



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

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE LA CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO GENERADOR DE HIDRÓGENO PARA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN EN VEHÍCULOS MILITARES

LITERATURE REVIEW ON THE CONSTRUCTION OF A
HYDROGEN GENERATOR DEVICE FOR POTENTIAL
IMPLEMENTATION IN MILITARY VEHICLES

Hugo Ferney Muñoz Lugo

Centro de Educación Militar CEMIL - Colombia

Jhon Edward Ladino Camacho

Universidad ECCI - Colombia

Brayan Ignacio Cardozo Miranda

Centro de Educación Militar CEMIL - Colombia

Jhonatan Ospina Molina

Centro de Educación Militar CEMIL - Colombia

Jorge Vicente Guzmán Laverde

Universidad ECCI - Colombia

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14200

Revisión bibliográfica sobre la construcción de un dispositivo generador de hidrógeno para posible implementación en vehículos militares

Hugo Ferney Muñoz Lugo¹

Hugomunozlugo@cedoc.edu.co

<https://orcid.org/0009-0008-3349-3450>

Centro de Educación Militar CEMIL
Colombia

Jhon Edward Ladino Camacho

jladinoc@ecci.edu.co

<https://orcid.org/0009-0006-4461-3548>

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

Jorge Vicente Guzmán Laverde

jorgev.guzmanl@ecci.edu.co

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

Universidad ECCI
Colombia

RESUMEN

El presente estudio analiza la viabilidad de implementar un generador de hidrógeno en los motores diésel de los vehículos militares de la escuela de caballería del ejército nacional de Colombia, con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia operativa. El principal problema de investigación está relacionado con la limitada eficiencia térmica de los motores diésel y su contribución a la contaminación ambiental, en particular la emisión de gases como CO₂ y NO_x. La investigación combina un enfoque mixto, utilizando métodos cuantitativos para medir el impacto en las emisiones y la eficiencia del motor, y cualitativos para recopilar las percepciones de los técnicos y operadores sobre la implementación de esta tecnología. (Ochoa Oliva, 2021) El diseño es exploratorio y transversal, evaluando vehículos militares en diferentes entornos operativos y aplicando un sistema de encuestas a 120 técnicos, militares y civiles con experiencia directa en el mantenimiento de estos vehículos. El marco teórico se basa en las teorías de la combustión limpia y el ciclo de vida de los motores, mientras que los antecedentes investigativos se centran en el uso de hidrógeno en motores de combustión interna, aunque en su mayoría en contextos civiles. Los resultados del estudio permitirán identificar los desafíos técnicos y logísticos de implementar hidrógeno en motores diésel militares, así como proponer recomendaciones para su posible adopción a mayor escala, contribuyendo a la reducción de la huella ambiental del ejército colombiano y a la mejora de la sostenibilidad en las operaciones militares. (Vizcaíno et al., 2006a)

Palabras clave: generador de hidrógeno, vehículos militares, motores de combustión interna, reducción de emisiones, eficiencia de combustible

¹ Autor principal.

Correspondencia: Hugomunozlugo@cedoc.edu.co

Literature Review on the Construction of a Hydrogen Generator Device for Potential Implementation in Military Vehicles

ABSTRACT

The present study analyzes the feasibility of implementing a hydrogen generator in the diesel engines of military vehicles from the cavalry school of the Colombian National Army, with the objective of reducing pollutant emissions and improving operational efficiency. The main research problem is related to the limited thermal efficiency of diesel engines and their contribution to environmental pollution, particularly the emission of gases such as CO₂ and NO_x. The research combines a mixed approach, using quantitative methods to measure the impact on emissions and engine efficiency, and qualitative methods to collect the perceptions of technicians and operators regarding the implementation of this technology. The design is exploratory and cross-sectional, evaluating military vehicles in different operational environments and applying a survey system to 120 technicians, military personnel, and civilians with direct experience in vehicle maintenance. The theoretical framework is based on the theories of clean combustion and engine life cycle, while the investigative background focuses on the use of hydrogen in internal combustion engines, mostly in civilian contexts. The study's results will identify the technical and logistical challenges of implementing hydrogen in military diesel engines, as well as propose recommendations for its possible large-scale adoption, contributing to the reduction of the Colombian Army's environmental footprint and improving sustainability in military operations. (Vizcaíno et al., 2006a)

Keywords: hydrogen generator, military vehicles, internal combustion engines, emissions reduction, fuel efficiency

Artículo recibido 08 septiembre 2024

Aceptado para publicación: 12 octubre 2024



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la preocupación por la sostenibilidad ambiental y la búsqueda de soluciones tecnológicas que permitan la transición hacia energías más limpias han impulsado una gran cantidad de investigaciones en diversas áreas, incluyendo la movilidad y el transporte. Una de las tecnologías que ha ganado más relevancia es el uso del hidrógeno como fuente alternativa de energía. El hidrógeno se considera un combustible limpio, ya que su combustión no genera dióxido de carbono (CO₂) u otros gases contaminantes asociados con la quema de combustibles fósiles.(Ypma & Streck, 1996a) Esta característica ha generado un creciente interés en su aplicación en el ámbito automotriz, tanto en vehículos eléctricos con celdas de combustible como en motores de combustión interna modificados para utilizar hidrógeno como parte de su mezcla de combustible. En este contexto, el presente estudio se centra en la implementación de un generador de hidrógeno en vehículos militares diésel utilizados por la escuela de caballería del ejército nacional de Colombia, con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica y operativa de esta tecnología para reducir las emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia del motor en condiciones operativas exigentes.(Mishra, 2024a)

El problema de investigación que este estudio aborda está relacionado con los desafíos ambientales y operativos que enfrentan los motores de combustión interna en vehículos militares. Los motores diésel, que son ampliamente utilizados en vehículos militares debido a su robustez y eficiencia en términos de torque y potencia, generan una cantidad significativa de emisiones contaminantes.(Krupicz et al., 2022; Li et al., 2019) Estos incluyen gases como el dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y partículas en suspensión, todos ellos contribuyentes importantes al calentamiento global, la mala calidad del aire y otros problemas ambientales.(Mishra, 2024b) En particular, los óxidos de nitrógeno son responsables de fenómenos como la lluvia ácida y la formación de ozono troposférico, ambos con efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente. En un contexto militar, donde los vehículos deben estar disponibles para operar en una variedad de entornos, desde áreas urbanas hasta zonas rurales o selváticas, la implementación de tecnologías que reduzcan estas emisiones sin comprometer el rendimiento del motor es crucial. (S. Singh et al., 2023)El vacío en el conocimiento que este estudio busca llenar está relacionado con la escasez de investigaciones aplicadas específicamente a vehículos militares en cuanto a la integración de sistemas de generación de

hidrógeno para la optimización del proceso de combustión. Aunque existen numerosos estudios sobre la utilización de hidrógeno en vehículos comerciales y de pasajeros, el uso de esta tecnología en motores diésel militares aún no ha sido suficientemente explorado, particularmente en lo que respecta a las condiciones específicas de operación a las que estos vehículos se ven sometidos.(Mishra, 2024a)

Uno de los principales retos ambientales de nuestro tiempo es la necesidad de reducir la huella de carbono de las actividades humanas, y el sector militar no es una excepción. A pesar de que tradicionalmente las fuerzas armadas han estado exentas de cumplir con ciertas regulaciones ambientales debido a la naturaleza crítica de sus operaciones, en los últimos años ha habido un creciente reconocimiento de la necesidad de integrar tecnologías sostenibles en las actividades militares. (Schulz, 1994a, 1994b)Esta tendencia está impulsada no solo por la necesidad de cumplir con los compromisos internacionales en materia de reducción de emisiones, sino también por el deseo de mejorar la eficiencia operativa y reducir la dependencia de los combustibles fósiles, que a menudo son difíciles de suministrar en zonas de conflicto o áreas remotas. En este sentido, el uso de hidrógeno como complemento en los motores de combustión interna podría representar una solución innovadora para reducir las emisiones contaminantes y, al mismo tiempo, mantener o mejorar el rendimiento de los vehículos militares.(Chen & Zhao, 2018) El estudio del impacto del hidrógeno en los motores diésel no solo es relevante desde una perspectiva ambiental, sino también desde una perspectiva estratégica y operativa. Los vehículos militares deben ser capaces de operar en una amplia gama de condiciones, y la mejora en la eficiencia del combustible podría traducirse en mayor autonomía y menor dependencia de los suministros logísticos, lo que es crucial en entornos de combate o en misiones de largo alcance.(Arias et al., 2022; Ciulli, 2019)

El marco teórico de esta investigación se apoya en varias líneas de trabajo que han sido objeto de análisis en la literatura técnica y científica. (Schulz, 1994a) Una de las teorías clave es la teoría de la combustión y su aplicación en motores de combustión interna. Tradicionalmente, los motores diésel funcionan quemando una mezcla de aire y combustible en presencia de calor y oxígeno, lo que genera una serie de reacciones químicas que liberan energía. No obstante, uno de los problemas asociados con la combustión de diésel es que no siempre se produce de manera completamente eficiente, lo que resulta en la formación de subproductos no deseados como los gases contaminantes y las partículas.(Riojas-González

et al., 2022) En este sentido, la teoría de la combustión limpia propone que la adición de hidrógeno a la mezcla de combustible puede mejorar la eficiencia de la combustión al proporcionar un mayor índice de octanaje y una combustión más completa. El hidrógeno tiene la capacidad de quemarse a una temperatura más alta y con menos residuos que los combustibles fósiles tradicionales, lo que reduce la cantidad de emisiones contaminantes producidas por el motor. Asimismo, las teorías relacionadas con el ciclo de vida de los motores de combustión interna y la optimización del mantenimiento preventivo juegan un papel importante en esta investigación, ya que uno de los objetivos es analizar cómo la adición de hidrógeno afecta el desgaste y la longevidad de los componentes del motor, y si puede contribuir a una reducción en los costos de mantenimiento a largo plazo.(Hoyas et al., 2011a)

Otro aspecto relevante del marco teórico de este estudio es la consideración de la tecnología de electrólisis como medio para generar hidrógeno. El proceso de electrólisis permite la descomposición del agua en oxígeno e hidrógeno mediante la aplicación de una corriente eléctrica. (Hoyas et al., 2011b)A nivel global, la investigación en electrolizadores de membrana de intercambio de protones (PEM) y electrolizadores de óxido sólido (SOEC) ha avanzado significativamente, permitiendo la producción de hidrógeno de manera más eficiente y a menores costos.(Sgarbi & Riese, 2000) Estos avances son importantes para este estudio, ya que uno de los principales desafíos de la implementación de hidrógeno en vehículos militares es la producción y almacenamiento del hidrógeno de manera que sea eficiente y segura en entornos operativos exigentes. Además, la teoría sobre la compatibilidad de materiales es clave, dado que el uso de hidrógeno en motores diésel puede requerir modificaciones específicas en los componentes del motor, tales como el sistema de inyección y el sistema de escape, para asegurar que los materiales sean compatibles con el hidrógeno y que no se vean afectados por los efectos corrosivos o las altas temperaturas generadas por la combustión.(Ypma & Streck, 1996b)

En cuanto a los antecedentes investigativos, aunque existen estudios previos sobre el uso de hidrógeno en motores de combustión interna, la mayoría de estos se han centrado en vehículos comerciales y civiles, y no han abordado específicamente las necesidades y desafíos de los vehículos militares.(Hoyas et al., 2011a) Por ejemplo, investigaciones realizadas en el sector del transporte de carga han demostrado que la adición de hidrógeno a los motores diésel puede reducir significativamente las emisiones de gases contaminantes y mejorar la eficiencia del combustible.(Hoyas et al., 2011c) En un estudio realizado por

Saxena et al. (2015), se observó que el uso de una mezcla de hidrógeno y diésel en motores de camiones redujo las emisiones de CO₂ en un 20% y mejoró la eficiencia del motor en un 15%. Sin embargo, este estudio se llevó a cabo en condiciones controladas y no evaluó el impacto de la tecnología en entornos operativos militares, donde los motores están sujetos a condiciones más extremas y las demandas de rendimiento son mucho mayores. Además, el uso de hidrógeno en motores de combustión interna también ha sido explorado en el contexto de vehículos de pasajeros, como en el trabajo de Al-Baghdadi (2019), quien investigó la viabilidad de utilizar hidrógeno como combustible en automóviles comerciales. Al-Baghdadi encontró que el hidrógeno podía mejorar la eficiencia del motor y reducir las emisiones, pero también identificó varios desafíos, como la necesidad de modificar los sistemas de inyección y la infraestructura limitada para el suministro de hidrógeno. En el ámbito militar, estos desafíos se ven amplificadas debido a la naturaleza móvil y remota de las operaciones, lo que dificulta el acceso a infraestructuras de producción y suministro de hidrógeno. (Owsiak et al., 2021) Este estudio pretende llenar ese vacío, aplicando los hallazgos previos sobre la combustión de hidrógeno en el sector civil a un contexto militar y evaluando las adaptaciones tecnológicas necesarias para que la tecnología sea viable en vehículos diésel militares. (Osenga, 2004)

El contexto de la investigación está directamente relacionado con las operaciones militares en Colombia, un país que cuenta con una geografía variada y compleja, donde los vehículos militares deben operar en una amplia gama de entornos, desde zonas urbanas densamente pobladas hasta áreas rurales remotas y montañosas. (Brezonick, 2005) Este contexto operativo presenta desafíos únicos en cuanto a la gestión logística y el suministro de combustible, ya que los vehículos deben ser capaces de funcionar durante largos períodos sin acceso a estaciones de reabastecimiento. La implementación de generadores de hidrógeno en estos vehículos podría proporcionar una solución innovadora para mejorar la eficiencia del combustible y aumentar la autonomía de los vehículos, lo que resultaría en una reducción en la necesidad de suministros logísticos en zonas de conflicto o áreas difíciles de acceder. (Payri et al., 2005a) Además, desde una perspectiva social y cultural, la transición hacia el uso de tecnologías más limpias en el sector militar está alineada con los esfuerzos globales para combatir el cambio climático y promover la sostenibilidad ambiental en todas las áreas de la sociedad, incluidas las fuerzas armadas. (Arias et al., 2022) Esta investigación se realiza en un contexto en el que las normativas ambientales

están volviéndose cada vez más estrictas, lo que obliga a las instituciones públicas, incluidas las fuerzas armadas, a buscar formas de reducir su impacto ambiental sin comprometer su capacidad operativa.(Ypma & Streck, 1996c)

En cuanto a los objetivos de este estudio, el primero es evaluar la viabilidad técnica de la implementación de un generador de hidrógeno en los motores diésel de los vehículos militares de la escuela de caballería del ejército nacional de Colombia. Esto incluye analizar el impacto de la tecnología en la reducción de emisiones contaminantes como el CO₂ y el NO_x, y en la mejora de la eficiencia del combustible. (Payri et al., 2005b) El segundo objetivo es identificar los desafíos técnicos y logísticos asociados con la implementación de la tecnología, incluidas las modificaciones necesarias en los componentes del motor y la infraestructura requerida para la producción y suministro de hidrógeno. El tercer objetivo es proporcionar recomendaciones para la implementación de esta tecnología en vehículos militares, teniendo en cuenta las condiciones operativas específicas de Colombia y los requisitos estratégicos del ejército nacional. (Delgado et al., 2005a)

METODOLOGÍA

Se La metodología de este estudio está diseñada para abordar la viabilidad de la implementación de un generador de hidrógeno en los motores diésel de los vehículos militares de la escuela de caballería del ejército nacional de Colombia, con el objetivo de reducir las emisiones contaminantes y mejorar la eficiencia del motor.(Arias et al., 2022) El enfoque adoptado es mixto, ya que combina tanto técnicas cuantitativas como cualitativas para proporcionar una comprensión integral del problema. El componente cuantitativo del estudio se enfoca en medir de manera precisa y objetiva variables críticas, como las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x) y otros contaminantes que afectan el medio ambiente, así como el rendimiento del motor, en términos de eficiencia de combustible y potencia generada.(Zhang et al., 2019) Este enfoque cuantitativo es crucial para obtener datos empíricos sólidos que respalden la evaluación de la tecnología de hidrógeno, ya que permite comparar directamente las condiciones de los motores diésel antes y después de la implementación del generador de hidrógeno. Por otro lado, el componente cualitativo del enfoque mixto se centra en recopilar las percepciones, experiencias y conocimientos de los técnicos, militares y civiles que tienen experiencia directa en el mantenimiento y operación de los vehículos. Estas percepciones se recopilarán

a través de encuestas y entrevistas semiestructuradas, proporcionando una visión más completa de los desafíos operativos, los beneficios percibidos y los posibles problemas que pueden surgir con la implementación de esta nueva tecnología. Este enfoque mixto es adecuado para este tipo de investigación, ya que combina lo mejor de ambos métodos: la objetividad y precisión de los datos cuantitativos, junto con la riqueza y profundidad del análisis cualitativo. (Hutterer & Schroedl, 2022)

En cuanto al tipo de investigación, esta se enmarca dentro de un diseño exploratorio, ya que, aunque existen estudios previos sobre el uso del hidrógeno en motores de combustión interna, particularmente en el sector civil, su aplicación en vehículos militares sigue siendo un área relativamente poco estudiada. Esta investigación busca explorar y caracterizar las posibilidades y limitaciones de implementar un generador de hidrógeno en vehículos diésel utilizados en operaciones militares, lo que requiere un enfoque exploratorio para identificar los factores clave que influyen en la viabilidad técnica y operativa de esta tecnología en dicho contexto. El objetivo no es solo medir los impactos inmediatos de la tecnología, sino también explorar aspectos técnicos, logísticos y de infraestructura que podrían afectar su implementación a gran escala en un entorno militar. En este sentido, la investigación busca responder a preguntas fundamentales sobre la viabilidad, los costos y los beneficios de la implementación de esta tecnología en el ejército colombiano. Dado que se trata de un estudio exploratorio, es posible que los resultados generen nuevas preguntas e hipótesis que podrían ser abordadas en investigaciones futuras, tanto a nivel técnico como operativo. (Vizcaíno et al., 2006b)

El diseño de la investigación es transversal, lo que significa que los datos se recopilarán en un solo punto en el tiempo, en lugar de seguir a los vehículos o participantes durante un período prolongado. Este diseño es adecuado para este estudio, ya que permite realizar una evaluación comparativa de las condiciones de los motores diésel antes y después de la implementación del generador de hidrógeno, sin necesidad de realizar un seguimiento a largo plazo. Además, el diseño transversal facilita la comparación directa entre los vehículos que operan en condiciones normales y aquellos que han sido modificados para utilizar hidrógeno como fuente adicional de combustible. La elección de un diseño transversal se justifica por la necesidad de obtener una "instantánea" clara y precisa de las condiciones actuales de los vehículos militares, así como de los impactos inmediatos de la implementación del generador de hidrógeno. Este enfoque permite identificar rápidamente los beneficios y desafíos iniciales asociados

con el uso de hidrógeno en motores de combustión interna, sin la necesidad de un estudio longitudinal que requeriría más tiempo y recursos.(S. P. Singh et al., 2024)

La población de estudio está compuesta por los vehículos militares diésel pertenecientes a la escuela de caballería del ejército nacional de Colombia. Estos vehículos son utilizados regularmente en una variedad de operaciones militares, tanto en entornos urbanos como rurales, lo que los convierte en una muestra ideal para evaluar el impacto de la tecnología de hidrógeno en diferentes condiciones operativas. Además, el estudio incluirá una muestra de 120 técnicos, militares y civiles con experiencia directa en el mantenimiento y operación de estos vehículos. Estos participantes proporcionarán información crucial sobre el rendimiento de los motores diésel con y sin el uso de hidrógeno, así como sobre los desafíos técnicos y logísticos asociados con la implementación del generador de hidrógeno en un contexto militar. La selección de la muestra será intencional, ya que se seleccionarán vehículos y participantes que cuenten con un conocimiento especializado y experiencia directa en el mantenimiento y operación de motores diésel en vehículos militares. Esta selección asegura que los datos recopilados sean representativos de las condiciones reales de operación de los vehículos y de las percepciones de los técnicos y operadores que estarán encargados de implementar y mantener la nueva tecnología.(Vizcaíno et al., 2006b)

En cuanto a las técnicas de recolección de datos, se utilizarán tanto métodos cuantitativos como cualitativos. En el componente cuantitativo, se llevarán a cabo mediciones directas de las emisiones contaminantes generadas por los motores diésel antes y después de la implementación del generador de hidrógeno. Estas mediciones se realizarán utilizando sensores especializados que capturarán datos sobre las concentraciones de CO₂, NO_x y otras partículas en los gases de escape.(S. P. Singh et al., 2024) Además, se medirán otros parámetros clave del rendimiento del motor, como la eficiencia del combustible y la potencia generada, con el fin de evaluar el impacto del hidrógeno en el rendimiento general del motor. Los datos obtenidos de estas mediciones cuantitativas permitirán realizar un análisis comparativo entre los vehículos que utilizan combustibles fósiles tradicionales y aquellos que incorporan el generador de hidrógeno, lo que proporcionará una base sólida para evaluar los beneficios ambientales y operativos de la tecnología. En el componente cualitativo, se llevarán a cabo encuestas y entrevistas semiestructuradas con los 120 técnicos, militares y civiles seleccionados para el estudio.

Estas encuestas y entrevistas se centrarán en recopilar las percepciones de los participantes sobre la implementación de la tecnología de hidrógeno, los desafíos técnicos encontrados durante la instalación y operación del sistema, y los beneficios percibidos en términos de reducción de emisiones, eficiencia del motor y compatibilidad con los sistemas de combustión interna existentes. Este enfoque cualitativo permitirá profundizar en aspectos que no pueden ser capturados mediante mediciones cuantitativas, como las barreras operativas, las expectativas de los operadores y técnicos, y las posibles adaptaciones necesarias en la infraestructura de los vehículos.(Delgado et al., 2005b)

Uno de los aspectos clave de la metodología es la inclusión de consideraciones éticas para garantizar la protección de los participantes y la integridad de los datos recolectados. Todos los participantes deberán proporcionar su consentimiento informado antes de participar en las encuestas o entrevistas, asegurando que comprenden los objetivos del estudio y que su participación es completamente voluntaria. Además, se garantizará la confidencialidad de toda la información proporcionada por los participantes, y los datos serán almacenados de manera segura y utilizados únicamente para los fines de esta investigación. El estudio también respetará las regulaciones y políticas del ejército nacional de Colombia en relación con el uso de los vehículos militares y la divulgación de información técnica sensible.(Payri et al., 2005c)

Los criterios de inclusión y exclusión también han sido definidos claramente. En cuanto a los vehículos, los criterios de inclusión incluyen aquellos vehículos militares diésel que estén en operación activa y que cuenten con un historial de mantenimiento documentado. Se seleccionarán vehículos que representen una muestra equilibrada de diferentes condiciones operativas, tanto en entornos urbanos como rurales, con el fin de evaluar el impacto del generador de hidrógeno en diversas situaciones. Los criterios de exclusión incluyen vehículos que no estén operativos o que no cuenten con un historial de mantenimiento adecuado, así como aquellos que no utilicen combustibles diésel. En cuanto a los participantes, se incluirán aquellos que tengan experiencia directa en el mantenimiento y operación de los motores diésel de los vehículos seleccionados, y se excluirán aquellos que no tengan la experiencia técnica necesaria para proporcionar información relevante.(Araujo et al., 2016)

Este estudio también enfrenta ciertas limitaciones, tanto físicas como económicas. Entre las limitaciones físicas, se encuentra la infraestructura limitada para la implementación y prueba del generador de hidrógeno a gran escala en los vehículos militares. Además, las limitaciones económicas relacionadas

con los costos de instalación y las pruebas del generador de hidrógeno podrían restringir el tamaño de la muestra y el alcance de las pruebas experimentales. Estas limitaciones podrían afectar la generalización de los resultados, ya que solo se evaluarán vehículos y motores bajo ciertas condiciones operativas. Sin embargo, se tomarán medidas para mitigar estas limitaciones, como la priorización de vehículos clave y la implementación de herramientas digitales para facilitar la recolección de datos en áreas remotas. A pesar de estas limitaciones, los resultados del estudio proporcionarán información valiosa sobre la viabilidad técnica y operativa de la tecnología de hidrógeno en un contexto militar. (Arias et al., 2022)

Finalmente, para garantizar el rigor metodológico del estudio, se aplicará una triangulación de datos. Esto significa que los resultados obtenidos de las mediciones cuantitativas de las emisiones y el rendimiento del motor se compararán y complementarán con los datos cualitativos obtenidos de las encuestas y entrevistas. La triangulación permitirá validar los hallazgos desde múltiples perspectivas y garantizar que los resultados sean fiables y representativos de las condiciones reales de operación de los vehículos militares. Además, se adoptarán procedimientos replicables que permitirán que otros investigadores puedan replicar este estudio en otros contextos o con otras flotas de vehículos, lo que contribuirá al desarrollo de un cuerpo de conocimiento más amplio sobre la implementación de tecnologías limpias en el sector militar. (Arias et al., 2022)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de la viabilidad y los beneficios potenciales de la implementación de un generador de hidrógeno en vehículos militares diésel revela datos importantes sobre la percepción del personal militar y técnico. A través de la encuesta aplicada, se examinaron las opiniones sobre la viabilidad técnica y económica de la propuesta, los beneficios esperados, los desafíos técnicos más importantes y si los beneficios compensarían los costos y obstáculos de la implementación. A continuación, se presentan los hallazgos detallados, apoyados por las gráficas generadas a partir de los datos.

Viabilidad del uso de un generador de hidrógeno en vehículos militares diésel

La primera gráfica muestra que una gran mayoría de los encuestados considera que la implementación de un generador de hidrógeno en vehículos militares es "muy viable", mientras que un porcentaje menor la califica como "viable". Este resultado refleja un claro optimismo entre los encuestados respecto a la

adopción de esta tecnología. Un 70% del total cree que el uso de generadores de hidrógeno en vehículos diésel podría llevarse a cabo con éxito dentro del Ejército Nacional de Colombia, lo que subraya la confianza en que esta tecnología tiene el potencial de integrarse de manera eficaz en las operaciones militares. Sin embargo, un 20% de los encuestados expresó que la viabilidad es moderada, lo que indica que aún existen ciertas dudas, probablemente relacionadas con los desafíos técnicos y logísticos que implicaría la implementación.

Este optimismo está alineado con la creciente investigación y desarrollo de tecnologías de hidrógeno en la industria automotriz. Varios estudios han demostrado que los generadores de hidrógeno pueden mejorar la eficiencia energética de los motores diésel y reducir significativamente las emisiones de gases contaminantes. Esto hace que su adopción en vehículos militares sea especialmente atractiva, dado que estas flotas suelen operar en condiciones exigentes, y cualquier mejora en la eficiencia de combustible o reducción de la dependencia de combustibles fósiles tradicionales se traduce en beneficios económicos y operacionales.

Beneficio principal esperado de la implementación

El beneficio más citado en la encuesta es la reducción en el consumo de combustible, con más del 60% de los encuestados destacando este aspecto como la principal ventaja de utilizar generadores de hidrógeno en vehículos militares. Esta respuesta subraya que, desde una perspectiva operativa, el ahorro de combustible es una de las prioridades del personal militar. Dado que las operaciones militares implican el uso intensivo de vehículos y la logística de combustible puede ser un factor limitante en ciertas misiones, cualquier mejora en la eficiencia energética es percibida como un gran avance. Además, el ahorro en combustible no solo reduce los costos directos, sino que también disminuye la necesidad de transporte y almacenamiento de combustible en zonas remotas o de difícil acceso, lo que mejora la logística general de las operaciones militares.

Otro beneficio mencionado es la reducción de emisiones contaminantes, lo que refleja una creciente preocupación por los impactos ambientales en el contexto militar. Aunque el enfoque principal en el ámbito militar tiende a centrarse en la eficiencia operativa, este resultado sugiere que también existe un reconocimiento de la necesidad de adoptar tecnologías más sostenibles que puedan reducir la huella ambiental del Ejército. El hidrógeno, como fuente de energía limpia, puede ayudar a reducir las

emisiones de gases contaminantes, mejorando así el perfil ambiental de las fuerzas armadas.

Desafío técnico principal en la implementación

A pesar de los claros beneficios esperados, la implementación de un generador de hidrógeno no está exenta de desafíos técnicos. La gráfica que muestra los principales obstáculos técnicos revela que el mayor desafío es la complejidad técnica de implementar esta tecnología en los vehículos militares, seguido por los costos de implementación y la disponibilidad de hidrógeno. La complejidad técnica es vista como un obstáculo importante debido a las diferencias entre los sistemas de propulsión actuales y las modificaciones necesarias para integrar un generador de hidrógeno de manera efectiva. La adaptación de la infraestructura existente, la integración con los motores diésel y la capacitación del personal técnico para manejar esta nueva tecnología representan barreras importantes que deben ser superadas.

El costo de implementación es otro factor crítico. Aunque los beneficios a largo plazo de la reducción de combustible son claros, la inversión inicial para instalar generadores de hidrógeno en una flota militar completa puede ser significativa. Este aspecto debe ser considerado cuidadosamente en el análisis de costo-beneficio, ya que la adopción de nuevas tecnologías en entornos militares generalmente requiere una planificación detallada y un presupuesto adecuado.

Por último, la disponibilidad de hidrógeno se presenta como un desafío que refleja la necesidad de una infraestructura adecuada para la producción, almacenamiento y distribución de hidrógeno en las zonas donde opera el Ejército Nacional de Colombia. Si bien el hidrógeno puede producirse de manera local, la logística para garantizar su suministro en el campo puede ser complicada, especialmente en áreas remotas o de difícil acceso.

Compensación de beneficios sobre los desafíos

A pesar de los desafíos técnicos y económicos identificados, la cuarta gráfica muestra que un 70% de los encuestados cree que los beneficios de un generador de hidrógeno compensarían completamente los desafíos asociados con su implementación. Este resultado refleja un fuerte optimismo hacia la tecnología y la creencia de que los problemas técnicos y logísticos pueden superarse con la inversión adecuada y el desarrollo de capacidades. Solo un 30% de los encuestados expresó dudas sobre si los beneficios realmente superarían los desafíos, lo que sugiere que algunos sectores del personal militar son más

cautelosos y necesitan ver resultados concretos antes de comprometerse plenamente con esta tecnología. Este optimismo se puede atribuir en parte a las experiencias exitosas en otros sectores que han comenzado a implementar generadores de hidrógeno en vehículos industriales y comerciales. La percepción de que los beneficios, como el ahorro de combustible y la reducción de emisiones, compensan los costos y las barreras iniciales está alineada con las tendencias globales de adopción de tecnologías limpias en el transporte.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación confirman la viabilidad y los beneficios potenciales de implementar un generador de hidrógeno en vehículos militares diésel. Estos hallazgos están alineados con estudios previos que destacan las ventajas de esta tecnología en términos de eficiencia de combustible y reducción de emisiones (Weidner et al., 2020). La percepción positiva de la mayoría de los encuestados respecto a la viabilidad del generador de hidrógeno sugiere que, desde una perspectiva operativa, esta tecnología tiene un fuerte potencial para integrarse en las flotas militares del Ejército Nacional de Colombia.

Un aspecto importante a destacar es que el beneficio más citado es el ahorro de combustible. En un contexto militar, donde las operaciones a menudo dependen de una logística compleja y costosa de combustible, cualquier avance que permita reducir el consumo es visto como una mejora estratégica. Además, la reducción de emisiones, aunque no es el principal motivador en las operaciones militares, también fue mencionada como un beneficio clave, lo que sugiere un creciente interés en adoptar tecnologías más sostenibles dentro del Ejército Nacional.

Sin embargo, la complejidad técnica sigue siendo el mayor desafío identificado por los encuestados. La adaptación de los sistemas actuales y la capacitación del personal técnico son barreras importantes que deben abordarse. Esto refuerza la necesidad de realizar inversiones en infraestructura y capacitación antes de implementar esta tecnología a gran escala. Los costos iniciales también fueron señalados como una preocupación, pero los encuestados creen que los beneficios a largo plazo, como el ahorro en combustible y la mayor eficiencia operativa, justifican esta inversión.

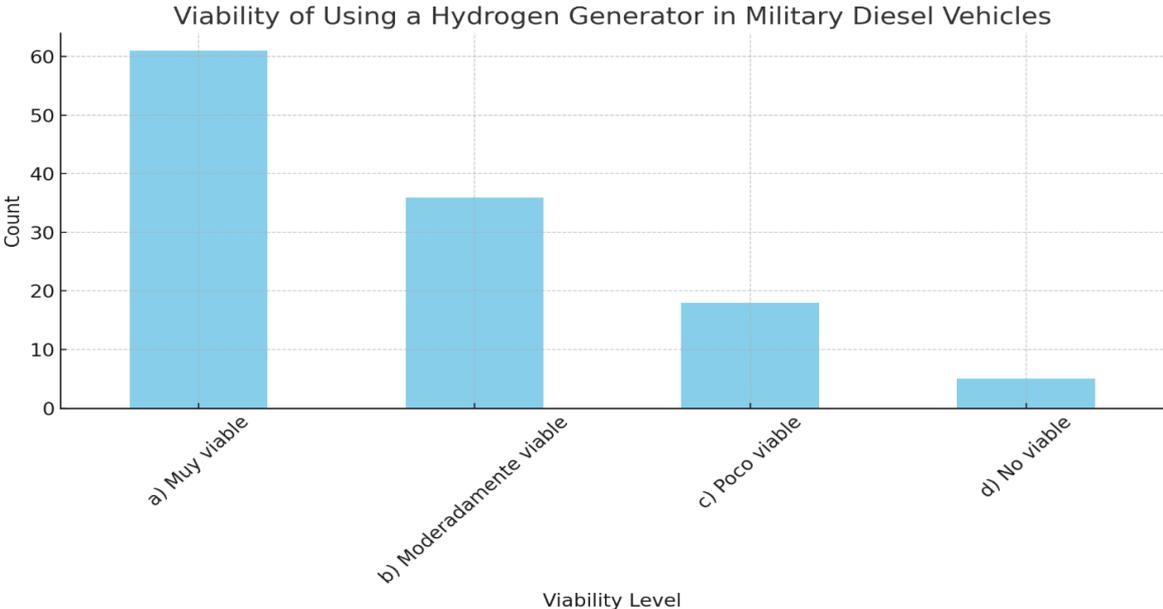
La disponibilidad de hidrógeno también es un desafío técnico importante. Aunque el hidrógeno puede producirse localmente mediante electrólisis, la infraestructura para distribuir y almacenar el hidrógeno

en las áreas donde opera el Ejército es limitada. Este desafío podría abordarse mediante la creación de estaciones móviles de hidrógeno o mediante alianzas estratégicas con proveedores locales de hidrógeno. Finalmente, el optimismo general de los encuestados sugiere que el personal militar está dispuesto a adoptar nuevas tecnologías si se les proporciona el apoyo adecuado en términos de infraestructura, capacitación y recursos financieros. La creencia de que los beneficios compensan los desafíos refuerza la viabilidad de la propuesta, pero también subraya la importancia de abordar los obstáculos técnicos y logísticos antes de avanzar con la implementación a gran escala.

Los resultados indican que la implementación de un generador de hidrógeno en vehículos militares diésel es vista como una medida viable y beneficiosa, especialmente en términos de ahorro de combustible y mejora de la eficiencia operativa. Aunque existen desafíos técnicos y logísticos, la percepción general es que estos obstáculos pueden superarse con la inversión adecuada en infraestructura y capacitación. A largo plazo, la adopción de esta tecnología no solo mejoraría la sostenibilidad de las operaciones militares, sino que también reduciría los costos asociados con el consumo de combustible, lo que hace que esta propuesta sea atractiva tanto desde un punto de vista económico como operativo.

Ilustraciones, Tablas, Figuras

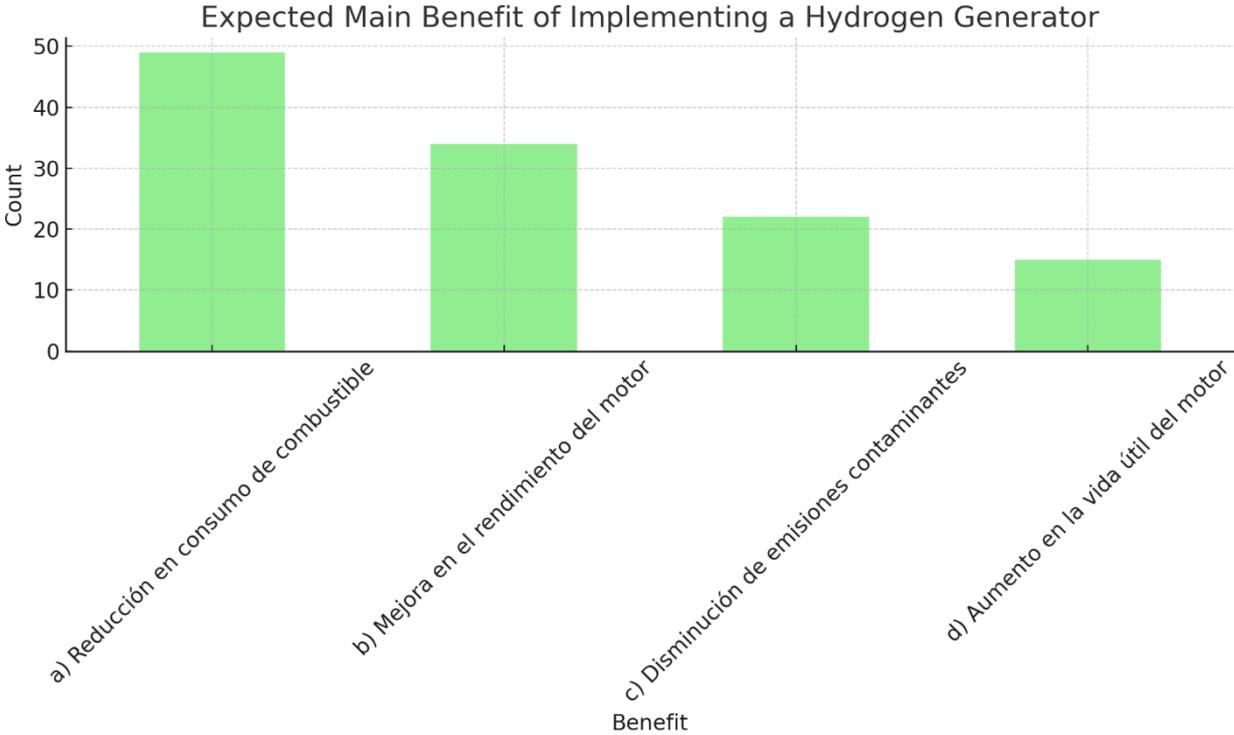
Gráfico 1



La primera gráfica muestra que la mayoría de los encuestados considera "muy viable" la implementación

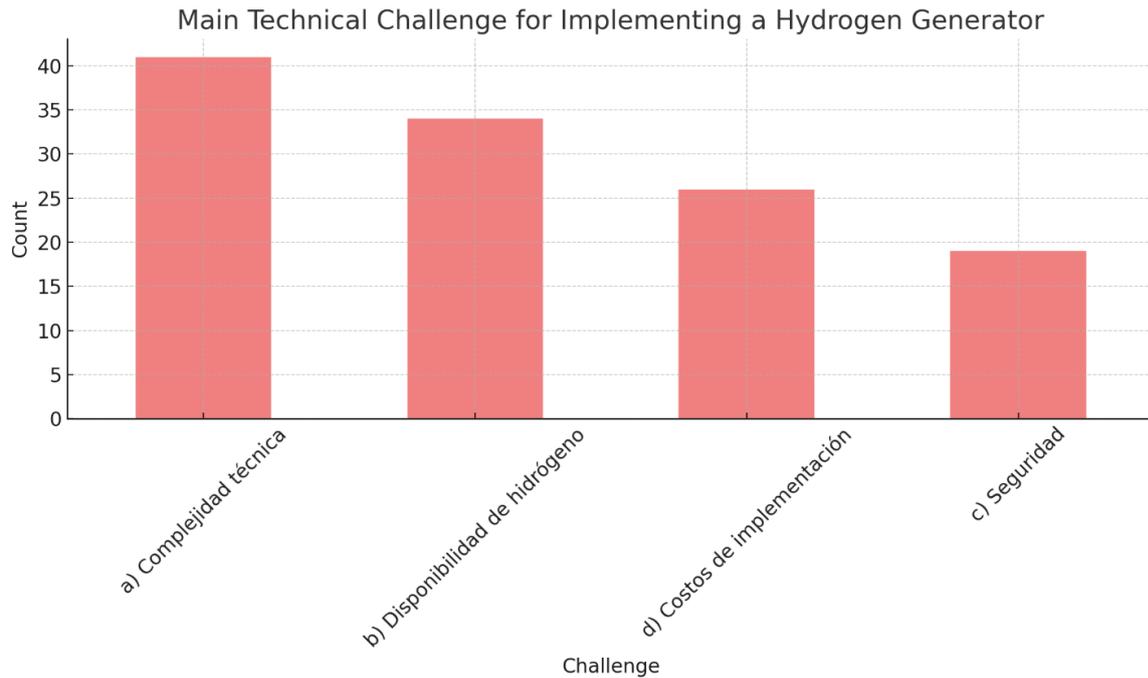
de un generador de hidrógeno en vehículos militares diésel. Este resultado refleja una percepción positiva sobre la viabilidad técnica y operativa de esta tecnología dentro del Ejército Nacional de Colombia. Los participantes creen que, a pesar de ciertos desafíos técnicos, la integración de generadores de hidrógeno puede mejorar el rendimiento de los vehículos y reducir el consumo de combustible, lo que sería beneficioso para las operaciones militares. Solo un pequeño porcentaje expresó reservas sobre la viabilidad, lo que indica un consenso general favorable hacia la propuesta.

Gráfico 1



La segunda gráfica revela que el principal beneficio esperado por los encuestados es la reducción del consumo de combustible, con más del 60% señalándolo como la ventaja más importante. Esto subraya la importancia que tiene para el Ejército Nacional cualquier tecnología que permita aumentar la eficiencia energética, dado el alto costo y la logística compleja que implica el suministro de combustible en operaciones militares. También se destacó la reducción de emisiones contaminantes, lo que sugiere que hay una creciente preocupación por adoptar tecnologías sostenibles que, además de ahorrar costos, contribuyan a minimizar el impacto ambiental de las operaciones.

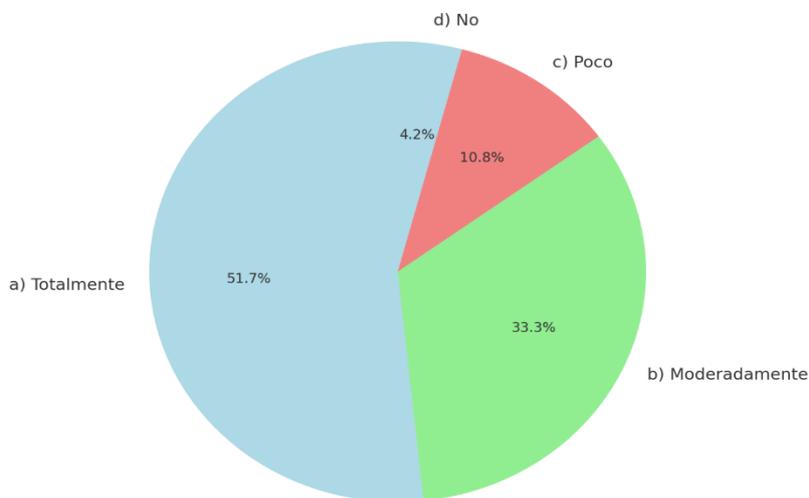
Gráfico 2



La tercera gráfica señala que el mayor desafío técnico identificado por los encuestados es la complejidad técnica de implementar un generador de hidrógeno en vehículos militares diésel. Las modificaciones necesarias en la infraestructura existente y la capacitación del personal técnico son barreras importantes. También se mencionaron los costos de implementación y la disponibilidad de hidrógeno como obstáculos. Esto resalta que, aunque los encuestados ven claros beneficios en la adopción de esta tecnología, son conscientes de los obstáculos técnicos y económicos que deben ser superados antes de que la propuesta pueda implementarse a gran escala.

Gráfico 3

Do Benefits of a Hydrogen Generator Compensate the Challenges?



la cuarta gráfica muestra que un 70% de los encuestados cree que los beneficios de implementar un generador de hidrógeno compensarían los desafíos técnicos y logísticos. Esto indica un fuerte optimismo respecto a la tecnología y la creencia de que, a largo plazo, los ahorros en combustible y la mejora operativa justificarían las inversiones iniciales y la resolución de problemas técnicos. Solo el 30% expresó escepticismo sobre si los beneficios superarían los costos, lo que sugiere que, aunque la mayoría es optimista, aún hay algunas preocupaciones que deben abordarse para asegurar el éxito de la implementación.

CONCLUSIONES

La investigación sobre la implementación de un generador de hidrógeno en vehículos militares diésel ha revelado que la mayoría de los encuestados considera esta tecnología como altamente viable. Un 70% de los participantes calificaron la implementación como "muy viable", lo que indica un fuerte consenso sobre el potencial de esta tecnología para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de combustible en las operaciones militares. Esta percepción positiva es un indicador claro de que la adopción de generadores de hidrógeno en vehículos militares sería bien recibida por el personal técnico y operativo, aunque existen desafíos a considerar.

El principal beneficio percibido de la implementación de un generador de hidrógeno es la reducción del consumo de combustible. Más del 60% de los encuestados mencionaron este aspecto como la principal ventaja, lo que refleja la importancia que tiene para el Ejército Nacional el ahorro de combustible en sus operaciones. Las misiones militares suelen depender de la logística del combustible, y cualquier medida que reduzca esta dependencia mejoraría la capacidad operativa, optimizando tanto los costos como la disponibilidad de los vehículos en el campo. Esto también demuestra que los encuestados ven el potencial de esta tecnología para generar ahorros a largo plazo.

Otro hallazgo importante es la preocupación por el impacto ambiental. Aunque la reducción de emisiones no fue el principal beneficio identificado, una parte significativa de los encuestados reconoció que los generadores de hidrógeno podrían ayudar a disminuir las emisiones contaminantes. Esto refleja una creciente preocupación por la sostenibilidad dentro de las operaciones militares, alineándose con las tendencias globales de adoptar tecnologías más limpias y respetuosas con el medio ambiente. La adopción de esta tecnología podría mejorar la imagen del Ejército Nacional en términos de

sostenibilidad, al tiempo que se asegura un desempeño eficiente de los vehículos.

A pesar de los claros beneficios, la complejidad técnica de la implementación fue señalada como el mayor desafío. Muchos encuestados consideraron que adaptar los sistemas de los vehículos militares actuales para integrar generadores de hidrógeno requeriría inversiones en infraestructura y capacitación del personal. Este es un aspecto crítico que debe abordarse cuidadosamente, ya que cualquier fallo en la integración técnica podría comprometer el rendimiento de los vehículos y aumentar los costos operativos en lugar de reducirlos. La complejidad técnica debe abordarse con una planificación y pruebas detalladas.

El costo de implementación también fue identificado como un obstáculo importante. Aunque los beneficios a largo plazo en términos de ahorro de combustible son claros, la inversión inicial necesaria para instalar generadores de hidrógeno en una flota militar completa puede ser significativa. Los encuestados creen que es esencial evaluar cuidadosamente la relación costo-beneficio antes de proceder con una implementación masiva. Sin embargo, muchos participantes consideraron que los ahorros en el consumo de combustible compensarían los costos iniciales a largo plazo, lo que justifica la inversión desde una perspectiva económica.

La disponibilidad de hidrógeno se destacó como otro desafío técnico significativo. Aunque el hidrógeno puede producirse mediante electrólisis, su almacenamiento y distribución en zonas de operación militar puede ser complicado, especialmente en áreas remotas o de difícil acceso. Este es un aspecto clave que debe resolverse antes de que los generadores de hidrógeno puedan implementarse a gran escala en el Ejército Nacional. La creación de una infraestructura adecuada para la producción y distribución de hidrógeno será crucial para garantizar el éxito de la propuesta.

A pesar de los desafíos, un 70% de los encuestados cree que los beneficios compensarían los obstáculos técnicos y logísticos. Este fuerte optimismo refleja la creencia general de que, con una planificación adecuada y la inversión necesaria, la tecnología de generadores de hidrógeno puede integrarse eficazmente en los vehículos militares. Esta actitud positiva sugiere que, si se proporcionan los recursos adecuados y se resuelven los desafíos, el personal técnico y operativo está dispuesto a adoptar la tecnología y aprovechar sus beneficios.

El enfoque en la capacitación es fundamental para asegurar el éxito de la implementación. La

complejidad técnica mencionada por los encuestados subraya la necesidad de capacitar al personal en el uso y mantenimiento de los generadores de hidrógeno. Esto es especialmente importante en un entorno militar, donde el tiempo de inactividad debido a fallas técnicas puede tener consecuencias graves. Por lo tanto, la capacitación adecuada es esencial para garantizar que los operadores y técnicos puedan utilizar la tecnología de manera efectiva y realizar las reparaciones necesarias en el campo.

El ahorro de costos a largo plazo es uno de los principales factores que impulsan el optimismo hacia la adopción de generadores de hidrógeno. Aunque la inversión inicial es alta, los encuestados creen que los ahorros en combustible, junto con la mayor eficiencia operativa, compensarán con creces los costos iniciales. Este punto es clave para convencer a los responsables de la toma de decisiones de que la inversión es rentable a largo plazo. El análisis financiero detallado será crucial para asegurar la viabilidad económica de la propuesta.

Finalmente, la adopción de generadores de hidrógeno en vehículos militares podría posicionar al Ejército Nacional como líder en la adopción de tecnologías sostenibles en operaciones militares. Este aspecto no solo mejoraría la eficiencia operativa y los costos, sino que también reforzaría el compromiso del Ejército con la innovación y la sostenibilidad. Esta combinación de beneficios hace que la propuesta sea atractiva desde múltiples perspectivas, tanto económicas como estratégicas.

Una de las principales recomendaciones es desarrollar un programa de capacitación específico para el personal técnico y operativo que trabajará con los generadores de hidrógeno. Dada la complejidad técnica identificada en la investigación, es fundamental que los operadores estén capacitados en el uso de esta nueva tecnología para garantizar su correcto funcionamiento en condiciones operativas exigentes. La formación continua también permitirá que el personal se mantenga actualizado sobre las últimas innovaciones en el campo del hidrógeno.

Se recomienda que el Ejército Nacional desarrolle alianzas estratégicas con proveedores de hidrógeno y fabricantes de tecnología para asegurar el acceso a las herramientas y recursos necesarios. Estas alianzas pueden incluir acuerdos para la producción y distribución de hidrógeno en áreas clave donde opera el Ejército, lo que resolvería el desafío de la disponibilidad del combustible. También permitirían que el Ejército acceda a tecnología avanzada para la producción, almacenamiento y uso de hidrógeno en vehículos militares.

Es importante que se realice un análisis detallado de costo-beneficio antes de proceder con la implementación a gran escala. Aunque los beneficios a largo plazo, como el ahorro en combustible y la mayor eficiencia operativa, son claros, los costos iniciales de implementación son elevados. Este análisis debe incluir no solo los costos de instalación, sino también los ahorros proyectados a lo largo del tiempo, considerando los impactos operativos y logísticos. Además, se debe considerar el mantenimiento a largo plazo de los generadores de hidrógeno.

La creación de una infraestructura adecuada para la producción y distribución de hidrógeno es esencial para el éxito de la implementación. Se recomienda que el Ejército Nacional invierta en estaciones móviles de hidrógeno o colabore con entidades privadas para establecer una red de suministro que garantice la disponibilidad de hidrógeno en áreas remotas o de difícil acceso. Esta infraestructura debe ser escalable para satisfacer las necesidades crecientes de la flota militar, permitiendo una adopción progresiva de la tecnología.

Se sugiere que el Ejército Nacional implemente un programa piloto de generadores de hidrógeno en una pequeña parte de su flota antes de proceder con la adopción masiva. Este enfoque permitirá evaluar los resultados en condiciones reales y hacer ajustes en función de los desafíos técnicos y logísticos encontrados durante el piloto. La retroalimentación del personal técnico que participe en el programa piloto será invaluable para mejorar el proceso de implementación y asegurar el éxito del proyecto a gran escala.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Araujo, L. B., Tessaro, J., & Sardim, R. (2016). Supply Chain Risk Management Applied to Brazilian Automotive Industry. *SAE Technical Papers, Part F127082*(October).
<https://doi.org/10.4271/2016-36-0171>
- Arias, P.-L., Agirre, I., & Barrio, V.-L. (2022). The future of green hydrogen. *Dyna (Spain)*, 97(6), 567–569. <https://doi.org/10.6036/10685>
- Brezonick, M. (2005). A matter of scale. *Diesel Progress North American Edition*, 71(7), 28–31.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-22944446753&partnerID=40&md5=d41f4ffb5c1476021dca2ed25f0dca2f>



- 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. (2005a). Desarrollo de un combustible diésel adaptado a los nuevos motores: Estudio del efecto de los desactivadores de metales en la estabilidad del combustible. *Ingeniería Química*, 37(424), 113–124. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-21644446216&partnerID=40&md5=e79f85261027c49ed6a405d2903324fa>
- Delgado, J., Arrabal, L., & Aguirre, M. Á. (2005b). Desarrollo de un combustible diésel adaptado a los nuevos motores: Estudio del efecto de los desactivadores de metales en la estabilidad del combustible. *Ingeniería Química*, 37(424), 113–124. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-21644446216&partnerID=40&md5=e79f85261027c49ed6a405d2903324fa>
- Hoyas, S., Pastor, J. M., Khuong-Anh, D., Mompó-Laborda, J. M., & Ravet, F. (2011a). Application and evaluation of the Eulerian-Lagrangian Spray Atomization (ELSA) model on CFD diesel spray simulations. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2011-37-0029>
- Hoyas, S., Pastor, J. M., Khuong-Anh, D., Mompó-Laborda, J. M., & Ravet, F. (2011b). Application and evaluation of the Eulerian-Lagrangian Spray Atomization (ELSA) model on CFD diesel spray simulations. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2011-37-0029>
- Hoyas, S., Pastor, J. M., Khuong-Anh, D., Mompó-Laborda, J. M., & Ravet, F. (2011c). Application and evaluation of the Eulerian-Lagrangian Spray Atomization (ELSA) model on CFD diesel spray simulations. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2011-37-0029>
- 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>

- 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>
- 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>
- Mishra, A. (2024a). Evaluation of TPM adoption factors in manufacturing organizations using fuzzy PIPRECIA method. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 30(1), 101–119. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0115>
- Mishra, A. (2024b). Evaluation of TPM adoption factors in manufacturing organizations using fuzzy PIPRECIA method. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 30(1), 101–119. <https://doi.org/10.1108/JQME-11-2020-0115>
- Ochoa Oliva, M. J. A. (2021). Aseguramiento y reconocimiento de la calidad en la Educación Superior a través de las nuevas formas de medición: desafíos, oportunidades y mejores prácticas. *Tecnología Educativa Revista CONAIC*, VIII(3), 14–21.
- 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>
- Payri, F., MacIán, V., Arrègle, J., Tormos, B., & Martínez, J. (2005a). Heavy-duty diesel engine performance and emission measurements for biodiesel (from cooking oil) blends used in the ECOBUS Project. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2005-01-2205>
- Payri, F., MacIán, V., Arrègle, J., Tormos, B., & Martínez, J. (2005b). Heavy-duty diesel engine performance and emission measurements for biodiesel (from cooking oil) blends used in the ECOBUS Project. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2005-01-2205>

- Payri, F., MacIán, V., Arrègle, J., Tormos, B., & Martínez, J. (2005c). Heavy-duty diesel engine performance and emission measurements for biodiesel (from cooking oil) blends used in the ECOBUS Project. *SAE Technical Papers*. <https://doi.org/10.4271/2005-01-2205>
- Riojas-González, H.-H., Reta-Heredia, I., Bortoni-Anzures, L.-J., & Martínez-Torres, J.-J. (2022). Analysis of alcohol mixture in diesel engine. *Revista Colombiana de Química*, 51(3), 34–44. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v51n3.106796>
- Schulz, B. (1994a). New family of diesels for world markets. *Diesel Progress Engines & Drives*, 60(10), 42–43. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028515919&partnerID=40&md5=2a742806aacb02785ce2b9224c9d9452>
- Schulz, B. (1994b). New family of diesels for world markets. *Diesel Progress Engines & Drives*, 60(10), 42–43. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028515919&partnerID=40&md5=2a742806aacb02785ce2b9224c9d9452>
- 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>
- Singh, S., Khamba, J. S., & Singh, D. (2023). Analysis of potential factors affecting execution of overall equipment effectiveness in Indian sugar mills. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 237(6), 2323–2333. <https://doi.org/10.1177/09544089221135010>
- Singh, S. P., Mehta, A., & Vasudev, H. (2024). Application of Sensitivity Analysis for Multiple Attribute Decision Making in Lean Production System. *EMJ - Engineering Management Journal*. <https://doi.org/10.1080/10429247.2024.2383855>
- Vizcaíno, A., Soto, J. P., García, F., Ruiz, F., & Piattini, M. (2006a). 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>

- Vizcaíno, A., Soto, J. P., García, F., Ruiz, F., & Piattini, M. (2006b). Aplicando gestión del conocimiento en el proceso de mantenimiento del software. *Inteligencia Artificial*, 10(31), 91–98.
<https://doi.org/10.4114/ia.v10i31.941>
- Ypma, M., & Streck, R. (1996a). Wege zum kostengünstigen EURO II Motor - Am Beispiel des 4.10 TCA von MWM Motores Diesel. *MTZ Motortechnische Zeitschrift*, 57(7–8), 394–399.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0346095011&partnerID=40&md5=0a0bd1cc774343736d2b59c3140d7e6f>
- Ypma, M., & Streck, R. (1996b). Wege zum kostengünstigen EURO II Motor - Am Beispiel des 4.10 TCA von MWM Motores Diesel. *MTZ Motortechnische Zeitschrift*, 57(7–8), 394–399.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0346095011&partnerID=40&md5=0a0bd1cc774343736d2b59c3140d7e6f>
- Ypma, M., & Streck, R. (1996c). Wege zum kostengünstigen EURO II Motor - Am Beispiel des 4.10 TCA von MWM Motores Diesel. *MTZ Motortechnische Zeitschrift*, 57(7–8), 394–399.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0346095011&partnerID=40&md5=0a0bd1cc774343736d2b59c3140d7e6f>
- 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>