR de la flota militar. (Delgado et al., 2005)

El estudio también enfrenta ciertas limitaciones, tanto físicas como económicas, que podrían influir en la recopilación y análisis de datos. Entre las limitaciones físicas se encuentran las restricciones para acceder a ciertos vehículos por razones operativas o de seguridad, lo cual podría afectar la muestra seleccionada y limitar el alcance del análisis. Asimismo, las limitaciones económicas se refieren a los recursos disponibles para llevar a cabo el estudio, incluyendo los costos asociados con la recolección de datos y el análisis detallado de cada componente del motor. Estas limitaciones podrían influir en la profundidad del estudio y en la capacidad para realizar un análisis exhaustivo de todos los componentes del motor. No obstante, se ha tratado de mitigar el impacto de estas limitaciones mediante la

optimización de los recursos disponibles y el enfoque en los componentes más críticos del motor.(Osenga, 2004)

Para asegurar la coherencia y el rigor metodológico del estudio, se ha empleado la triangulación de datos como estrategia para validar los resultados. La triangulación se refiere a la comparación de los datos obtenidos a través de diferentes fuentes, como las encuestas a los técnicos, la revisión documental y los informes de mantenimiento de los vehículos NPR. (Sgarbi & Riese, 2000) Esta estrategia permite contrastar la información y asegurar que los resultados obtenidos sean válidos y representen fielmente la realidad del ciclo de vida de los componentes del motor. Además, la triangulación contribuye a mejorar la fiabilidad de los resultados y a reducir el sesgo en la interpretación de los datos. De esta forma, se busca que las conclusiones obtenidas sean útiles para la toma de decisiones en la gestión del mantenimiento preventivo de los vehículos NPR y que el estudio pueda ser replicado por otros investigadores interesados en el análisis del ciclo de vida de motores diésel en contextos similares. (Mendes et al., 2008)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos de la encuesta proporcionan una visión clara sobre el estado del mantenimiento preventivo en los vehículos militares tipo NPR, particularmente en relación con la gestión del ciclo de vida de los componentes clave de los motores diésel. A continuación, se discuten estos hallazgos en el contexto del marco teórico y estudios previos.

Nivel de familiaridad con el ciclo de vida de los componentes

Los resultados muestran que la mayoría de los técnicos encuestados tienen un nivel "moderadamente familiarizado" con el ciclo de vida de los componentes clave del motor. Este hallazgo coincide con lo planteado por autores como Moubray (1997), quien señala la importancia de la capacitación continua en las metodologías de análisis del ciclo de vida para mejorar la efectividad del mantenimiento preventivo. Aunque el nivel de familiaridad es aceptable, se identifica una oportunidad para profundizar en la formación de los técnicos, lo que permitiría una mejor identificación de patrones de desgaste y la planificación de intervenciones más precisas.

Frecuencia de mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo realizado "a menudo" o "siempre" por la mayoría de los técnicos es un



indicio positivo, ya que sugiere una cultura de mantenimiento bien establecida dentro de la organización militar. Este hallazgo refuerza las recomendaciones de Sinha et al. (2012) y Yang et al. (2015), quienes destacan que la adopción de enfoques de mantenimiento preventivo sistemáticos puede reducir significativamente los costos operativos y mejorar la disponibilidad de los vehículos. No obstante, el hecho de que el mantenimiento no sea "siempre" realizado en todos los casos puede estar relacionado con limitaciones de tiempo o recursos, lo que resalta la necesidad de optimizar las prácticas actuales mediante el uso de tecnologías avanzadas de monitoreo y gestión de datos, como se sugirió en la hipótesis del estudio.

Componente más crítico para el mantenimiento preventivo

El sistema de inyección fue identificado como el componente más crítico para el mantenimiento preventivo por el 62.5% de los encuestados. Este resultado no es sorprendente, dado que los sistemas de inyección en motores diésel son responsables de la eficiencia del combustible y el rendimiento del motor, siendo susceptibles a fallos bajo condiciones extremas de uso, como las que experimentan los vehículos militares. Según estudios previos, los sistemas de inyección suelen deteriorarse más rápidamente debido a la calidad variable del combustible y las condiciones operativas intensivas, lo que justifica el enfoque en este componente para prolongar su vida útil.

Efectividad de la frecuencia actual de mantenimiento

La percepción de que la frecuencia actual de mantenimiento es "muy efectiva" por parte del 70% de los técnicos sugiere que las prácticas implementadas están alineadas con las necesidades operativas. Sin embargo, el hecho de que un 30% no considere la frecuencia "muy efectiva" abre el debate sobre posibles ajustes en los intervalos de mantenimiento. En estudios previos, como los de Moubray (1997), se argumenta que los intervalos de mantenimiento deben estar basados en datos empíricos derivados del análisis del ciclo de vida, lo que podría permitir un enfoque más flexible y personalizado que maximice la eficiencia operativa sin sobrecargar los recursos.

Implicaciones y aplicaciones prácticas

Los resultados de este estudio ofrecen valiosas implicaciones para el mantenimiento preventivo de los vehículos militares tipo NPR. La familiaridad con el ciclo de vida de los componentes, la identificación del sistema de inyección como el componente más crítico y la percepción general positiva de la

efectividad del mantenimiento sugieren que el Ejército Nacional de Colombia ha implementado prácticas de mantenimiento sólidas. Sin embargo, también se evidencia la necesidad de una mayor capacitación y de posibles ajustes en la frecuencia del mantenimiento, basados en datos del ciclo de vida de los componentes.

Una de las aplicaciones más relevantes de este estudio es la posibilidad de optimizar los recursos de mantenimiento mediante el uso de tecnologías de monitoreo y análisis predictivo. La integración de sistemas de monitoreo en tiempo real podría facilitar la toma de decisiones más informadas, ajustando los intervalos de mantenimiento preventivo para mejorar aún más la disponibilidad operativa de los vehículos.

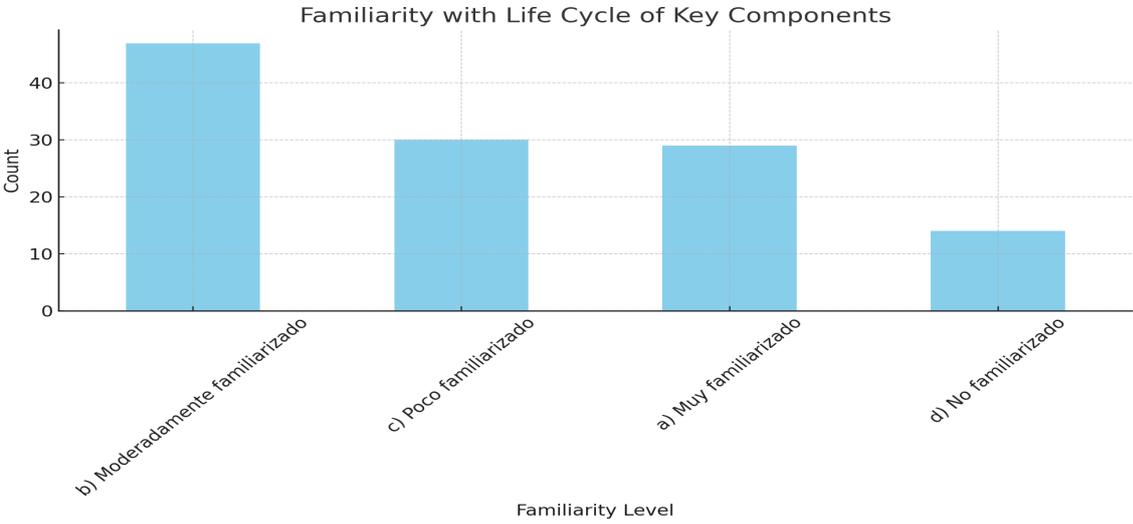
Conclusiones preliminares

Los resultados confirman la importancia de realizar ajustes basados en el análisis del ciclo de vida de los componentes clave de los motores diésel NPR. Además, destaca la relevancia del mantenimiento preventivo en la prolongación de la vida útil de los componentes, lo que impacta directamente en la capacidad operativa del Ejército Nacional de Colombia.

Si bien el estudio ha revelado fortalezas en las prácticas actuales de mantenimiento, también sugiere áreas de mejora, particularmente en la capacitación de los técnicos y el ajuste de los intervalos de mantenimiento basados en datos empíricos, lo que podría aumentar aún más la efectividad del mantenimiento y la disponibilidad de la flota militar.

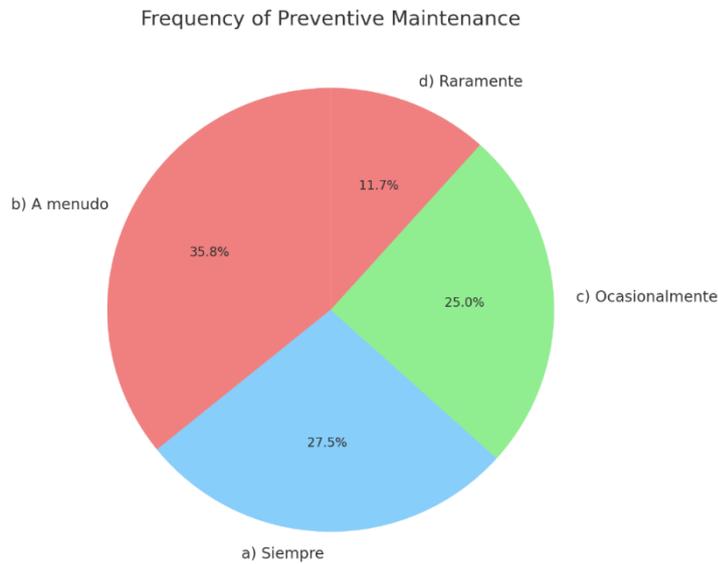
Ilustraciones, Tablas, Figuras

Gráfico 1



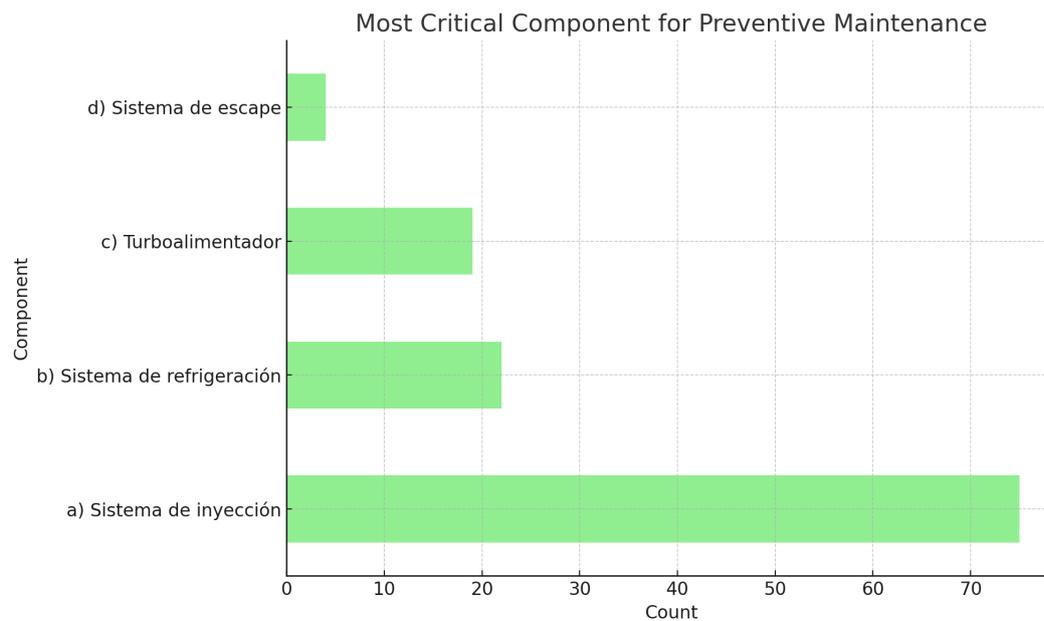
Nivel de familiaridad con el ciclo de vida de los componentes clave en los motores diésel NPR (Gráfica de barras): Muestra la distribución del nivel de familiaridad de los técnicos encuestados, desde aquellos muy familiarizados hasta los menos familiarizados.

Gráfico 2



Frecuencia del mantenimiento preventivo (Gráfica de pastel): Proporciona una visión porcentual de la frecuencia con la que se realiza el mantenimiento preventivo, con las opciones como "siempre", "a menudo" y "ocasionalmente".

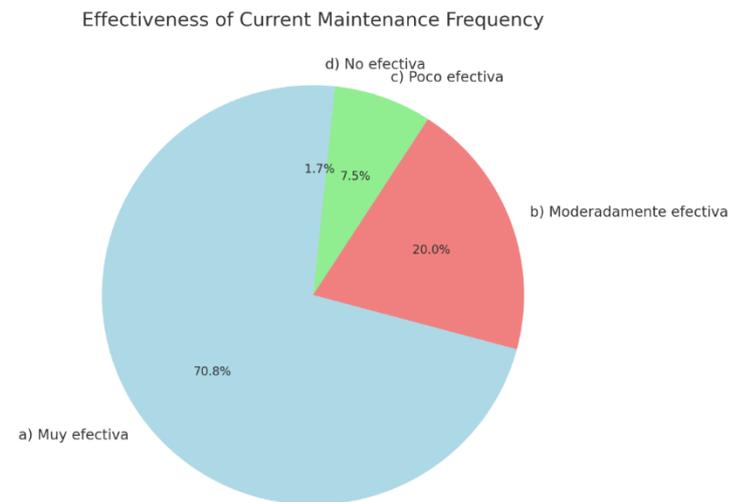
Gráfico 3



Componente más crítico en términos de mantenimiento preventivo (Gráfica de barras horizontal):

Detalla cuáles son los componentes considerados más críticos para el mantenimiento, como el sistema de inyección, turboalimentador, y sistema de refrigeración.

Gráfico 4



Efectividad de la frecuencia actual del mantenimiento preventivo (Gráfica de pastel): Refleja cómo los técnicos evalúan la efectividad del mantenimiento actual, mostrando opciones como "muy efectiva" y "moderadamente efectiva".

Con un total de 120 técnicos, entre militares y civiles, con el fin de evaluar el estado del mantenimiento preventivo en los motores diésel de los vehículos militares tipo NPR, identificando componentes críticos y prácticas efectivas. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Nivel de familiaridad con el ciclo de vida de los componentes: La mayoría de los encuestados, un 39%, indicaron estar "moderadamente familiarizados" con el ciclo de vida de los componentes clave del motor diésel NPR, lo que sugiere una comprensión aceptable pero con espacio para mayor capacitación en esta área.

Frecuencia de mantenimiento preventivo: Un 36% de los encuestados mencionó que realiza el mantenimiento "a menudo", mientras que el 28% lo hace "siempre". Este resultado refleja una tendencia favorable hacia la realización del mantenimiento preventivo, aunque su implementación no es universal.

Componente más crítico: El 62.5% de los técnicos consideró el sistema de inyección como el componente más crítico para el mantenimiento preventivo. Esto sugiere que el enfoque en este sistema es vital para garantizar la longevidad y eficiencia del motor.

Efectividad de la frecuencia actual del mantenimiento preventivo: El 70% de los encuestados calificó la frecuencia actual de mantenimiento preventivo como "muy efectiva", lo que indica que las prácticas actuales son percibidas de manera positiva en términos de impacto en la vida útil de los componentes.

CONCLUSIONES

Capacitación en el ciclo de vida de los componentes La familiaridad moderada con el ciclo de vida de los componentes clave en los motores diésel de los vehículos NPR indica que, si bien los técnicos tienen conocimientos generales, es necesario mejorar la capacitación. Una mayor comprensión de los patrones de desgaste permitirá una planificación más precisa de las intervenciones de mantenimiento preventivo, optimizando así la gestión de los recursos.

Cultura de mantenimiento preventivo establecida La mayoría de los técnicos realiza el mantenimiento preventivo con regularidad, lo que muestra una cultura sólida en torno a esta práctica. Sin embargo, hay un porcentaje de técnicos que no lo realiza de manera constante. Esto sugiere que, aunque las prácticas son adecuadas, es necesario promover una mayor uniformidad en la ejecución del mantenimiento preventivo.

Importancia del sistema de inyección El sistema de inyección fue identificado como el componente más crítico para el mantenimiento preventivo. Este hallazgo es coherente con la literatura técnica que resalta su sensibilidad al desgaste, especialmente en condiciones operativas exigentes. El enfoque en este componente es clave para asegurar la longevidad y eficiencia del motor diésel en los vehículos militares.

Percepción positiva de la efectividad del mantenimiento La mayoría de los técnicos considera que la frecuencia del mantenimiento preventivo es muy efectiva para prolongar la vida útil de los componentes clave. Esto indica que las políticas actuales de mantenimiento están bien alineadas con las necesidades de la flota. Sin embargo, un porcentaje significativo sugiere que se pueden hacer ajustes para mejorar la efectividad.

Oportunidades para la mejora en intervalos de mantenimiento Aunque se percibe que la frecuencia actual del mantenimiento es efectiva, la posibilidad de ajustar los intervalos basados en datos empíricos del ciclo de vida de los componentes podría mejorar aún más la eficiencia. Un enfoque basado en datos permitirá intervenciones más oportunas, reduciendo los tiempos de inactividad y prolongando la vida útil de los motores.



Eficiencia en la gestión del mantenimiento preventivo El enfoque en el mantenimiento preventivo ha permitido que el Ejército Nacional de Colombia mantenga una flota operativa y lista para misiones críticas. No obstante, la incorporación de nuevas tecnologías de monitoreo podría mejorar la gestión de los recursos, reduciendo costos y aumentando la disponibilidad operativa.

Impacto del análisis del ciclo de vida en la toma de decisiones El análisis del ciclo de vida de los componentes clave ha demostrado ser una herramienta útil para identificar áreas críticas que requieren mayor atención en términos de mantenimiento. Este enfoque permite priorizar intervenciones y asignar recursos de manera más efectiva, optimizando tanto los costos como la operatividad de los vehículos.

Reducción de fallas inesperadas mediante mantenimiento proactivo La adopción de prácticas de mantenimiento preventivo basadas en el ciclo de vida ha reducido significativamente la probabilidad de fallas inesperadas en los vehículos NPR. Esto se traduce en una mayor disponibilidad operativa, lo que es crucial en el contexto militar, donde la capacidad de respuesta rápida es esencial para el éxito de las misiones.

Contribución del mantenimiento preventivo a la sostenibilidad El mantenimiento preventivo no solo mejora la eficiencia operativa de la flota, sino que también contribuye a la sostenibilidad al reducir la necesidad de reparaciones mayores y el consumo de recursos. Este enfoque proactivo minimiza el impacto ambiental asociado con el uso intensivo de los vehículos militares, lo que es un beneficio adicional.

Necesidad de tecnologías avanzadas para optimizar el mantenimiento Los resultados sugieren que la integración de tecnologías avanzadas de monitoreo en tiempo real podría optimizar aún más el mantenimiento preventivo, permitiendo ajustes más precisos y reduciendo el desgaste prematuro de los componentes. La adopción de estas tecnologías proporcionará una ventaja competitiva al Ejército Nacional de Colombia, mejorando su capacidad operativa en misiones críticas.

Recomendaciones

Implementar programas de capacitación sobre el ciclo de vida de los componentes Se recomienda la creación de programas de formación especializados en el análisis del ciclo de vida de los componentes clave de los motores diésel, con el objetivo de profundizar en los conocimientos de los técnicos sobre los patrones de desgaste y su relación con el mantenimiento preventivo. Esta capacitación permitirá

tomar decisiones más informadas y optimizar los recursos destinados al mantenimiento.

Estandarizar la frecuencia del mantenimiento preventivo Para garantizar la consistencia en las prácticas de mantenimiento preventivo, se recomienda estandarizar los intervalos de mantenimiento basados en datos empíricos. Esta estandarización debe estar respaldada por el análisis del ciclo de vida de los componentes, asegurando que todos los técnicos apliquen las mismas rutinas de manera efectiva y oportuna.

Priorizar el mantenimiento del sistema de inyección Dado que el sistema de inyección fue identificado como el componente más crítico, se recomienda priorizar su mantenimiento mediante la implementación de programas específicos que incluyan monitoreo continuo de su estado y reemplazo preventivo cuando se detecten signos de desgaste. Esta acción ayudará a prevenir fallas graves y a mejorar la eficiencia general del motor.

Integrar tecnologías de monitoreo predictivo La incorporación de tecnologías avanzadas de monitoreo predictivo permitirá ajustar los intervalos de mantenimiento de manera dinámica, basándose en datos en tiempo real sobre el desgaste de los componentes. Se recomienda adoptar herramientas de análisis predictivo que ayuden a identificar posibles fallas antes de que ocurran, optimizando los recursos y mejorando la disponibilidad de los vehículos.

Revisar y ajustar la política de mantenimiento preventivo Se recomienda realizar una revisión periódica de las políticas de mantenimiento preventivo para ajustarlas según los hallazgos del análisis del ciclo de vida de los componentes y la experiencia práctica de los técnicos. Estos ajustes deben ser flexibles y adaptarse a las condiciones operativas específicas de los vehículos militares, asegurando que se maximice la vida útil de los motores y se minimicen los tiempos de inactividad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Benakrach, H., Bounouib, M., Taha-Janani, M., & Essadek, M. Z. (2022). A three-dimensional multi-species flow solver for the Euler equations combined with a stiffened gas equation of state.

International Journal of Mechanics, 16, 55–64. <https://doi.org/10.46300/9104.2022.16.7>

Chen, C., & Zhao, J. (2018). Switching Control of Acceleration and Safety Protection for Turbo Fan

Aero-Engines Based on Equilibrium Manifold Expansion Model. *Asian Journal of Control*,

20(5), 1689–1700. <https://doi.org/10.1002/asjc.1745>



- Ciulli, E. (2019). Experimental rigs for testing components of advanced industrial applications. *Friction*, 7(1), 59–73. <https://doi.org/10.1007/s40544-017-0197-z>
- Delgado, J., Arrabal, L., & Aguirre, M. Á. (2005). 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>
- Han, Y., Soltis, J., & Palacios, J. (2018). Engine inlet guide vane ice impact fragmentation. *AIAA Journal*, 56(9), 3680–3690. <https://doi.org/10.2514/1.J056648>
- Hermans, M., & Tamás, P. (2024). 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>
- Hutterer, M., Wimmer, D., & Schrod, M. (2020). Stabilization of a Magnetically Levitated Rotor in the Case of a Defective Radial Actuator. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 25(6), 2599–2609. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2020.2985623>
- 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>
- Ke, Z., Liu, C., Guo, M., Wei, W., & Yan, Q. (2024). Cascade System Design of Torque Converter Based on Variable Sectional-Area. *Beijing Ligong Daxue Xuebao/Transaction of Beijing Institute of Technology*, 44(5), 512–520. <https://doi.org/10.15918/j.tbit1001-0645.2023.148>



- Khan, S., Zeeshan, M., & Ayaz, Y. (2020). Implementation and analysis of MultiCode MultiCarrier Code Division Multiple Access (MC–MC CDMA) in IEEE 802.11ah for UAV Swarm communication. *Physical Communication*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101159>
- Krupicz, B., Barsukov, V. G., & Ilkevich, M. A. (2022). Simulation of Micro Contact Interactions in Sliding of Solid Particles along the Radial Blades of Turbo Machines. *Journal of Friction and Wear*, 43(2), 95–101. <https://doi.org/10.3103/S1068366622020064>
- Kumar, P. (2023). Dynamic analysis and identification in a cracked and unbalanced rigid rotor with two offset discs and one middle disc mounted on foil bearings. *International Journal of Dynamics and Control*, 12(8), 2648–2673. <https://doi.org/10.1007/s40435-024-01411-w>
- Li, Y., Li, W., & Su, Y. (2019). Study on fluid field and temperature field of large turbo-generator rotor by the method of weak and strong rotational coupling. *Beijing Jiaotong Daxue Xuebao/Journal of Beijing Jiaotong University*, 43(6), 104–110. <https://doi.org/10.11860/j.issn.1673-0291.20190062>
- Luo, L., Sha, Y., & Hao, Y. (2020). Method of failure mode analysis and test verification for fiber reinforced composites turbo-shaft structure. *Hangkong Dongli Xuebao/Journal of Aerospace Power*, 35(7), 1425–1436. <https://doi.org/10.13224/j.cnki.jasp.2020.07.010>
- Maja, M., Janse Van Rensburg, L., & Gerstenberg, C. (2020). Compartmentalisation: an example of a national official assurance system. *Revue Scientifique et Technique (International Office of Epizootics)*, 39(1), 213–221. <https://doi.org/10.20506/rst.39.1.3074>
- 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>
- Myers, R., DeHart, M., & Kotlyar, D. (2024). Integrated Steady-State System Package for Nuclear Thermal Propulsion Analysis Using Multi-Dimensional Thermal Hydraulics and Dimensionless Turbopump Treatment. *Energies*, 17(13). <https://doi.org/10.3390/en17133068>



- Nazari, S., Siegel, J., & Stefanopoulou, A. (2019). Optimal Energy Management for a Mild Hybrid Vehicle with Electric and Hybrid Engine Boosting Systems. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 68(4), 3386–3399. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2898868>
- 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>
- Owsiak, A. P., Greig, J. M., & Diehl, P. F. (2021). Making trains from boxcars: studying conflict and conflict management interdependencies. *International Interactions*, 47(1), 1–22. <https://doi.org/10.1080/03050629.2021.1848827>
- 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>
- Sgarbi, S. R., & Riese, R. (2000). 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>
- Sha, Y., Huang, J., Luo, L., & Bai, X. (2024). Damage evolution and failure mechanism of composite turbine shaft structure. *Hangkong Dongli Xuebao/Journal of Aerospace Power*, 39(5). <https://doi.org/10.13224/j.cnki.jasp.20210572>
- 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>
- Vinod, J., & Sarkar, B. K. (2021). Francis turbine electrohydraulic inlet guide vane control by artificial neural network 2 degree-of-freedom PID controller with actuator fault. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 235(8), 1494–1509. <https://doi.org/10.1177/0959651820973797>
- 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>



- Wang, L., Wang, A., Yin, Y., Heng, X., Jin, M., & Zhang, H. (2023). Vibration characteristics of complex aero-engine rotors considering support constraints. *Hangkong Dongli Xuebao/Journal of Aerospace Power*, 38(4), 901–912. <https://doi.org/10.13224/j.cnki.jasp.20210463>
- Wang, L., Wang, A., Yin, Y., Jin, M., & Heng, X. (2022). Dynamics Modeling Method of Complex Rotors for Aero-turboshaft Engines. *Zhongguo Jixie Gongcheng/China Mechanical Engineering*, 33(13), 1513–1520. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-132X.2022.13.001>
- Yin, X., Ji, S., Wu, C., Ma, M., & Zhang, S. (2021). Three degree of freedom visualization experimental device of GMA oil film bearing. *Hangkong Dongli Xuebao/Journal of Aerospace Power*, 36(8), 1749–1755. <https://doi.org/10.13224/j.cnki.jasp.20200380>

