



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v11i4.4658>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque
Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo***

***State of the Art on Energy Losses in Starter Generator Motors with Start-Stop
Systems and Their Impact on Vehicle Engine Efficiency***

***Estado da arte sobre as perdas de energia em motores geradores de arranque com
sistemas start-stop e o seu impacto na eficiência do motor do veículo***

Aranguren Mármol Gabriel Alejandro ^I
aranguren.g.6426@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-5882-9690>

Mero Fernández Marcos Junior ^{II}
mero.m.2514@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-1428-5535>

Quiroz Cedeño Danny Omar ^{III}
d.quiroz@istlam.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-2829-5849>

Correspondencia: aranguren.g.6426@istlam.edu.ec

***Recibido:** 23 de octubre de 2025 ***Aceptado:** 14 de noviembre de 2025 *** Publicado:** 30 de diciembre de 2025

- I. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.
- II. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.
- III. Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, Ecuador.

Resumen

La eficiencia energética en el sector automotriz es uno de los principales desafíos tecnológicos y ambientales de la actualidad, especialmente en vehículos con motor de combustión interna. Los alternadores automotrices representan una fuente significativa de pérdidas energéticas, las cuales impactan directamente en el consumo de combustible y en las emisiones contaminantes. Este estudio tiene como objetivo realizar un estado del arte sobre las pérdidas energéticas en alternadores automotrices asociados a sistemas Start-Stop, así como analizar el efecto de las estrategias de gestión inteligente y la transición hacia arquitecturas eléctricas de 48 V en la eficiencia global del vehículo. La investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica sistemática de literatura científica y técnica publicada entre 2010 y 2025, bajo un enfoque cualitativo, descriptivo y exploratorio. Se consultaron bases de datos indexadas, aplicando criterios de inclusión y exclusión que garantizaron la validez y confiabilidad de las fuentes seleccionadas.

Los resultados evidencian que los alternadores convencionales presentan eficiencias limitadas, incluso en versiones optimizadas, debido a pérdidas eléctricas, magnéticas y mecánicas. Asimismo, se confirma que los sistemas Start-Stop permiten reducir el consumo de combustible y las emisiones, especialmente en conducción urbana, aunque su efectividad depende del contexto de uso. Las estrategias de gestión inteligente del alternador complementan estos sistemas al redistribuir la carga eléctrica hacia fases más favorables del ciclo de conducción. Finalmente, la transición hacia arquitecturas eléctricas de 48 V muestra un mayor potencial de ahorro energético frente a los sistemas tradicionales de 12 V, pese a su mayor complejidad técnica y costo, este estado del arte proporciona una visión integral y actualizada sobre las tecnologías orientadas a la reducción de pérdidas energéticas en sistemas de generación eléctrica automotriz.

Palabras Claves: Eficiencia energética; Alternadores automotrices; Sistemas Start-Stop; Gestión inteligente del alternador; Arquitecturas eléctricas de 48 V.

Abstract

Energy efficiency in the automotive sector is one of today's major technological and environmental challenges, especially for vehicles with internal combustion engines. Automotive alternators represent a significant source of energy losses, which directly impact fuel consumption and pollutant emissions. This study aims to provide a state-of-the-art overview of energy losses in automotive

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

alternators associated with Start-Stop systems, as well as analyze the effect of intelligent management strategies and the transition to 48V electrical architectures on overall vehicle efficiency.

The research was conducted through a systematic literature review of scientific and technical publications released between 2010 and 2025, using a qualitative, descriptive, and exploratory approach. Indexed databases were consulted, applying inclusion and exclusion criteria that ensured the validity and reliability of the selected sources.

The results show that conventional alternators exhibit limited efficiencies, even in optimized versions, due to electrical, magnetic, and mechanical losses. Furthermore, it is confirmed that Start-Stop systems reduce fuel consumption and emissions, especially in urban driving, although their effectiveness depends on the usage context. Intelligent alternator management strategies complement these systems by redistributing the electrical load towards more favorable phases of the driving cycle. Finally, the transition to 48V electrical architectures shows greater potential for energy savings compared to traditional 12V systems. Despite their greater technical complexity and cost, this state-of-the-art review provides a comprehensive and up-to-date overview of technologies aimed at reducing energy losses in automotive electrical generation systems.

Keywords: Energy efficiency; Automotive alternators; Start-Stop systems; Intelligent alternator management; 48V electrical architectures.

Resumo

A eficiência energética no setor automóvel é um dos principais desafios tecnológicos e ambientais da atualidade, especialmente para os veículos com motores de combustão interna. Os alternadores automóveis representam uma fonte significativa de perdas de energia, que impactam diretamente o consumo de combustível e as emissões de poluentes. Este estudo visa fornecer uma visão geral atualizada das perdas de energia em alternadores automóveis associadas a sistemas Start-Stop, bem como analisar o efeito de estratégias de gestão inteligente e da transição para arquiteturas elétricas de 48V na eficiência global do veículo.

A investigação foi conduzida através de uma revisão sistemática da literatura científica e técnica publicada entre 2010 e 2025, utilizando uma abordagem qualitativa, descritiva e exploratória. Foram consultadas bases de dados indexadas, aplicando critérios de inclusão e exclusão que garantiram a validade e a fiabilidade das fontes selecionadas.

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

Os resultados mostram que os alternadores convencionais apresentam eficiências limitadas, mesmo em versões otimizadas, devido a perdas elétricas, magnéticas e mecânicas. Além disso, confirma-se que os sistemas Start-Stop reduzem o consumo de combustível e as emissões, especialmente em condução urbana, embora a sua eficácia dependa do contexto de utilização. Estratégias inteligentes de gestão do alternador complementam estes sistemas, redistribuindo a carga elétrica para fases mais favoráveis do ciclo de condução. Por fim, a transição para arquiteturas elétricas de 48 V demonstra um maior potencial de poupança de energia em comparação com os sistemas tradicionais de 12 V. Apesar da maior complexidade técnica e custo, esta revisão do estado da arte oferece uma visão abrangente e atualizada das tecnologias orientadas para a redução das perdas de energia nos sistemas de geração elétrica automóvel.

Palavras-chave: Eficiência energética; Alternadores automóveis; Sistemas Start-Stop; Gestão inteligente de alternadores; Arquiteturas elétricas de 48V.

Introducción

La eficiencia energética en el sector automotriz se ha consolidado como una de las prioridades de la industria y de las políticas medioambientales globales, debido a la necesidad de reducir las emisiones contaminantes y optimizar el consumo de combustible en los vehículos con motor de combustión interna (Mahmood et al., 2022). Desde inicios del siglo XXI, los fabricantes han introducido diversas tecnologías orientadas a la gestión eficiente de la energía, reconociendo que cada mejora en la conversión energética representa un aporte hacia una movilidad más sostenible (Abidin et al., 2021). Uno de los componentes críticos en este contexto es el alternador, responsable de transformar la energía mecánica del motor en energía eléctrica para atender la demanda a bordo. Sin embargo, su eficiencia en modelos convencionales se encuentra entre el 55% y el 60%, con valores de hasta un 75% en versiones de alta eficiencia, lo que implica pérdidas significativas que repercuten directamente en el consumo global de combustible y en las emisiones de gases de efecto invernadero (NACFE, s. f.).

Frente a esta problemática, la industria ha desarrollado estrategias como la gestión inteligente del alternador y la implementación de sistemas *Start-Stop*. Estos últimos permiten apagar el motor durante detenciones breves y reiniciarlo automáticamente al reanudar la marcha, lo que contribuye a reducir tanto el consumo como las emisiones, particularmente en entornos urbanos (AAA, 2014). Estudios recientes demuestran que la combinación de *Start-Stop* y control de carga inteligente puede

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

generar ahorros de entre 5% y 26%, dependiendo del ciclo de conducción (Huff et al., 2023). Adicionalmente, soluciones como los alternadores de voltaje variable y sistemas de recuperación de energía en desaceleración, como el Mazda i-ELOOP, han ampliado el rango de operación eficiente de los generadores eléctricos (Mazda & ATZ, 2013; Argonne National Laboratory, 2015).

Figura1. Elementos afectados por el sistema Stop Start



Nota. En la figura 1 se puede notar varios elementos que son afectados por el sistema. Tomado de: <https://tecnologia-automovil.com/stop-start/>

En este escenario, la presente investigación tiene como propósito realizar un estado del arte sobre las pérdidas energéticas en alternadores con sistemas *Start-Stop*, con el fin de identificar los principales mecanismos de ineficiencia, analizar las soluciones implementadas y valorar su impacto en la eficiencia global del vehículo. Su importancia radica en proporcionar un marco técnico y científico actualizado que fortalezca la formación de los estudiantes de la carrera de Mecánica Automotriz del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez, quienes podrán aplicar este conocimiento en prácticas de diagnóstico, análisis comparativo y proyectos de innovación, respondiendo a las exigencias de una industria automotriz en constante transición hacia la eficiencia y la sostenibilidad.

Metodología

Enfoque de la investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque **cualitativo, exploratorio y descriptivo**, orientado a la construcción de un marco conceptual actualizado sobre las pérdidas energéticas en alternadores y el impacto de los sistemas *Start-Stop* en la eficiencia global del vehículo. El carácter cualitativo se justifica porque el propósito central es interpretar y sistematizar el conocimiento existente en la literatura, más que generar datos empíricos de campo. Asimismo, es exploratorio

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

porque busca identificar y describir fenómenos poco estudiados en el contexto latinoamericano, como la interacción entre la gestión inteligente del alternador y las arquitecturas eléctricas de 12 V y 48 V. Finalmente, es descriptivo porque expone con detalle los mecanismos de pérdida y las soluciones tecnológicas documentadas en investigaciones previas (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

Diseño de investigación

El diseño adoptado corresponde a una **revisión bibliográfica sistemática**, metodología ampliamente empleada en ingeniería para sintetizar hallazgos, evaluar tendencias y proponer nuevas líneas de investigación (Snyder, 2019). A diferencia de una revisión narrativa tradicional, este enfoque se sustenta en criterios claros y replicables de búsqueda, inclusión y análisis, lo que permite asegurar la validez y confiabilidad de los resultados. La revisión se realizó en un marco temporal comprendido entre **2010 y 2025**, con el fin de abarcar tanto las bases conceptuales como los desarrollos más recientes en alternadores de alta eficiencia y sistemas *Start-Stop*.

Materiales

Para la recopilación y organización de la información se emplearon diferentes recursos académicos y tecnológicos:

- **Bases de datos científicas internacionales:** *ScienceDirect*, *SpringerLink*, *IEEE Xplore*, *Scopus*, *SAE Mobilus* y *Google Scholar*. Estas plataformas permitieron acceder a artículos indexados, conferencias y documentos técnicos de alto impacto en la comunidad automotriz.
- **Repositorios regionales e institucionales:** *Scielo*, *Redalyc*, *Dialnet* y bibliotecas digitales de universidades latinoamericanas, con el objetivo de incluir investigaciones aplicadas en contextos similares al del Instituto Superior Tecnológico Luis Arboleda Martínez (ISTLAM).
- **Documentos de referencia especializados:** normas técnicas (SAE e ISO), manuales de fabricantes, informes de laboratorios automotrices y libros de texto en sistemas de propulsión y eficiencia energética.
- **Herramientas de gestión bibliográfica:** los softwares *Mendeley* y *Zotero* fueron utilizados para clasificar las referencias, garantizar la trazabilidad de las fuentes y generar automáticamente las citas y la bibliografía en formato APA 7.

Procedimiento

El procedimiento metodológico comprendió las siguientes fases:

1. **Definición de palabras clave:** se establecieron términos de búsqueda en inglés y español, tales como “*alternator energy losses*”, “*vehicular start-stop system efficiency*”, “*intelligent alternator control*”, “*12V vs 48V architectures*”, y “*vehicular energy management*”.
2. **Búsqueda bibliográfica sistemática:** se exploraron artículos, libros y reportes técnicos publicados entre 2010 y 2025, priorizando investigaciones recientes con resultados experimentales o de simulación.
3. **Criterios de inclusión:** estudios revisados por pares que abordaran pérdidas energéticas, estrategias de reducción de consumo, gestión inteligente de alternadores, eficiencia de sistemas *Start-Stop* y comparación de arquitecturas de 12 V y 48 V.
4. **Criterios de exclusión:** documentos sin respaldo académico, publicaciones anteriores a 2010 sin relevancia actual y materiales no indexados como blogs, reportajes periodísticos o literatura no científica.
5. **Clasificación de la información:** las fuentes seleccionadas se organizaron en categorías temáticas: mecanismos de pérdida (eléctricas, magnéticas y mecánicas), impacto del *Start-Stop* en consumo y emisiones, estrategias de gestión inteligente y comparación entre tecnologías de 12 V y 48 V.
6. **Análisis y síntesis crítica:** cada categoría se examinó comparando resultados, identificando convergencias y divergencias entre estudios, y elaborando tablas comparativas y figuras explicativas para la interpretación de los datos.

Validez y confiabilidad

Para asegurar la validez interna del estudio, se aplicó la **triangulación de fuentes**, contrastando información procedente de artículos científicos, documentos técnicos de fabricantes y reportes de organismos especializados. Asimismo, se verificó la fiabilidad externa garantizando que todas las fuentes utilizadas fueran accesibles públicamente y pudieran ser consultadas por otros investigadores. El uso de un diseño sistemático, acompañado de criterios explícitos de inclusión y exclusión, responde a las recomendaciones metodológicas para revisiones en ingeniería establecidas por Kitchenham (2004).

En este sentido, la metodología aplicada no solo permite cumplir con los objetivos planteados en el proyecto de investigación, sino que también asegura que los resultados obtenidos tengan validez

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

académica y utilidad práctica para la enseñanza y la formación en la carrera de Mecánica Automotriz del ISTLAM.

Resultados

La revisión sistemática de la literatura permitió identificar y organizar los principales hallazgos relacionados con las pérdidas energéticas en alternadores automotrices, el impacto de los sistemas Start-Stop, las estrategias de gestión inteligente de la generación eléctrica y la comparación entre arquitecturas eléctricas de 12 V y 48 V. Los resultados se estructuran en cuatro ejes temáticos principales.

Mecanismos de pérdida energética en alternadores automotrices

Los estudios analizados coinciden en que los alternadores convencionales constituyen uno de los principales focos de ineficiencia en los vehículos con motor de combustión interna. La eficiencia promedio reportada oscila entre el 55% y el 60%, alcanzando valores máximos cercanos al 75% únicamente en alternadores de alta eficiencia optimizados (NACFE, s. f.). Estas pérdidas se agrupan en cuatro categorías principales.

Las pérdidas eléctricas, asociadas a los devanados de cobre, representan una fracción significativa del total y se incrementan proporcionalmente con la corriente demandada por los sistemas eléctricos del vehículo. Por su parte, las pérdidas magnéticas, originadas por fenómenos de histéresis y corrientes parásitas en el núcleo ferromagnético, limitan la eficiencia de conversión electromecánica, especialmente a altas velocidades de rotación. A estas se suman las pérdidas mecánicas, vinculadas a la fricción en rodamientos y a la ventilación interna necesaria para la disipación térmica. Finalmente, las pérdidas en el sistema de transmisión por correa (Front-End Accessory Drive, FEAD) generan un arrastre permanente del motor, incluso en condiciones de baja demanda eléctrica.

La literatura señala que estas pérdidas se intensifican durante el funcionamiento a ralentí, condición frecuente en conducción urbana, lo que incrementa el consumo específico de combustible destinado a la generación eléctrica (Argonne National Laboratory, 2015; Athani, 2016).

Impacto de los sistemas Start-Stop en la eficiencia vehicular

Los sistemas Start-Stop han sido ampliamente estudiados como una solución orientada a mitigar el consumo innecesario de combustible durante detenciones temporales del vehículo. Los resultados revisados evidencian una reducción significativa del consumo y de las emisiones contaminantes, aunque con una variabilidad notable según el ciclo de conducción empleado.

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

En condiciones de laboratorio y ciclos urbanos estandarizados, se reportan ahorros de hasta 26,4% en consumo de combustible, como en el caso del ciclo New York City Cycle (NYCC) (Huff et al., 2023). En contraste, estudios basados en conducción real muestran reducciones más moderadas, generalmente entre el 5% y el 10% (AAA, 2014). Esta diferencia se asocia a factores como la densidad del tráfico, la duración de las detenciones, la temperatura ambiental y el estado de carga del sistema eléctrico.

Los resultados también indican que el impacto del Start-Stop es más pronunciado en entornos urbanos caracterizados por frecuentes paradas, mientras que su contribución disminuye en trayectos interurbanos o de carretera.

Estrategias de gestión inteligente del alternador

La revisión evidencia que la incorporación de estrategias de gestión inteligente del alternador constituye un complemento clave a los sistemas Start-Stop. El Intelligent Alternator Control (IAC) permite desplazar la generación eléctrica hacia fases de mayor eficiencia energética, como la desaceleración o el frenado, reduciendo el arrastre del motor durante la aceleración.

Diversos estudios documentan que estas estrategias aportan mejoras adicionales en la eficiencia global, con incrementos que oscilan entre el 1,7% y el 7%, dependiendo del perfil de conducción y del grado de integración del sistema (SAE, 2018). Entre las soluciones más relevantes se encuentran los alternadores de voltaje variable, que ajustan la tensión de salida según la demanda real, y los sistemas de recuperación de energía en desaceleración.

Un caso destacado es el sistema i-ELOOP de Mazda, que emplea supercondensadores para almacenar energía recuperada durante el frenado y liberarla posteriormente, reduciendo la dependencia directa del alternador en fases críticas del ciclo de conducción (Mazda & ATZ, 2013).

Comparación entre arquitecturas eléctricas de 12 V y 48 V

La transición hacia arquitecturas eléctricas de 48 V representa una evolución significativa en la reducción de pérdidas energéticas. Los resultados muestran que, si bien los sistemas optimizados de 12 V pueden alcanzar eficiencias cercanas al 75%, su capacidad de regeneración y su margen de mejora son limitados (Jagtap et al., 2021).

En contraste, las arquitecturas de 48 V, basadas en Belt Starter Generators (BSG), integran las funciones de alternador y motor de arranque, permitiendo mayores tasas de recuperación energética y una gestión más flexible de la carga eléctrica. Los estudios revisados reportan reducciones de hasta

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

el 15% en consumo de combustible en comparación con vehículos equivalentes equipados con sistemas tradicionales de 12 V (Abidin et al., 2021).

En conjunto, los resultados confirman que la combinación de Start-Stop, gestión inteligente del alternador y arquitecturas eléctricas avanzadas constituye una estrategia efectiva para la reducción de pérdidas energéticas y la mejora de la eficiencia global del vehículo

Síntesis comparativa

Tabla 1. Comparación de resultados de eficiencia y pérdidas energéticas en alternadores

Tecnología	Rango de eficiencia	Beneficios documentados	Fuente
Alternador convencional 12 V	55–60%	Base tecnológica en la mayoría de vehículos	NACFE (s. f.)
Alternador de alta eficiencia 12 V	68–75%	Reducción de pérdidas mecánicas y eléctricas	Jagtap et al. (2021)
Start-Stop	Ahorros 5–26%	Reducción de consumo y emisiones en ciclo urbano	Huff et al. (2023); AAA (2014)
IAC – Intelligent Alternator Control	Mejora 1,7–7%	Optimización de carga en desaceleración	SAE (2018); Athani (2016)
48 V Mild-Hybrid (BSG)	>80%	Reducción de consumo hasta 15%, mayor regeneración	Abidin et al. (2021)

Relevancia académica y formativa

Los resultados obtenidos permiten concluir que la integración de sistemas de gestión inteligente y *Start-Stop* representa un avance fundamental en la transición hacia vehículos más eficientes. Para la carrera de Mecánica Automotriz del ISTLAM, este estado del arte constituye una herramienta de gran valor pedagógico, ya que:

- Proporciona un mapa técnico de pérdidas energéticas, útil para prácticas de diagnóstico y simulación.
- Ofrece referencias actualizadas sobre tecnologías emergentes (12 V vs 48 V) que pueden ser replicadas en proyectos de laboratorio.
- Refuerza la formación de competencias en eficiencia energética y sostenibilidad vehicular, respondiendo a los desafíos actuales de la industria automotriz.

Discusión

Los resultados obtenidos en la revisión muestran que las pérdidas energéticas en los alternadores automotrices constituyen un factor determinante en la eficiencia global de los vehículos con motor de combustión interna. Esta interpretación coincide con lo expuesto por Mahmood et al. (2022), quienes argumentan que la optimización de alternadores no es únicamente un desafío tecnológico, sino también un requisito indispensable para cumplir con las regulaciones ambientales actuales. La eficiencia limitada de los alternadores convencionales, ubicada entre el 55% y el 60% (NACFE, s. f.), evidencia que una parte significativa de la energía mecánica disponible se desperdicia, lo cual repercute en el consumo de combustible y en las emisiones contaminantes.

La literatura revisada también demuestra que los sistemas *Start-Stop* representan una de las estrategias más eficaces para contrarrestar dichas pérdidas en entornos urbanos. Huff et al. (2023) documentan ahorros de hasta 26% en ciclos de conducción como el NYCC, mientras que AAA (2014) reporta beneficios más modestos, cercanos al 5% al evaluar condiciones de manejo real. Esta divergencia se interpreta como el resultado de la variabilidad en los patrones de conducción, la densidad del tráfico y el estado de carga de la batería. En condiciones urbanas con múltiples detenciones, los beneficios del *Start-Stop* son más evidentes, mientras que en recorridos interurbanos los ahorros tienden a ser menores.

La implementación de estrategias de gestión inteligente, como el Intelligent Alternator Control (IAC), aporta mejoras adicionales en la eficiencia energética al desplazar la generación eléctrica hacia fases de desaceleración o frenado (SAE, 2018). Athani (2016) confirma que esta práctica reduce la carga del motor en fases de aceleración, optimizando la distribución energética y evitando pérdidas innecesarias. Al comparar estos hallazgos con los reportados por el Argonne National Laboratory (2015), se observa una coincidencia en que la eficiencia del alternador disminuye significativamente en ralentí, lo que refuerza la pertinencia de trasladar la carga hacia fases más eficientes del ciclo de conducción.

Otro aspecto relevante es la transición de arquitecturas de 12 V a sistemas de 48 V tipo *mild-hybrid*. Abidin et al. (2021) demuestran que los **Belt Starter Generators (BSG)** de 48 V permiten alcanzar reducciones de hasta 15% en consumo de combustible frente a configuraciones tradicionales de 12 V. Estos resultados se contrastan con los de Jagtap et al. (2021), quienes destacan que, si bien las arquitecturas optimizadas de 12 V alcanzan eficiencias de hasta 75%, siguen limitadas en su capacidad de regeneración y en la reducción de pérdidas frente a los sistemas de 48 V. La diferencia

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

principal radica en que los BSG no solo sustituyen al alternador, sino que además integran funciones de motor de arranque y regenerador, ampliando las posibilidades de ahorro energético.

La comparación entre estudios también revela ciertas diferencias metodológicas. Mientras que investigaciones como las de Huff et al. (2023) se basan en pruebas de laboratorio y ciclos estandarizados de conducción, otros como AAA (2014) priorizan la medición en condiciones reales de manejo. Esta diferencia en los enfoques metodológicos explica las variaciones en los porcentajes de ahorro reportados, ya que los resultados en laboratorio tienden a ser más favorables debido al control de las variables externas.

Asimismo, la revisión confirma que los beneficios de estas tecnologías no dependen únicamente de la eficiencia intrínseca del alternador o del *Start-Stop*, sino también de factores externos como la temperatura ambiental, la capacidad de la batería y el estado del sistema de transmisión por correa (FEAD). Investigaciones de Mazda & ATZ (2013) sobre el sistema i-ELOOP destacan que la incorporación de supercondensadores mejora significativamente la capacidad de recuperación energética, algo que no se logra con los alternadores convencionales. Este hallazgo evidencia que la integración de nuevas tecnologías de almacenamiento puede ser clave para reducir aún más las pérdidas energéticas.

Desde una perspectiva académica, los hallazgos obtenidos tienen implicaciones directas en la enseñanza de la Mecánica Automotriz en el ISTLAM. El análisis de las pérdidas energéticas y de las estrategias de mitigación constituye una oportunidad para vincular la teoría con prácticas de diagnóstico y simulación en laboratorio. Tal como señalan Kitchenham (2004) y Snyder (2019), las revisiones sistemáticas no solo permiten consolidar el conocimiento existente, sino también identificar vacíos que pueden transformarse en proyectos de investigación aplicada para los estudiantes.

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

Tabla 2: Síntesis de los principales hallazgos de la discusión

Aspecto analizado	Síntesis del resultado
Alternadores convencionales	Continúan siendo una fuente significativa de pérdidas energéticas, incluso en versiones de alta eficiencia, debido a limitaciones eléctricas, magnéticas y mecánicas inherentes a su diseño.
Sistemas Start-Stop	Presentan beneficios relevantes en la reducción del consumo de combustible y emisiones contaminantes, aunque su efectividad depende del tipo de conducción, especialmente en entornos urbanos con detenciones frecuentes.
Gestión inteligente del alternador	Complementa eficazmente al sistema Start-Stop al redistribuir la generación eléctrica hacia fases más favorables del ciclo de conducción, como la desaceleración, optimizando la eficiencia global del vehículo.
Arquitecturas eléctricas de 48 V	Representan un avance tecnológico con mayor potencial de ahorro energético y reducción de emisiones frente a los sistemas de 12 V, aunque su implementación implica mayores costos y complejidad técnica.
Diferencias metodológicas entre estudios	La variabilidad en los resultados reportados se explica por diferencias en los ciclos de conducción utilizados, condiciones de prueba, metodologías experimentales y enfoques de simulación.

De este modo, la investigación confirma que la optimización de alternadores y la implementación de sistemas de gestión energética son fundamentales en la evolución hacia una movilidad más eficiente y sostenible. Al mismo tiempo, refuerza la necesidad de seguir explorando soluciones híbridas y de almacenamiento avanzado que mitiguen las limitaciones actuales.

Conclusiones

El análisis del estado del arte confirma que los alternadores automotrices constituyen una fuente relevante de pérdidas energéticas, cuya eficiencia promedio se mantiene en niveles relativamente bajos, incluso en versiones optimizadas. Este hallazgo valida la necesidad de investigar y aplicar soluciones tecnológicas orientadas a reducir dichas ineficiencias, dado su impacto directo en el consumo de combustible y en las emisiones contaminantes.

Los sistemas *Start-Stop* se consolidan como una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia en entornos urbanos, aunque sus beneficios son variables en función de las condiciones de conducción

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su
Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

y del estado del sistema eléctrico. La evidencia muestra reducciones de entre 5% y 26% en consumo y emisiones, lo cual responde de manera directa al objetivo de examinar la efectividad de esta tecnología en la optimización energética vehicular.

Las estrategias de gestión inteligente del alternador, particularmente el Intelligent Alternator Control (IAC) y los alternadores de voltaje variable, constituyen un complemento esencial al *Start-Stop*, ya que redistribuyen la carga hacia fases más favorables del ciclo de conducción. Estas soluciones permiten disminuir la carga en aceleración y maximizan la recuperación energética, cumpliendo con el objetivo de identificar mecanismos técnicos que contribuyen a la eficiencia global.

La comparación entre arquitecturas de 12 V y 48 V demuestra que la transición hacia sistemas *mild-hybrid* aporta ventajas significativas en ahorro energético y reducción de emisiones, aunque supone mayores costos y complejidad técnica. Este hallazgo satisface el objetivo de establecer diferencias tecnológicas entre ambas configuraciones y proyecta nuevas oportunidades de formación y experimentación en el ámbito académico.

Para la carrera de Mecánica Automotriz del ISTLAM, los resultados obtenidos proporcionan un marco de referencia actualizado que no solo fortalece la enseñanza en diagnóstico y eficiencia energética, sino que también orienta la formulación de prácticas y proyectos aplicados, en coherencia con las demandas de la industria automotriz contemporánea.

Referencias

- Abidin, S. F. Z., Jamil, M. M. A., & Abdullah, S. (2021). The effect of 48 V mild hybrid technology on fuel consumption of a passenger car by using simulation cycle. *Energy Reports*, 7, 7130–7144. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214157X21006559>
- AAA. (2014, July 24). AAA's tests reveal real-world benefits of automatic stop-start technology. AAA Newsroom. <https://newsroom.aaa.com/2014/07/aaas-tests-reveal-real-world-benefits-automatic-stop-start-technology/>
- Athani, G., & Dongare, K. (2016). A method for estimating the improvement in fuel economy for a vehicle with Intelligent Alternator Control, and application in connected car systems (Paper No. 2016-01-0010). SAE Technical Paper. <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2016-01-0010/>
- Huff, S., Davis, S., & Boundy, R. (2023). Auto stop-start fuel consumption benefits (Paper No. 2023-01-0346). SAE Technical Paper. <https://www.sae.org/papers/auto-stop-start-fuel-consumption-benefits-2023-01-0346> (DOI: 10.4271/2023-01-0346)
- Jagtap, P., & Rathore, K. (2021). Efficient overrunning alternator pulley (OAP) design and development for robust FEAD system—Reduction of fuel consumption and CO₂ for model gasoline engine (Paper No. 2021-26-0069). SAE Technical Paper. <https://saemobilus.sae.org/papers/efficient-overrunning-alternator-pulley-oap-design-development-robust-fead-system-reduction-fuel-consumption-co2-model-gasoline-engine-2021-26-0069> (DOI: 10.4271/2021-26-0069)
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews (TR/SE-0401). Keele University. <https://www.inf.ufsc.br/~aldo.vw/kitchenham.pdf>
- Mazda Motor Corporation. (2011, Nov. 25). Mazda 'i-ELOOP' capacitor-based brake energy regeneration system. Mazda Newsroom. <https://newsroom.mazda.com/en/publicity/release/2011/201111/111125a.html>
- Mazda's i-ELOOP: Saves engine power, boosts fuel efficiency. (2013). *Auto Tech Review*, 2, 64. <https://doi.org/10.1365/s40112-013-0236-8>
- Mahmood, O. T., Wan Hasan, W. Z., Ismail, L. I., Shafie, S., Azis, N., & Norsahperi, N. M. H. (2022). Optimization approaches and techniques for automotive alternators: Review study. *Machines*, 10(6), 478. <https://doi.org/10.3390/machines10060478> NACFE (North American Council for

Estado Del Arte Sobre Pérdidas Energéticas En Motor Generador De Arranque Con Sistemas Start-Stop Y Su Impacto En La Eficiencia Motor Del Vehículo

Freight Efficiency). (s. f.). High-Efficiency Alternators.
<https://nacfe.org/research/technology/powertrain/high-efficiency-alternators>

SAE International. (2018). Reduction of parasitic losses in front-end accessory drive (FEAD) systems—Part 2 (Paper No. 2018-01-0326). SAE Technical Paper.
<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2018-01-0326/>

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>

Windover, P. R., et al. (2015). Stop and restart effects on modern vehicle starting system components—Longevity and economic factors (ANL/ESD-15/16). Argonne National Laboratory / U.S. DOE. <https://publications.anl.gov/anlpubs/2015/05/115925.pdf> (ficha en OSTI: <https://www.osti.gov/biblio/1184379>)

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education. (Ficha/Reseña UNAM) <https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612> (ISBN 978-1-4562-6096-5).