



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Evaluación Experimental de un Aditivo Limpiador de
Catalizador en Vehículos Diésel y su Influencia en las
Emisiones Contaminantes**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Abad Toro, Jostin Rodrigo

Tutor: Gómez-Berrezueta, Manuel Fernando

GUAYAQUIL
2026

Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Yo Manuel Fernando Gómez Berrezueta, en calidad de tutor del Trabajo de Integración Curricular denominado: Evaluación Experimental de un Aditivo Limpiador de Catalizador en Vehículos Diésel y su Influencia en las Emisiones Contaminantes, realizado por Jostin Rodrigo Abad Toro ha sido orientado y revisado en todas sus partes y considero que cumple los requisitos establecidos por la institución. En virtud de ello doy mi aprobación a fin de continuar con el proceso académico correspondiente.

Manuel Fernando Gómez Berrezueta

Tutor del Trabajo de Integración Curricular

Declaración de autoría y cesión de derechos

Yo, Jostin Rodrigo Abad Toro declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, Reglamento y Leyes.

Autor: Jostin Rodrigo Abad Toro

C.I.: 0707048369

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por su apoyo incondicional, confianza y motivación constante durante cada etapa de mi formación académica. Su esfuerzo y ejemplo han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Asimismo, dedico este proyecto a mis docentes y compañeros, quienes contribuyeron con sus conocimientos y experiencias al desarrollo de esta investigación.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, a mi familia y a todas las personas que brindaron su apoyo durante el desarrollo de esta investigación. De manera especial, agradezco a mis docentes y a la institución por los conocimientos, orientación y recursos proporcionados, que hicieron posible la culminación exitosa de este trabajo.

Índice de contenido

Carátula	I
Aprobación del Tutor del Trabajo de Integración Curricular	ii
Declaración de autoría y cesión de derechos	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Índice de contenido	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Resumen.....	1
Abstract	2
Introducción	3
Capítulo I	4
Antecedentes	4
1.1 Tema	4
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema	4
1.2.1 <i>Planteamiento del problema</i>	4
1.2.2 <i>Formulación del problema</i>	5
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	5
1.3 Objetivos de la investigación	6
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	6
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	6
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	6
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	6
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	7
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	7
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	7
1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i>	8

1.4.6	<i>Delimitación del contenido</i>	8
Capítulo II		9
Marco referencial		9
2.1	Marco teórico	9
2.1.1	<i>Conceptos preliminares</i>	9
2.1.2	<i>Emisiones contaminantes en motores diésel y su diagnóstico</i>	10
2.1.3	<i>Sistemas de postratamiento y aditivos limpiadores de catalizador</i>	11
2.1.4	<i>Evaluación comparativa de emisiones antes y después de la aplicación de aditivos</i>	12
2.1.5	<i>Limpieza de catalizadores en motores diésel</i>	13
2.2	Marco conceptual	14
Capítulo III		20
Metodología		20
3.1	Métodos	20
3.3	Variables de estudio	21
3.4	Equipo y materiales	23
3.4.1	<i>Vehículo de prueba</i>	26
3.5	Procedimiento experimental	26
3.5.1	<i>Etapa 1: Inspección y preparación del vehículo</i>	26
3.5.2	<i>Etapa 2: Preparación del opacímetro</i>	26
3.5.3	<i>Etapa 3: Estabilización térmica</i>	28
3.5.4	<i>Etapa 4: Medición de opacidad con opacímetro MAHA MET 6</i>	29
3.5.5	<i>Etapa 5: Post-prueba</i>	31
3.5.6	<i>Etapa 7: Análisis de datos</i>	31
3.5.7	<i>Etapa 8: Consideraciones de seguridad</i>	32
Capítulo IV		33
Análisis e interpretación de resultados		33
4.1	Condiciones de las pruebas experimentales	33

4.2	Resultados iniciales (Antes del aditivo)	34
4.3	Aplicación del aditivo	34
4.4	Resultados posteriores al tratamiento	35
4.5	Comparación antes y después.....	36
	Conclusiones	38
	Recomendaciones	39
	Referencias	40

Índice de tablas

Tabla 1 Variables de estudio independientes	22
Tabla 2 Variables de estudio dependientes	22
Tabla 3 Variables de estudio de control	23
Tabla 2 Condiciones de las pruebas experimentales	33
Tabla 3 Opacidad obtenida	34
Tabla 4 Resultados de la opacidad	36
Tabla 7 Comparación de datos obtenidos.....	36
Tabla 8 Cumplimiento de los objetivos	37

Índice de figuras

Figura 1 Emisiones de los motores diésel	5
Figura 2 Control de emisiones en motores diésel.....	10
Figura 3 Catalizador para motor diésel.....	11
Figura 4 Limpiador de catalizador.....	13
Figura 5 Emisiones diésel	15
Figura 6 Catalizador motores diésel	17
Figura 7 Aditivos para Combustible Stanadyne	18
Figura 8 Opacímetro automotriz MET 6.2	24
Figura 9 Estándares SAE	24
Figura 10 Verificación mecánica	25
Figura 11 Vehículo Mitsubishi L200	26
Figura 12 Inspección y preparación del vehículo.....	27
Figura 13 Preparación del opacímetro MAHA antes de la medición de opacidad	28
Figura 14 Estabilización del opacímetro	28
Figura 15 Pruebas con el opacímetro – vehículo Mitsubishi	29
Figura 16 Pruebas en ralentí.....	29
Figura 17 Medición de aceleración – vehículo Mitsubishi.....	30
Figura 18 Resultados – vehículo Mitsubishi	30
Figura 19 Verificación de valores finales de opacidad	31
Figura 20 Limpiador de catalizador.....	35

Resumen

La reducción de emisiones contaminantes en vehículos diésel constituye un desafío importante para el cumplimiento de las normativas ambientales y la mejora de la calidad del aire. En este contexto, la presente investigación evalúa experimentalmente el efecto de un aditivo limpiador de catalizador en un vehículo liviano diésel de 2.4 L, mediante un análisis comparativo de las emisiones antes y después de su aplicación. Inicialmente, se diagnosticaron los niveles de emisiones contaminantes utilizando un analizador de gases en condiciones de operación controladas, estableciendo una línea base de funcionamiento del sistema de postratamiento. Posteriormente, se aplicó el aditivo en el sistema de combustible siguiendo las especificaciones del fabricante, permitiendo la limpieza del catalizador y de los componentes asociados al proceso de combustión. Finalmente, se realizaron nuevas mediciones bajo las mismas condiciones experimentales para determinar las variaciones en los niveles de emisiones y evaluar la eficacia del tratamiento. Los resultados permitirán establecer si el uso del aditivo contribuye a disminuir las emisiones contaminantes y mejorar el desempeño del sistema de postratamiento, proporcionando evidencia técnica para su aplicación como estrategia de mantenimiento preventivo en vehículos diésel.

Palabras clave: Motor diésel; aditivo limpiador de catalizador; emisiones contaminantes.

Abstract

Air pollutant emissions from diesel vehicles remain a significant environmental concern, making effective maintenance strategies for exhaust after-treatment systems increasingly important. This study experimentally evaluates the effect of a catalytic converter cleaning additive on a 2.4 L light-duty diesel vehicle through a comparative analysis of pollutant emissions before and after its application. Initially, baseline emission levels were determined using an exhaust gas analyzer under controlled operating conditions, providing a reference for the performance of the after-treatment system. Subsequently, the catalyst cleaning additive was introduced into the vehicle's fuel system according to the manufacturer's recommendations to promote the removal of deposits affecting combustion and catalytic efficiency. After the treatment, emission measurements were repeated under the same experimental conditions to identify changes in pollutant concentrations and assess the effectiveness of the additive. The results are expected to determine whether the cleaning additive contributes to reducing harmful emissions and improving the performance of the catalytic after-treatment system. This research provides technical evidence regarding the feasibility of using catalyst cleaning additives as a preventive maintenance strategy to enhance environmental performance and support compliance with vehicle emission standards.

Keywords: Diesel engine, catalytic converter cleaning additive, pollutant emissions.

Introducción

La evaluación experimental de aditivos limpiadores de catalizador representa una herramienta importante para determinar su influencia sobre los principales contaminantes emitidos por motores diésel. Mediante la comparación de las emisiones antes y después de la aplicación del tratamiento es posible cuantificar las variaciones en las concentraciones de gases contaminantes y analizar si las diferencias observadas poseen relevancia técnica. Asimismo, este tipo de investigaciones contribuye a fortalecer las estrategias de mantenimiento preventivo orientadas a conservar la eficiencia del sistema de postratamiento sin recurrir inmediatamente al reemplazo de componentes de alto costo.

La presente investigación se desarrolla utilizando un vehículo liviano diésel de 2.4 L, sobre el cual se realizan pruebas experimentales de emisiones mediante un analizador de gases en condiciones controladas de funcionamiento. Inicialmente se establece una línea base correspondiente al estado original del vehículo, permitiendo caracterizar las emisiones generadas por el motor y evaluar el desempeño del sistema de postratamiento existente. Posteriormente se aplica un aditivo limpiador de catalizador siguiendo las recomendaciones técnicas del fabricante y, una vez finalizado el proceso de actuación del producto, se repiten las pruebas de emisiones bajo las mismas condiciones operativas para garantizar la comparabilidad de los resultados.

Los datos obtenidos son analizados mediante una comparación cuantitativa de los niveles de emisiones antes y después de la aplicación del aditivo, permitiendo identificar posibles reducciones en la concentración de contaminantes y establecer la magnitud del efecto alcanzado. Este procedimiento proporciona evidencia experimental acerca de la efectividad del tratamiento y permite valorar su aplicación como estrategia de mantenimiento preventivo para vehículos diésel.

Los resultados de esta investigación aportan información científica y técnica de utilidad para propietarios de vehículos, talleres automotrices, organismos de control ambiental e instituciones académicas interesadas en el estudio de tecnologías destinadas a disminuir las emisiones contaminantes del transporte terrestre.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Evaluación experimental de un aditivo limpiador de catalizador en vehículos diésel y su influencia en las emisiones contaminantes.

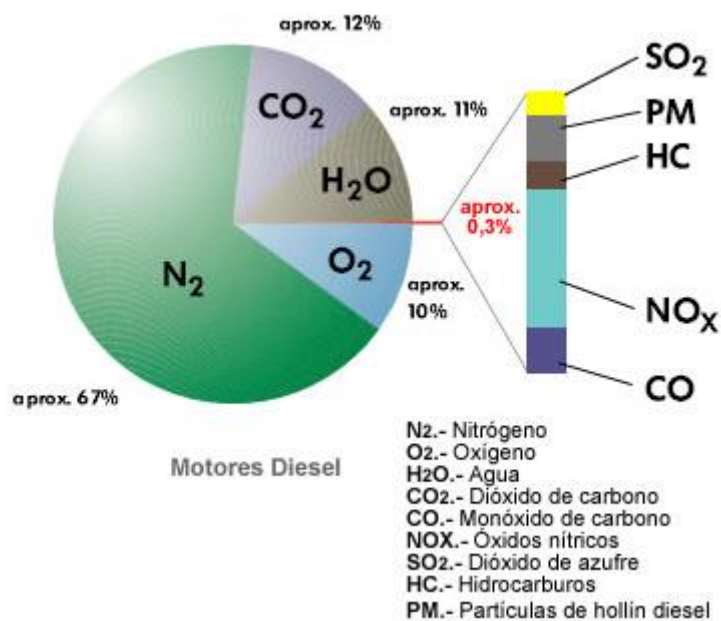
1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

El incremento del uso de vehículos con motor diésel ha generado una creciente preocupación por el impacto ambiental derivado de las emisiones contaminantes producidas durante su funcionamiento. Aunque estos motores se caracterizan por su eficiencia energética, también generan gases contaminantes que afectan la calidad del aire y la salud de la población.

1.2.1 Planteamiento del problema

En la actualidad, el incremento del parque automotor diésel ha generado una mayor preocupación por el impacto ambiental derivado de las emisiones contaminantes producidas por estos vehículos, especialmente en zonas urbanas donde la calidad del aire se ve significativamente afectada. Los motores diésel, aunque destacan por su eficiencia energética, son una fuente importante de contaminantes atmosféricos como material particulado (PM), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Para mitigar estos efectos, los vehículos modernos incorporan sistemas de postratamiento como el catalizador y el filtro de partículas, los cuales pueden perder eficiencia con el tiempo debido a la acumulación de residuos derivados de la combustión.

Ante esta problemática, han surgido aditivos limpiadores de catalizador que prometen mejorar el rendimiento del sistema de postratamiento y reducir las emisiones contaminantes. Sin embargo, existe una limitada evidencia experimental que demuestre con claridad la efectividad real de estos productos en condiciones de operación vehicular. Por ello, se hace necesario evaluar experimentalmente el efecto de un aditivo limpiador de catalizador en vehículos diésel y analizar su influencia en la reducción de emisiones contaminantes (Figura 1).

Figura 1*Emisiones de los motores diésel*

Fuente: (blog.centralderecambios.com, 2025).

1.2.2 Formulación del problema

¿De qué manera influye la aplicación de un aditivo limpiador de catalizador en las emisiones contaminantes generadas por vehículos con motor diésel?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Cuál es el nivel de emisiones contaminantes de un vehículo diésel antes de la aplicación del aditivo limpiador de catalizador?
- ¿Qué tipo de contaminantes presentan mayor variación tras la utilización del aditivo (CO, HC, NO_x o material particulado)?
- ¿En qué medida el uso del aditivo contribuye a mejorar la eficiencia del sistema de postratamiento de gases en el vehículo diésel?
- ¿Es significativa la reducción de emisiones contaminantes al utilizar el aditivo limpiador de catalizador en comparación con el funcionamiento normal del vehículo?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 *Objetivo general*

- Evaluar experimentalmente el efecto de un aditivo limpiador de catalizador en un vehículo liviano diésel de 2.4 L mediante el análisis comparativo de las emisiones contaminantes antes y después de su aplicación.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Diagnosticar los niveles iniciales de emisiones contaminantes generadas por un vehículo diésel mediante pruebas de análisis de gases en condiciones controladas.
- Aplicar el aditivo limpiador de catalizador en el sistema de combustible del vehículo verificando su efecto en el sistema de postratamiento de gases.
- Analizar los resultados de las emisiones obtenidas antes y después de la aplicación del aditivo.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

La presente investigación se justifica por la necesidad de analizar alternativas que contribuyan a la reducción de emisiones contaminantes generadas por vehículos con motor diésel, considerando el impacto ambiental y la importancia de mejorar la eficiencia de los sistemas de postratamiento de gases.

En este sentido, el estudio busca evaluar experimentalmente la efectividad de un aditivo limpiador de catalizador como posible solución para optimizar el funcionamiento del sistema de escape. Asimismo, la investigación se delimita al análisis de las emisiones contaminantes producidas por un vehículo diésel antes y después de la aplicación del aditivo, en un período determinado y dentro de un contexto específico de evaluación técnica.

1.4.1 *Justificación teórica*

El estudio de las emisiones contaminantes generadas por los motores diésel constituye un tema de gran relevancia dentro del campo de la ingeniería automotriz y ambiental, debido a su impacto directo en la calidad del aire y en la salud pública. Los motores diésel producen contaminantes como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos

de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM), los cuales contribuyen al deterioro ambiental y al incremento de enfermedades respiratorias.

En este contexto, el sistema de postratamiento de gases, particularmente el catalizador, desempeña un papel fundamental en la reducción de estas emisiones.

1.4.2 Justificación metodológica

La investigación se desarrolla mediante un enfoque experimental, que permitirá analizar de manera objetiva el comportamiento de las emisiones contaminantes antes y después de la aplicación de un aditivo limpiador de catalizador. Para ello, se utilizarán equipos de medición de gases que permitirán registrar parámetros específicos del funcionamiento del motor diésel y de las emisiones producidas durante su operación.

Este procedimiento permitirá obtener datos cuantificables y comparables, facilitando el análisis de la influencia del aditivo en el desempeño del sistema de postratamiento de gases. De esta manera, la metodología aplicada permitirá generar resultados confiables que contribuyan a validar o cuestionar la efectividad del producto evaluado.

1.4.3 Justificación práctica

Desde el punto de vista práctico, esta investigación permite determinar si el uso de aditivos limpiadores de catalizador representa una alternativa viable para mejorar el desempeño ambiental de los vehículos diésel. Los resultados obtenidos sirven como referencia para propietarios de vehículos, talleres automotrices y técnicos especializados interesados en implementar soluciones que contribuyan a reducir las emisiones contaminantes.

1.4.4 Delimitación temporal

La presente investigación se desarrolla durante el período académico correspondiente al Seminario de Integración Curricular, comprendido entre los meses de mayo y agosto de 2026, tiempo en el cual se realizan las pruebas experimentales, recolección de datos, análisis de resultados y elaboración del informe final.

1.4.5 Delimitación geográfica

El estudio se lleva a cabo en el taller de la UIDE-Guayaquil, ubicado en Guayaquil, donde se dispone de los equipos necesarios para la medición de emisiones contaminantes y la evaluación del funcionamiento del vehículo diésel.

1.4.6 Delimitación del contenido

La investigación se centra en la evaluación del efecto de un aditivo limpiador de catalizador en un vehículo con motor diésel, analizando específicamente las variaciones en los niveles de emisiones contaminantes antes y después de su aplicación. El estudio se limita al análisis de los principales gases emitidos durante la combustión, tales como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x), sin considerar otros factores externos como condiciones climáticas, variaciones en la calidad del combustible o modificaciones mecánicas del motor.

Capítulo II

Marco referencial

2.1 Marco teórico

El marco teórico constituye la base conceptual y científica que sustenta la presente investigación, permitiendo comprender los principios, teorías y estudios previos relacionados con las emisiones contaminantes en motores diésel, el funcionamiento de los sistemas de postratamiento de gases y el uso de aditivos en combustibles.

A través de la revisión de literatura especializada se analizan los fundamentos técnicos que explican la generación de contaminantes durante el proceso de combustión, así como las tecnologías desarrolladas para reducir su impacto ambiental.

En los últimos años, las regulaciones ambientales han impulsado el desarrollo de tecnologías orientadas a reducir la emisión de contaminantes atmosféricos provenientes del sector transporte, debido a su contribución al deterioro de la calidad del aire y al cambio climático.

Es fundamental analizar los factores que influyen en la generación de emisiones y las estrategias que permiten minimizar su impacto. Por ello, este marco teórico aborda los conceptos relacionados con el diagnóstico de emisiones contaminantes en motores diésel, los principios de operación de los convertidores catalíticos y los sistemas de postratamiento, así como los fundamentos técnicos y científicos que respaldan la utilización de aditivos limpiadores de catalizador y la evaluación comparativa de emisiones antes y después de su aplicación.

2.1.1 *Conceptos preliminares*

Los conceptos preliminares permiten establecer las definiciones y términos técnicos fundamentales que serán utilizados a lo largo de la investigación, facilitando una mejor comprensión del tema de estudio. En este sentido, se presentan conceptos relacionados con motores diésel, emisiones contaminantes, catalizadores automotrices y aditivos para combustibles, los cuales constituyen elementos clave para el análisis del funcionamiento del

sistema de combustión y su influencia en la generación y reducción de emisiones contaminantes en los vehículos (Figura 2).

Figura 2

Control de emisiones en motores diésel



Fuente: (forteaditivos.es, 2025).

2.1.2 Emisiones contaminantes en motores diésel y su diagnóstico

Los motores diésel son ampliamente utilizados en el transporte debido a su elevada eficiencia térmica y menor consumo específico de combustible en comparación con los motores de encendido por chispa. Sin embargo, durante el proceso de combustión generan contaminantes atmosféricos como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM), los cuales tienen efectos negativos sobre la calidad del aire y la salud humana.

La cantidad de emisiones producidas depende de diversos factores, entre ellos la calidad del combustible, las condiciones de operación del motor, el estado del sistema de inyección y la eficiencia de los sistemas de postratamiento de gases (Heywood, 2018).

El diagnóstico de emisiones contaminantes constituye una herramienta fundamental para evaluar el desempeño ambiental de los vehículos diésel.

Mediante analizadores de gases es posible determinar la concentración de contaminantes emitidos y verificar el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. Estas mediciones permiten identificar deficiencias en el proceso de combustión y detectar

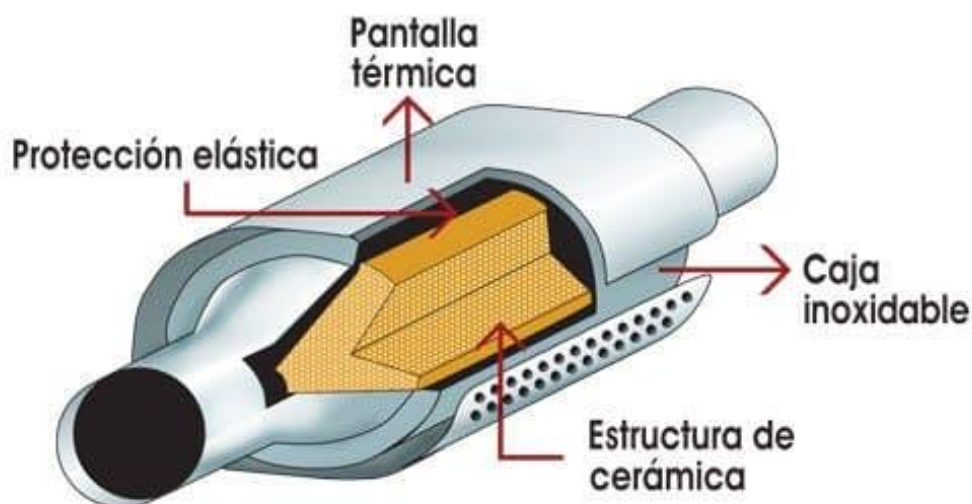
posibles fallas en componentes como inyectores, turbocompresores, válvulas EGR y convertidores catalíticos (Merkisz et al., 2021).

Diversos estudios han demostrado que la evaluación de emisiones en condiciones controladas proporciona información confiable sobre el estado operativo del motor y la efectividad de las estrategias de reducción de contaminantes.

Por ello, el análisis de gases antes y después de una intervención mecánica constituye una metodología adecuada para cuantificar mejoras en el comportamiento ambiental de un vehículo diésel (Fontaras et al., 2022).

Figura 3

Catalizador para motor diésel



Fuente: (autonocion.com, 2025).

2.1.3 Sistemas de postratamiento y aditivos limpiadores de catalizador

Los sistemas de postratamiento de gases de escape tienen la finalidad de reducir la emisión de contaminantes generados durante la combustión. Entre los dispositivos más utilizados en vehículos diésel se encuentran los convertidores catalíticos de oxidación (DOC), los filtros de partículas diésel (DPF) y los sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR).

Estos componentes favorecen reacciones químicas que transforman sustancias nocivas en compuestos menos perjudiciales para el medio ambiente (Johnson, 2019).

Con el tiempo, los catalizadores pueden sufrir procesos de contaminación superficial, acumulación de depósitos carbonosos o envenenamiento químico debido a impurezas presentes en el combustible y lubricante. Estas condiciones reducen la eficiencia de conversión catalítica y pueden provocar incrementos en las emisiones contaminantes.

Como alternativa de mantenimiento preventivo, la industria automotriz ha desarrollado aditivos limpiadores que se incorporan al combustible con el objetivo de eliminar depósitos, mejorar la atomización del combustible y restaurar parcialmente la eficiencia de los sistemas de postratamiento (Agarwal et al., 2021).

Los aditivos limpiadores contienen compuestos detergentes y dispersantes diseñados para reducir la formación de residuos carbonosos en el sistema de inyección y en los componentes del escape. Investigaciones recientes indican que estos productos pueden contribuir a disminuir las emisiones de CO, HC y material particulado, aunque su efectividad depende de las condiciones operativas del vehículo, el estado inicial del catalizador y la composición química específica del aditivo utilizado (Lapuerta et al., 2023).

2.1.4 Evaluación comparativa de emisiones antes y después de la aplicación de aditivos

La evaluación experimental mediante comparación de resultados antes y después de la aplicación de un tratamiento constituye una metodología ampliamente utilizada en investigaciones automotrices. Este enfoque permite determinar cuantitativamente el efecto de una intervención sobre variables específicas, minimizando la influencia de factores externos mediante condiciones de ensayo controladas y procedimientos estandarizados (Boulter et al., 2020).

En el caso de los vehículos diésel, la comparación de emisiones contaminantes antes y después del uso de aditivos limpiadores permite establecer si existe una reducción significativa en los niveles de CO, HC, NO_x y opacidad del humo (Figura 4).

Para ello, las pruebas deben realizarse bajo condiciones similares de temperatura, régimen de funcionamiento y estado de carga del motor, garantizando así la confiabilidad de los resultados obtenidos (European Environment Agency, 2023).

El análisis estadístico de las mediciones permite determinar la magnitud de los cambios observados y verificar si las diferencias encontradas son atribuibles a la acción del aditivo. De esta manera, la evaluación comparativa constituye una herramienta objetiva para determinar la efectividad de productos destinados a mejorar el desempeño ambiental de los vehículos diésel y optimizar el funcionamiento de sus sistemas de postratamiento de gases (Millo et al., 2022).

Figura 4

Limpiador de catalizador



Fuente: (auxol.coml, 2025).

2.1.5 Limpieza de catalizadores en motores diésel

Los métodos de limpieza pueden incluir procedimientos mecánicos, tratamientos térmicos o el uso de aditivos químicos incorporados al combustible. Estos últimos han ganado

relevancia debido a su facilidad de aplicación y menor costo operativo, ya que contienen agentes detergentes y dispersantes capaces de remover depósitos acumulados en el sistema de inyección y en los componentes del escape.

Diversas investigaciones han demostrado que la utilización de aditivos limpiadores puede mejorar la combustión, favorecer la regeneración de los sistemas de postratamiento y contribuir a la reducción de emisiones contaminantes, especialmente en vehículos que presentan pérdida de eficiencia debido a la acumulación de residuos en el catalizador (Agarwal et al., 2021).

En consecuencia, la evaluación experimental de estos productos resulta fundamental para determinar su efectividad real y su contribución al mejoramiento del desempeño ambiental de los motores diésel.

2.2 Marco conceptual

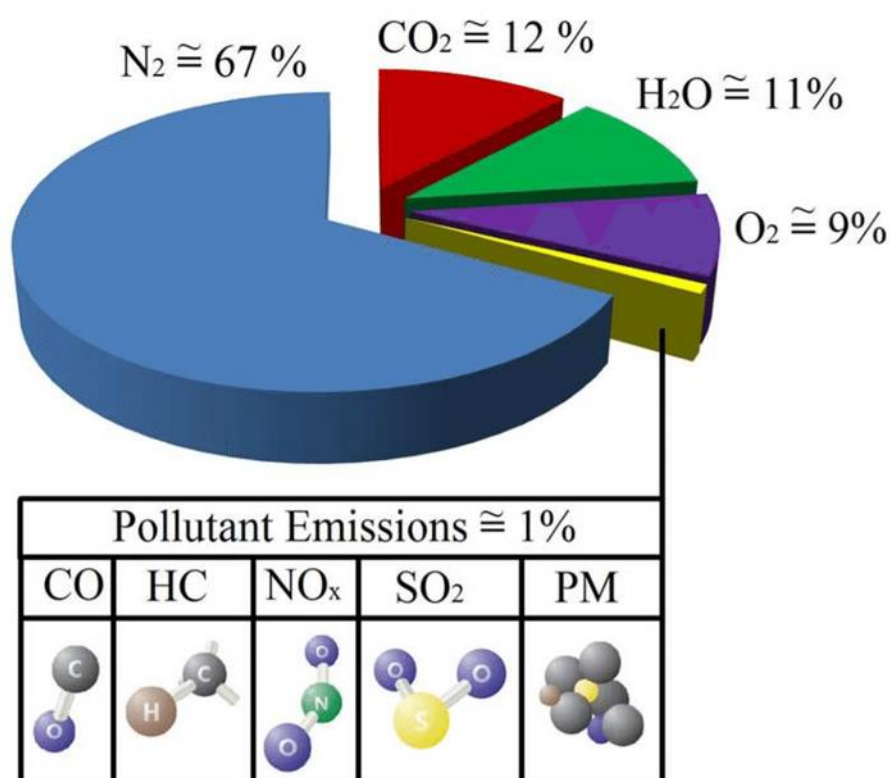
2.2.1 Emisiones contaminantes en motores diésel

Los motores diésel son ampliamente utilizados en el sector del transporte debido a su eficiencia energética y durabilidad. Sin embargo, durante el proceso de combustión se generan contaminantes atmosféricos como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado (PM).

Según la International Energy Agency y estudios publicados en revistas científicas como Energy Policy y Applied Energy, las emisiones provenientes del transporte representan una proporción significativa de la contaminación urbana a nivel mundial.

Estas emisiones se producen debido a la combustión incompleta del combustible y a las altas temperaturas generadas dentro del cilindro del motor.

Por esta razón, el control y reducción de estos contaminantes se ha convertido en un objetivo prioritario en el desarrollo de tecnologías automotrices y regulaciones ambientales en distintos países (Figura 5)

Figura 5*Emisiones diésel*

Fuente: (hjs-sa.com, 2025).

2.2.2 Sistemas de postratamiento de gases de escape en motores diésel

Para reducir las emisiones contaminantes, los vehículos modernos incorporan sistemas de postratamiento de gases de escape, entre los cuales destacan los catalizadores de oxidación diésel (DOC), los filtros de partículas diésel (DPF) y los sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR). Investigaciones publicadas en revistas de alto impacto como *Fuel* y *Energy Conversion and Management* señalan que estos dispositivos permiten transformar gases contaminantes en compuestos menos perjudiciales mediante reacciones químicas catalizadas.

No obstante, con el tiempo estos sistemas pueden perder eficiencia debido a la acumulación de residuos de combustión, azufre o partículas, lo que reduce su capacidad para eliminar contaminantes. Por ello, el mantenimiento adecuado y el uso de tecnologías

complementarias son fundamentales para garantizar el correcto funcionamiento del sistema de control de emisiones.

2.2.3 Uso de aditivos en combustibles para mejorar la combustión y reducir emisiones

Los aditivos para combustibles se han desarrollado con el objetivo de mejorar la calidad de la combustión, optimizar el rendimiento del motor y reducir las emisiones contaminantes. Estudios reportados por la Society of Automotive Engineers y publicados en revistas como Fuel Processing Technology indican que ciertos aditivos pueden actuar como agentes limpiadores del sistema de inyección y del catalizador, ayudando a remover depósitos acumulados y mejorando la eficiencia del sistema de postratamiento de gases.

Asimismo, investigaciones realizadas en América Latina destacan que el uso de estos productos puede contribuir a la reducción de emisiones contaminantes cuando se aplican bajo condiciones controladas y en conjunto con prácticas adecuadas de mantenimiento del vehículo.

2.2.4 Motores diésel

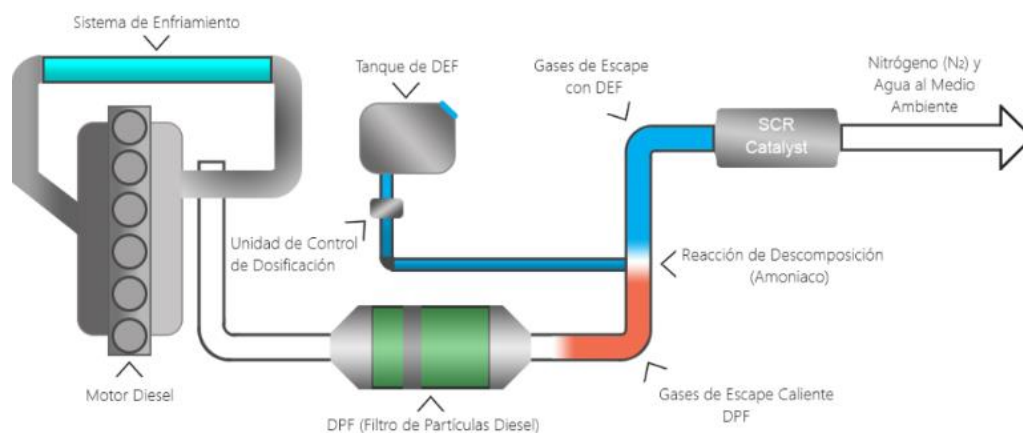
Es un tipo de motor de combustión interna que utiliza combustible diésel y funciona mediante el principio de encendido por compresión, donde el combustible se inyecta en aire altamente comprimido dentro del cilindro, generando la combustión necesaria para producir energía mecánica.

2.2.5 Emisiones contaminantes vehiculares

Son los gases y partículas liberados al ambiente como resultado del proceso de combustión en los motores de los vehículos. Entre los principales contaminantes generados por motores diésel se encuentran CO, HC, NO_x y material particulado, los cuales afectan la calidad del aire y la salud humana.

2.2.6 Catalizador automotriz

Es un dispositivo (Figura 6) instalado en el sistema de escape del vehículo que utiliza materiales catalíticos para transformar gases contaminantes en compuestos menos nocivos, como dióxido de carbono (CO₂), nitrógeno (N₂) y vapor de agua (H₂O).

Figura 6*Catalizador motores diésel*

Fuente: (cam2.com.pe, 2025)

2.2.7 Aditivo limpiador de catalizador

Los aditivos catalizadores para diésel son compuestos químicos que se añaden al combustible para acelerar y mejorar la combustión, reducir la emisión de gases contaminantes y limpiar el sistema. A diferencia del catalizador físico (el dispositivo de escape que filtra los gases), estos aditivos actúan directamente sobre el combustible antes de quemarse.

Los catalizadores incorporados al combustible son aditivos químicos que se añaden a los combustibles líquidos para mejorar su eficiencia de combustión y reducir las emisiones. Al permitir una regeneración rápida y completa del filtro de partículas diésel (DPF), se pueden abordar los principales desafíos regulatorios relacionados con las emisiones de partículas y NO_x.

La tecnología de catalizadores de combustible funciona reduciendo la temperatura de ignición de las partículas de hollín, lo que permite la regeneración en un rango de funcionamiento más amplio del motor. Los catalizadores promueven un proceso de combustión más completo al interactuar con el hollín en la cámara de combustión.

Los aditivos para combustible Stanadyne (ver Figura 7) cumplen con los requisitos federales de bajo contenido de azufre para su uso en vehículos diésel y motores no de carretera. Todas las fórmulas de aditivos para combustible Stanadyne cumplen con los

requisitos correspondientes del sistema de combustible diésel o gasolina y no dañan los sistemas de postratamiento de gases de escape, como los filtros de partículas diésel (DPF) o los sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR).

Figura 7

Aditivos para Combustible Stanadyne



Fuente: (baldwinfilters.com, 2026).

2.2.8 Diseño del postratamiento de gases de escape

Los requisitos de diseño para los sistemas de postratamiento dependen no solo de la composición de los gases de escape, sino también del ciclo de trabajo que la prueba de emisiones y los usuarios finales imponen al motor. El dispositivo de postratamiento debe funcionar correctamente cuando es nuevo y continuar cumpliendo con los requisitos de control de emisiones durante la vida útil del motor.

El dispositivo de postratamiento se instala normalmente en el sistema de escape, debajo del piso del vehículo. En algunas aplicaciones de catalizadores diésel, el proceso se divide en dos partes: un catalizador primario instalado cerca de la salida de la turbina del turbocompresor y un catalizador secundario ubicado en el tubo de escape.

El objetivo de cualquier programa de desarrollo de motores diésel es alcanzar los estándares de emisiones establecidos para el producto sin recurrir al postratamiento de gases de escape. Sin embargo, en algunos casos, la tecnología actual está más allá de lo necesario para cumplir con los estándares de emisiones utilizando controles de emisiones en el cilindro, o bien, las compensaciones entre los controles en el cilindro. El control de emisiones y el postratamiento de gases de escape favorecen la inclusión del postratamiento.

Capítulo III

Metodología

La reducción de emisiones contaminantes provenientes de motores diésel constituye uno de los principales desafíos del sector automotriz debido a las estrictas normativas ambientales y a la necesidad de disminuir el impacto de los gases de escape sobre la calidad del aire. Con el tiempo, los catalizadores y sistemas de postratamiento de gases pueden acumular residuos de carbono, azufre y otras partículas que afectan su eficiencia, incrementando los niveles de emisiones contaminantes y reduciendo el desempeño del motor.

En este contexto, los aditivos limpiadores de catalizador han surgido como una alternativa de mantenimiento preventivo y correctivo destinada a mejorar el funcionamiento del sistema de escape mediante la eliminación de depósitos acumulados.

En la presente investigación se plantea una evaluación experimental de un aditivo limpiador de catalizador aplicado en una camioneta Mitsubishi con motor diésel, con el propósito de determinar su influencia en las emisiones contaminantes, analizando parámetros como la opacidad de los gases de escape y el comportamiento operativo del vehículo antes y después del tratamiento.

Los resultados obtenidos permiten establecer criterios técnicos sobre la efectividad de este tipo de productos y su potencial contribución a la reducción de la contaminación ambiental generada por vehículos diésel.

3.1 Métodos

- Experimental: medición de emisiones.
- Comparativo: Sin el aditivo y con el aditivo.

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, experimental y longitudinal, ya que se miden y comparan las emisiones contaminantes de una camioneta Mitsubishi con motor diésel antes y después de la aplicación de un aditivo limpiador de catalizador.

El estudio permite determinar la influencia del aditivo sobre la reducción de emisiones y el desempeño del sistema de postratamiento de gases de escape

3.2 Tipo de estudio

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo de tipo experimental, ya que se analiza el comportamiento de las emisiones contaminantes generadas por un vehículo con motor diésel antes y después de la aplicación de un aditivo limpiador de catalizador.

Este enfoque permite obtener datos medibles y comparables mediante la utilización de equipos de análisis de gases, con el propósito de determinar la influencia del aditivo en la reducción de contaminantes emitidos por el sistema de escape.

3.3 Variables de estudio

La identificación y operacionalización de las variables de estudio constituye una etapa fundamental dentro del proceso de investigación, ya que permite establecer los elementos que serán medidos y analizados para evaluar la influencia del aditivo limpiador de catalizador sobre las emisiones contaminantes de una camioneta Mitsubishi con motor diésel.

En este estudio se considera como variable independiente la aplicación del aditivo limpiador de catalizador, mientras que la variable dependiente corresponde a las emisiones contaminantes generadas por el vehículo. A través de indicadores específicos como la opacidad de los gases y la reducción porcentual de emisiones, se busca cuantificar objetivamente los efectos del tratamiento aplicado.

La definición de estas variables y sus respectivos indicadores permite obtener resultados confiables y comparables, facilitando la evaluación de la efectividad del aditivo en la mejora del desempeño ambiental del vehículo.

El análisis de las variables de estudio en este proyecto se muestra en las Tablas 1, 2 y 3.

3.3.1 *Variable Independiente*

Aplicación del aditivo limpiador de catalizador: Corresponde al tratamiento aplicado al sistema de combustible y escape mediante un aditivo diseñado para eliminar depósitos de carbonilla y residuos acumulados en el catalizador, con el fin de mejorar su eficiencia operativa.

Tabla 1*Variables de estudio independientes*

Dimensión	Indicador	Unidad
Dosificación	Cantidad de aditivo aplicada	mL
Aplicación	Relación aditivo / combustible	mL/L
Tiempo de acción	Distancia recorrida después de la aplicación	km
Condiciones de uso	Tiempo de funcionamiento del motor	h

Nota. Esta tabla se observa cuáles son las variables independientes.

3.3.2 **Variable dependiente**

Emisiones contaminantes del vehículo diésel: Se refiere a la cantidad de contaminantes emitidos por el motor diésel a través del sistema de escape antes y después de la aplicación del aditivo limpiador de catalizador.

Tabla 2*Variables de estudio dependientes*

Dimensión	Indicador	Unidad
Material particulado	Opacidad de gases	%
Absorción de humo	Coeficiente de absorción	m ⁻¹
Calidad de combustión	Temperatura de gases de escape	°C
Desempeño del sistema de escape	Variación de emisiones antes y después del tratamiento	%
Funcionamiento del motor	Régimen de giro del motor	rpm

Nota. Esta tabla se observa cuáles son las variables dependientes.

3.3.3 **Variables de control**

Son aquellas variables que deben mantenerse constantes para garantizar la validez de los resultados experimentales.

Tabla 3*Variables de estudio de control*

Variable de Control	Descripción
Vehículo de prueba	Misma camioneta Mitsubishi durante todo el ensayo
Combustible	Diésel proveniente de la misma estación de servicio
Temperatura del motor	Mantener temperatura normal de operación (80–90 °C)
Método de medición	Mismo procedimiento y equipo de medición
Operador	Misma persona encargada de las pruebas
Condiciones ambientales	Temperatura y humedad similares durante las mediciones

Nota. Esta tabla se observa cuáles son las variables controladas.

3.3.4 Operacionalización de variables

Variable	Definición Operacional	Técnica	Instrumento
	Incorporación de una dosis		
Aplicación del aditivo limpiador de catalizador	específica de aditivo en el combustible diésel para la limpieza del sistema catalítico	Observación experimental	Ficha de registro técnico

Nota: Variables involucradas

3.4 Equipo y materiales

Para el desarrollo del estudio se emplean los siguientes equipos e instrumentos:

- Opacímetro automotriz MET 6.2

El medidor de gases de emisión MET 6.2 sirve para la medición de vehículos Diesel. La opacidad y la concentración de partículas se comprueban, se diagnostican rápidamente en un procedimiento de flujo parcial en aceleración libre o bajo carga del motor con un ensayo de tipo según los requerimientos PTB 18.09.

- Tablero de instrumentos: Tacómetro y termómetro
- Para verificar el régimen del motor y temperatura del motor.

Figura 8*Opacímetro automotriz MET 6.2*

- Sensores ambientales de aplicaciones para celular, incluyendo temperatura, humedad y presión atmosférica, para corregir las mediciones según estándares especificados en la NTE INEN 2202:2013 (Figura 9).

Figura 9*Estándares SAE*

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**NTE INEN 2202:2013**
Primera revisión**GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES.
DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE
ESCAPE DE MOTORES DE DIESEL MEDIANTE LA PRUEBA
ESTÁTICA. MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE****Primera edición**ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AIR MOTOR VEHICLES. DETERMINATION OF OPACITY OF EXHAUST EMISSIONS OF
DIESEL MOTORS BY STATIC TEST. METHOD OF FREE ACCELERATION

- Herramientas de verificación mecánica, tales como escáner automotriz, analizadores básicos, dispositivos de calibración y sistemas de amarre.

Figura 10

Verificación mecánica



- Antes de realizar la medición de opacidad en un vehículo diésel, es fundamental verificar que el motor se encuentre a su temperatura normal de operación, que el sistema de escape no presente fugas, que los niveles de aceite y refrigerante sean adecuados y que el filtro de aire esté en buen estado.
- El vehículo debe permanecer inmobilizado con la transmisión en punto muerto o posición de estacionamiento, el freno de mano activado y los accesorios eléctricos apagados.
- Comprobar que el opacímetro esté correctamente calibrado y efectuar dos o tres aceleraciones de limpieza para eliminar el hollín acumulado en el sistema de escape, garantizando así resultados de medición precisos y confiables.

3.4.1 Vehículo de prueba

Se usa el vehículo Mitsubishi L200 Hi-Rider año modelo 2022 a diésel que corresponde oficialmente a las versiones con tracción 4x2 que cuentan con la suspensión elevada y el aspecto robusto de una camioneta doble tracción.

Figura 11

Vehículo Mitsubishi L200



Fuente: (www.mitsubishi-motors.com.ec, 2026)

3.5 Procedimiento experimental

3.5.1 Etapa 1: Inspección y preparación del vehículo

- Verificación del estado general del motor.
- Revisión visual de fugas, niveles de aceite, estado del filtro de aire y sistema de enfriamiento.
- Comprobación del sistema de admisión y escape.
- Verificación de códigos de falla mediante escáner OBD-II.

3.5.2 Etapa 2: Preparación del opacímetro

- Encender el opacímetro MAHA y esperar a que complete el proceso de autodiagnóstico y estabilización.
- Verificar la calibración y realizar el ajuste a cero (Zero Check) para asegurar la precisión de las mediciones.

- Comprobar que la sonda de muestreo y la cámara óptica estén limpias, sin residuos de hollín ni obstrucciones.
- Introducir correctamente la sonda en el tubo de escape, asegurando un sellado adecuado para evitar el ingreso de aire exterior.
- Hay que confirmar que el equipo esté listo para la prueba e iniciar la medición siguiendo el procedimiento de aceleración libre establecido para vehículos diésel.
- Verificar las condiciones previas del vehículo, asegurando que el motor se encuentre a temperatura normal de operación y que no existan fugas en el sistema de escape.
- Encender y preparar el opacímetro MAHA MET 6.2, verificando que haya completado el autodiagnóstico y la calibración automática.

Figura 12

Inspección y preparación del vehículo



Figura 13

Preparación del opacímetro MAHA antes de la medición de opacidad



3.5.3 Etapa 3: Estabilización térmica

- Encendido del motor por 5–10 minutos hasta alcanzar temperatura operativa estable (Figura 14:
Refrigerante: 80–95 °C.
Aceite: 85–100 °C.
- Una vez estabilizado, se procede a la prueba.

Figura 14

Estabilización del opacímetro



3.5.4 Etapa 4: Prueba de medición de opacidad con el opacímetro MAHA MET 6.2

- Realizar dos o tres aceleraciones de limpieza hasta el régimen máximo permitido por el fabricante para eliminar el hollín acumulado en el sistema de escape (Figura 15).

Figura 15

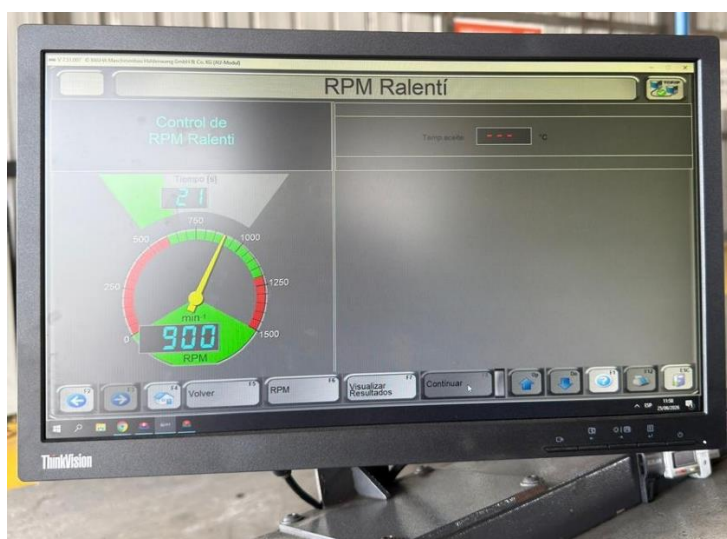
Pruebas con el opacímetro – vehículo Mitsubishi



- Iniciar la prueba de aceleración libre, acelerando rápidamente desde ralentí hasta el régimen máximo sin carga y soltando inmediatamente el pedal del acelerador.

Figura 16

Pruebas en ralentí



- Repetir el procedimiento el número de veces requerido por el equipo (generalmente tres aceleraciones válidas) para obtener mediciones consistentes.

Figura 17

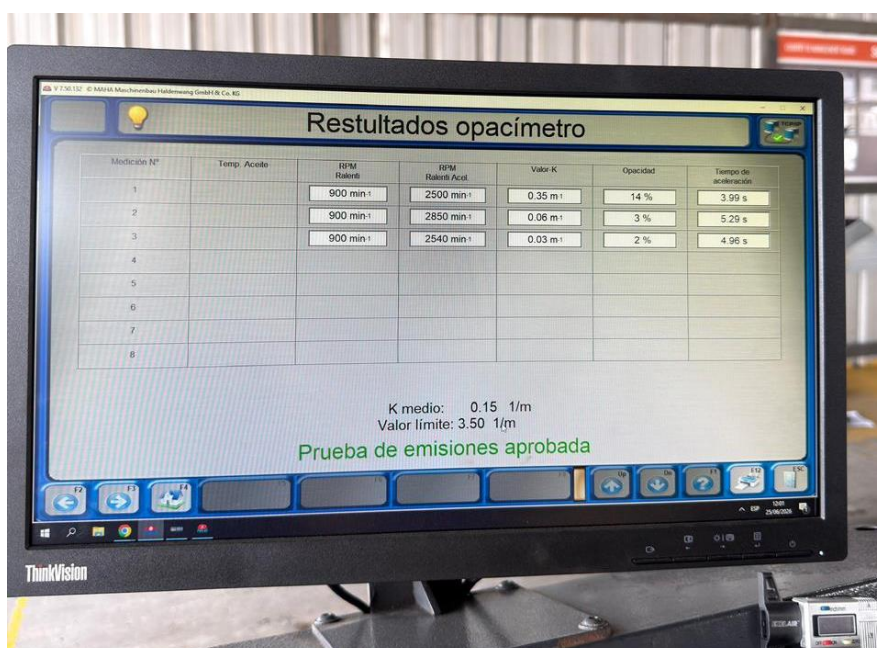
Medición de aceleración – vehículo Mitsubishi



- Registrar automáticamente el coeficiente de absorción de luz (K , m^{-1}) y los valores de opacidad obtenidos en cada aceleración.

Figura 18

Resultados – vehículo Mitsubishi



- Calcular el valor final de opacidad, utilizando el promedio de las mediciones válidas conforme al procedimiento del equipo y la normativa aplicable.

Figura 19

Verificación de valores finales de opacidad



- Retirar la sonda y generar el reporte de resultados, verificando si los valores obtenidos cumplen con los límites máximos permisibles para vehículos diésel.

3.5.5 Etapa 5: Post-prueba

- Enfriamiento del motor.
- Revisión de anomalías.
- Validación de las corridas.

3.5.6 Etapa 7: Análisis de datos

- Análisis estadístico.
- Interpretación técnica sobre los resultados.
- Discusión sobre el comportamiento del vehículo durante las condiciones de la prueba.

3.5.7 Etapa 8: Consideraciones de seguridad

- Manejo responsable de datos experimentales.
- Cumplir con las normas de seguridad.
- Revisión técnica previa y posterior para evitar daños en los vehículos.
- No alterar calibraciones originales si el vehículo no lo requiere.

Capítulo IV

Análisis e interpretación de resultados

En este capítulo se presentan, analizan e interpretan los resultados obtenidos durante la evaluación experimental del aditivo limpiador de catalizador aplicado a una camioneta Mitsubishi L200 diésel.

Para ello se comparan los parámetros de emisiones contaminantes medidos mediante un opacímetro MAHA MET 6.2 antes y después del tratamiento, bajo las mismas condiciones de operación del vehículo.

Se realiza un análisis estadístico que permite determinar si las variaciones observadas son estadísticamente significativas y si el aditivo contribuye a mejorar la eficiencia del sistema de postratamiento de gases de escape.

4.1 Condiciones de las pruebas experimentales

Tabla 4

Condiciones de las pruebas experimentales

Parámetro	Valor
Vehículo	Mitsubishi L200 2022
Motor	2.4 L Turbo Diésel
Combustible	Diésel Premium
Kilometraje	68 500 km
Equipo	MAHA MET 6.2
Temperatura ambiente	27 °C
Temperatura del motor	89 °C
Número de aceleraciones	3 por ensayo
Norma aplicada	NTE INEN 2202

Nota: Datos para la prueba

4.2 Resultados iniciales (Antes del aditivo)

En esta parte se presentan todos los datos medidos antes del tratamiento.

Antes de la aplicación del aditivo limpiador de catalizador, se realiza la caracterización inicial de las emisiones contaminantes de la camioneta Mitsubishi L200 diésel mediante el opacímetro MAHA MET 6.2, siguiendo el procedimiento de aceleración libre establecido por la normativa vigente.

Se efectúan tres mediciones consecutivas bajo las mismas condiciones de operación del vehículo, con el motor a temperatura normal de funcionamiento y el sistema de escape en condiciones adecuadas.

Tabla 5

Opacidad obtenida

Ensayo	Opacidad (%)	Coeficiente K (m^{-1})
1	29.6	1.19
2	30.2	1.22
3	29.8	1.20
Promedio	29.9	1.20

Nota. Datos de opacidad

Luego se interpreta:

- Estabilidad de las mediciones.
- Repetibilidad.
- Comportamiento del humo.

4.3 Aplicación del aditivo

Se adicionaron 300 mL de aditivo limpiador al tanque de combustible con aproximadamente 50 L de diésel. Posteriormente se efectúa un recorrido urbano y

extraurbano de 250 km (viaje a Zaruma) para favorecer la limpieza progresiva del catalizador y del sistema de combustión.

Figura 20

Limpiador de catalizador



4.4 Resultados posteriores al tratamiento

Una vez aplicado el aditivo limpiador de catalizador y completado el recorrido de acondicionamiento recomendado por el fabricante, se repitieron las pruebas de opacidad utilizando el mismo procedimiento experimental, las mismas condiciones de operación y el opacímetro MAHA MET 6.2.

Se realizan tres mediciones consecutivas con el motor a temperatura normal de funcionamiento, garantizando la reproducibilidad de los resultados.

Los valores obtenidos permiten evaluar el efecto del aditivo sobre la reducción de las emisiones contaminantes, comparando los niveles de opacidad y el coeficiente de absorción de luz (K) con los registrados antes del tratamiento.

Esta comparación permite determinar la eficacia del aditivo en la limpieza del catalizador y su influencia en el desempeño del sistema de control de emisiones del vehículo diésel.

Tabla 6*Resultados de la opacidad*

Ensayo	Opacidad (%)	Coeficiente K (m^{-1})
1	23.4	0.95
2	22.8	0.93
3	23.0	0.94
Promedio	23.1	0.94

Nota: Opacidad y coeficiente K

4.5 Comparación antes y después

La comparación de los resultados obtenidos antes y después de la aplicación del aditivo limpiador de catalizador permite evaluar su influencia sobre las emisiones contaminantes del vehículo diésel.

Se analizan los valores promedio de opacidad y del coeficiente de absorción de luz (K) registrados en ambas etapas, calculando la variación absoluta y el porcentaje de reducción alcanzado.

Este análisis comparativo facilita la identificación de cambios en el desempeño del sistema de postratamiento de gases de escape, determinando si el uso del aditivo produjo una disminución de la opacidad y, por tanto, una mejora en la eficiencia del proceso de combustión y del funcionamiento del catalizador.

Tabla 7

Comparación de datos obtenidos

Variable	Antes	Después	Diferencia	Reducción (%)
Opacidad (%)	29.9	23.1	-6.8	22.7
K (m^{-1})	1.20	0.94	-0.26	21.7

Nota: Se muestran los resultados obtenidos.

4.6 Verificación de objetivos

Se presenta una tabla que relaciona los objetivos con los resultados obtenidos.

Tabla 8

Cumplimiento de los objetivos

Objetivo específico	Resultado obtenido	Cumplimiento
Medir emisiones antes del tratamiento	Opacidad promedio de 29.9 % y K = 1.20 m ⁻¹	Sí
Aplicar el aditivo limpiador	Tratamiento realizado conforme al protocolo	Sí
Evaluar emisiones después del tratamiento	Opacidad promedio de 23.1 % y K = 0.94 m ⁻¹	Sí
Comparar los resultados	Reducción del 22.7 % en opacidad y del 21.7 % en K	Sí

Nota: Se muestran la relación entre objetivos y resultados obtenidos

Conclusiones

La evaluación experimental permite comprobar que la aplicación del aditivo limpiador de catalizador en el vehículo liviano diésel de 2.4 L produjo una reducción en los niveles de opacidad de los gases de escape con respecto a las mediciones iniciales. La comparación de los resultados antes y después del tratamiento evidencia una mejora en el desempeño del sistema de postratamiento de gases, lo que indica que el aditivo contribuyó a disminuir la emisión de material particulado generado durante el proceso de combustión.

El diagnóstico inicial de las emisiones contaminantes constituye una línea base confiable para evaluar la eficacia del tratamiento. Las pruebas realizadas con el opacímetro bajo condiciones controladas permitieron obtener mediciones repetibles y comparables, demostrando que el procedimiento experimental empleado fue adecuado para identificar las variaciones en los niveles de opacidad y en el coeficiente de absorción de luz (K) tras la aplicación del aditivo.

El análisis comparativo de los resultados confirma el cumplimiento del objetivo general de la investigación, evidenciando que el uso del aditivo limpiador favoreció una reducción de las emisiones contaminantes del vehículo evaluado. Los resultados corresponden a un caso de estudio específico, por lo que su efectividad puede variar en función del estado del motor, el kilometraje, la calidad del combustible y las condiciones de mantenimiento del sistema de inyección y del catalizador.

Recomendaciones

Se recomienda incorporar el uso de aditivos limpiadores de catalizador como parte de un programa de mantenimiento preventivo en vehículos diésel, siempre siguiendo las especificaciones del fabricante y complementándolo con revisiones periódicas del sistema de inyección, filtro de aire y sistema de postratamiento, con el fin de mantener bajas las emisiones contaminantes y optimizar el rendimiento del motor.

Para futuras investigaciones, se sugiere ampliar el tamaño de la muestra incluyendo diferentes modelos de vehículos diésel, distintos kilometrajes y diversas condiciones de operación, además de realizar evaluaciones a mediano y largo plazo para determinar la duración del efecto del aditivo y su impacto sobre otros parámetros de desempeño del motor, como el consumo de combustible y la potencia.

Se recomienda complementar las pruebas de opacidad con mediciones de otros contaminantes y parámetros de funcionamiento del motor, tales como material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NO_x), temperatura de los gases de escape y consumo específico de combustible.

Referencias

- Allmägi, R., Ilves, R., & Olt, J. (2024). *Comprehensive review of innovation in piston engine and low temperature combustion technologies*. *Transport*, 39(1), 86–113.
<https://doi.org/10.3846/transport.2024.21333>
- Beltrán Manjarrés, J. A. (2017). *Estudio de emisiones de gases de un motor diésel utilizando el combustible ecuatoriano y el colombiano en un dinamómetro*. Tesis de grado, Facultad de Ingeniería Automotriz, [Universidad UTE, Quito]. Repositorio UTE.
- Castelo Valdivieso, J. C., Cepeda Godoy, C. R., Bonilla Novillo, S. M., Acosta Velarde, J. I., Moreano Sánchez, G. V., Aimacaña Sánchez, E. D., & Villalba Ramírez, R. A. (2019). *Estudio comparativo de potencia, torque y emisiones contaminantes en un motor de combustión interna de encendido provocado (MEP) con combustible Extra, E5 y E10 a una altura de 2700 m.s.n.m.* *Infociencia*, 11(1).
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/Infociencia/article/view/1024>.
- Cedeño Samaniego, M. D. (2025). *Análisis del Desempeño de un Motor de Ciclo Otto con Inyección Modificada para Etanol E-85* (Doctoral dissertation, GUAYAQUIL/UIDE/2025).
- Echeverría Jumbo, J. P., Ruales, G. J., & Maza Montenegro, R. A. (2018). *Estudio de Emisiones de un Motor con Encendido Electrónico Mediante un Variador de Chispa*. Tesis de grado, Facultad de Mecánica Automotriz, Universidad Internacional del Ecuador – UIDE, Quito.
- Estrella-Guayasamín, M., Vivar Quiroz, V., Delgado Quinto, A., & Gomez Berrezueta, F. (2024, July). *Effect of Oxyhydrogen Gas (HHO) Addition on Fuel Consumption of M2 Category Vehicle by Road Tests*. In *International Conference on Science, Technology and Innovation for Society* (pp. 227-237). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Kappos, C., & Rajan, S. (1989). *Relative performance of rotary and piston engines on synthetic coal-derived gasoline*. SAE Technical Paper 890212.
<https://doi.org/10.4271/890212>

- Gao, J., Tian, G., Ma, C., Xing, S., & Jenner, P. (2021). *Performance explorations of a naturally aspirated opposed rotary piston engine fuelled with hydrogen under part load and stoichiometric conditions using a numerical simulation approach*. *Energy*, 222, 119856. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119856>
- Heredia Díaz, A. S. (2025). *Estimación de Emisiones Contaminantes en Condiciones Dinámicas de un Vehículo M1 con Instalación de un Sistema HHO Dry Electrolyzer* (Doctoral dissertation, GUAYAQUIL/UIDE/2025).
- Jinlong, W. (2015). *Study of Virtual Design and simulation of Rotary Engine Based on Pro/E*. *International Journal of Control and Automation*, 8(6), 199-210.
- Manojkumar, R., Haranethra, S., Muralidharan, M., & Ramaprabhu, A. (2021). IC Engine emission reduction using catalytic converter by replacing the noble catalyst and using copper oxide as the catalyst. *Materials Today: Proceedings*, 45, 769-773.
- Morón Peiró, Ó. (2018). *Desarrollo de instalación experimental para estudio de las emisiones y prestaciones de un motor Diesel de nueva generación bajo el contexto de la normativa de emisiones Euro 6d-Temp*. [Trabajo de fin de grado], Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Shi, C., Zhou, Y., & Chen, R. (2021). *Potential improvement in combustion and pollutant emissions of Wankel rotary engines: A review and prospects*. *Energy Conversion and Management*, 245, 114587. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114587>
- Turner, J. W. G., Pearson, R. J., & Keating, J. (2015). *The Bath Wankel Engine: Experimental investigations into performance and emissions of the Mazda Renesis engine*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 229(10), 1303–1317. <https://doi.org/10.1177/0954407014561562>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (1978). *Comparative report on fuel economy and exhaust emissions of rotary versus reciprocating engines*. EPA Technical Report EPA-460/3-78-126. Washington, DC: Office of Mobile Source Air Pollution Control.

- Vítores, X., & López, Y. (2022). *Análisis de Gases del Motor de un Vehículo a través de Pruebas Estáticas y Dinámicas*. *Ciencia UNEMI*, 11(28), 97-108.
<https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp97-108p>
- Vorraro, G., & Tuccillo, R. (2019). *Testing of a modern Wankel rotary engine – Part III: Performance, emissions, and efficiency evaluation*. SAE Technical Paper 2019-01-1143. <https://doi.org/10.4271/2019-01-1143>
- Yang, J., Zhang, Y., Liu, S., & Wang, C. (2020). *Comparative study on performance and combustion characteristics of a rotary engine fueled with gasoline and ethanol blends*. *Fuel*, 278, 118319. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118319>.