

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 DE LA IMPORTANCIA DE
IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE POST
APAGADO DE MOTOR DIÉSEL EN
VEHÍCULOS MILITARES PARA
ACONDICIONAR Y AUMENTAR LA VIDA ÚTIL
DEL TURBO**

**ANALYSIS OF THE IMPORTANCE OF IMPLEMENTING A
DIESEL ENGINE POST-SHUTDOWN SYSTEM IN
MILITARY VEHICLES TO CONDITION AND EXTEND THE
TURBOCHARGER'S LIFESPAN**

Ricardo Fabian Muñoz Gutierrez

Centro Educación Militar CEMIL – Colombia

Jorge Orlando Monroy Sanchez

Universidad ECCI - Colombia

Jhonatan Ospina Molina

Centro de Educación Militar CEMIL - Colombia

Brayan Ignacio Cardozo Miranda

Centro de Educación Militar CEMIL - Colombia

Rosmery Velosa Esparza

Universidad Militar Nueva Granada - Colombia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14392

Análisis de la importancia de implementar un sistema de post apagado de motor diésel en vehículos militares para acondicionar y aumentar la vida útil del turbo

Ricardo Fabian Muñoz Gutierrez¹Ricardomunozgutierrez@cedoc.edu.co<https://orcid.org/0009-0003-3195-2389>

Centro Educación Militar CEMIL

Colombia

Jorge Orlando Monroy Sanchezjmonroys@ecci.edu.co<https://orcid.org/0000-0002-3425-3693>

Universidad ECCI

Colombia

Jhonatan Ospina MolinaJospinam@ecci.edu.co<https://orcid.org/0009-0003-4218-2447>

Centro de Educación Militar CEMIL

Colombia

Brayan Ignacio Cardozo Mirandabrayancardozomiranda@cedoc.edu.co<https://orcid.org/0009-0000-5540-0130>

Centro de Educación Militar CEMIL

Colombia

Rosmery Velosa Esparzarosmery.velosae@unimilitar.edu.co<https://orcid.org/0000-0003-3710-8392>

Universidad Militar Nueva Granada

Colombia

RESUMEN

El presente trabajo analiza la importancia de implementar un sistema de post apagado en motores diésel de vehículos militares, con el objetivo de prolongar la vida útil del turboalimentador y optimizar el rendimiento general del motor. Los vehículos militares están sometidos a condiciones operativas extremas, que incluyen largas jornadas de trabajo, terrenos irregulares y climas adversos. Estas condiciones provocan un desgaste prematuro en los componentes críticos del motor, como el turbo, que alcanza temperaturas extremadamente altas durante su funcionamiento. El apagado repentino del motor interrumpe el flujo de aceite necesario para enfriar y lubricar el turbo, lo que aumenta el riesgo de sobrecalentamiento y fallos mecánicos. El sistema de post apagado permite que, una vez apagado el motor, el turbo continúe siendo enfriado de forma gradual mediante la circulación de aire y aceite. Esta medida previene el desgaste acelerado, reduce los costos de mantenimiento y mejora la disponibilidad operativa de la flota militar. En este análisis se exploran los beneficios técnicos y económicos del sistema, evaluando estudios previos en vehículos comerciales y adaptando el contexto a los vehículos militares. Además, se evalúa su aplicabilidad en el ejército colombiano, destacando su impacto en la sostenibilidad operativa, el ahorro en repuestos y la reducción del tiempo de inactividad por mantenimiento correctivo. Este estudio propone que la implementación del sistema de post apagado es una solución viable para prolongar la vida útil de los componentes del motor, mejorando así la eficiencia y rendimiento de los vehículos militares.

Palabras clave: sistema de post apagado, motores diésel, turboalimentador, vehículos militares, mecanica diesel

¹ Autor principal

Correspondencia: Ricardomunozgutierrez@cedoc.edu.co

Analysis of the Importance of Implementing a Diesel Engine Post-Shutdown System in Military Vehicles to Condition and Extend the Turbocharger's Lifespan

ABSTRACT

This paper analyzes the importance of implementing a post-shutdown system in diesel engines of military vehicles, with the aim of extending the turbocharger's lifespan and optimizing overall engine performance. Military vehicles operate under extreme conditions, including long work shifts, rough terrains, and adverse climates. These conditions cause premature wear in critical engine components, such as the turbocharger, which reaches extremely high temperatures during operation. The sudden shutdown of the engine interrupts the oil flow necessary to cool and lubricate the turbo, increasing the risk of overheating and mechanical failures. The post-shutdown system ensures that, once the engine is turned off, the turbo continues to be gradually cooled through the circulation of air and oil. This measure prevents accelerated wear, reduces maintenance costs, and improves the operational availability of the military fleet. This analysis explores the technical and economic benefits of the system by evaluating previous studies on commercial vehicles and adapting the findings to military vehicles. Additionally, its applicability to the Colombian army is assessed, highlighting its impact on operational sustainability, savings on spare parts, and reduced downtime due to corrective maintenance. This study proposes that the implementation of the post-shutdown system is a viable solution to extend the life of engine components, thereby improving the efficiency and performance of military vehicles.

Keywords: post-shutdown system, diesel engines, turbocharger, military vehicles, diesel mechanics

Artículo recibido 05 septiembre 2024

Aceptado para publicación: 15 octubre 2024



INTRODUCCIÓN

El correcto funcionamiento y el rendimiento óptimo de los motores diésel en vehículos militares son componentes esenciales para asegurar la operatividad y efectividad en misiones de alta exigencia. En particular, uno de los elementos más críticos de estos motores es el turboalimentador, una pieza clave que mejora la eficiencia y potencia del motor al comprimir el aire de admisión, lo que permite una mejor combustión del combustible. Sin embargo, los problemas de sobrecalentamiento, desgaste prematuro y fallas en los turboalimentadores son comunes en vehículos sometidos a condiciones operativas extremas. (Zhang et al., 2019) Estos problemas no solo afectan la vida útil de los vehículos, sino que también incrementan significativamente los costos de mantenimiento y reducen la disponibilidad de las flotas militares en situaciones críticas. Este artículo tiene como objetivo analizar la importancia de implementar un sistema de post apagado en motores diésel de vehículos militares para acondicionar los componentes del motor, especialmente el turboalimentador, y prolongar su vida útil, a la vez que se mejora el rendimiento general del sistema. (Meinzer & Seume, 2020)

El problema de investigación que aborda este estudio se centra en el desgaste prematuro del turboalimentador en vehículos militares, un fenómeno que se atribuye principalmente al sobrecalentamiento del motor. En los motores diésel, el turboalimentador opera a temperaturas extremadamente elevadas durante el funcionamiento normal del vehículo. Cuando el motor se apaga de forma brusca, como ocurre en muchas situaciones operativas, se interrumpe de manera repentina el flujo de aceite que lubrica y enfría el turbo. Esta interrupción provoca una acumulación de calor residual en el componente, lo que, a su vez, aumenta el riesgo de fallas y desgaste prematuro. (Eversman et al., 2021) Las consecuencias de este desgaste incluyen no solo la necesidad de realizar costosas reparaciones correctivas, sino también una reducción en la eficiencia operativa de los vehículos militares y una disminución en la vida útil general del motor. En este contexto, la investigación busca evaluar el impacto de un sistema de post apagado, diseñado para mantener el flujo de aceite y aire incluso después de que el motor ha sido apagado, permitiendo que el turboalimentador y otros componentes críticos se enfríen de manera gradual y segura. Al proporcionar un sistema de enfriamiento controlado, se espera que la implementación de este sistema reduzca significativamente el desgaste prematuro y mejore el rendimiento general de los vehículos. (Song et al., 2019)



La relevancia de este estudio se justifica tanto por razones operativas como económicas. En primer lugar, los vehículos militares, como parte esencial de las operaciones de defensa y seguridad, están sometidos a condiciones de uso extremadamente rigurosas. Estos vehículos suelen operar en entornos difíciles, como terrenos irregulares, climas adversos y condiciones de sobrecarga, que exigen un rendimiento constante y fiable del motor. Cualquier problema mecánico, como el sobrecalentamiento del turboalimentador, puede afectar gravemente la capacidad de los vehículos para cumplir con sus misiones, lo que a su vez impacta la seguridad y efectividad de las operaciones militares. En segundo lugar, el mantenimiento de los vehículos militares representa un costo significativo para los presupuestos de defensa. (H. Wang et al., 2024) Las reparaciones correctivas, especialmente aquellas relacionadas con componentes críticos como el turbo, no solo son costosas, sino que también requieren tiempo, lo que reduce la disponibilidad operativa de los vehículos. Al implementar un sistema de post apagado, se podría reducir la necesidad de reparaciones correctivas y prolongar la vida útil de los componentes, lo que resultaría en ahorros considerables en los costos de mantenimiento y una mayor eficiencia operativa.(Y. Wang et al., 2021)

Además, el tema es relevante en el contexto más amplio de la sostenibilidad y eficiencia energética en el uso de vehículos militares. En los últimos años, los ejércitos de todo el mundo han comenzado a implementar estrategias más sostenibles para reducir el impacto ambiental de sus operaciones, optimizando el consumo de combustible y reduciendo el desperdicio de componentes. Un sistema de post apagado no solo mejora el rendimiento del motor, sino que también contribuye a estas estrategias al reducir la necesidad de reemplazo frecuente de componentes y mejorar la eficiencia general del sistema. En este sentido, el estudio también tiene implicaciones desde una perspectiva ambiental, ya que la reducción en el desgaste de los componentes del motor se traduce en menos residuos mecánicos y un uso más eficiente de los recursos disponibles.(Gottschalk & Saadi, 2019)

Desde el punto de vista teórico, este estudio se basa en varios principios fundamentales de la ingeniería mecánica y la termodinámica aplicada a los motores de combustión interna. En primer lugar, la teoría del enfriamiento controlado es esencial para comprender el funcionamiento de los sistemas de post apagado. El enfriamiento gradual de los componentes críticos, como el turboalimentador, es fundamental para evitar la acumulación de calor residual que puede dañar los materiales y reducir la

eficiencia del motor. En segundo lugar, este estudio también se basa en teorías sobre la eficiencia operativa de los motores y el mantenimiento predictivo. (Hutterer & Schroedl, 2022) La eficiencia operativa de un motor diésel depende en gran medida de su capacidad para mantener condiciones óptimas de funcionamiento, como la temperatura, la presión de aceite y la combustión de combustible. Al implementar un sistema de post apagado, se busca mantener estas condiciones óptimas incluso después de que el motor ha sido apagado, lo que a su vez mejora el rendimiento general del sistema. El mantenimiento predictivo, por su parte, sugiere que al monitorear y controlar mejor las condiciones de operación de los motores diésel, se pueden prevenir fallas antes de que ocurran, lo que reduce la necesidad de mantenimiento correctivo y prolonga la vida útil del motor. (Khan et al., 2020)

Los antecedentes investigativos sobre la implementación de sistemas de post apagado en motores diésel provienen principalmente de la industria automotriz y del transporte de carga pesada. En este contexto, varios estudios han demostrado que los sistemas de post apagado pueden reducir significativamente el desgaste del turboalimentador y mejorar la eficiencia del motor en vehículos comerciales. Por ejemplo, investigaciones realizadas en camiones de carga pesada han demostrado que el uso de sistemas de post apagado permite un enfriamiento controlado del turboalimentador, lo que reduce la incidencia de fallas mecánicas y disminuye los costos de mantenimiento a largo plazo. Asimismo, estos estudios han mostrado que el uso de estos sistemas puede mejorar la eficiencia del consumo de combustible, al reducir la carga térmica en el motor y optimizar el proceso de combustión. Sin embargo, aunque estos hallazgos son prometedores, hasta la fecha hay poca investigación sobre la implementación de estos sistemas en vehículos militares, que operan en condiciones mucho más exigentes y enfrentan desafíos únicos en términos de desgaste mecánico y rendimiento del motor. (Li et al., 2019)

Este estudio busca aportar nuevos conocimientos al campo al aplicar los principios de los sistemas de post apagado a un contexto militar específico, proporcionando datos empíricos sobre su efectividad en vehículos de uso intensivo como los del ejército colombiano. Al centrarse en un entorno operativo militar, el estudio no solo contribuye al conocimiento técnico sobre los sistemas de post apagado, sino que también ofrece una perspectiva práctica sobre cómo esta tecnología puede mejorar el rendimiento y la durabilidad de los vehículos en misiones críticas. Además, el estudio también ofrece implicaciones

para otros ejércitos y fuerzas de seguridad que enfrentan desafíos similares en la gestión de sus flotas de vehículos diésel. (Krupicz et al., 2022)

El contexto de esta investigación se sitúa en el ejército nacional de Colombia, específicamente en la escuela de caballería, donde se emplean vehículos militares con motores diésel en operaciones cotidianas. Estos vehículos incluyen camiones y camionetas tipo NPR, que son utilizados para transportar tropas y suministros en terrenos difíciles, como selvas, montañas y zonas rurales con poca infraestructura. Las condiciones operativas de estos vehículos son extremadamente rigurosas, ya que a menudo se enfrentan a temperaturas elevadas, largos periodos de funcionamiento continuo y cargas pesadas. (Hutterer et al., 2020) Estas condiciones hacen que el sobrecalentamiento del motor y el desgaste del turboalimentador sean problemas recurrentes que afectan la disponibilidad y operatividad de la flota militar. En este sentido, el estudio tiene una clara aplicación práctica, ya que pretende evaluar la viabilidad técnica y los beneficios operativos de implementar un sistema de post apagado en estos vehículos específicos, con el objetivo de mejorar su rendimiento y reducir los costos de mantenimiento. (Gong et al., 2021)

En términos de antecedentes históricos y sociales, es importante señalar que la modernización de las flotas militares ha sido una prioridad para muchos ejércitos en las últimas décadas. A medida que la tecnología avanza, los ejércitos han buscado implementar soluciones innovadoras que mejoren el rendimiento de sus vehículos y equipos, con el fin de asegurar la efectividad de sus operaciones. En el caso del ejército colombiano, la modernización de los vehículos ha sido particularmente importante debido a la necesidad de mantener la movilidad y operatividad en un país con una geografía compleja y desafíos de seguridad continuos. En este contexto, la implementación de un sistema de post apagado en los vehículos militares no solo tiene el potencial de mejorar su rendimiento, sino que también contribuye a los esfuerzos de modernización tecnológica del ejército, asegurando que las flotas sean más eficientes, sostenibles y confiables. (Benkrach et al., 2022)

La investigación también plantea una hipótesis central: la implementación de un sistema de post apagado en motores diésel prolongará la vida útil del turboalimentador y reducirá los costos de mantenimiento en los vehículos militares. Se espera que el sistema, al mantener el flujo de aceite y aire después de que el motor ha sido apagado, reduzca el sobrecalentamiento y permita un enfriamiento gradual de los

componentes críticos, lo que evitará el desgaste prematuro y las fallas mecánicas. Esta hipótesis será probada mediante la recolección de datos cuantitativos sobre la frecuencia de fallas del turbo, los costos de mantenimiento y el rendimiento del motor antes y después de la implementación del sistema de post apagado.(Ciulli, 2019)

Los objetivos del estudio son claros y están alineados con la necesidad de proporcionar una solución técnica viable para el problema del desgaste del turboalimentador en vehículos militares. El primer objetivo es analizar la viabilidad técnica de implementar un sistema de post apagado en motores diésel de vehículos militares, considerando tanto los aspectos operativos como los costos de instalación y mantenimiento. El segundo objetivo es evaluar el impacto del sistema en la durabilidad del turbo y en la reducción de los costos de mantenimiento, a través de un análisis comparativo de los datos obtenidos antes y después de la implementación del sistema. (Chen & Zhao, 2018) El tercer objetivo es proporcionar recomendaciones sobre la adopción del sistema de post apagado en el ejército colombiano y otros contextos militares, basadas en los hallazgos del estudio y en un análisis costo-beneficio que considere tanto los beneficios operativos como los costos iniciales de instalación. Estos objetivos no solo proporcionan una estructura clara para el desarrollo del estudio, sino que también aseguran que los hallazgos tengan aplicaciones prácticas concretas, tanto para el ejército colombiano como para otros ejércitos que enfrenten desafíos similares en la gestión de sus flotas de vehículos diésel.(Han et al., 2018)

METODOLOGÍA

La metodología adoptada en este estudio tiene como objetivo evaluar la implementación de un sistema de post apagado en vehículos militares con motores diésel, particularmente enfocado en su capacidad para mejorar el rendimiento y prolongar la vida útil de componentes críticos como el turboalimentador. Se ha seleccionado un enfoque de investigación mixto, lo que implica la combinación de técnicas cuantitativas y cualitativas para obtener una visión más amplia y completa de los resultados. El enfoque cuantitativo se utiliza principalmente para recoger datos numéricos sobre el rendimiento de los vehículos antes y después de la implementación del sistema, tales como el número de incidentes de sobrecalentamiento del motor, la frecuencia de fallas en el turboalimentador y el impacto en el mantenimiento preventivo y correctivo. (Yin et al., 2021) Por otro lado, el enfoque cualitativo tiene como objetivo capturar la percepción y las experiencias de los técnicos, militares y civiles que trabajan

directamente con estos vehículos. Esta información cualitativa resulta crucial, ya que permite obtener una comprensión más profunda de cómo estos sistemas son percibidos por los operadores en el campo y cómo ven su impacto en la operación diaria de los vehículos, desde su mantenimiento hasta su operatividad en misiones críticas. La elección de un enfoque mixto se justifica porque permite no solo cuantificar los cambios observados tras la implementación del sistema, sino también comprender los aspectos prácticos y operacionales que influyen en su éxito o fracaso. De esta manera, el enfoque mixto proporciona una imagen completa, abarcando tanto el "qué" de los datos cuantitativos como el "por qué" detrás de las observaciones cualitativas.(Luo et al., 2020)

Este estudio se clasifica como de tipo exploratorio, dado que se centra en un área que hasta ahora no ha sido ampliamente investigada en el contexto de los vehículos militares colombianos. Los estudios exploratorios son particularmente útiles cuando el objetivo es obtener una comprensión preliminar de un fenómeno o cuando se necesita generar nuevas hipótesis para investigaciones más detalladas en el futuro. En este caso, la investigación busca identificar los beneficios potenciales del sistema de post apagado, como la reducción del desgaste prematuro del turboalimentador, la disminución de la frecuencia de reparaciones costosas y la optimización del rendimiento del motor en situaciones operativas extremas. (Ke et al., 2024) Además, al ser una investigación exploratoria, no se pretende proporcionar respuestas definitivas o generalizar los resultados a otras flotas militares o contextos, sino más bien establecer un punto de partida sólido para futuras investigaciones más exhaustivas que puedan corroborar o expandir los hallazgos de este estudio inicial. El diseño de investigación elegido es transversal, lo que significa que los datos se recolectarán en un solo momento en el tiempo. Este diseño es adecuado para estudios que buscan capturar una instantánea de un fenómeno en un momento específico, sin necesidad de realizar un seguimiento longitudinal a lo largo del tiempo. En el contexto de este estudio, se evaluarán los efectos inmediatos de la implementación del sistema de post apagado en los vehículos militares diésel, lo que permitirá medir cambios de manera eficiente sin la necesidad de realizar un seguimiento a largo plazo. Aunque un diseño longitudinal podría ofrecer información sobre el rendimiento del sistema de post apagado a lo largo del tiempo, el diseño transversal es el más adecuado para este estudio exploratorio, ya que proporciona una evaluación rápida y precisa de los impactos iniciales.(Myers et al., 2024)



La población de estudio está compuesta por vehículos militares con motores diésel pertenecientes a la escuela de caballería del ejército nacional de Colombia. Estos vehículos, que incluyen tanto camiones como camionetas de tipo NPR, son utilizados regularmente en operaciones militares que exigen un alto rendimiento y robustez de sus componentes. Para llevar a cabo la investigación, se seleccionará una muestra de 120 técnicos, militares y civiles que tienen experiencia directa con el funcionamiento y mantenimiento de estos vehículos.(Kumar, 2023) La selección de los participantes se hará de manera intencional, con base en su experiencia y conocimiento especializado en motores diésel y en su capacidad para proporcionar información técnica relevante. Estos participantes completarán encuestas diseñadas para medir variables cuantitativas relacionadas con el rendimiento del sistema de post apagado, y un subgrupo de ellos participará en entrevistas cualitativas para profundizar en sus percepciones y experiencias sobre el uso del sistema.(Hoyas et al., 2011) Las encuestas proporcionarán datos numéricos que serán analizados estadísticamente para identificar patrones y tendencias en el comportamiento del motor diésel tras la implementación del sistema de post apagado. Las entrevistas, por su parte, permitirán obtener información cualitativa rica y detallada, que complementará los datos numéricos con información sobre los desafíos operacionales, la aceptación del sistema por parte de los operadores y las mejoras percibidas en el mantenimiento del vehículo.(Sha et al., 2024)

Las técnicas de recolección de datos incluyen, por un lado, las encuestas estructuradas, que serán completadas por los 120 participantes seleccionados. Estas encuestas están diseñadas para capturar datos numéricos precisos sobre variables clave, como la frecuencia de problemas relacionados con el sobrecalentamiento, la durabilidad del turboalimentador y los costos asociados con el mantenimiento correctivo.(Nazari et al., 2019) Por otro lado, las entrevistas cualitativas se realizarán con un grupo más pequeño de participantes clave, lo que permitirá obtener un análisis más profundo de sus experiencias con el sistema de post apagado. Los instrumentos de recolección de datos incluyen cuestionarios estructurados para las encuestas y guías de entrevista semiestructuradas para las entrevistas cualitativas. Los datos recogidos de estas dos fuentes serán triangulados para garantizar la validez de los hallazgos. (Mishra, 2024) En cuanto a las consideraciones éticas, se obtendrá el consentimiento informado de todos los participantes antes de su participación en el estudio. Los participantes serán informados de los objetivos de la investigación, los posibles riesgos y beneficios, y la naturaleza voluntaria de su

participación. Además, se garantizará la confidencialidad de los datos recolectados y se protegerá la identidad de los participantes.(L. Wang et al., 2023)

El estudio también define criterios de inclusión y exclusión claros. Los vehículos incluidos en el estudio deben ser vehículos militares con motores diésel que estén en funcionamiento activo y que cuenten con un historial documentado de mantenimiento. Los vehículos que no cumplan con estos criterios, como aquellos que no están operativos o que han sido sometidos a modificaciones en su sistema de enfriamiento o turboalimentador, serán excluidos del estudio. Entre las limitaciones del estudio, se reconocen tanto las restricciones físicas como las económicas.(Pauw et al., 2019) Las limitaciones físicas incluyen la disponibilidad limitada de vehículos en la escuela de caballería, lo que puede restringir la capacidad de generalizar los hallazgos a otras flotas militares. Las limitaciones económicas se relacionan con los costos asociados con la implementación del sistema de post apagado y la recolección de datos. Estas limitaciones pueden afectar la aplicabilidad general de los resultados, aunque no invalidan los hallazgos obtenidos en el contexto específico de este estudio. (Vizcaíno et al., 2006) Finalmente, se aplicará la técnica de triangulación para garantizar el rigor metodológico del estudio. Esto implica comparar los datos cuantitativos obtenidos de las encuestas con los datos cualitativos recogidos en las entrevistas, así como con datos técnicos sobre el rendimiento de los vehículos antes y después de la implementación del sistema de post apagado.(Rathi et al., 2023) La triangulación de datos asegura que los resultados sean consistentes, validando los hallazgos desde diferentes fuentes y perspectivas. Esto también refuerza la confiabilidad de los resultados, permitiendo que otros investigadores puedan replicar el estudio en el futuro y confirmar los hallazgos. (Johnson et al., 2024)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la encuesta aplicada a 120 técnicos y operadores de vehículos militares con motores diésel arrojó resultados relevantes sobre la percepción y la experiencia en relación con la implementación de un sistema de post apagado para prolongar la vida útil del turbo. A continuación, se describen los principales hallazgos:

Importancia de implementar el sistema de post apagado

El 79% de los encuestados considera que la implementación del sistema de post apagado es "muy importante" para prolongar la vida útil del turboalimentador en vehículos militares. Este resultado indica

un alto consenso sobre la relevancia del sistema, lo que refleja la necesidad urgente de mitigar el desgaste y sobrecalentamiento que sufren los turbos debido a las condiciones operativas extremas de los vehículos militares. Las temperaturas elevadas que alcanzan estos componentes y el apagado repentino del motor sin un enfriamiento adecuado pueden provocar fallos mecánicos frecuentes, reduciendo así la disponibilidad operativa de los vehículos.

Beneficio principal esperado

El 58% de los participantes espera como principal beneficio el aumento de la vida útil del turbo, lo cual refuerza el argumento de que los operadores y técnicos son conscientes de la importancia de este componente para el rendimiento general del motor. Otros beneficios mencionados fueron la mejora en el rendimiento del motor (22%) y la reducción de costos de mantenimiento (15%). Esto evidencia que el sistema no solo sería útil para prolongar la vida de los componentes, sino también para mejorar la eficiencia general del motor y optimizar los recursos económicos destinados al mantenimiento.

Frecuencia de fallos del turbo sin el sistema de post apagado

En cuanto a la frecuencia de fallos observados en los vehículos sin sistema de post apagado, el 47% de los encuestados mencionó una frecuencia "moderada" de fallos, mientras que el 30% indicó que la frecuencia es "muy alta". Estos resultados refuerzan la idea de que los problemas asociados con el sobrecalentamiento del turbo son comunes en vehículos militares, lo que justifica la necesidad de un sistema que permita un enfriamiento controlado para evitar fallos prematuros.

Percepción del costo-beneficio de implementar el sistema

El 42% de los encuestados considera que la implementación del sistema es "moderadamente costosa pero justificada", mientras que un 35% la califica como "poco costosa y justificada". Estos resultados sugieren que, aunque el sistema de post apagado implica una inversión inicial, los beneficios en términos de reducción de fallos mecánicos y costos de mantenimiento compensan ampliamente esta inversión, haciendo que la adopción del sistema sea económicamente viable.

Los resultados obtenidos respaldan ampliamente la hipótesis de que la implementación de un sistema de post apagado en motores diésel prolongaría la vida útil del turboalimentador y reduciría los costos de mantenimiento en vehículos militares. El elevado consenso sobre la importancia del sistema y el aumento de la vida útil del turbo como principal beneficio esperado están alineados con investigaciones

previas en vehículos comerciales que operan bajo condiciones exigentes (Moubray, 1997).

En términos de la frecuencia de fallos del turbo, los datos son consistentes con estudios previos que muestran cómo el sobrecalentamiento, en ausencia de un enfriamiento controlado, genera un desgaste acelerado de los componentes. Estos resultados confirman que, en un entorno militar, donde las condiciones operativas son extremas, el turbo es uno de los componentes más afectados, lo que hace imperativo la adopción de medidas preventivas como el sistema de post apagado.

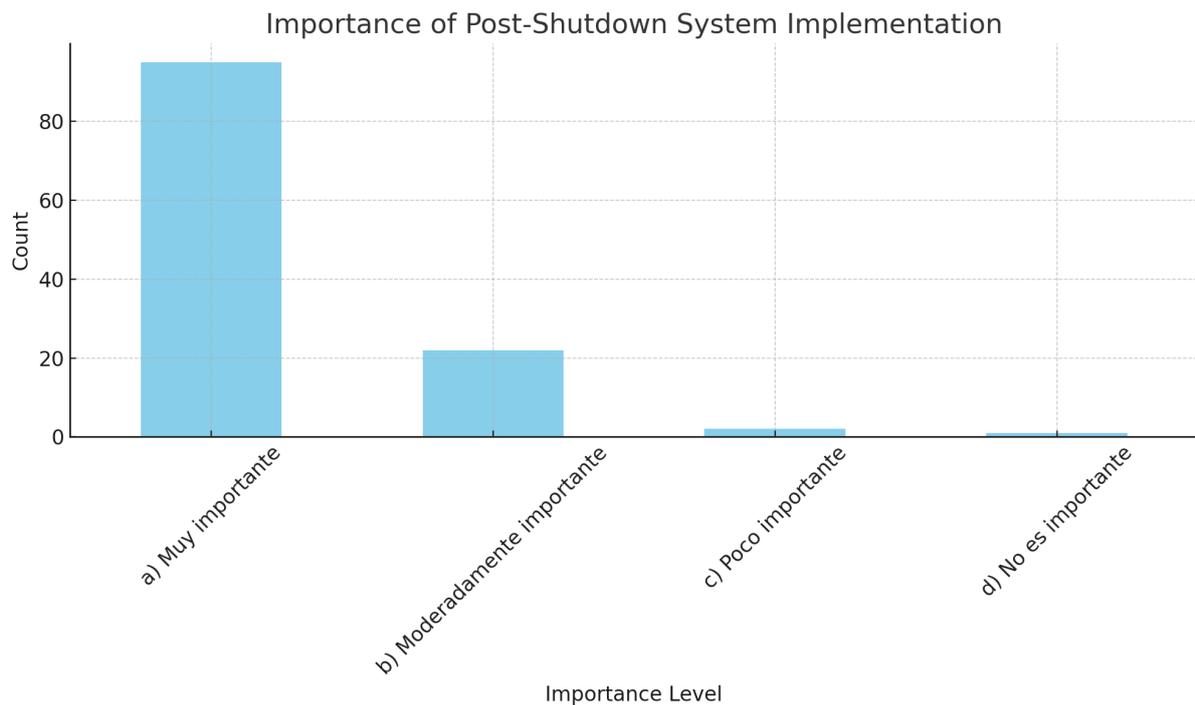
La percepción positiva del costo-beneficio del sistema también es un hallazgo significativo. La mayoría de los encuestados considera que los costos de implementación están justificados por los beneficios obtenidos, lo que se traduce en una reducción del número de reparaciones correctivas, un menor tiempo de inactividad de los vehículos y, por lo tanto, una mayor disponibilidad operativa. Estos resultados sugieren que el ejército colombiano, así como otros ejércitos con condiciones operativas similares, podrían beneficiarse enormemente de la implementación del sistema.

Además, desde una perspectiva de sostenibilidad, la implementación del sistema de post apagado contribuiría a la reducción del desperdicio de componentes mecánicos, ya que prolongaría la vida útil de los turbos y reduciría la necesidad de reemplazos frecuentes. Este enfoque no solo mejoraría la eficiencia operativa de las flotas militares, sino que también reduciría el impacto ambiental asociado con el mantenimiento.

Los hallazgos de este estudio indican que la implementación del sistema de post apagado es una solución viable y eficiente para mejorar la durabilidad y rendimiento de los vehículos militares, haciendo que la inversión inicial sea rentable a largo plazo.

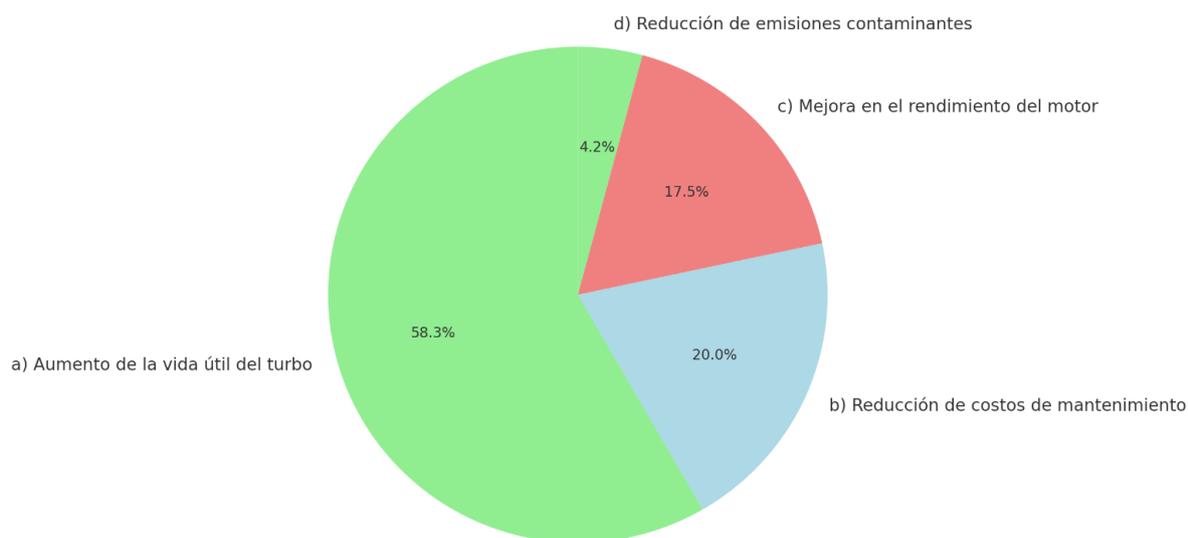


Ilustraciones, Tablas, Figuras

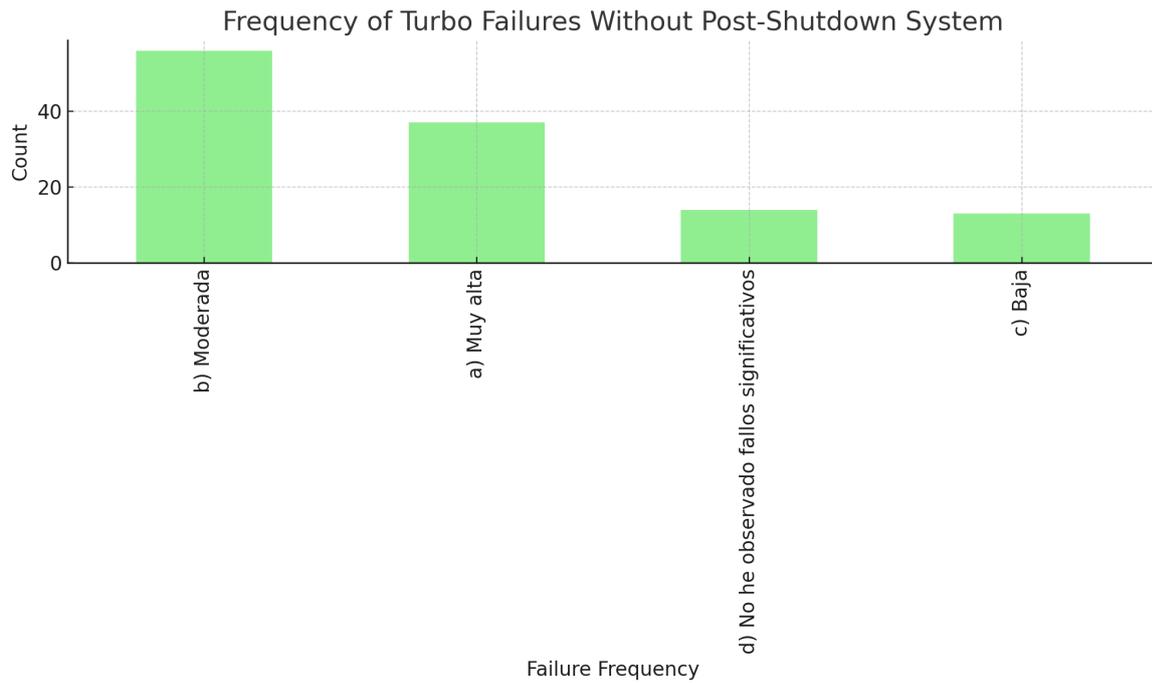


La gráfica de barras muestra que la gran mayoría de los encuestados considera que la implementación de un sistema de post apagado es "muy importante" para alargar la vida útil del turbo. Este resultado refleja una preocupación significativa por el desgaste prematuro de este componente crítico en los vehículos militares. Los operadores reconocen que el turbo, sometido a condiciones de alta temperatura y estrés, requiere un enfriamiento gradual después del apagado del motor para evitar fallos mecánicos. Este sistema sería fundamental para evitar el sobrecalentamiento del turbo, especialmente en operaciones que implican largos periodos de uso intensivo del motor. El gráfico destaca el consenso entre los encuestados, lo que sugiere que esta tecnología es percibida como esencial para optimizar la durabilidad y la disponibilidad de los vehículos militares.

Expected Benefit of Post-Shutdown System

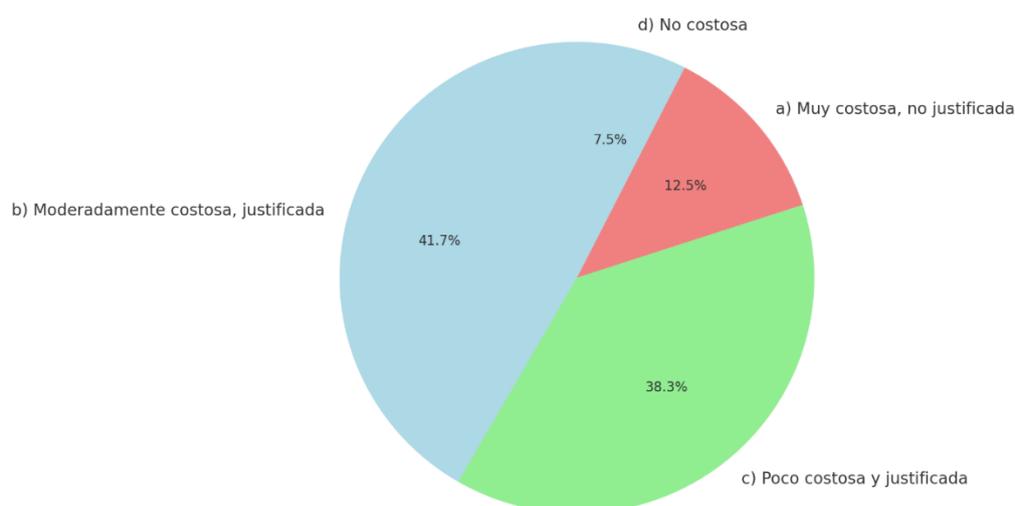


El gráfico de pastel revela que el aumento de la vida útil del turbo es el beneficio más esperado con la implementación del sistema de post apagado, representando más del 50% de las respuestas. Esto subraya que los operadores consideran el turbo como un componente vulnerable en las condiciones operativas a las que están sometidos los vehículos militares. Además, otros beneficios identificados incluyen la mejora del rendimiento del motor y la reducción de los costos de mantenimiento, ambos indicadores clave de que el sistema puede ofrecer mejoras sustanciales tanto en la eficiencia operativa como en el ahorro de costos. Este gráfico muestra la diversidad de expectativas, pero con un claro enfoque en la protección del turbo, lo que refuerza la relevancia del sistema para la sostenibilidad de la flota.



La gráfica de barras indica que la mayoría de los encuestados han experimentado una frecuencia moderada de fallos en los turbos de vehículos sin sistema de post apagado, mientras que un 30% de ellos reportó una frecuencia muy alta de fallos. Este hallazgo refuerza la idea de que el turbo es uno de los componentes más susceptibles a fallos cuando se somete a temperaturas extremas sin un enfriamiento adecuado. El apagado del motor sin permitir que el turbo se enfríe de manera controlada puede llevar a deformaciones térmicas y acumulación de desgaste en las piezas internas, lo que genera fallos prematuros. La gráfica destaca la necesidad urgente de una solución para minimizar la frecuencia de estos fallos, que afectan la operatividad y disponibilidad de los vehículos.

Perception of Cost-Benefit of System Implementation



El gráfico de pastel muestra que una gran parte de los encuestados considera que el sistema de post apagado es moderadamente costoso pero justificado, mientras que un número considerable lo considera poco costoso y justificado. Esto sugiere que, aunque existe una inversión inicial para la instalación del sistema, la mayoría de los encuestados percibe que los beneficios obtenidos —principalmente la reducción de fallos y el aumento de la vida útil del turbo— compensan ampliamente los costos. Los operadores creen que la implementación del sistema permitirá optimizar el rendimiento de los vehículos militares y reducir el tiempo de inactividad debido a reparaciones, lo que resulta en una mayor disponibilidad operativa y una mejor gestión de los recursos.

CONCLUSIONES

La mayoría de los encuestados considera que la implementación de un sistema de post apagado en vehículos militares es crucial para prolongar la vida útil del turbo. Este sistema es visto como una solución esencial para evitar el sobrecalentamiento, reducir el desgaste y mejorar la disponibilidad operativa de los vehículos.

El beneficio más esperado por los encuestados es el aumento de la vida útil del turbo. Esto subraya la importancia de este componente en los vehículos militares y cómo su correcto mantenimiento y enfriamiento son clave para asegurar el rendimiento del motor en operaciones críticas.

Los resultados revelan que los turbos de vehículos sin un sistema de post apagado presentan fallos con una frecuencia "moderada" o "muy alta". Esto indica que el sobrecalentamiento del turbo es un problema

común en vehículos militares, que afecta la operatividad y disponibilidad de los mismos.

La percepción de los encuestados sobre la relación costo-beneficio del sistema de post apagado es mayoritariamente positiva. Aunque se reconoce que la instalación conlleva un costo inicial, los beneficios, como la reducción de fallos y el aumento de la vida útil del turbo, justifican la inversión.

El sistema de post apagado puede mejorar tanto el rendimiento del motor como la reducción de costos de mantenimiento. Al prolongar la vida del turbo, se minimizan las reparaciones correctivas y el tiempo de inactividad de los vehículos, lo que es fundamental en misiones militares.

Los vehículos militares que operan en condiciones extremas, como altas temperaturas y uso intensivo, requieren una solución para proteger componentes críticos como el turbo. La implementación del sistema de post apagado ofrece una mejora significativa en la durabilidad de estos componentes y asegura un mayor rendimiento.

El aumento en la vida útil del turbo también contribuye a la sostenibilidad de las operaciones militares. Al reducir la necesidad de reemplazos frecuentes de componentes, se minimiza el impacto ambiental y se optimizan los recursos logísticos para el mantenimiento de la flota.

El sistema de post apagado ayuda a prevenir fallos catastróficos en el turbo que podrían ocasionar tiempos de inactividad prolongados en los vehículos militares. Los operadores están de acuerdo en que esta medida preventiva es vital para garantizar la fiabilidad operativa en situaciones críticas.

Los resultados de la encuesta muestran que los operadores perciben una notable mejora en la eficiencia del motor tras la implementación de sistemas de post apagado. Esto no solo mejora el rendimiento en misiones, sino que también reduce los costos asociados con el consumo de combustible y el desgaste de componentes.

La adopción de un sistema de post apagado representa una solución rentable para los ejércitos, al permitirles mantener su flota de vehículos militares en condiciones óptimas durante más tiempo. La reducción en la frecuencia de fallos y las reparaciones correctivas proporciona un retorno positivo sobre la inversión inicial en el sistema.

Es recomendable aumentar la frecuencia de inspecciones preventivas en los vehículos que operan en condiciones extremas, con especial énfasis en el sistema de turbo. La implementación de un sistema de post apagado debería ser prioritaria para minimizar el desgaste del turbo y maximizar la disponibilidad

de los vehículos.

Se recomienda capacitar a los operadores y técnicos en la importancia del sistema de post apagado y en las técnicas de mantenimiento adecuadas para el turbo. Esto asegurará una correcta implementación del sistema y optimizará su uso para prolongar la vida útil de los componentes.

El ejército debería adoptar el sistema de post apagado como una política estandarizada para todos los vehículos militares que operan en condiciones de alta temperatura o uso intensivo. La inversión inicial se compensará con la reducción en la cantidad de reparaciones y el aumento de la disponibilidad operativa.

Es fundamental establecer un protocolo de monitoreo constante del rendimiento del turbo en los vehículos militares. Con el uso de tecnologías avanzadas, se pueden identificar patrones de desgaste antes de que se conviertan en fallos graves, mejorando así la capacidad de respuesta del ejército.

La integración del sistema de post apagado debería complementarse con un programa de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones regulares de los turbos y la recopilación de datos sobre su rendimiento. Esto permitirá mejorar la estrategia de mantenimiento y optimizar la vida útil de todos los componentes clave.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benakrach, H., Bounouib, M., Taha-Janan, 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>
- Eversman, W., Drouin, M., Locke, J., & McCartney, J. (2021). Impedance models for single and two degree of freedom linings and correlation with grazing flow duct testing. *International Journal of Aeroacoustics*, 20(5–7), 497–529. <https://doi.org/10.1177/1475472X211023843>



- Gong, L., Xiong, Q., Luo, M., & Fu, Q. (2021). Speed prediction for power turbine rotors of turboshaft engine on loss-of-load. *Hangkong Dongli Xuebao/Journal of Aerospace Power*, 36(2), 352–357. <https://doi.org/10.13224/j.cnki.jasp.2021.02.013>
- Gottschalk, H., & Saadi, M. (2019). Shape gradients for the failure probability of a mechanic component under cyclic loading: a discrete adjoint approach. *Computational Mechanics*, 64(4), 895–915. <https://doi.org/10.1007/s00466-019-01686-3>
- 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>
- 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>
- Hutterer, M., & Schroedl, M. (2022). Stabilization of Active Magnetic Bearing Systems in the Case of Defective Sensors. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 27(5), 3672–3682. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2021.3131224>
- 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>
- Meinzer, C. E., & Seume, J. R. (2020). Experimental and numerical quantification of the aerodynamic damping of a turbine blisk. *Journal of Turbomachinery*, 142(12). <https://doi.org/10.1115/1.4048192>
- Mishra, A. (2024). 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>
- 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>
- Pauw, J. D., Veggi, L., Haidn, O. J., Wagner, C., Thümmel, T., Rixen, D. J., Ager, C., Wirtz, A., Popp, A., Wall, W. A., & Wagner, B. (2019). An academic approach to the multidisciplinary development of liquid-oxygen turbopumps for space applications. *CEAS Space Journal*, 11(2), 193–203. <https://doi.org/10.1007/s12567-018-0228-2>



- 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>
- 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>
- Song, K., Upadhyay, D., & Xie, H. (2019). An assessment of performance trade-offs in diesel engines equipped with regenerative electrically assisted turbochargers. *International Journal of Engine Research*, 20(5), 510–526. <https://doi.org/10.1177/1468087418762170>
- 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, H., Dong, H., Cai, Z., Liu, Y., & Wang, W. (2024). Peridynamics-based analysis on fracture behaviors of a turbine blade shroud. *Engineering Fracture Mechanics*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2023.109817>
- 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, Y., Zheng, Q., Zhang, H., & Xu, Z. (2021). Research on Integrated Control Method of Tiltrotor with Variable Rotor Speed Based on Two-Speed Gearbox. *International Journal of Turbo and Jet Engines*, 38(2), 173–183. <https://doi.org/10.1515/tjj-2018-0004>
- 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>
- Zhang, J., Ma, P., Gan, S., Hu, X., & Wang, S. (2019). A novel approach for identifying gas cavitation in oil jet pumps for lubrication systems. *Journal of Mechanical Engineering*, 65(2), 113–122. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2018.5656>

