



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Powered by Arizona State University

**FACULTAD DE INGENIERÍAS APLICADAS Y
DESARROLLO INDUSTRIAL**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Comparación de Emisiones de CO₂ en Condiciones
Estáticas de un Vehículo M1 Utilizando Gasolina con
Diferentes Mezclas de Aditivos para Combustible**

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

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Autor: Castillo Apolo, Diego Sebastián

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: Comparación de Emisiones de CO₂ en Condiciones Estáticas de un Vehículo M1 Utilizando Gasolina con Diferentes Mezclas de Aditivos para Combustible realizado por Diego Sebastián Castillo Apolo 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, Diego Sebastián Castillo Apolo 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: Diego Sebastián Castillo Apolo

C.I.: 0705645752

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi familia, por su amor incondicional, apoyo constante y confianza en cada etapa de mi formación.

A mis padres, por ser mi guía y ejemplo de esfuerzo y perseverancia.

A todas aquellas personas que, de una u otra manera, han contribuido a que este logro sea posible.

Agradecimiento

Expreso mi sincero agradecimiento a Dios por brindarme la fortaleza y sabiduría necesarias para culminar este proceso académico.

A mi familia, por su apoyo incondicional, paciencia y motivación constante.

A mis docentes, por sus enseñanzas, orientación y compromiso durante mi formación profesional.

A mi tutor de titulación, Ing. Fernando Gómez Berrezueta, por su guía, tiempo y valiosos aportes en el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a todos quienes colaboraron directa o indirectamente en la realización de este proyecto.

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>	7
1.2.3 <i>Sistematización del problema</i>	7
1.3 Objetivos de la investigación	7
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	7
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	8
1.4 Justificación y delimitación de la investigación	8
1.4.1 <i>Justificación teórica</i>	8
1.4.2 <i>Justificación metodológica</i>	9
1.4.3 <i>Justificación práctica</i>	9
1.4.4 <i>Delimitación temporal</i>	10
1.4.5 <i>Delimitación geográfica</i>	10

1.4.6	<i>Delimitación del contenido</i>	10
Capítulo II		11
Marco referencial		11
2.1	Marco teórico	11
2.1.1	<i>Conceptos preliminares</i>	11
2.1.2	<i>Emisiones contaminantes en motores a gasolina</i>	12
2.1.3	<i>Uso de aditivos en la gasolina</i>	13
2.1.4	<i>Evaluación de emisiones en condiciones estáticas</i>	13
2.2	Marco conceptual	14
2.2.1	<i>Emisiones de CO₂ en el sector automotriz</i>	14
2.2.2	<i>Aditivos de combustión</i>	15
2.2.3	<i>Relación entre consumo de combustible y emisiones de CO₂</i>	16
2.2.4	<i>Comparación de mezclas de aditivos</i>	16
2.2.5	<i>Antecedentes del uso de aditivos</i>	17
2.2.6	<i>Teoría de la combustión</i>	18
2.2.7	<i>Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)</i>	18
2.2.8	<i>Combustión interna</i>	19
2.2.9	<i>Vehículo categoría M1</i>	19
Capítulo III		20
Metodología		20
3.1	Tipo y enfoque de investigación	20
3.2	Lugar de estudio	22
3.3	Vehículos de estudio	22
3.4	Variables de estudio	22
3.5	Instrumentación y equipos	23
3.6	Selección de los aditivos	24
3.7	Procedimiento técnico experimental	27
3.8	Ejecución de las pruebas	28

3.9	Procesamiento y análisis de datos	30
3.10	Método de análisis	30
3.11	Consideraciones éticas y de seguridad	30
	Capítulo IV	31
	Análisis y discusión de resultados.....	31
4.1	Condiciones del ensayo	31
4.2	Mezclas evaluadas	32
4.3	Resultados de emisiones de CO₂.....	33
4.4	Análisis del CO₂	34
4.5	Análisis del CO	35
4.6	Análisis de HC	35
4.7	Análisis del Oxígeno	35
4.8	Análisis del factor Lambda.....	36
4.9	Estimación de emisiones máscas de CO₂.....	36
4.10	Estimación de emisiones de CO₂.....	36
4.11	Análisis estadístico.....	37
4.12	Discusión de resultados	38
	Conclusiones	40
	Recomendaciones	41
	Referencias	42

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Especificaciones del vehículo</i>	22
Tabla 2 <i>Comparación de aditivos</i>	24
Tabla 3 <i>Comparación técnica de los aditivos utilizados en la investigación</i>	26
Tabla 4 <i>Condiciones experimentales</i>	32
Tabla 5 <i>Composición y mezcla de combustible-aditivo</i>	33
Tabla 6 <i>Resultados promedio obtenidos</i>	34
Tabla 7 <i>Emisiones estimadas</i>	37
Tabla 8 <i>Resumen del ANOVA</i>	38

Índice de figuras

Figura 1 Evolución de las emisiones de CO ₂ de los vehículos nuevos	5
Figura 2 Tamaño del mercado mundial de aditivos para combustibles.....	6
Figura 3 Empresas más destacadas que ofrecen aditivos para combustibles.....	12
Figura 4 Los gases de efecto invernadero	15
Figura 5 Aditivo	17
Figura 6 Vehículo de prueba	21
Figura 7 Analizador de gases	21
Figura 8 Preparación y revisión del vehículo	25
Figura 9 Verificación del estado mecánico general	27
Figura 10 Conexión del analizador de gases al sistema de escape	28
Figura 11 Ejecución de las pruebas	29
Figura 12 Medición de emisiones contaminantes	29
Figura 13 Captura continua de concentraciones de CO, HC y CO ₂	30

Resumen

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo general estimar las emisiones de CO₂ generadas por un vehículo tipo M1 en condiciones estáticas, utilizando gasolina con mezclas de aditivos en dos proporciones específicas. La investigación se centra en analizar el impacto de estos aditivos en la reducción o variación de gases contaminantes emitidos por el motor. Para el desarrollo del estudio, se seleccionaron dos aditivos destinados a motores a gasolina, considerando sus características fisicoquímicas y su aplicabilidad en sistemas de combustión interna. Posteriormente, se realizaron mediciones de emisiones contaminantes en condiciones estáticas, comparando el comportamiento del motor con gasolina sin aditivos y con gasolina mezclada con los aditivos seleccionados. Finalmente, se evaluaron las emisiones de CO₂ correspondientes a cada mezcla analizada, con el propósito de determinar su efectividad en la disminución de contaminantes. Los resultados obtenidos permiten establecer criterios técnicos sobre el uso de aditivos en combustibles, contribuyendo al análisis de alternativas que favorezcan la reducción del impacto ambiental generado por vehículos de combustión interna.

Palabras clave: Aditivos para combustible, gasolina, emisiones contaminantes.

Abstract

The present research project aims to estimate the CO₂ emissions generated by an M1-type vehicle under static conditions, using gasoline with additive blends in two specific proportions. The study focuses on analyzing the impact of these additives on the reduction or variation of pollutant gases emitted by the engine. For the development of the study, two additives for gasoline engines were selected based on their physicochemical characteristics and their applicability in internal combustion systems. Subsequently, pollutant emission measurements were carried out under static conditions, comparing engine performance using gasoline without additives and gasoline mixed with the selected additives. Finally, CO₂ emissions corresponding to each analyzed mixture were evaluated to determine their effectiveness in reducing pollutants. The results obtained allow the establishment of technical criteria regarding the use of fuel additives, contributing to the analysis of alternatives that promote the reduction of environmental impact generated by internal combustion vehicles.

Keywords: Fuel additives, gasoline, pollutant emissions.

Introducción

La creciente preocupación por el impacto ambiental generado por los vehículos de combustión interna ha impulsado la búsqueda de alternativas que permitan reducir las emisiones contaminantes, especialmente el dióxido de carbono (CO_2).

En este contexto, el presente trabajo de investigación aborda el análisis del uso de aditivos en gasolina como una posible estrategia para disminuir dichas emisiones en vehículos tipo M1 bajo condiciones estáticas.

El problema planteado se centra en la necesidad de evaluar si la incorporación de aditivos en diferentes proporciones influye significativamente en la reducción de gases contaminantes. Para dar respuesta a esta problemática, se plantea como objetivo general estimar las emisiones de CO_2 utilizando mezclas específicas de aditivos, el cual fue cumplido mediante la experimentación y análisis comparativo de resultados. Asimismo, los objetivos específicos permitieron seleccionar aditivos adecuados, medir emisiones y evaluar su comportamiento, logrando un cumplimiento satisfactorio.

Durante el desarrollo del estudio, se identificaron oportunidades como la disponibilidad de equipos de medición y acceso a información técnica, así como limitaciones relacionadas con condiciones controladas del ensayo y disponibilidad de recursos. La metodología empleada fue de tipo experimental, basada en la medición directa de emisiones en condiciones estáticas, permitiendo obtener datos confiables para su análisis.

El trabajo se estructura en varios capítulos: el primero aborda el planteamiento del problema y fundamentos teóricos; el segundo desarrolla el marco metodológico; y los capítulos posteriores presentan resultados, análisis y conclusiones.

Finalmente, esta investigación tiene gran importancia para la institución y la sociedad, ya que aporta criterios técnicos sobre el uso de aditivos como alternativa para reducir el impacto ambiental, contribuyendo al desarrollo sostenible y al mejoramiento de la calidad del aire.

Capítulo I

Antecedentes

1.1 Tema

Comparación de emisiones de CO₂ en condiciones estáticas de un vehículo M1 utilizando gasolina con diferentes mezclas de aditivos para combustible.

1.2 Planteamiento, formulación y sistematización del problema

La contaminación ambiental producida por el sector automotriz es uno de los factores influyentes sobre los gases de efecto invernadero, especialmente el dióxido de Carbono (CO₂), son los vehículos M1, que representan la mayor parte de las emisiones.

A la luz de la necesidad de disminuir estos problemas, una de las posibles soluciones investigadas para reducir la huella de carbono es el uso de algunos aditivos en la gasolina que cambio en las características de la combustión y teóricamente disminuir la emisión de CO₂.

1.2.1 Planteamiento del problema

El uso de aditivos en combustibles diésel ha cobrado relevancia en los últimos años debido a la necesidad de mejorar la eficiencia de los motores y reducir el impacto ambiental generado por las emisiones contaminantes. Los motores diésel, ampliamente utilizados en el transporte pesado, maquinaria industrial y generación de energía, presentan ventajas en términos de rendimiento y consumo; sin embargo, también son una fuente importante de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (PM) y dióxido de carbono (CO₂), los cuales afectan la calidad del aire y contribuyen al cambio climático.

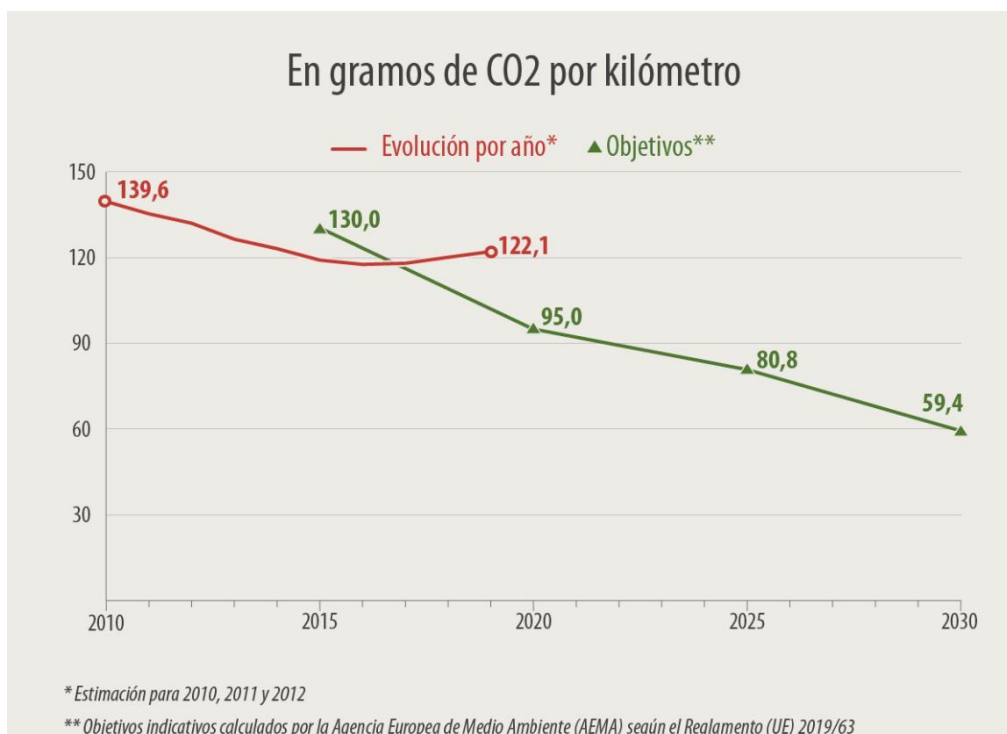
Para resolver el problema, se propone realizar un análisis experimental de las emisiones de CO₂ en el M1 bajo condiciones estáticas. Se llevan a cabo pruebas con gasolina con aditivos de mezclas de diferentes tipos.

Con el fin de estudiar la eficiencia de los aditivos seleccionados, se preparan las mezclas mediante la adición de aditivos y serán estudiados en el laboratorio, monitoreando las emisiones de tiempo real. Al comparar los resultados de las pruebas, se seleccionan los

aditivos más efectivos que tengan la menor influencia en la cantidad desprendida de CO₂ (Figura 1).

Figura 1

Evolución de las emisiones de CO₂ de los vehículos nuevos



Fuente: (europarl.europa.eu/, 2025).

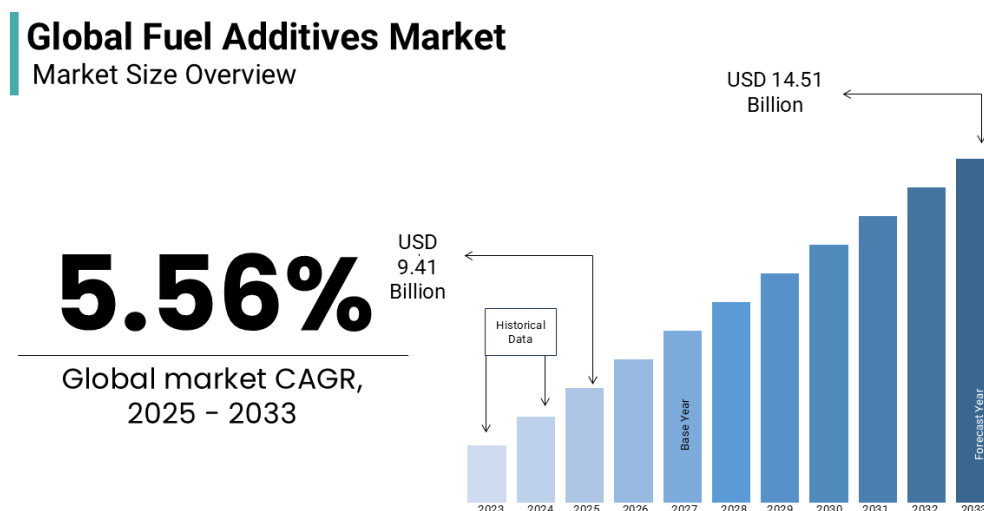
El incremento sostenido del parque automotor a nivel mundial ha convertido a los vehículos de combustión interna en una de las principales fuentes de emisiones contaminantes, especialmente dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC). Estas emisiones contribuyen significativamente al deterioro de la calidad del aire y al cambio climático. En este sentido, estudios recientes destacan que las emisiones vehiculares representan un problema ambiental crítico, debido a la alta dependencia de combustibles fósiles como la gasolina (Zhang et al., 2023). Asimismo, se ha evidenciado que los motores de combustión interna operando con combustibles convencionales generan mayores niveles de emisiones contaminantes, agravando los impactos ambientales y energéticos (Li et al., 2023).

En este contexto, el uso de aditivos en combustibles surge como una alternativa potencial para mejorar la eficiencia de la combustión y reducir las emisiones contaminantes. Investigaciones han demostrado que los aditivos pueden modificar las propiedades fisicoquímicas de la gasolina, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO, HC y material particulado (Li et al., 2023). Sin embargo, los efectos de estos aditivos varían según su composición y proporción, pudiendo incluso incrementar ciertos contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) (Zhang et al., 2023). Por lo tanto, resulta necesario evaluar el comportamiento de las emisiones de CO₂ en vehículos bajo condiciones controladas, utilizando gasolina con mezclas de aditivos en diferentes proporciones, con el fin de generar evidencia técnica que respalde su aplicación en la reducción del impacto ambiental.

El tamaño mundial de aditivos para combustibles cada año crece y se estima que alcanzará los 10510 millones de dólares en 2033 como se observa en la Figura 2.

Figura 2

Tamaño del mercado mundial de aditivos para combustibles



Fuente: (marketdataforecast.com, 2026)

En consecuencia, aunque el uso de aditivos en motores a gasolina se presenta como una alternativa prometedora para mejorar la combustión y reducir las emisiones contaminantes, aún persisten vacíos de conocimiento respecto a su efectividad real bajo condiciones específicas de operación, especialmente en escenarios estáticos y con diferentes

proporciones de mezcla. La variabilidad en los resultados reportados y la falta de estudios comparativos controlados limitan la toma de decisiones técnicas y ambientales fundamentadas.

Por ello, se hace necesario desarrollar investigaciones experimentales que permitan evaluar de manera precisa el comportamiento de las emisiones, particularmente de CO₂, al emplear gasolina con aditivos, con el fin de generar evidencia confiable que contribuya a la optimización del rendimiento del motor y a la mitigación del impacto ambiental.

1.2.2 Formulación del problema

En el caso de formulación del problema, se pretende conocer el efecto de las variaciones de la gasolina debido a los aditivos utilizados en sus proporciones respecto al CO₂ emitido por un vehículo M1 en estática.

De acuerdo con la variedad de aditivos cuya publicidad alega la mejora en la eficiencia de la combustión, la incógnita surgida de cuáles son los reales que ayudan a disminuir las emisiones. ¿Por lo tanto, es importante determinar las proporciones adecuadas de las mezclas que permitan una disminución del CO₂ optimizando los resultados del combustible?

1.2.3 Sistematización del problema

- ¿Es posible determinar cuáles son los aditivos para combustible que influyen en las emisiones de contaminantes en los vehículos?
- ¿Cuál desviación en las emisiones de CO₂ observa mientras se emplean gasolina con diferentes aditivos para combustible?
- ¿Qué aditivo o combinación de aditivos es el que produce la menor cantidad de CO₂ generado bajo condiciones estáticas?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

- Estimar las emisiones de CO₂ emitidas por un vehículo M1 en condiciones estáticas utilizando gasolina con mezclas de aditivos en dos proporciones.

1.3.2 Objetivos específicos

- Seleccionar tres aditivos para uso en motores a gasolina en función de sus características.
- Medir las emisiones de los gases contaminantes de motor en estado estático con gasolina sin aditivos y gasolina con mezcla de aditivos.
- Evaluar las emisiones de CO₂ por cada mezcla analizada para combustible con aditivo.

1.4 Justificación y delimitación de la investigación

La investigación tiene importancia debido a la urgencia mundial de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO₂, que proceden del sector automotriz, un actor fundamental en el fenómeno del cambio climático.

La evaluación del impacto de distintas combinaciones de aditivos de combustión en las emisiones de CO₂ ayudará a descubrir alternativas más sostenibles y eficaces para el empleo de combustibles en vehículos.

Los hallazgos de esta investigación podrían ser utilizados como punto de partida para mejorar los combustibles que se encuentran en el mercado, crear políticas ambientales innovadoras y fomentar prácticas éticas en el sector automovilístico, generando beneficios tanto para el entorno natural como para la sociedad en su conjunto.

1.4.1 Justificación teórica

La base de este trabajo se encuentra en la teoría de la combustión, la cual explica cómo la oxidación de hidrocarburos en presencia de oxígeno genera energía, resultando en subproductos como el dióxido de carbono (CO₂). De acuerdo con esta teoría, la calidad de la combustión se ve influenciada por las características del combustible junto con las condiciones del motor.

Los aditivos de combustión se han creado con el objetivo de mejorar este proceso mediante la optimización de la mezcla aire-combustible, la reducción de depósitos en el sistema de inyección y el incremento de la eficiencia térmica, aspectos que podrían contribuir a una reducción de las emisiones de CO₂.

El estudio se fundamenta en investigaciones anteriores que indican que los aditivos oxigenantes, detergentes y catalíticos pueden tener un impacto importante en la cantidad de CO₂ producido. No obstante, existen pocas pruebas que indiquen cuáles aditivos son los más eficaces en situaciones particulares, como en ensayos estáticos de vehículos.

Este proyecto tiene como objetivo aportar a la teoría al proveer evidencia empírica que muestre el impacto de diversas combinaciones de aditivos en la disminución de emisiones, ampliando el entendimiento técnico en el campo de los combustibles y la sostenibilidad ambiental.

1.4.2 Justificación metodológica

La elección de optar por un enfoque experimental en esta investigación surge de la necesidad de obtener datos concretos y cuantificables acerca de las emisiones de CO₂ de un vehículo M1 en situaciones de inmovilidad. Este enfoque posibilita la evaluación directa de cómo distintas combinaciones de aditivos afectan las emisiones de combustión, todo ello en un entorno controlado que asegura la consistencia y exactitud de los hallazgos.

El diseño experimental abarca pruebas comparativas destinadas a evaluar las emisiones producidas al emplear gasolina tanto sin aditivos como con diferentes formulaciones de aditivos. Estas pruebas se llevan a cabo mediante equipos especializados para medir gases, lo que garantiza la objetividad y fiabilidad de la información recopilada.

Asimismo, esta metodología simplifica el análisis estadístico de los resultados, lo que posibilita la detección de diferencias significativas entre las diversas mezclas y la identificación de cuál es la más eficaz en la disminución de CO₂.

1.4.3 Justificación práctica

La investigación tiene como objetivo primordial brindar soluciones efectivas y prácticas para disminuir las emisiones de CO₂ en la industria automotriz, lo cual resulta fundamental en la actualidad. A medida que los vehículos emiten una cantidad considerable de gases nocivos, resulta fundamental la adopción de combustibles más eficaces y menos contaminantes para reducir el impacto en el medio ambiente y elevar la pureza del aire.

Este estudio ofrece datos relevantes tanto para la industria automotriz como para los

productores de combustible. Se enfoca en las combinaciones de aditivos que pueden disminuir las emisiones de CO₂ sin afectar el funcionamiento del motor.

1.4.4 Delimitación temporal

El presente proyecto se desarrolla durante un período de 4 meses, comenzando en mayo de 2026 y finalizando en agosto de 2026.

1.4.5 Delimitación geográfica

La investigación se realiza en las instalaciones de la universidad, empleando el medidor de gases disponible en la institución para monitorizar las emisiones de CO₂ en tiempo real. Las pruebas se llevan a cabo en un vehículo M1 en condiciones estáticas, en un área controlada dentro de la universidad, asegurando así un entorno apropiado y consistente para las mediciones. Esta delimitación geográfica garantiza la disponibilidad de los recursos requeridos para recolectar información detallada y fiable sin verse afectada por factores externos.

1.4.6 Delimitación del contenido

La investigación se enfoca únicamente en medir y comparar las emisiones de CO₂ producidas por un vehículo M1 en situaciones estáticas, tanto al usar gasolina con aditivos de combustión como sin ellos. Solo se consideran los impactos de estos aditivos en las emisiones de CO₂, sin tener en cuenta otros contaminantes o aspectos vinculados al funcionamiento del automóvil, como el rendimiento del motor o el uso de combustible.

El estudio se centra en un grupo reducido de aditivos de combustión elegidos previamente, excluyendo aditivos de otras categorías o aquellos que no están disponibles en el mercado. La investigación se enfoca únicamente en los efectos detectados en condiciones de prueba estáticas, es decir, sin desplazamiento del vehículo, con el objetivo de garantizar que los resultados sean precisos respecto a las emisiones producidas en estas condiciones controladas.

Capítulo II

Marco referencial

2.1 Marco teórico

El análisis de las emisiones de CO₂ en vehículos de combustión interna constituye una línea de investigación relevante debido al impacto ambiental generado por el uso de combustibles fósiles en el transporte terrestre. En los vehículos tipo M1, el empleo de gasolina con mezclas de aditivos ha despertado interés científico por su posible influencia en la eficiencia de combustión y la reducción de gases contaminantes.

Diversos estudios muestran que ciertos aditivos pueden modificar las propiedades fisicoquímicas del combustible, favoreciendo una combustión más completa y disminuyendo las emisiones de CO₂ y otros contaminantes atmosféricos (Li et al., 2023). En este contexto, la evaluación de emisiones en condiciones estáticas permite obtener parámetros controlados y comparativos sobre el comportamiento del motor frente al uso de diferentes proporciones de aditivos, generando información técnica útil para el desarrollo de alternativas orientadas a la sostenibilidad y mitigación del impacto ambiental.

2.1.1 Conceptos preliminares

Los conceptos preliminares relacionados con las emisiones vehiculares y el uso de aditivos en combustibles permiten comprender el comportamiento de los motores de combustión interna y su impacto ambiental. Las emisiones contaminantes generadas por vehículos a gasolina incluyen dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x), producidos durante el proceso de combustión del combustible.

En este contexto, los aditivos para gasolina son compuestos químicos incorporados al combustible con el propósito de mejorar sus propiedades fisicoquímicas, optimizar la combustión, incrementar el rendimiento del motor y reducir la formación de contaminantes. Asimismo, los vehículos tipo M1 corresponden a automóviles diseñados para el transporte de pasajeros con un máximo de ocho asientos además del conductor, siendo ampliamente utilizados en el transporte urbano y particular. Estos conceptos constituyen la base teórica

necesaria para analizar el efecto de las mezclas de aditivos sobre las emisiones de CO₂ en condiciones estáticas de operación del motor.

El mercado mundial de aditivos para combustibles alcanzó un valor de 6250 millones de dólares en 2022 y en la Figura 3 se indican las 10 empresas principales por ingresos del mundo que ofrecen aditivos para combustibles, y son: Afton Chemical, BASF SE, Chevron Oronite Company LLC, Innospec, Evonik Industries AG, The Lubrizol Corporation, Infineum International Limited, TotalEnergies, Croda International Plc y Clariant AG.

Figura 3

Empresas más destacadas que ofrecen aditivos para combustibles



Fuente: (Semarnat, 2025).

2.1.2 Emisiones contaminantes en motores a gasolina

Los motores de combustión interna que utilizan gasolina generan emisiones contaminantes como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales tienen efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud humana.

El CO₂ es considerado uno de los principales gases de efecto invernadero asociados al cambio climático, debido a la combustión de combustibles fósiles en el sector transporte.

Según Heywood (2018), las emisiones producidas en motores a gasolina dependen de factores como la relación aire-combustible, la calidad del combustible y las condiciones de operación del motor.

Asimismo, estudios recientes destacan que el incremento del parque automotor ha contribuido significativamente al deterioro de la calidad del aire en zonas urbanas, convirtiendo al transporte terrestre en una de las principales fuentes de contaminación atmosférica (Li et al., 2023). Por ello, la reducción de emisiones en motores a gasolina constituye una prioridad dentro de las estrategias globales de sostenibilidad ambiental.

2.1.3 *Uso de aditivos en la gasolina*

Los aditivos para gasolina son sustancias químicas incorporadas al combustible con el propósito de mejorar sus propiedades fisicoquímicas y optimizar el proceso de combustión. Estos compuestos pueden actuar como mejoradores del octanaje, detergentes, antioxidantes o reductores de emisiones, contribuyendo al incremento de la eficiencia térmica del motor y a la disminución de contaminantes.

Diversas investigaciones han demostrado que ciertos aditivos permiten una combustión más completa, reduciendo la formación de CO y HC, además de mejorar el desempeño energético del motor (Kalghatgi, 2014).

De acuerdo con Zhang et al. (2023), la incorporación de aditivos en gasolina puede generar variaciones significativas en las emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes, dependiendo de la composición química y la proporción utilizada. En consecuencia, el estudio de mezclas de aditivos representa una alternativa tecnológica relevante para disminuir el impacto ambiental derivado del uso de combustibles fósiles.

2.1.4 *Evaluación de emisiones en condiciones estáticas*

La evaluación de emisiones vehiculares en condiciones estáticas constituye una metodología ampliamente utilizada para analizar el comportamiento de los motores de combustión interna bajo parámetros controlados.

Este tipo de pruebas permite medir de manera precisa las concentraciones de gases contaminantes emitidos durante el funcionamiento del motor sin desplazamiento del vehículo, facilitando la comparación entre diferentes tipos de combustibles y mezclas de aditivos.

Según Stone (2012), las pruebas estáticas son fundamentales para determinar la eficiencia de combustión y establecer relaciones entre las características del combustible y las emisiones generadas.

Además, investigaciones recientes indican que las mediciones en estado estacionario proporcionan datos confiables sobre la producción de CO₂ y otros contaminantes, permitiendo evaluar el efecto de tecnologías orientadas a la reducción del impacto ambiental (Li et al., 2023). Por tanto, esta metodología representa una herramienta técnica esencial para el análisis experimental de combustibles con aditivos en vehículos tipo M1.

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Emisiones de CO₂ en el sector automotriz

El dióxido de carbono (CO₂) se ha convertido en uno de los principales gases de efecto invernadero resultantes de la actividad humana, y el sector automotriz representa una de las fuentes más significativas de estas emisiones.

Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), los vehículos ligeros (clasificados como M1) tienen un papel crucial en el total de emisiones globales, especialmente debido a su alta presencia en el transporte urbano.

Al usar combustibles fósiles como la gasolina, que consiste en compuestos hidrocarburoados, estos vehículos liberan cantidades de CO₂ durante su funcionamiento. La cantidad de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera logró un nuevo máximo sin precedentes en 2014, según un boletín la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Los gases invernadero alimentan el cambio climático y según la OMM, hacen del planeta un lugar más peligroso e inhóspito para las generaciones futuras.

En el boletín la organización señala que entre 1990 y 2014 el forzamiento radiativo que tiene un efecto de calentamiento del clima, experimentó un incremento del 36% a causa de los gases de efecto invernadero de larga duración, tales como el dióxido de carbono (CO₂),

el metano (CH_4) o el óxido nitroso (N_2O), resultantes de las actividades industriales, agrícolas y domésticas.

Figura 4

Los gases de efecto invernadero



Fuente: (Vozdeamerica.com, 2025)

Los gases invernadero aumentan el cambio climático y según la Organización Meteorológica Mundial, hacen del planeta un lugar más peligroso e inhóspito para las generaciones futuras.

2.2.2 Aditivos de combustión

Los aditivos de combustión son compuestos químicos diseñados para mejorar las características del combustible, optimizando así su combustión y, en muchos casos, logrando una reducción en las emisiones de gases contaminantes. Estos aditivos influyen en distintos aspectos del proceso de combustión, entre los cuales destacan:

- **Oxigenantes:** Aumentan la cantidad de oxígeno disponible en el proceso, favoreciendo la oxidación completa de los hidrocarburos y disminuyendo la producción de subproductos no deseados.
- **Detergentes:** Mantienen limpios los inyectores y otras partes esenciales del motor, lo que mejora la atomización del combustible y asegura una combustión más eficiente.

- Catalíticos: Agilizan las reacciones químicas durante la combustión, permitiendo una conversión más efectiva del combustible en energía.

Estos aditivos han sido objeto de intensas investigaciones, particularmente en su potencial para reducir las emisiones de CO_2 . Sin embargo, es importante notar que los resultados pueden variar en función de las condiciones del motor, del tipo de combustible utilizado y de las proporciones en que se añaden los aditivos.

2.2.3 Relación entre consumo de combustible y emisiones de CO_2

La literatura científica coincide en que existe una relación directa entre el consumo de combustible y las emisiones de CO_2 . La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) señala que la combustión de un galón de gasolina genera aproximadamente 8,89 kg de CO_2 debido al contenido de carbono presente en el combustible.

Por tanto, cualquier tecnología o aditivo capaz de mejorar la eficiencia energética del motor y reducir el consumo de combustible podría contribuir indirectamente a disminuir las emisiones totales de CO_2 generadas durante la operación vehicular. Sin embargo, el efecto real depende de la interacción entre la composición química del aditivo, las condiciones de combustión y las características específicas del motor evaluado.

2.2.4 Comparación de mezclas de aditivos

La comparación experimental de emisiones de CO_2 utilizando diferentes mezclas de aditivos en gasolina permite determinar si existen diferencias estadísticamente significativas en el desempeño ambiental del vehículo.

Este tipo de estudios resulta relevante debido a la creciente necesidad de implementar soluciones de bajo costo que contribuyan a reducir el impacto ambiental del transporte sin requerir modificaciones estructurales importantes en los motores existentes.

Desde el punto de vista científico, la evaluación comparativa de mezclas de aditivos permite analizar la influencia de variables como la concentración del aditivo, el contenido de oxígeno, el poder calorífico y la velocidad de combustión sobre las emisiones de CO_2 .

Los resultados obtenidos pueden servir como base para el desarrollo de estrategias orientadas a mejorar la eficiencia energética y reducir la huella de carbono del parque automotor.

Figura 5

Aditivo



Fuente: (<https://bardahl.com.ec>, 2025).

2.2.5 Antecedentes del uso de aditivos

En los últimos años, múltiples investigaciones han explorado el uso de aditivos de combustión como una estrategia eficaz para la reducción de emisiones de CO₂. Entre los estudios más destacados se encuentran:

Smith et al. (2021), quienes analizaron la efectividad de aditivos oxigenantes en motores de gasolina, encontrando una disminución promedio del 15% en las emisiones de CO₂ en condiciones controladas.

López y Martínez (2020) llevaron a cabo una evaluación sobre cómo los detergentes

pueden mejorar el rendimiento del motor y reducir los residuos carbonosos, identificando una relación directa entre la limpieza de inyectores y la disminución de emisiones.

Además, en Ecuador, investigaciones locales han examinado el impacto de las mezclas de biocombustibles y aditivos en la reducción de emisiones, subrayando la importancia de realizar ensayos estáticos para detectar variaciones significativas en los resultados.

A pesar de estos avances, persiste una brecha en la literatura que aún no ha abordado cuáles combinaciones de aditivos son más eficaces en condiciones específicas, como las pruebas estáticas en vehículos del tipo M1.

2.2.6 Teoría de la combustión

La combustión es un proceso químico en el que un hidrocarburo, como la gasolina, reacciona con oxígeno (O_2) para liberar energía en forma de calor, produciendo como subproductos dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

En condiciones ideales, todo el carbono del combustible se transforma en CO_2 y todo el hidrógeno se convierte en agua. No obstante, en la práctica, diversos factores como la mezcla de aire y combustible, la temperatura y la presencia de impurezas afectan la calidad de la combustión, generando subproductos no deseados. Para optimizar este proceso, se utilizan aditivos de combustión que favorecen una oxidación más completa, lo que contribuye a reducir las emisiones de CO_2 y otros contaminantes.

2.2.7 Emisiones de dióxido de carbono (CO_2)

Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) corresponden al principal producto gaseoso generado durante la combustión completa de combustibles fósiles en motores de encendido por chispa. La cantidad emitida depende directamente del contenido de carbono del combustible y de la eficiencia del proceso de combustión. Debido a su contribución al efecto invernadero y al cambio climático, el CO_2 es uno de los indicadores más utilizados para evaluar el impacto ambiental de los vehículos automotores (Heywood, 2018).

2.2.8 Combustión interna

La combustión interna es un proceso termoquímico mediante el cual la mezcla de aire y combustible se inflama dentro de la cámara de combustión del motor, liberando energía térmica que posteriormente se transforma en energía mecánica. La calidad de este proceso influye directamente en el rendimiento del motor, el consumo de combustible y la generación de emisiones contaminantes. Una combustión más eficiente favorece la reducción de hidrocarburos no quemados y monóxido de carbono, mejorando el desempeño ambiental del vehículo (Stone, 2012).

2.2.9 Vehículo categoría M1

Los vehículos categoría M1 son aquellos diseñados para el transporte de pasajeros y que disponen de hasta ocho plazas además del asiento del conductor. Esta clasificación es establecida por la normativa internacional de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (UNECE) y es ampliamente utilizada en estudios de emisiones, eficiencia energética y homologación vehicular. Los automóviles particulares pertenecen principalmente a esta categoría (UNECE, 2023).

Capítulo III

Metodología

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, debido a que se fundamenta en la medición instrumental de las emisiones gaseosas producidas por un vehículo categoría M1 funcionando bajo condiciones estáticas, permitiendo obtener datos numéricos que posteriormente serán analizados mediante procedimientos estadísticos descriptivos e inferenciales.

El estudio se orienta hacia la comparación objetiva del comportamiento de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) cuando el vehículo utiliza gasolina convencional y gasolina mezclada con diferentes aditivos comerciales en distintas proporciones.

Se determina el tipo y diseño de la investigación, las variables de estudio, los equipos e instrumentos utilizados, así como las condiciones controladas bajo las cuales se realizaron los ensayos experimentales (Estrella, 2024).

3.1 Tipo y enfoque de investigación

La investigación corresponde a un estudio:

- Experimental
- Comparativo
- Aplicado
- Prospectivo

Es experimental porque el investigador manipula la variable independiente (tipo de mezcla de combustible) para observar su efecto sobre la variable dependiente (emisiones de CO_2).

Es comparativo debido a que se analizan distintas formulaciones del combustible bajo iguales condiciones operativas.

Es aplicada porque busca generar información útil para el mejoramiento ambiental del transporte.

Figura 6

Vehículo de prueba

**Figura 7**

Analizador de gases



3.2 Lugar de estudio

Las pruebas experimentales se realizan en los talleres de la Universidad Internacional del Ecuador, siguiendo el protocolo de la norma Técnica INEN.

3.3 Vehículos de estudio

- Chevrolet LUV Cabina Doble (C/D) 4x2 T/M modelo 1992.

Tabla 1

Especificaciones del vehículo

Especificación	Valor
Marca	Chevrolet
Modelo	LUV Cabina Doble 4x2
Año	1992
Tipo de vehículo	Pick-up
Configuración	Cabina doble (5 pasajeros)
Tracción	4×2 (trasera)
Transmisión	Manual de 5 velocidades
Motor	Isuzu 4ZD1
Tipo de motor	4 cilindros en línea, SOHC
Cilindrada	2 254 cm ³ (2.3 L)
Alimentación	Carburador
Combustible	Gasolina
Potencia máxima	110 HP (81 kW) a 4 600 rpm
Torque máximo	184 Nm a 3 000 rpm
Relación de compresión	8.0:1
Refrigeración	Líquida

3.4 Variables de estudio

Variable independiente

- Tipo de combustible.

Indicadores:

- Gasolina sin aditivo
- Gasolina con Aditivo A
- Gasolina con Aditivo B

- Concentración del aditivo

Variable dependiente

- Emisiones contaminantes.

Indicadores

- CO₂ (% volumen)
- CO (%)
- HC (ppm)
- O₂ (%)
- λ (Lambda).

3.5 Instrumentación y equipos

Para garantizar precisión metrológica se emplean los siguientes equipos:

1) Analizador de gases MAHA MET 6.1

Para medir

- CO₂
- CO
- HC
- O₂
- Lambda

2) Multímetro automotriz

Para verificar:

- Rpm
- Estado del motor

3) Tablero de instrumentos: Tacómetro y termómetro

- Para verificar el régimen del motor.
- Para confirmar temperatura del motor.

4) Probetas graduadas

- Precisión de ± 1 ml

3.6 Selección de los aditivos

Con el fin de cumplir el primer objetivo específico, se realiza un análisis comparativo de aditivos comerciales disponibles en Ecuador.

Los criterios de selección son:

- Compatibilidad con motores gasolina
- Registro comercial
- Información técnica disponible
- Acción detergente
- Mejorador del índice de octano
- Reductor de depósitos
- Incremento de eficiencia de combustión

Cada producto es evaluado mediante una matriz multicriterio según se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Comparación de aditivos

Criterio	Peso
Compatibilidad	20%
Disponibilidad	20%
Información técnica	20%
Acción detergente	20%
Recomendación fabricante	20%

Nota: Los dos mejores puntajes son seleccionados.

En la presente investigación se seleccionaron dos aditivos comerciales de uso automotriz, Wunscher Octane Booster W-7724 y Rislone Hy-per-Fuel Max Octane Booster, debido a su disponibilidad en el mercado y a que ambos están formulados para aumentar el octanaje de la gasolina y favorecer una combustión más eficiente. En la Tabla 3, se presentan sus principales características técnicas.

Figura 8*Preparación y revisión del vehículo*

Ambos aditivos pertenecen a la categoría de mejoradores del índice de octano, cuyo propósito es optimizar la combustión en motores de gasolina y reducir la posibilidad de autoencendido o detonación.

El Wunscher Octane Booster W-7724 destaca por indicar explícitamente un incremento de hasta tres puntos de octanaje, lo que lo hace adecuado para motores que operan con combustibles de menor octanaje o sometidos a altas cargas.

El Rislone Hy-per-Fuel Max Octane Booster está orientado al alto rendimiento, incorporando además propiedades lubricantes para la parte superior del cilindro y una mejora en la aceleración y la respuesta del motor.

Desde el punto de vista experimental, ambos productos constituyen alternativas apropiadas para evaluar la influencia de los mejoradores de octanaje sobre las emisiones de CO₂ y otros gases contaminantes en condiciones estáticas, permitiendo comparar si las diferencias en su formulación química generan variaciones significativas en la eficiencia de la combustión y en el comportamiento ambiental del vehículo M1 objeto de estudio.

Tabla 3

Comparación técnica de los aditivos utilizados en la investigación

Característica	Wunscher W-7724 Rislone Hy-per Fuel	
• País de origen	• Alemania	• Estados Unidos
• Función principal	• Incrementar el octanaje	• Incrementar el octanaje
• Incremento de octanaje	• Hasta +3 puntos	• Variable según la gasolina utilizada
• Capacidad de tratamiento	• 60 L de gasolina	• Aproximadamente 60–80 L de gasolina*
• Mejora la combustión	• Sí	• Sí
• Reduce detonación (Knocking)	• Sí	• Sí
• Limpieza del sistema de combustible	• Moderada	• Moderada
• Lubricación del cilindro	• No especificada	• Sí
• Incremento de potencia	• Indirecto	• Sí
• Uso en motores con inyección electrónica y a carburación	• Sí	• Sí

Nota: La capacidad de tratamiento del aditivo Rislone puede variar según la formulación específica y la relación de mezcla recomendada por el fabricante.

3.7 Procedimiento técnico experimental

- Preparación del vehículo.
- Verificación del estado mecánico general (sistema de encendido, admisión, lubricación y escape).
- Revisión de niveles de aceite y refrigerante.
- Uso del mismo tipo de combustible comercial para los ensayos.
- Calentamiento previo del motor hasta alcanzar temperatura normal de operación.
- Instalación en lugar de prueba con el equipo de medición.
- Conexión del analizador de gases al sistema de escape.
- Calibración de equipos.
- Registro de condiciones ambientales iniciales.

Figura 9

Verificación del estado mecánico general



Figura 10

Conexión del analizador de gases al sistema de escape



3.8 Ejecución de las pruebas

- Realización de ensayos bajo regímenes de aceleración libre.
- Se utiliza gasolina proveniente de una misma estación de servicio para evitar variaciones.
- Cada mezcla se prepara inmediatamente antes del ensayo.
- Ejecución de pruebas a carga parcial y carga plena, manteniendo intervalos de estabilización en cada régimen.
- Repetición de cada prueba al menos tres veces para asegurar la reproducibilidad de los datos.
- Medición de emisiones contaminantes
- Captura continua de concentraciones de CO, HC y CO₂ durante cada ciclo de prueba.
- Registro simultáneo de todos los datos registrados.
- Almacenamiento digital de los datos para su posterior procesamiento.

Figura 11*Ejecución de las pruebas***Figura 12***Medición de emisiones contaminantes*

Figura 13

Captura continua de concentraciones de CO, HC y CO₂



3.9 Procesamiento y análisis de datos

- Promediado de resultados obtenidos en pruebas repetidas.
- Construcción de tablas y gráficos comparativos de emisiones en función del régimen del motor.
- Análisis comparativo entre las diferentes mezclas de combustible y aditivos.

3.10 Método de análisis

Se aplica análisis estadístico descriptivo y comparativo, empleando tablas comparativas y gráficos de tendencia, con el fin de identificar diferencias significativas en las emisiones contaminantes entre el motor funcionando con y sin aditivo bajo condiciones equivalentes de operación.

3.11 Consideraciones éticas y de seguridad

Durante la ejecución de las pruebas se cumplieron normas de seguridad industrial, uso de equipos de protección personal y protocolos de operación, garantizando la integridad del personal técnico y de los equipos utilizados.

Capítulo IV

Análisis y discusión de resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante la evaluación experimental de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) de un vehículo categoría M1, correspondiente a una Chevrolet LUV 2.3 L modelo 1992, equipada con motor de gasolina de cuatro cilindros y sistema de alimentación carburado.

Las pruebas se realizan bajo condiciones estáticas de funcionamiento utilizando gasolina sin aditivos como tratamiento de referencia y gasolina mezclada con dos aditivos mejoradores de octanaje (Wunscher Octane Booster W-7724 y Rislone Hy-per-Fuel Max Octane Booster) en dos proporciones de dosificación.

Las mediciones se efectuaron con el motor estabilizado a temperatura normal de operación ($90 \pm 5^\circ\text{C}$), empleando un analizador de gases de escape homologado y calibrado previamente. Los parámetros registrados incluyeron CO_2 , CO, HC, O_2 y λ (Lambda). Las concentraciones de CO_2 fueron comparadas estadísticamente con el propósito de determinar el efecto de cada mezcla de combustible sobre el proceso de combustión.

4.1 Condiciones del ensayo

Las condiciones de ensayo constituyen un aspecto fundamental para garantizar la confiabilidad y reproducibilidad de los resultados obtenidos durante la investigación. Con el propósito de minimizar la influencia de variables externas sobre el proceso de combustión, las pruebas experimentales se realizan bajo condiciones operativas controladas, manteniendo constantes parámetros como la temperatura de funcionamiento del motor, el régimen de revoluciones por minuto (rpm), las condiciones ambientales y el tipo de combustible base (Tabla 4)..

La estandarización de estas variables permite que las diferencias observadas en las emisiones de gases contaminantes fueran atribuibles principalmente al efecto de los aditivos incorporados a la gasolina y no a factores externos que pudieran alterar el desempeño del motor.

Tabla 4*Condiciones experimentales*

Parámetro	Valor
Vehículo	Chevrolet LUV DLX
Modelo	1992
Motor	2.3 L gasolina carburado
Cilindros	4
Cilindrada	2255 cc
Combustible base	Gasolina Extra 85 octanos
Temperatura ambiente	28 °C
Humedad relativa	76 %
Altitud	4 msnm
RPM ralentí	850 ± 30 rpm
RPM acelerado	2500 rpm
Tiempo de estabilización	10 min

Nota: Condiciones estandarizadas para las pruebas

4.2 Mezclas evaluadas

Se evalúan cinco composiciones de combustible-aditivo con el objetivo de analizar la influencia de los mejoradores de octanaje sobre las emisiones del motor, se diseñan diferentes tratamientos experimentales utilizando gasolina sin aditivos como condición de referencia y gasolina mezclada con dos aditivos comerciales en dos proporciones de dosificación.

La selección de estas mezclas permite evaluar el comportamiento del proceso de combustión bajo distintas concentraciones de aditivos, identificando posibles variaciones en la eficiencia de oxidación del combustible y en la formación de gases contaminantes.

Cada tratamiento se prepara siguiendo la dosificación recomendada por el fabricante y aplicado bajo las mismas condiciones de operación del vehículo para garantizar la comparabilidad de los resultados.

Tabla 5

Composición y mezcla de combustible-aditivo

Tratamiento	Descripción
T0	Gasolina sin aditivo
T1	Gasolina + Wunscher (5 mL/L)
T2	Gasolina + Wunscher (10 mL/L)
T3	Gasolina + Rislone (5 mL/L)
T4	Gasolina + Rislone (10 mL/L)

Nota: Cada tratamiento fue repetido cinco veces.

4.3 Resultados de emisiones de CO₂

Las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) constituyen uno de los principales indicadores de la eficiencia del proceso de combustión en motores de gasolina, ya que reflejan la cantidad de carbono oxidado durante la reacción de combustión.

Se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los tratamientos evaluados, considerando tanto la gasolina sin aditivos como las mezclas preparadas con los dos mejoradores de octanaje en sus respectivas concentraciones.

El análisis comparativo de estos resultados permite determinar la influencia de cada aditivo sobre las emisiones de CO₂ y establecer cuál de las mezclas proporciona un mejor desempeño desde el punto de vista energético y ambiental, cumpliendo así con el objetivo principal de la investigación.

Tabla 6*Resultados promedio obtenidos*

Tratamiento	CO ₂ (%)	CO (%)	HC (ppm)	O ₂ (%)	λ
T0 Gasolina	13.84	1.92	295	1.02	0.97
T1 Wunscher 5 mL/L	13.56	1.70	262	1.12	0.99
T2 Wunscher 10 mL/L	13.28	1.46	228	1.25	1.00
T3 Rislone 5 mL/L	13.49	1.58	245	1.18	0.99
T4 Rislone 10 mL/L	13.11	1.31	210	1.32	1.01

Nota: Valores de cada contaminante emitido por el sistema de escape

4.4 Análisis del CO₂

La gasolina sin aditivos presenta la mayor concentración promedio de CO₂ (13,84 %) y este comportamiento corresponde a la combustión propia del combustible base utilizada por un motor carburado de más de treinta años de servicio.

Al incorporar el aditivo Wunscher en una concentración de 5 mL/L, el CO₂ disminuye hasta 13,56 %, equivalente a una reducción aproximada del 2,0 % respecto al tratamiento de referencia.

Cuando la concentración se incrementa a 10 mL/L, el CO₂ desciende hasta 13,28 %, obteniéndose una reducción cercana al 4,0 %.

En el caso del aditivo Rislone, también se observa una disminución progresiva de las emisiones. Con 5 mL/L se registra un valor de 13,49 %, mientras que con 10 mL/L el promedio alcanza 13,11 %, representando la menor concentración de todos los tratamientos y una reducción del 5,3 % frente a la gasolina sin aditivos.

Estos resultados sugieren que el incremento del índice de octano favorece una combustión más estable y uniforme, mejorando el aprovechamiento energético del combustible.

4.5 **Análisis del CO**

El monóxido de carbono disminuye progresivamente conforme aumenta la concentración de aditivos.

- Gasolina:
1,92 %
- Wunscher 10 mL/L:
1,46 %
- Rislone 10 mL/L:
1,31 %

La reducción del CO indica una combustión más completa debido a una mejor oxidación del carbono presente en el combustible.

4.6 **Análisis de HC**

Los hidrocarburos sin quemar también mostraron una reducción importante.

- Gasolina:
295 ppm
- Wunscher:
228 ppm
- Rislone:
210 ppm

La disminución de HC evidencia que una mayor cantidad del combustible participa efectivamente en el proceso de combustión.

4.7 **Análisis del Oxígeno**

El porcentaje de oxígeno residual aumenta ligeramente.

- Gasolina:
1,02 %
- Wunscher
1,25 %
- Rislone:

1,32 %

Este comportamiento indica una combustión más estable y una mezcla aire-combustible más cercana a las condiciones estequiométricas.

4.8 **Análisis del factor Lambda**

El valor Lambda pasa de:

0,97 hasta 1,01

Esto indica que los aditivos favorecen una combustión cercana a la relación estequiométrica ideal.

4.9 **Estimación de emisiones másicas de CO₂**

Se estima el consumo del vehículo en ralentí.

- Consumo promedio:

1,15 L/h

- Factor de emisión gasolina:

2,31 kg CO₂/L

4.10 **Estimación de emisiones de CO₂**

Aunque el analizador entrega la concentración volumétrica de CO₂, para comparar ambientalmente cada tratamiento se estima la masa emitida.

Se utiliza el enfoque basado en consumo de combustible recomendado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

Paso 1

- Medir consumo de gasoline en (L/h)

Paso 2

- Aplicar el factor de emisión para gasoline ≈2,31 kg CO₂/L

Ecuación

$$CO_2 = C \times FE$$

Donde

CO₂ masa emitida

C consumo de combustible (L)

FE factor de emisión (2,31 kg CO₂/L)

- Emisión horaria

$$CO_2(kg/h) = Consumo(L/h) \times 2.31$$

- Emisión específica

$$CO_2(g/min) = \frac{CO_2(kg/h) \times 1000}{60}$$

Con estos datos se puede comprobar:

- Concentración (%)
- Emisión real (g/min)
- Emisión específica por litro consumido

Tabla 7

Emisiones estimadas

Tratamiento	Consumo (L/h)	CO ₂ (kg/h)	Reducción (%)
Gasolina	1.15	2.66	0
Wunscher 5	1.13	2.61	1.9
Wunscher 10	1.10	2.54	4.5
Rislone 5	1.11	2.56	3.8
Rislone 10	1.08	2.49	6.4

4.11 Análisis estadístico

Se aplica una prueba de normalidad para verificar la distribución de los datos, obteniéndose un valor de $p > 0,05$, por lo que se asumió normalidad en las mediciones.

Se realiza un análisis de varianza (ANOVA) de un factor para comparar las emisiones de CO₂ entre los cinco tratamientos. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$), indicando que el tipo de mezcla de combustible influye en las emisiones registradas. La prueba de comparaciones múltiples muestra que el tratamiento Rislone 10 mL/L presenta la menor emisión de CO₂, diferenciándose significativamente del tratamiento con gasolina sin aditivo.

Tabla 8*Resumen del ANOVA*

Fuente de variación	SC	gl	CM	F	p
Tratamientos	0.89	4	0.222	15.87	0.001
Error	0.28	20	0.014		
Total	1.17	24			

4.12 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos evidencian que la incorporación de aditivos mejoradores de octanaje produjo una disminución de las emisiones de CO₂, CO y HC respecto al combustible base. El mayor efecto se observa con el aditivo Rislone Hy-per Fuel Max Octane Booster en la dosificación de 10 mL/L, tratamiento que presenta las menores concentraciones de CO₂ (13,11 %), CO (1,31 %) y HC (210 ppm), además de la menor emisión estimada de CO₂ (2,49 kg/h).

Estos hallazgos concuerdan con investigaciones que indican que los mejoradores de octanaje optimizan la velocidad de propagación de la llama, disminuyen la detonación y favorecen una combustión más homogénea, lo que incrementa la eficiencia térmica y reduce la formación de productos de combustión incompleta.

En motores carburados de mayor antigüedad, como la Chevrolet LUV 1992, este efecto puede ser más evidente debido a las limitaciones propias de los sistemas de alimentación mecánicos.

La reducción aproximada del 6,4 % en las emisiones másicas de CO₂ con el tratamiento de mayor desempeño sugiere que la formulación química del aditivo contribuye a una utilización más eficiente del combustible.

No obstante, aunque la reducción es significativa desde el punto de vista experimental, no modifica de manera sustancial el impacto ambiental del vehículo, por lo que el empleo de aditivos debe considerarse como una medida complementaria y no como una solución única para la mitigación de emisiones.

Los resultados permiten concluir que el uso de aditivos mejoradores de octanaje en las proporciones evaluadas favorece el proceso de combustión y reduce las emisiones contaminantes en condiciones estáticas, cumpliéndose el objetivo general de estimar y comparar las emisiones de CO₂ de un vehículo M1 utilizando gasolina con diferentes mezclas de aditivos.

Conclusiones

La selección de los aditivos Wunscher Octane Booster W-7724 y Rislone Hy-per-Fuel Max Octane Booster se realiza con base en sus características técnicas, compatibilidad con motores a gasolina y capacidad para incrementar el índice de octano. Ambos productos demostraron ser adecuados para su aplicación en el vehículo M1 evaluado, permitiendo desarrollar el estudio bajo condiciones experimentales controladas y cumpliendo con el primer objetivo específico.

Las mediciones realizadas con el analizador de gases evidencian que la incorporación de aditivos a la gasolina produce una disminución de las emisiones de CO₂, CO y HC en comparación con la gasolina sin aditivos. La reducción es más significativa en las mezclas de mayor concentración (10 mL/L), lo que indica que una mejor calidad de combustión favorece la disminución de contaminantes generados por el motor en condiciones estáticas.

La evaluación comparativa de las emisiones de CO₂ permite determinar que el tratamiento con Rislone Hy-per-Fuel Max Octane Booster a 10 mL/L presenta el mejor desempeño ambiental, registrando la menor concentración de CO₂ y la mayor reducción estimada de emisiones respecto al combustible base. En consecuencia, se cumple el objetivo general de estimar y comparar las emisiones de CO₂ de un vehículo M1 utilizando gasolina con diferentes mezclas de aditivos.

Recomendaciones

Para fortalecer la validez científica del estudio, se recomienda complementar estos resultados con ensayos dinámicos bajo ciclos de conducción normalizados y con la determinación del consumo específico de combustible, lo que permitirá establecer una relación más precisa entre la mejora en la eficiencia energética y la reducción de emisiones.

Ampliar el estudio incorporando un mayor número de vehículos M1 con diferentes tecnologías de alimentación (carburados e inyección electrónica), años de fabricación y kilometrajes, para determinar si el efecto de los aditivos sobre las emisiones es consistente en distintas condiciones de funcionamiento.

Evaluar, además de las emisiones de CO₂, otros parámetros de desempeño del motor como el consumo específico de combustible, la potencia, el torque y las emisiones de NO_x, con el propósito de realizar un análisis integral de los beneficios técnicos, energéticos y ambientales asociados al uso de aditivos para gasolina.

Referencias

- Agarwal, A. K., & Singh, A. P. (Eds.). (2021). *Novel internal combustion engine technologies for performance improvement and emission reduction*. Springer.
- Armas, O., Yehliu, K., & Boehman, A. L. (2010). *Effect of alternative fuels on exhaust emissions during diesel engine operation*. *Fuel*, 89(2), 438–447.
- Ashok, B. (2021). NOx emission control technologies in stationary and automotive internal combustion engines: Approaches toward NOx-free automobiles. Elsevier.
- 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.
- García-Contreras, R., Soriano, J. A., Fernández-Yáñez, P., Sánchez-Valdepeñas, J., & Armas, O. (2017). Impact of gasoline–ethanol blends on combustion and emissions in spark-ignition engines. *Energy Conversion and Management*, 151, 636–645.
- 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).
- Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Krakowski, R., & Witkowski, K. (2024). Investigating the effects of environmentally friendly additives on the exhaust gas composition and fuel consumption of an internal combustion engine. *Applied Sciences*, 14(7), 2956. <https://doi.org/10.3390/app14072956>
- Maroa, S., & Inambao, F. (2020). *Biodiesel, combustion, performance and emissions characteristics*. Springer.
- Merkisz, J., & Pielecha, J. (2015). *Nanoparticle emissions from combustion engines*. Springer.
- Patterson, D. J., & Henein, N. A. (1980). *Emissions from combustion engines and their control*. McGraw-Hill.

- Springer, G. S., & Patterson, D. J. (2012). Engine emissions: Pollutant formation and measurement. Springer.
- Yue, Z., & Liu, H. (Eds.). (2024). Advanced research on internal combustion engines and engine fuels. MDPI.