

Influencia del desgaste del sistema de inyección en el consumo específico de combustible en motores Diésel automotrices**Influence of Injection System Wear on Specific Fuel Consumption in Automotive Diesel Engines***Eddy Xavier Santín Torres & Miguel Ángel Minga González***DIMENSIÓN CIENTÍFICA****Enero - junio, V°7 - N°1; 2026****Recibido:** 20-02-2026**Aceptado:** 23-02-2026**Publicado:** 26-02-2026**PAIS**

- Ecuador, Loja
- Ecuador, Loja

INSTITUCION

- Instituto Superior Tecnológico Sudamericano Loja
- Instituto Superior Tecnológico Sudamericano Loja

CORREO:

- ✉ exsantin@ists.edu.ec
- ✉ maminga@ists.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0005-9370-3104>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0001-4271-2685>

FORMATO DE CITA APA.

Santín, E. & Minga, M. (2026). Influencia del desgaste del sistema de inyección en el consumo específico de combustible en motores Diésel automotrices. *Revista G-ner@ndo*, V°7 (N°1). Pág. 2145 – 2161.

Resumen

Este estudio investiga la relación entre el desgaste mecánico y funcional de los sistemas de inyección y el Consumo Específico de Combustible al Freno (BSFC) en motores Diésel del sector automotriz. Con base en una revisión sistemática bajo la declaración PRISMA, se evaluaron 11 artículos publicados entre 2020 y 2025 que incluyen ensayos experimentales, simulaciones por Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) y ensayos de bancos de pruebas. Los resultados obtenidos muestran que fenómenos como la erosión producida por cavitación en el asiento de la aguja, el desgaste de pares de precisión, así como la acumulación de obturaciones internas, pueden aumentar el BSFC. Se concluye que el desgaste afecta notablemente la precisión de la dosificación y la calidad de la atomización, y que la eficiencia térmica disminuye y la huella de carbono aumentando, de ahí que el mantenimiento predictivo sea una estrategia ineludible para la sostenibilidad productiva de los motores.

Palabras clave: Motores Diésel, Sistema de inyección, Consumo específico de combustible, Desgaste mecánico.

Abstract

This study investigates the relationship between mechanical and functional wear of injection systems and Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) in automotive diesel engines. Based on a systematic review under the PRISMA declaration, 11 articles published between 2020 and 2025 were evaluated, including experimental tests, Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations, and test bench trials. The results show that phenomena such as erosion caused by cavitation at the needle seat, wear of precision torques, and the accumulation of internal blockages can increase BSFC. It is concluded that wear significantly affects metering accuracy and atomization quality, and that thermal efficiency decreases while the carbon footprint increases. Therefore, predictive maintenance is an essential strategy for the productive sustainability of these engines.

Keywords: Diesel engines, Injection system, Specific fuel consumption, Mechanical wear.

Introducción

El motor diésel es un motor térmico de combustión interna que enciende gracias a la alta temperatura generada por la compresión del aire dentro del cilindro. Opera por medio de la ignición de la combinación del aire y el gas sin chispa. Como los motores diésel funcionan con un exceso de aire, estos suelen tener niveles de emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) más elevados que los motores a gasolina. El aire en exceso brinda suficiente oxígeno para una combustión más completa. Esta operación eficaz disminuye las emisiones globales de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC), si se compara con un motor a gasolina. No obstante, como consecuencia de las temperaturas elevadas en la cámara de combustión, los óxidos de nitrógeno (NOx) aumentan el peligro de que se emitan gases contaminantes (Portocarrero-Rivas et al., 2023).

La situación actual de transición energética y normativas ambientales restrictivas (Euro VI y EPA 10), se considera que la optimización de los motores de combustión interna es uno de los espacios técnicos de máxima relevancia. El sistema de inyección, más concretamente en sus configuraciones de tipo Common Rail de alta presión (HPCR), es el determinante crítico de la eficiencia térmica y de generación de contaminantes. Sin embargo, la operatividad de este sistema queda caracterizada por condiciones extremas de presión y temperatura, lo que, a su vez, da lugar a un desgaste inevitable de sus componentes (Yacelga et al., 2022).

El problema fundamental es que el desgaste no afecta a la integridad mecánica, sino que condiciona la precisión de la dosificación y de la calidad de la atomización. El Consumo Específico de Combustible al Freno (CECF) es el indicador paramétrico que mejor ilustra esta degradación. Un incremento del CECF significa que el motor requiere más

masa de combustible para generar la misma unidad de potencia, lo que se traduce en un incremento de la huella de carbono y de los costes de operación.

El presente artículo se desarrolla bajo el uso del método PRISMA para llevar a cabo una síntesis cualitativa de la evidencia cuantitativa que se encontrará en la literatura científica de la que se dispone en los últimos cinco años. El objetivo de este estudio es encontrar las correlaciones numéricas entre los diferentes tipos de desgaste (erosión, cavitación, depósitos); como una forma de crear una base fiable para establecer estrategias eficaces de mantenimiento predictivo.

Consumo Específico de Combustible en Motores Diésel Automotrices

El consumo específico es el volumen de combustible que consume un motor dividido entre la potencia que proporciona. El caudal se calcula normalmente en gramos por hora (g/h). Indica cuán eficiente es un motor a la hora de convertir el combustible en energía mecánica, y se expresa como la cantidad de carburante que se necesita consumir para conseguir una potencia específica en kilovatios durante una hora. El consumo específico de combustible muestra cómo varía el consumo en relación con el régimen de giro del cigüeñal. Sirve para comparar la eficiencia entre diferentes motores e identificar el volumen óptimo de combustible que un motor de tamaño variado necesita para funcionar, es decir, determinar qué tipo de combustible produce una mayor potencia y un menor consumo en un motor específico (Vargas y Pozo, 2021).

El consumo específico es una característica del motor, no del vehículo, y muestra la cantidad de gramos de combustible que se necesita utilizar cada hora por caballo de potencia generado. Se mide en un banco de pruebas, por ejemplo el dinamómetro del motor, que permite calcular la eficiencia termodinámica del motor bajo diferentes regímenes. También se podría afirmar que el consumo específico de combustible define

cuántos litros de combustible se consumen en comparación con cuánta potencia se recibe (Cusanguá y Asqui, 2021).

La fórmula utilizada para el consumo específico de combustible es la siguiente:

$$gef = \frac{3600 * Vc * pc}{t * N}$$

Donde:

gef: Consumo específico de combustible

Vc: Volumen de combustible consumidos (cm³)

pc: Densidad del combustible (gasolina)

t: tiempo que ha transcurrido (segundos)

N: Potencia efectiva (caballos vapor)

Desgaste del Sistema de Inyección

El sistema de inyección es el corazón del motor diésel. Se ocupa de la dosificación de combustible para inyectar en la cámara de combustión y proveer presión al combustible para que se pulverice en finas gotas cuando sale a través de las aberturas de las boquillas del inyector. Los componentes fundamentales de un sistema de inyección "common rail" son: los inyectores, la bomba (que produce la presión en el riel común) y la unidad de control electrónica (Soca, 2021). Los sistemas de inyección son ahorrativos en términos de combustible, dado que únicamente inyectan lo que es estrictamente necesario para el adecuado funcionamiento del motor en todos los regímenes de giro. Asimismo, facilitan el diseño adecuado de los conductos bien misión, lo cual permite incrementar su rendimiento volumétrico, su potencia y su rendimiento indicado (Cusanguá y Asqui, 2021).

De esta manera, el caudal del aire aspirado no está sujeto al diámetro del difusor y no es preciso calentar el colector para impedir la condensación o promover que la mezcla sea homogénea, a diferencia de lo que sucede en los motores con carburador. Con los sistemas de inyección, debido a que los conductos de admisión están más fríos, se absorbe un caudal de aire más elevado. Como contrapartida a las ventajas ya expuestas, los sistemas de inyección tienen como inconveniente que son más costosos debido al empleo de elementos mecánicos y electrónicos de precisión en su fabricación (Cusangá y Asqui, 2021).

En estos sistemas, los inyectores son gestionados por la unidad de control y tienen la capacidad de producir distintos pulsos de inyección, tales como la pre-inyección o inyección piloto (que disminuye el ruido durante la combustión), la inyección principal (que aporta potencia) y la post-inyección (que colabora con una reducción en el nivel de contaminación) (Suárez, 2023). Existen dos tipos de sistemas de inyección:

El sistema de inyección de bomba en línea genera presiones de inyección de combustible diésel que dependen del tipo de vehículo. Por lo tanto, para automóviles ligeros, como sedanes o camionetas pequeñas, la presión es de 550 bar. Para vehículos medianos o minitractores, por ejemplo, la presión oscila entre 750 y 950 bar. En vehículos pesados con un sistema de tracción a tres ejes, la presión es de entre 1200 y 1300 bares. Las bombas de inyección rotativa, también conocidas como las distribuidoras son más compactas que las lineales, más ligeras y pueden operar en cualquier posición y funcionan a altas revoluciones. Por lo tanto, son más adecuadas para los automóviles ligeros (Zambrano, 2021).

Investigaciones realizadas con enfoque cuantitativo plasman algunos de los siguientes resultados:

Los rasgos adquiridos son ajustados con un polinomio cuadrático, logrando índices de calidad elevada. En el conjunto de tres inyectores ensayados, los valores promedios del caudal volumétrico disminuyen en un 19,6 % y un 35,8 % con respecto al máximo. Una de las razones fundamentales para esto es la discrepancia en los tiempos de apertura, siendo del 29,3 y el 36,6 %, respectivamente. Los tiempos de cierre son parecidos. Asimismo, el inyector con el caudal volumétrico más alto y el tiempo de apertura más corto presenta presiones cíclicas promedio que son un 1,8% y un 9,94% inferiores a las que se registran en la salida de la boquilla del inyector. Se toman en cuenta las discrepancias en los tiempos de apertura y las presiones del ciclo promedio como posibles explicaciones para las variaciones en las propiedades del flujo. Las características obtenidas son aplicables a las conversiones y cálculos de motores (Szpica et al., 2023).

Se han puesto en práctica una diversidad de métodos para disminuir las emisiones de contaminantes particulares sin que ello afecte la eficacia del motor. Se analizaron tres tipos de combustible: el primero era 99% diésel y 1% de mezcla (aceite de semilla de ricino + aceite de semilla de algodón); el segundo tenía una composición del 99,50 % diésel y del 0,50 % de mezcla (aceite de semilla de ricino + aceite de semilla de algodón); y el tercero era totalmente diésel. La eficiencia térmica del freno (BTE), el par motor, la composición de las emisiones del diésel con aditivos y el consumo de combustible específico del freno (BSFC) se valoran al modificar una carga del motor en 0 %, 20 %, 40 %, 60 % y 80 %. Para D99 (aceite de semilla de algodón + aceite de semilla de ricino) 1, los parámetros BSFC y BTE y el par motor al 20 % de carga son de 0,757 kg/kWh, 32,98 %, y aumentaron un 1,1 %, respectivamente (Zewdie et al., 2025).

Endara y Cruz (2025) realizaron comparaciones con los tres bancos de inyección, obteniendo resultados sobresalientes en el banco CR1014, que es el más completo a la hora de llevar a cabo las diferentes pruebas, dado que permite la evaluación de inyectores

y bombas. Contrariamente a los bancos EPS208S y CRS300S, que son de forma individual. Al mostrar los valores de la comparación, se logra un caudal de 4.16 L/min y 0.4 ml por ciclo, así como un tiempo de inyección de 2.5 milisegundos.

Métodos y Materiales

A fin de garantizar la reproducibilidad y la validez de los resultados obtenidos, esta investigación sigue lo indicado por la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Si bien la síntesis de los conceptos a tratar será cualitativa, está estrictamente basada en evidencia cuantitativa. Se consultarán las bases de datos ScienceDirect, Scopus, IEEE Xplore y SpringerLink. Los términos incluidos en la búsqueda (en inglés y en español) serán "Diesel injector wear", "Nozzle erosion", "Specific Fuel Consumption (BSFC)", "Fuel injection system durability", "desgaste de sistemas de inyección", "consumo específico de combustible"

Criterios de inclusión

- Estudios experimentales o de simulación de alta fidelidad
- Publicados en un rango de fechas entre 2020 y 2025,
- Publicaciones que correlacionen el desgaste físico con el consumo específico de combustible

Criterios de exclusión

- Artículos de opinión
 - Estudios que no analicen el desgaste del sistema de inyección en el consumo específico de combustible en motores Diésel
-

- Literatura gris sin sustento
- Estudios sin datos cuantitativos
- Documentos publicados antes de 2020

Se utilizará el marco PICO_S (Población, Fenómeno de Interés, Contexto, Tipo de estudio) para acotar la búsqueda de la siguiente forma:

- Población (P): Motores de combustión interna en funcionamiento mediante principios de encendido por compresión (Diésel), sistemas Common Rail y sistemas de inyección convencional.
- Fenómeno de Interés (FI): Desgaste físico (erosión, cavitación y corrosión) y funcional (depósitos) de inyectores y bombas.
- Contexto (C): Eficiencia energética medida en términos de Consumo Específico de Combustible al Freno (siglas en inglés BSFC).
- Tipo de estudio (TE): Estudios experimentales desarrollados en bancos de pruebas de motores, simulaciones validadas utilizando CFD y reportes técnicos industriales generados solo en los últimos 5 años (2020-2025).

El proceso se dividirá en cuatro fases clave:

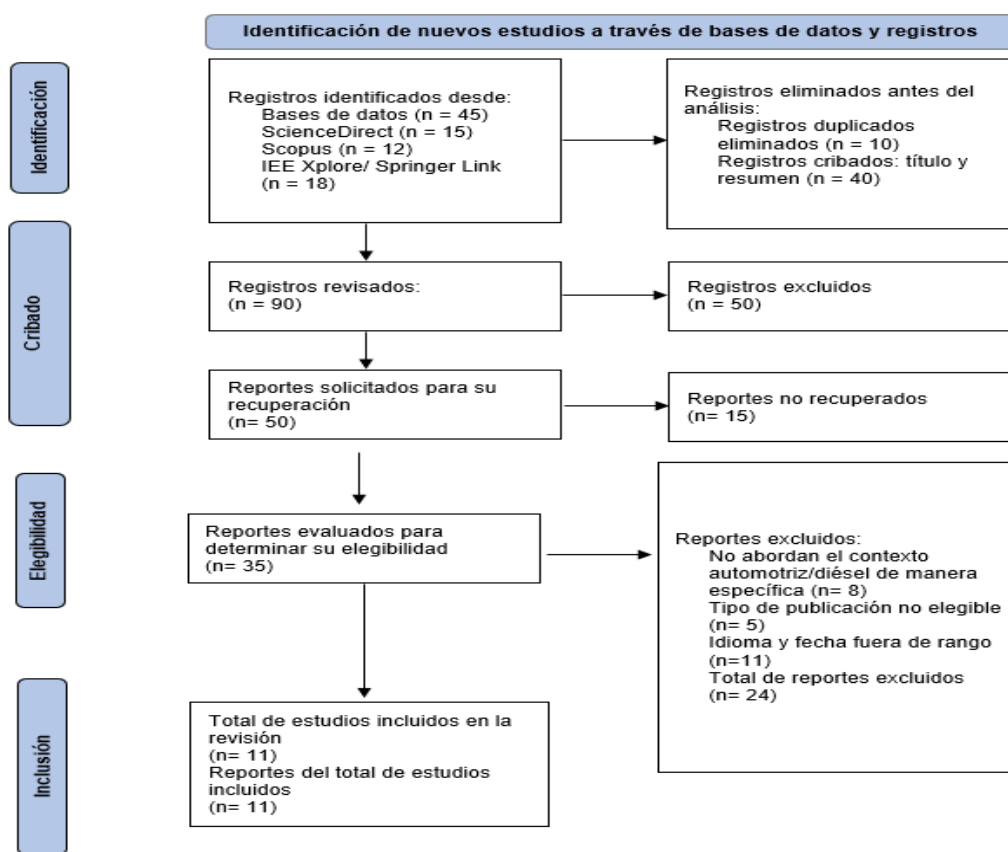
Identificación: Búsqueda de registros a través de bases de datos y búsqueda manual en las referencias de artículos clave.

Cribado (Screening): Evaluación de títulos y resúmenes para abrir el paso a estudios que se concentren solamente en emisiones contaminantes sin datos de consumo o estudios exhaustivos que traten sobre biocombustibles, pero no evaluando el desgaste.

Elegibilidad: Lectura a texto completo de los documentos cribados. Se descartaron aquellos que no incluían métricas de BSFC en unidades normalizadas (g/kWh) o se explicaba el porcentaje de incremento.

Inclusión: Se llegó a 11 artículos finales que aportan la base de datos cuantitativa para realizar el análisis cualitativo.

Figura 1. Declaración PRISMA



Análisis de resultados

El análisis de la literatura científica, realizado de acuerdo con la declaración PRISMA, permitió la extracción de 11 estudios desarrollados entre el año 2020 y 2025, que estudian la relación existente entre el desgaste del sistema de inyección de combustible y el consumo específico de combustible (BSFC) en motores diésel. Los estudios analizados presentan ensayos en banco motor, pruebas de inyectores, análisis microscópicos y simulaciones CFD de alta fidelidad, lo que permite contar con una base de estudios sólida y heterogénea.

Los resultados analizados ponen de manifiesto una tendencia generalizada dada por el desgaste físico y funcional del sistema de inyección de combustible, lo que hace que exista un aumento de BSFC, disminución de la eficiencia térmica y deterioro del rendimiento del motor, independientemente del tipo de motor o de inyección empleada.

Tabla 1. *Relación entre tipo de desgaste y efecto sobre el BSFC*

Tipo de desgaste y efectos observados	Componente dañado	Efecto	Incremento reportado en BSFC
Erosión por cavitación	Asiento de aguja y boquilla	Pérdida de estanqueidad, aumento de caudal no controlado	5% - 9%
Depósitos internos	Inyectores y bomba HP	Retardo en apertura, mala atomización	3% - 7%
Desgaste de pares de presión	Inyectores	Desbalance en campos de inyección	> 9 %
Pérdida de presión efectiva	Common Rail Sistema Common Rail	Combustión incompleta	1% - 6%

Resultados experimentales y de simulación

Las investigaciones experimentales han puesto de manifiesto que pequeñas variaciones geométricas en la boquilla del inyector provocan variaciones significativas del

caudal y de los tiempos de apertura, en este sentido, Szpica et al. (2023), reportan que el caudal volumétrico se puede reducir en hasta un 35,8% siendo las discrepancias temporales superiores al 36 %, como consecuencia de lo anterior, la combustión se ve afectada.

Por otra parte, Osipowicz y Grzejda (2025) concluyen que los inyectores que han sufrido desgaste incrementan el BSFC en una magnitud superior al 9% con pérdidas de potencia de hasta un 9%, lo cual valida la relación directa entre el desgaste y el consumo energético. Por lo tanto, el desgaste es una causa directa del incremento del BSFC.

Los estudios CFD ponen de manifiesto que el incremento de la presión de inyección mejora la eficiencia energética solo cuando el sistema está en condiciones óptimas. En esta línea, Nguyen y Trang (2025) confirman que la presión de inyección elevada presenta un BSFC de hasta el 17,6% del BSFC, de manera que, el desgaste del inyector impide que se alcancen estos beneficios.

Tabla 2. Hallazgos cuantitativos de alto impacto.

Autor (año)	Hallazgo cuantitativo	Variable principal analizada	Resultado de impacto a la variable
(Nguyen y Trang, 2025)	Aumento de presión de inyección de combustible (500 - 3000 bar) Aumenta la potencia (19,7%) Reduce el consumo útil de combustible (17,6%) Disminuye la emisión de hollín (44%), Disminución más significativa en presiones de inyección (1500 - 3000 bar). Aumentan lentamente las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) a presiones de inyección (1000 - 1500 bar).	Presión de inyección	Disminuye BSFC hasta un 17,6%

Autor (año)	Hallazgo cuantitativo	Variable principal analizada	Resultado de impacto a la variable
(Osipowicz y Grzejda, 2025)	Aumentan rápidamente a presiones superiores a 1500 bar. Las emisiones de hidrocarburos (HC) y monóxido de carbono (CO) disminuyen con mayor intensidad a presiones de inyección (1000 - 2000 bar). El desgaste de los inyectores disminuye la potencia del motor (9%) y una disminución del par motor de hasta un 2%. Por el contrario, el CCE aumentó en más del 9%. Los exámenes mostraron contaminación en el interior de los inyectores de combustible analizados, tanto externa como generada por la bomba de alta presión.	BSFC	Aumenta en 9%
(Rasika, 2025)	Realizaron experimentos para determinar el caudal másico de cuatro boquillas de inyector que recorrieron 40000 km, 81000 km y 120000 km con una nueva.	Erosión cavitación	por Daño severo (aumento de 80000km)
(Szpica et al., 2023)	Presiones medias de ciclo (1,8% y 9,94%) inferiores cuando se miden a la salida del tubo. En el grupo de los tres inyectores probados, los valores promedio del caudal volumétrico disminuyen con respecto al máximo en un 19,6% y 35,8%. Las diferencias en los tiempos de apertura (29,3% y 36,6%), respectivamente, se citan como una de las principales razones. Los tiempos de cierre son similares.	Caudal volumétrico	Disminuye hasta 35,8%

Los resultados obtenidos evidencian que el desgaste del sistema de inyección es un factor clave, aunque aún no muy habitual. Dentro de la explicación del incremento del consumo específico de combustible en motores diésel contemporáneos. A diferencia de lo que se ha hecho en estudios que se limitan a investigar combustibles alternativos, o paramétricamente algunos parámetros operativos. Esta revisión pone de manifiesto que la condición mecánica del sistema de inyección es una variable necesaria y suficiente para que se produzca el descenso de la eficiencia energética, la cual ha sido medida.

La evidencia experimental muestra que el incremento del BSFC no es brusco, sino progresivo, principalmente asociado a la erosión por cavitación, y a la acumulación de depósitos en el interior. Esta afirmación concuerda con la opinión de Rasika (2025) quien establece que la cavitación es el principal mecanismo de fallo prematuro en inyectores de alta presión.

De este modo, el CFD permite confirmar que el aumento de la presión de inyección únicamente es beneficioso cuando el propio sistema se encuentra en buen estado geométrico. Frente al desgaste, un aumento de presión no solamente deja de ser efectivo, sino que aumenta la probabilidad de generar más daños en el interior del sistema, encareciendo el coste y aumentando las emisiones.

Desde un punto de vista aplicado, los estudios abordados evidencian la importancia de bancos de pruebas y del diagnóstico predictivo, pues permiten detectar desviaciones funcionales, antes de que un aumento del BSFC afecte o influya significativamente en los costes.

Conclusiones

El análisis de la literatura evidencia efectos directos en la eficiencia, con una relación directa y proporcional que se establece en la medida que existe una mayor degradación del sistema de inyección y un mayor BSFC. Se han registrado aumentos superiores al 9% del BSFC en sistemas con un importante nivel de desgaste, lo cual pone en riesgo cualquier oportunidad de mejora que se intente realizar mediante la incorporación de combustibles facilitados, si el estado mecánico del inyector está alterado.

Otro factor de relevancia es la detección de mecanismos de degradación más críticos, donde se establece la erosión por cavitación en el área del asiento de la aguja y en la boquilla, que es la principal causa de fallo que puede conducir a pérdidas de estanqueidad y a un caudal de salida no controlado. Este fenómeno, sumado a la acumulación de depósitos en el interior del componente, corresponde no solo a un aumento de la cantidad del combustible, sino también a una alteración de la calidad de atomización de este, traduciéndose en una mezcla heterogénea que provoca dificultades en la combustión.

Por otra parte, también se evidencian limitaciones en las mejoras operativas, de manera que, los resultados de las simulaciones CFD muestran que el aumento de la presión de inyección (de hasta 3000 bar) reduce el consumo, pero solo en situaciones de diseño de óptima especificación. Con el desgaste, el intentar aumentar la presión de inyección puede llegar a ser contraproducente, debido a que esto conllevará el deterioro estructural de los componentes, encareciendo los costos de reparación sin haber incrementado la eficiencia térmica.

Finalmente se determinó la importancia del diagnóstico predictivo en el sentido de que se establece que el control a través de bancos de prueba (el CR1014) y productos de

adquisición de datos es clave para la detección de variaciones de los tiempos de apertura y de cierre, antes de que el daño sea irreparable. El mantenimiento predictivo aparece no únicamente como una acción destinada a ahorrar costes, sino, además, como una necesidad técnica para cumplir las normas ambientales actuales (Euro VI y EPA 1).

Referencias bibliográficas

- Amiruddin, M., & Nasrullah, H. (2025). The Effect of Injector Nozzle Opening Pressure and Cetane Number on Fuel Consumption in Single-Cylinder Diesel Engines at Various Engine Speeds. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 9(1), 286-301. <https://doi.org/10.37339/e-komtek.v9i1.2500>
- Andara, E., & Cruz, M. (2025). Desarrollo e implementación de manuales de usuario y guías de práctica para bancos de comprobación de bombas de inyección e inyectores electrónicos en la carrera de ingeniería automotriz. Sede Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29676/1/TTS2142.pdf>
- Cusanguá, I., & Asqui, C. (2021). Reacondicionamiento del dinamómetro Borghi&Saveri FA200 instalado en el taller de ingeniería automotriz de la Epoch para la obtención de curvas de torque, potencia y consumo de combustible de manera digital. <https://dspace.epoch.edu.ec/items/5a892375-9a72-45de-ba5d-dea16e16d713>
- Nguyen, Q., & Trang, T. (2025). The Influence of Fuel Injection Pressure on Economic Efficiency, Technical Parameters, and Emissions of 490QZL Diesel Engine. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 15(6), 29457-29463. <https://doi.org/10.48084/etasr.13610>
- Osipowicz, T., & Grzejda, R. (2025). Influence of Wear on Precision Pair Components in Modern Fuel Injectors on the Operating and Environmental Performance of a Compression-Ignition Engine. *INTERNATIONAL JOURNAL OF AUTOMOTIVE AND MECHANICAL ENGINEERING*, 22(3), 12614 - 12626. <https://doi.org/https://doi.org/10.15282/ijame.22.3.2025.6.0963>
- Portocarrero-Rivas, F., Sosa-Rodríguez, R., & Chere-Quiñónez, B. (2023). Modelos de motores a diésel: un breve análisis comparativo. *Cadernos Latino-Americanos de Engenharia, Tecnologia e Ciências Aplicadas*, 2(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.56183/cladetec.v2i1.631>
- Rasika, S. (2025). Direct Visualization of Cavitation Erosion Near the Needle Seat Area on Real-Size Diesel Fuel Injectors. *Journal of Mineral and Material Science (JMMS)*, 6(3). <https://doi.org/10.54026/JMMS/1117>
- Soca, J. (2021). Emisiones contaminantes de los motores de combustión interna. https://www.researchgate.net/profile/Jose-Soca-Cabrera/publication/357753927_EMISIONES_CONTAMINANTES_DE_LOS_MOTORES_DE_COMBUSTION_INTERNA/links/61de1c03034dda1b9eef1638/EMISIONES-CONTAMINANTES-DE-LOS-MOTORES-DE-COMBUSTION-INTERNA.pdf
- Suárez, F. (2023). Diagnóstico del funcionamiento de un motor diésel en el sistema de inyección directa de riel común. <https://repositorio.utc.edu.ec/items/ccdedc15-b5b1-47ac-a7f4-401cc86002a7>
- Szpica, D., Toczko, B., Borawski, A., & Mieczkowski. (2023). Experimental Evaluation of the Influence of the Diameter of the Outlet Nozzle Bore of a Gas Injector on Its
-

Flow Characteristic. Applied Sciences, 13(2).
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app13031700>

Vargas, A., & Pozo, J. (2021). Análisis comparativo entre las curvas de torque, potencia y consumo específico de un motor Chevrolet Aveo 1.6L al realizarle una modificación de cilindrada.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16028/1/65T00413.pdf>

Yacelga, C., Pinto, S., & Caiza, L. (2022). Características y factibilidad del sistema de inyección a Diesel. Una revisión. Polo del Conocimiento, 7(9), 1626-1641.
<https://doi.org/10.23857/pc.v7i9>

Zambrano, C. (2021). Diagnóstico y mantenimiento de inyección electrónica diésel Common Rail. <https://repositorio.une.edu.pe/bitstreams/4e420916-e19c-4ee6-af83-840461363595/download>

Zewdie, H., Seyoum, D., & Shunki, G. (2025). Study of the impact on emissions and engine performance of diesel fuel additives made from cotton and castor blended seed oils. Heliyon, 11(1).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e41659>
