



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no  
Renovables

Carrera de Ingeniería Automotriz

*“Efecto del bioetanol y metanol mezclado con gasolina en las prestaciones de un MEP”*

Trabajo de Titulación, previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Automotriz

**AUTOR:**

Wladimir Ramón Torres Toledo

**DIRECTOR:**

Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc.

LOJA – ECUADOR

2025

## Certificación



**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE LOJA**



CARRERA DE INGENIERÍA  
AUTOMOTRIZ - FEIRNNR-CIMA

Loja 04 de febrero del 2025

### CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **CARRION JAURA RUBEN DARIO**, director del Trabajo de Titulación denominado: “**Efecto del bioetanol y metanol mezclado con gasolina en las prestaciones de un MEP**”, perteneciente al estudiante **Wladimir Ramón Torres Toledo**, con cédula de identidad N° **1150087771**.

#### **Certifico:**

Que luego de haber dirigido el Trabajo de Titulación, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de Titulación, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Titulación del mencionado estudiante.

Atentamente:



**RUBEN DARIO CARRION  
JAURA**

Rubén Darío Carrion Jaura

C.I. 1104898299

## **Autoría**

Yo, **Wladimir Ramón Torres Toledo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular o de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular o de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1150087771

**Fecha:** 04/02/2025

**Correo electrónico:** wladimir.torres@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0980680195

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación**

Yo, **Wladimir Ramón Torres Toledo**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación denominado: **Efecto del bioetanol y metanol mezclado con gasolina en las prestaciones de un MEP**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Automotriz**, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los 4 días del mes de febrero de dos mil veinticinco.



**Firma:**

**Autor/a:** Wladimir Ramón Torres Toledo

**Cédula de identidad:** 1150087771

**Dirección:** Loja, (Barrio Ciudad Victoria, Calle Nela Martínez y Dolores Cacuango)

**Correo electrónico:** wladimir.torres@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0980680195

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director/a del Trabajo de Integración Curricular o de Titulación:** Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mis padres Gilberth y Enid, quienes han constituido mi pilar, brindándome su apoyo incondicional, comprensión y consuelo a lo largo de este camino de estudio. De igual forma, dedico este trabajo a mis hermanos Efrén, Alex y Lenin, y en especial a mi hermana Rosalía quien me brindó consejos de la vida, para lograr superarme y salir adelante. A mis docentes que me impartieron sus enseñanzas a lo largo de mi formación, y a mis amigos que me apoyaron en los momentos de dificultad.

*Wladimir Ramón Torres Toledo*

## **Agradecimiento**

Quiero expresar mis agradecimientos a mis padres, hermanos y amigos que me motivaron a superarme y salir adelante, de igual forma agradecer a todas las personas e instituciones que fueron parte de este proyecto, y con las cuales fue posible su realización.

En primer lugar, quiero agradecer a mi supervisor el Ing. Rubén Darío Carrión Jaura, Mgs., por encaminarme durante todo este trayecto de preparación profesional brindándome su confianza, paciencia y apoyo constante. Su guía y consejos fueron primordiales para culminar con este trabajo.

De igual forma, quiero agradecer al equipo de investigación de la Universidad Nacional de Loja, por su colaboración, y por brindarme los recursos necesarios para efectuar este trabajo. Su ayuda y compromiso fueron fundamentales para superar los desafíos que se presentaron en cada momento, y poder obtener resultados valiosos.

***Wladimir Ramón Torres Toledo***

## Índice de Contenido

Portada .....	i
Certificación.....	ii
Autoría .....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice de Contenido .....	vii
Índice de Figuras.....	x
Índice de Tablas .....	xii
Índice de Anexos.....	xiii
1.    Título.....	1
2.    Resumen.....	2
3.    Introducción .....	4
4.    Marco Teórico.....	7
4.1    Calidad del aire en el Ecuador.....	7
4.2    Emisiones contaminantes de fuentes móviles .....	8
4.2.1    Contaminación que genera la movilidad.....	8
4.2.2    Afecciones a la población.....	8
4.3    Políticas para la disminución de emisiones.....	9
4.3.1    Objetivos de desarrollo sostenible (ODS).....	9
4.3.2    Energías renovables.....	9
4.4    Bioetanol para la reducción de emisiones vehiculares.....	10
4.4.1    Costos y producción .....	10
4.4.2    Ventajas .....	11
4.4.3    Funcionamiento en el motor.....	12
4.4.4    Afecciones al motor.....	13
4.5    Metanol para la reducción de emisiones vehiculares .....	13

4.5.1	Costos y Producción.....	14
4.5.2	Ventajas .....	14
4.5.3	Funcionamiento en el motor.....	15
4.5.4	Afecciones al motor.....	16
4.6	Mezcla de combustibles alternativos y gasolina .....	16
4.7	Medios de verificación de la factibilidad del uso de combustibles alternativos .....	17
4.7.1	Banco dinamométrico.....	17
4.7.2	Ciclos de conducción.....	17
4.7.3	Análisis estadístico .....	18
4.7.4	Analizador de gases.....	19
4.7.5	Prestaciones de un MEP .....	19
5.	Metodología .....	21
5.1	Área de Estudio: .....	21
5.2	Unidad de estudio.....	21
5.3	Instrumentos .....	22
5.3.1	Vehículo .....	22
5.3.2	Analizador de gases.....	23
5.3.3	Banco dinamométrico.....	23
5.3.4	Depósito de combustible .....	24
5.3.5	Probetas .....	25
5.4	Insumos .....	25
5.4.1	Combustible.....	25
5.4.2	Alcoholes.....	25
5.5	Procedimiento.....	26
5.5.1	Enfoque metodológico .....	26
5.5.2	Técnicas.....	27
5.6	Procesamiento y análisis de datos .....	31
5.6.1	Análisis con el software StatGraphics.....	31

5.6.2	Comparación de pruebas con modelos ideales.....	33
6.	Resultados .....	35
6.1	Resultados del script de búsqueda.....	35
6.2	Análisis de la bibliografía encontrada .....	38
6.3	Determinación de mezclas.....	41
6.3.1	Artículos analizados .....	42
6.3.2	Mezclas seleccionadas.....	44
6.4	Evaluación de mezclas y comparación de mezclas .....	44
6.4.1	Emisiones de monóxido de carbono (CO) .....	45
6.4.2	Emisiones de CO <sub>2</sub> .....	47
6.4.3	Emisiones de HC .....	50
6.4.4	Emisiones de O <sub>2</sub> .....	53
6.4.5	Prestaciones: Potencia a lo largo del ciclo .....	56
6.4.6	Prestaciones: Consumo.....	56
6.4.7	Prestaciones: Par y potencia máximas.....	57
6.4.8	Comparación con software.....	58
6.4.9	Resumen de Resultados.....	60
7.	Discusión.....	61
8.	Conclusiones .....	63
9.	Recomendaciones.....	64
10.	Bibliografía .....	65
11.	Anexos .....	72

## Índice de Figuras

Figura 1 Datos de vehículos motorizados matriculados obtenido de (INEC, 2024a).....	4
Figura 2 Crecimiento per cápita de las emisiones de CO2 .....	7
Figura 3 Resultados del análisis de emisiones (Torres et al., 2022), página 54. ....	13
Figura 4 Mapa de la Zona de Estudio, obtenido de Google Maps.....	21
Figura 5 Vehículo empleado para el estudio.....	22
Figura 6 Analizador de gases AGS 688 .....	23
Figura 7 Banco dinamométrico Superflow 220 AutoDyn 30 .....	24
Figura 8 Tanque externo de combustible.....	24
Figura 9 Probetas de medición.....	25
Figura 10 Metanol y Bioetanol utilizados en la investigación.....	26
Figura 11 Mapa conceptual para la revisión sistemática de Literatura.....	27
Figura 12 Ciclo de conducción EPA75.....	30
Figura 13 Flujograma de actividades de la investigación.....	31
Figura 14 Análisis estadístico para la determinación de las condiciones experimentales .....	32
Figura 15 Modelo de tabulación de datos de emisiones y potencia.....	32
Figura 16 Análisis estadístico de una variable.....	32
Figura 17 Software de comparación .....	33
Figura 18 Resultados de simulación Advisor .....	34
Figura 19 Resultados del script previo filtro de fecha .....	35
Figura 20 Resultados del script con filtro de fecha activado .....	35
Figura 21 Distribución de respuestas a la primera pregunta de investigación.....	36
Figura 22 Distribución de respuestas a la segunda pregunta de investigación.....	37
Figura 23 RON utilizado por investigadores en mezclas de gasolina y bioetanol.....	42
Figura 24 RON utilizado por investigadores en mezclas de gasolina y metanol.....	42
Figura 25 Porcentaje de bioetanol empleado en investigaciones previas .....	43
Figura 26 Porcentaje de metanol empleado en investigaciones previas .....	43
Figura 27 Evolución del CO a lo largo de las pruebas.....	45
Figura 28 Diferencia de emisiones de E15 y M10 respecto a la gasolina Súper .....	45
Figura 29 Gráfico de la producción de CO a) Mezcla E15 b) Mezcla M10.....	47
Figura 30 Evolución del CO2 a lo largo de las pruebas.....	48
Figura 31 Diferencia de emisiones de E15 y M10 respecto a la gasolina Súper .....	48
Figura 32 Grafico cajas y bigotes de producción de CO2 a) Con E15 b) Con M10.....	50
Figura 33 Evolución de los HC a lo largo de las pruebas .....	50

Figura 34 Diferencia de emisiones de E15 y M10 respecto a la gasolina Súper .....	51
Figura 35 Grafico de la producción de HC a) Con E15 b) Con M10 .....	53
Figura 36 Evolución del O2 a lo largo de las pruebas .....	53
Figura 37 Diferencia de emisiones de O2 de E15 y M10 respecto a la gasolina Súper .....	54
Figura 38 Grafico de la producción de O2 a) De E15 b) De M10.....	56
Figura 39 Potencia generada a lo largo del ciclo con las diferentes mezclas. ....	56
Figura 40 Evolución del CO2 a lo largo de las pruebas.....	57
Figura 41 Resultados de par máximo con las distintas mezclas .....	57
Figura 42 Resultados de potencia máxima con las diferentes mezclas.....	58
Figura 43 Simulación del ciclo de conducción en el software Advisor.....	58
Figura 44 Comparación de resultados de emisiones CO con software Advisor.....	59
Figura 45 Comparación de resultados de emisiones de HC con el software Advisor .....	60

## Índice de Tablas

Tabla 1 Costos asociados a la producción de bioetanol.....	11
Tabla 2 Propiedades del bioetanol .....	11
Tabla 3 Costos del metanol por región .....	14
Tabla 4 Propiedades del metanol .....	14
Tabla 5 Características del vehículo empleado.....	22
Tabla 6 Características del analizador de Gases AGS 688. ....	23
Tabla 7 Características del Banco Dinamométrico.....	24
Tabla 8 Propiedades de la gasolina Súper.....	25
Tabla 9 Glosario para la elaboración del script de búsqueda.....	27
Tabla 10 Estructura semántica del script de búsqueda .....	28
Tabla 11 Script base ensamblado.....	28
Tabla 12 Condiciones experimentales .....	30
Tabla 13 Temáticas generales de los artículos obtenidos .....	35
Tabla 14 Temáticas de los artículos pertinentes al tema.....	36
Tabla 15 Revistas de los artículos encontrados en el script de búsqueda. ....	37
Tabla 16 Características de las pruebas de gasolina con bioetanol.....	40
Tabla 17 Características de las pruebas de gasolina con metanol.....	41
Tabla 18 Análisis de gasolinas empleadas en estudios previos .....	42
Tabla 19 Análisis de concentración de bioetanol y metanol usados en estudios previos .....	44
Tabla 20 Mezclas de combustibles utilizadas .....	44
Tabla 21 Cantidades empleadas para recrear las mezclas.....	44
Tabla 22 Resumen estadístico de CO .....	46
Tabla 23 Resumen estadístico de CO <sub>2</sub> .....	49
Tabla 24 Resumen estadístico de HC .....	52
Tabla 25 Resumen estadístico de O <sub>2</sub> .....	55
Tabla 26 Resumen de los resultados en las diferentes pruebas.....	60

## Índice de Anexos

Anexo 1 Ficha Técnica del metanol.....	72
Anexo 2 Ficha técnica del bioetanol.....	73
Anexo 3 Ficha técnica del vehículo.....	73
Anexo 4 Prueba de octanaje de la mezcla M10.....	74
Anexo 5 Prueba de octanaje de la mezcla E15.....	74
Anexo 6 Recreación de área frontal del vehículo.....	74
Anexo 7 Realización de pruebas.....	75
Anexo 8 Certificado de traducción del resumen.....	76

## **1. Título**

“Efecto del bioetanol y metanol mezclado con gasolina en las prestaciones de un MEP”

## 2. Resumen

Este trabajo de investigación analiza el impacto del metanol y bioetanol como aditivos oxigenados en la gasolina utilizada en un motor de encendido provocado. La finalidad del estudio es evaluar el efecto de estas mezclas sobre las emisiones contaminantes y el desempeño del motor, con el objetivo de identificar alternativas sostenibles a los combustibles fósiles. Para esto, se realizó una revisión bibliográfica mediante un script de búsqueda, eligiendo las mezclas con mejores resultados en estudios previos. La búsqueda arrojó que E15 y M10 mostraron resultados destacables por lo que se evaluaron estas mezclas en un banco dinamométrico, aplicando el ciclo de conducción FTP-75 “Bag 1” y pruebas de potencia y par máximo. Los resultados indicaron que E15 redujo el CO en 0,717 % Vol, el HC en 16,382 ppm, y el consumo en 0,063 L/h, pero redujo la potencia en 0,599 kW y el par en 1,858 Nm. También se incrementó la concentración de CO<sub>2</sub> en 0,253 % Vol y O<sub>2</sub> en 0,181 % Vol. Por su parte, M10 logró una reducción de CO de 1,037 % Vol y de HC de 13,683 ppm, pero incrementó el consumo en 0,224 L/h, el CO<sub>2</sub> en 0,632 %Vol y disminuyó el par en 3,342 Nm. En conclusión, ambas mezclas demostraron mejoras en la reducción de contaminantes, aunque con impactos diferenciados en el consumo y el desempeño del motor. E15 se presenta como una opción más equilibrada en términos de emisiones y eficiencia, mientras que M10 destaca por su mayor reducción de CO, pero con mayor impacto en el consumo y la entrega de par.

Palabras clave: bioetanol, MEP, combustibles alternativos, emisiones

## **Abstract**

This research study analyzes the impact of methanol and bioethanol as oxygenated additives in gasoline used in a spark-ignition engine. The purpose of the study is to evaluate the effect of these blends on pollutant emissions and engine performance, aiming to identify sustainable alternatives to fossil fuels. To achieve this, a literature review was conducted using a search script, selecting the blends that showed the best results in previous studies. The search indicated that E15 and M10 demonstrated outstanding results, so these blends were tested on a dynamometric bench, applying the FTP-75 "Bag 1" driving cycle and performing power and torque tests. The results indicated that E15 reduced CO by 0.717 %Vol, HC by 16.382 ppm, and fuel consumption by 0.063 L/h, but also decreased power by 0.599 kW and torque by 1.858 Nm. Additionally, CO<sub>2</sub> concentration increased by 0.253 %Vol and O<sub>2</sub> by 0.181 %Vol. On the other hand, M10 achieved a CO reduction of 1.037 %Vol and HC reduction of 13.683 ppm, but increased fuel consumption by 0.224 L/h, CO<sub>2</sub> concentration by 0.632 %Vol, and decreased torque by 3.342 Nm. In conclusion, both blends demonstrated improvements in pollutant reduction, although with different impacts on fuel consumption and engine performance. E15 appears to be a more balanced option in terms of emissions and efficiency, while M10 stands out for its greater CO reduction but with a higher impact on fuel consumption and torque delivery.

Keywords: bioethanol, MEP, alternative fuels, emissions.

### 3. Introducción

En la actualidad, el cuidado medioambiental ha ganado una gran visibilidad a nivel global, una gran cantidad de empresas manufactureras ha puesto sus intereses en esta causa. Los gobiernos promueven iniciativas ambientales, ya sea en forma de regulaciones o impuestos, y las industrias se enfocan en hallar soluciones que equilibren la rentabilidad a largo plazo con la sostenibilidad ambiental. El sector automotriz se halla en el ojo del huracán en este aspecto ambiental, debido a su alta huella ecológica, ya sea por el ruido, congestión, accidentes, contaminación del aire y agua, agotamiento de recursos, emisiones contaminantes, entre otros (Jasiński et al., 2021). Uno de los principales problemas que acarrea la industria automotriz es precisamente la emisión de gases contaminantes y de efecto invernadero que, aparte de provocar problemas de contaminación del aire, contribuyen con el calentamiento global. Por esta razón, la Unión Europea ha propuesto reducir las emisiones de los vehículos con motor de combustión convencional, reduciendo los límites de gases como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), entre otros (Official Journal of the European Union, 2024).

Este problema global también se extiende a nuestro entorno como país, donde a lo largo de los años, el mercado automotriz en Ecuador ha venido creciendo. Las importaciones de vehículos han aumentado, y cada ciudadano aspira a obtener un automóvil. Esto se puede evidenciar en la Figura 1 que ilustra los datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos (INEC, 2024a), donde se puede observar que desde el año 2014, el número de vehículos motorizados matriculados se ha incrementado de 1 752 071 unidades a 3 065 097, un crecimiento total de 74,94%, con un promedio anual de 7,49%.



**Figura 1** Datos de vehículos motorizados matriculados obtenido de (INEC, 2024a).

El gran parque automotor de Ecuador implica muchas emisiones contaminantes emitidas al medio ambiente, un problema que no hace más que aumentar. Según datos de la Asociación De Empresas Automotrices Del Ecuador (AEADE, 2024), entre el periodo enero-agosto de 2024, el 87% de vehículos vendidos mantienen motores de combustión, y de estos el 58,7% utilizan como fuente de combustible la gasolina. Ahondando en el tema de la gasolina, la calidad de esta afecta de forma

directa los índices de contaminación, esto se demuestra en el estudio de Rubio et al. (2023), en el cual se ejecutaron las pruebas que debe superar un vehículo en la Revisión Técnica Vehicular (RTV) de Ecuador bajo la normativa NTE INEN 2203 utilizando combustibles Extra ecuatoriano y colombiano. Los autores encontraron que el combustible Extra ecuatoriano es el mayor generador de sustancias contaminantes, mientras que la gasolina colombiana posee mejores propiedades que ayudan a la reducción de emisiones.

El bioetanol y el metanol surgieron como combustibles alternativos, de posible origen vegetal, capaces de reducir emisiones y de interés para estudiar su aplicación en automotores, mezclados con gasolina convencional para evitar modificaciones en los vehículos existentes. Un ejemplo de esto es el estudio de Arias (2018), en donde se halló una reducción significativa de gases contaminantes al utilizar una mezcla E10 de bioetanol y gasolina. En el caso del metanol, la revisión de literatura realizada por Tian et al. (2022) nos indica que el metanol usado en motores de encendido provocado (MEP) puede reducir las emisiones de (CO), óxidos de nitrógeno y partículas, esto se debe a su alto contenido de oxígeno, característica que comparte con el bioetanol y que diferencia los alcoholes de la gasolina. Este alto contenido de oxígeno permite una mejor adecuación a condiciones de combustión pobre, y puede disminuir la temperatura en la cámara de combustión. De esta manera, el presente trabajo nació de la necesidad de alternativas para disminuir los efectos contaminantes que tienen los vehículos a combustión, siendo el uso de mezclas de gasolina y alcoholes una propuesta muy interesante. El bioetanol, al ser una biomasa, puede ser obtenido a partir de una variedad de fuentes naturales, al igual que el metanol, y siendo que el octanaje de estos aditivos es elevado en comparación con la gasolina, supone una opción de desarrollo destacable.

Por lo expuesto, esta investigación, tuvo como objetivo general:

- Analizar el impacto sobre las emisiones y características de par y potencia de un motor de combustión interna al utilizar mezclas de combustibles de metanol y bioetanol.

Los objetivos específicos por su parte fueron:

- Establecer las condiciones específicas en las que se llevarán a cabo las pruebas experimentales, así como el equipo necesario.

- Evaluar las mezclas de combustibles que han mostrado mejores resultados en investigaciones previas.

- Comparar los resultados obtenidos a través de análisis estadísticos para determinar el efecto sobre las prestaciones de dichas mezclas.

Es importante destacar que el presente proyecto limitó su alcance a utilizar las mezclas gasolina Super sin aditivos y su mezcla con bioetanol y metanol, E15 y M10 respectivamente, con

mejores resultados en investigaciones previas, en un vehículo con un MEP, un Grand Vitara cinco puertas, modelo 2012, con 2000 centímetros cúbicos (cc).

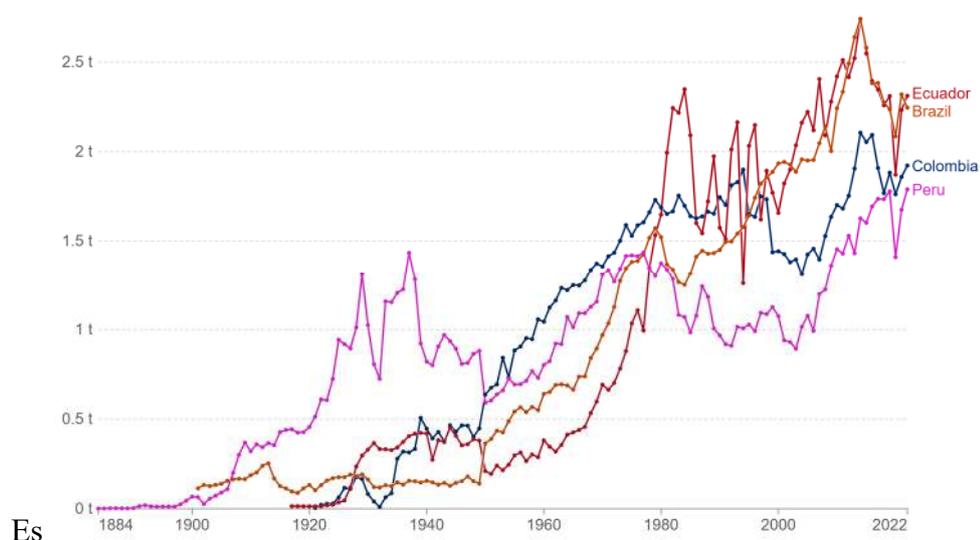
El presente documento se encuentra estructurado con un marco teórico ubicado en el punto cuatro, donde se ahonda en los combustibles renovables, sus orígenes, producción y usos en los vehículos, seguido de la metodología que se aplicó donde se revisaron investigaciones previas las mezclas de combustibles con mejores resultados, y finalmente los resultados, la discusión y las conclusiones que se han obtenido al evaluar los combustibles en el automóvil.

## 4. Marco Teórico

La contaminación medioambiental afecta a toda la población mundial, de diferentes formas y en mayor medida a los grupos de riesgo. Esta problemática se ha abordado de diversas maneras en el mundo moderno. Dentro del ámbito local como global, se han logrado avances en la reducción de emisiones vehiculares, tanto en políticas ambientales como en el desarrollo de tecnologías, incluyendo vehículos eléctricos y combustibles alternativos, pero todavía es necesario comprender el problema y encontrar soluciones a corto plazo para frenar las consecuencias ambientales.

### 4.1 Calidad del aire en el Ecuador

En Ecuador, como en el planeta en general, la contaminación ha aumentado a lo largo de los años, conforme incrementa la tecnología y se expande la civilización. En la Figura 2 se muestra un ejemplo de esto, el gráfico muestra el crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita derivadas de combustibles fósiles e industria en varios países. Se puede evidenciar que Ecuador presenta un crecimiento comparable al de Brasil, superando a Colombia Perú (Our World In Data, 2023). Los países en desarrollo generalmente cuentan con políticas ambientales pobres, lo que provoca que su huella de carbono sea alta y se consuman los recursos en gran medida. El aumento de la contaminación ambiental tiene como causante la acumulación de gases de efecto invernadero producto de la acción del ser humano, donde se consumen recursos para satisfacer las necesidades de una población cada día más exigente, lo que a su vez deriva en problemas como la destrucción de la capa de ozono, calentamiento global, enfermedades respiratorias o dermatológicas en la población, daños agrícolas y otras (Pinzón & Guerrero, 2024).



**Figura 2** Crecimiento per cápita de las emisiones de CO<sub>2</sub>

## **4.2 Emisiones contaminantes de fuentes móviles**

La contaminación global provocada por los seres humanos constituye una problemática estudiada por diversas organizaciones y gobiernos. La búsqueda de alternativas para reducir la huella de carbono toma más importancia a medida que las consecuencias negativas de esta se hacen notar (Diniz et al., 2023). Para disminuir las emisiones contaminantes han surgido avances en varios sectores de la sociedad, tales como el transporte, la gestión de desechos, energías renovables y técnicas de construcción ecológica. Enfocándose en el sector transporte, se puede evidenciar que este ha sufrido un cambio significativo en materia de emisiones. Tecnologías como los vehículos eléctricos (EV por sus siglas en inglés) y los combustibles alternativos, ya sea el hidrógeno o los biocombustibles, aparecen como una solución viable a la problemática medioambiental (Jain, 2024).

### **4.2.1 Contaminación que genera la movilidad**

La movilidad tiene influencia en la generación de una variedad de gases contaminantes, como el ozono ( $O_3$ ), óxidos de azufre ( $SO_x$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), monóxido de carbono (CO), partículas finas, entre otras, datos expresados por Peña (2018) en su estudio que analiza el impacto de la contaminación en dos de las principales ciudades del Ecuador. Aquí además expresa la necesidad de tomar medidas con modelos de desarrollo sostenible para que las ciudades puedan disminuir los contaminantes atmosféricos, detallando medidas como el uso de filtros, convertidores catalíticos y la mejora de la calidad de combustibles como alternativas para reducir la contaminación provocada por los automóviles.

### **4.2.2 Afecciones a la población**

La contaminación del aire es producida por una variedad de sectores, y su afección a la población varía mucho dependiendo de las condiciones de exposición y las características de cada persona. En la investigación de Montero et al. (2020) realizada en la ciudad de Riobamba, Ecuador se halló una relación entre afecciones respiratorias y la vivienda de las personas afectadas, encontrándose una mayor incidencia de enfermedades en las zonas con mayor contaminación de vehículos automotores, por lo que los lugares con mayor afluencia de personas tuvieron mayor riesgo de padecer complicaciones.

La continua exposición a material particulado y gases contaminantes puede agravar problemas respiratorios existentes o contribuir a la aparición de nuevos, los gases emitidos por vehículos se relacionan con enfermedades cardiovasculares, efectos negativos en el sistema nervioso, incremento de riesgo de desarrollo de cáncer y afectaciones a las poblaciones vulnerables, se encontró que niños

que estudiaban en sectores con una alta circulación vehicular tenían mayor incidencia de enfermedades respiratorias (Rodríguez-Guerra & Cuvi, 2019).

### **4.3 Políticas para la disminución de emisiones**

#### **4.3.1 *Objetivos de desarrollo sostenible (ODS)***

El desarrollo sostenible, cuyo concepto surgió a raíz de crisis medioambientales y económicas del siglo XX, incluida la mencionada por Sarbu Roxana et al. (2021) en el periodo de 1929-1933, busca satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las de generaciones futuras. En este contexto, las Naciones Unidas introdujeron el Modelo de Desarrollo Sostenible SDG2030, que comprende 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) abarcando aspectos clave de sostenibilidad en relación con la naturaleza y el entorno humano. Para el sector automotriz, un área clave de enfoque es la reducción de emisiones, alineada con varios ODS, particularmente el relacionado con la acción climática, para lo cual se han propuesto indicadores clave de rendimiento por medio de normativas como la ISO 14031, para evaluar la sostenibilidad en la industria automotriz, incluyendo emisiones atmosféricas, uso de energía y consumo de combustible. Las políticas para reducir emisiones en este sector pueden incluir la promoción de vehículos eléctricos e híbridos, mejoras en la eficiencia del combustible, y el desarrollo de tecnologías de propulsión alternativas. Estas estrategias no solo abordan la dimensión ambiental, sino que también pueden impulsar la innovación y la competitividad en el mercado global, alineándose así con los objetivos del desarrollo sostenible (Chalak et al., 2022).

Ecuador, por su parte, reconoce en su Constitución el derecho a vivir en un ambiente sano y equilibrado ecológicamente, como se establece en los artículos 32 y 66. Además los artículos 413 y 414 obligan al estado a promover la eficiencia energética y adaptar medidas para mitigar el cambio climático limitando los gases de efecto invernadero. Entre las medidas para cumplir este objetivo están el impuesto ambiental a la contaminación vehicular establecido desde el 2011 que aplica para vehículos con un cilindraje superior a los 1500cc, la ley de Gestión Ambiental y normativas determinadas por el INEN para establecer los límites permitidos de contaminantes emitidos por vehículos (Franco & Loor, 2021)

#### **4.3.2 *Energías renovables***

Los combustibles fósiles suponen la fuente energética primordial del mundo. Esto genera una dependencia, en la que una crisis de hidrocarburos supone un grave problema a nivel global. Un ejemplo de esto es la crisis del petróleo de la década de 1970, en la que un embargo de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) provocó un incremento de los precios del crudo y una

escasez de combustible global (Choong Wah, 2022). A partir de aquella situación, surgió la necesidad de explorar combustibles alternativos. Dentro de las propuestas surgieron alcoholes como el etanol, bioetanol y metanol, cada uno de estos teniendo distintas propiedades que afectan de diferentes formas al motor de encendido provocado (MEP), empezando una campaña de investigaciones sobre los efectos de estos combustibles (Usmani et al., 2023).

Los aditivos oxigenados son compuestos que se añaden a los combustibles para mejorar la combustión y reducir las emisiones contaminantes. Se utilizan en mezclas de gasolina para aumentar el contenido de oxígeno en el combustible, lo que facilita una combustión más completa y eficiente. De esta manera, se busca reducir la cantidad de HC y CO, además de aumentar el índice de octano, lo que puede mejorar el rendimiento del motor (Abikusna et al., 2020).

Entre los tipos de aditivos oxigenados más comunes se encuentran los alcoholes como el etanol, el metanol o el ciclohexanol, así como los éteres como el MTBE (metil-terc-butil éter) y el ETBE (etil-terc-butil éter). Estos aditivos son populares por su disponibilidad y eficacia en la mejora de las características de combustión del combustible (Roy et al., 2018).

#### **4.4 Bioetanol para la reducción de emisiones vehiculares**

Las emisiones de gases contaminantes producidas por los combustibles fósiles que utilizan los automóviles provocan la búsqueda de nuevas fuentes de energía. Una opción muy estudiada durante los últimos años es el bioetanol ( $C_2H_6O$ ,  $CH_3CH_2OH$ ), considerado como el biocombustible más prometedor para reemplazar a la gasolina. Cuenta con un alto contenido de oxígeno, alrededor del 35%, y es producido a partir de la fermentación microbiana del azúcar obtenido de carbohidratos, como el maíz, la soja o la caña de azúcar. Puede ser utilizado en motores de encendido provocado en diferentes medidas (Inambao, 2021)

##### **4.4.1 Costos y producción**

La producción mundial de bioetanol en 2018 fue de 110 mil millones de litros y se esperaba que para 2022 esa cifra llegara a los 140 mil millones, pero en los siguientes años la producción fue variando, teniendo su pico en 2019 y acabando en 106 mil millones para 2022, esto producto de la pandemia del COVID-19, aunque para el año 2023 la producción incrementó hasta los 112 mil millones de litros (Office of Energy Efficiency & Renewable Energy U.S. (EERE), 2024; Renewable Fuel Association (RFA), 2024). A pesar de esta ligera disminución en el crecimiento, se puede observar que el mercado de biocombustibles se ha mantenido constante y tiene una alta demanda para el desarrollo de procesos económicamente viables y sostenibles. La producción de bioetanol tiene como principales actores a Estados Unidos, seguido por Brasil, la Unión Europea, China y Canadá,

sin embargo, el 84% de la producción total mundial provino de dos países, Estados Unidos con el 56% y Brasil con el 28%. De ahí siguen la Unión Europea con el 5%, China con el 4% y Canadá con el 2% (Sharma et al., 2020).

La producción de bioetanol se clasifica en cuatro generaciones, siendo estas las siguientes (Joyia et al., 2024).

- Primera generación: Es la producción más extendida, se centra principalmente en la fermentación de azúcares de cereales. En este caso, el balance energético entre la energía utilizada para generar el biocombustible y la energía obtenida tiene deficiencias. También se involucra negativamente la seguridad alimentaria.

- Segunda generación: Utiliza el procesamiento biológico de materias primas lignocelulósicas (la más abundante en el planeta) para buscar resolver el conflicto entre alimentos y combustibles, sin embargo, requiere de procesos de pretratamiento e hidrólisis, lo que lo vuelve más costoso.

- Tercera generación: Este bioetanol basa su producción en microbios fotosintéticos, lo que implica el procesamiento de algas como materia prima.

- Cuarta generación: En este caso se utiliza ingeniería metabólica en las algas para producir el biocombustible, a partir de fotoautótrofos.

Los costos de producción y el rendimiento de cada tipo se enumeran en la Tabla 1.

**Tabla 1** Costos asociados a la producción de bioetanol

Parámetros	Primera Generación	Segunda Generación	Tercera Generación	Cuarta Generación
Costos de materia prima por litro	0,3 - 0,6 \$	0,5 - 1 \$	0,2 - 0,5 \$	0,1 - 0,3 \$
Gasto total de producción por litro	1,1 - 2,2 \$	1,75 - 3,35 \$	0,85 - 2,05 \$	0,45 - 1,5 \$
Rendimiento en litros por tonelada de materia prima.	350 - 400	250 - 300	100 - 150	400 - 450

Nota: Tabla recreada a partir de datos de (Abdul et al., 2024).

En la Tabla 2 se presentan las características del bioetanol.

**Tabla 2** Propiedades del bioetanol

Poder calorífico inferior [kJ/kg]	26730
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	0.788
Densidad de vapor [kg/m <sup>3</sup> ]	1,59
Calor de vaporización [kJ/kg]	846
Contenido de oxígeno [%]	38,45
Número de octano de investigación (RON)	104,8
Número de octano del motor (MON)	89,3

Nota. Tabla creada a partir de datos de (Sayin & Ciniviz, 2020)

#### 4.4.2 Ventajas

La utilización del bioetanol puede conllevar mejoras en la eficiencia y comportamiento térmico del MEP. Una de las principales ventajas se debe al alto número de octanos, lo que reduce la

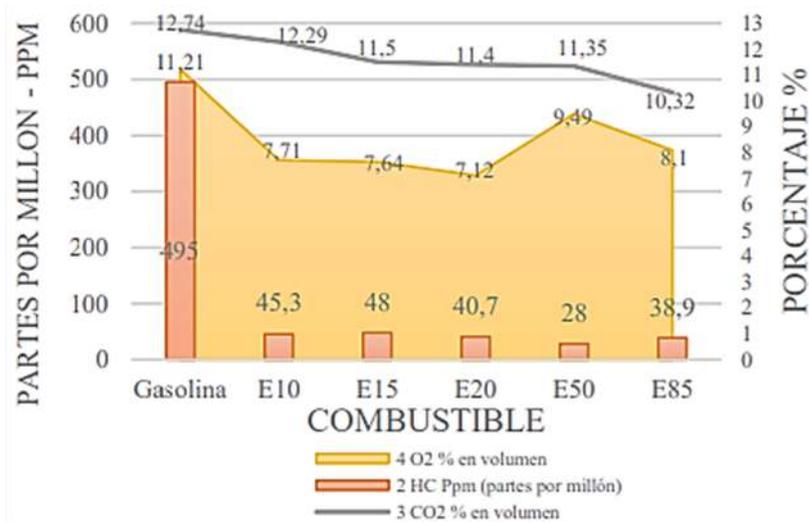
probabilidad de detonación prematura y mejora el rendimiento del motor. Además, al ser un combustible oxigenado, el bioetanol facilita una combustión más completa, reduciendo las emisiones de CO y HC. También se ha observado que, al mezclar bioetanol con gasolina, disminuyen las emisiones de NOx, aunque esto en condiciones específicas. Esto se ejemplifica en el estudio de Sayin & Ciniviz (2020) donde se probaron mezclas de gasolina y diferentes cantidades de bioetanol. Entre los resultados, se obtuvo un incremento en la tasa de liberación de calor con la adición de bioetanol, obteniéndose los valores máximos para E85 y E100, la presión máxima del cilindro resultó de la mezcla E5, y el ángulo del cigüeñal donde se tenía mayores valores de combustión se movía después del punto muerto superior (PMS), lo que redujo las fuerzas que se oponen al desplazamiento del pistón. Las emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y NOx se reducían a medida que aumentaba la presencia de bioetanol en la mezcla, y a la vez estos valores incrementaban cuando se daba más carga al motor.

#### **4.4.3 Funcionamiento en el motor**

Estudios como el de Khan et al. (2023) muestran que utilizar bioetanol puede llegar a incrementar las prestaciones, específicamente en el caso de este autor, la mezcla E10 de bioetanol y gasolina produjo un incremento en el par motor y potencia de frenado, respecto al uso del combustible puro. Los motores de combustión en su funcionamiento generan emisiones de acuerdo a las cantidades de los productos reactivos. En el caso del hidrógeno, este reacciona con los átomos de oxígeno existentes en el cilindro. De no existir la suficiente cantidad de oxígeno se generan mayores cantidades de HC. Otro producto de la falta de oxígeno es la combustión incompleta lo que provoca que en vez de generarse el CO<sub>2</sub> que normalmente genera la combustión, se produzca el CO que es un gas más peligroso que puede provocar la muerte (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), 2023).

Por el lado del CO<sub>2</sub>, el bioetanol contiene una pequeña cantidad de carbonos en su composición comparado con la gasolina, lo que contribuye a la reducción de emisiones de este gas. El oxígeno (O<sub>2</sub>) es otro producto presente en los gases de escape, y este viene dado por la relación de aire combustible que maneje el motor, el bioetanol al tener en su estructura molecular oxígeno varía esta relación (Yelbey & Ciniviz, 2020).

Según el estudio de Torres et al., (2022), como se observa en la Figura 3, los valores de emisión de HC disminuyeron de 495 a 45.3 ppm, lo mismo ocurrió con las emisiones de CO, las cuales se redujeron en un máximo de 0.91%, por su parte el CO<sub>2</sub> se redujo de 12.74% a 12.29%. Por último, respecto al O<sub>2</sub>, los autores hallaron una reducción de 11.21% a 7.71%, siendo todos estos valores efectos de la mezcla E10, y se espera una variación más grande al incrementar la cantidad de bioetanol presente.



**Figura 3** Resultados del análisis de emisiones (Torres et al., 2022), página 54.

#### 4.4.4 Afecciones al motor

El bioetanol y los alcoholes en general presentan desafíos para su aplicación en un MEP. Las propiedades químicas de este combustible alternativo lo vuelven corrosivo, en especial contra metales como aluminio, cobre y sus aleaciones, lo que puede provocar desgaste prematuro de componentes como inyectores u otros del sistema de combustible. De igual forma, el bioetanol tiene una capacidad de absorción de agua elevada, lo que provoca la acumulación de humedad en los sistemas de alimentación del motor. Esos problemas son más graves a medida que incrementa el porcentaje de bioetanol en la mezcla de gasolina, o cuando se lo usa como único combustible, por lo que, para mitigarlo, se deben realizar cambios en los materiales del sistema de inyección, y adaptaciones al sistema de encendido. En otros casos también se requiere de la optimización del sistema de encendido para adaptarse al octanaje superior del biocombustible, así como ajustes en los parámetros de inyección y mezcla debido a la menor densidad energética de este (Abrar et al., 2023).

#### 4.5 Metanol para la reducción de emisiones vehiculares

Otra alternativa investigada como fuente de energía sostenible es el metanol (CH<sub>3</sub>OH), el cual fue utilizado en las décadas de los 1980 y 1990 durante numerosas pruebas en flotas. En la actualidad, su uso se ha retomado para diversas aplicaciones, ya que su obtención es posible a partir de combustibles fósiles, biomásas u otras fuentes de energía renovable, de manera similar al bioetanol. Se puede utilizar de forma pura o como mezcla en motores de combustión interna (MCI), o en pilas de combustible de metanol directo. En los MCI se considera el uso del metanol debido a su resistencia a la autoignición y a su alto calor de vaporización. Las modificaciones necesarias para emplear este combustible no resultan excesivas, y existe una gran cantidad de motores operativos con mezclas de gasolina y metanol. Un ejemplo lo hallamos en China, que cuenta con el 60% de la

capacidad productiva y de la producción de metanol, utilizándolo como sustituto del petróleo, en una diversidad de áreas como en la cocina, generación de calor, transporte y maquinaria de construcción (Yao & Yao, 2023).

#### 4.5.1 Costos y Producción

El metanol tiene una producción elevada, siendo uno de los productos químicos más utilizados con una capacidad de generación de 110 millones de toneladas métricas. Su costo varía según la región. En la Tabla 3 se expresan los valores promedio que se manejan en las distintas regiones, donde se observa que Estados Unidos tiene el valor más alto para la venta de metanol y China en el otro extremo con el valor más bajo (Methanol Institute, 2024).

**Tabla 3** Costos del metanol por región

Costo de metanol	Estados Unidos	Europa	China
Dólar por tonelada métrica	680	470	349
Dólar por galón	2.04	1,41	1,04

Nota: Tabla recreada con datos de (Methanol Institute, 2024).

El metanol es muy utilizado también en industrias como la petroquímica. Debido a su naturaleza como combustible y su gran envío alrededor del mundo, se han comenzado a desarrollar motores marinos capaces de utilizarlo, de esta manera la producción de metanol de China y Estados Unidos ha experimentado un gran impulso en la última década (Verhelst et al., 2019). En la Tabla 4 se puede observar algunas de las propiedades físico-químicas del metanol.

**Tabla 4** Propiedades del metanol

Poder calorífico inferior [kJ/kg]	20090
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	0.79 g/m <sup>3</sup>
Densidad de vapor [kg/m <sup>3</sup> ]	1,42
Calor de vaporización [kJ/kg]	1100
Contenido de oxígeno [%]	49,93
Número de octano de investigación (RON)	109
Número de octano del motor (MON)	89

Nota. Tabla creada a partir de datos de (Verhelst et al., 2019).

#### 4.5.2 Ventajas

El metanol como combustible alternativo presenta varias ventajas, teniendo propiedades físicas y químicas óptimas para ser un biocombustible prometedor en los motores de combustión interna (Zhou et al., 2024).

- Es el alcohol más simple, con un único átomo de carbono por molécula, y es miscible en la mayor parte de disolventes orgánicos.

- Su estructura simple y menor peso molecular conllevan emisiones de carbono menores, puesto que los combustibles ligeros tienden a una menor tasa de difusión.

- El uso de metanol o la mezcla de este con combustibles fósiles puede reducir emisiones de escape en los motores, tales como NOx, material particulado, CO y CO2, provocado por la baja relación carbono/hidrógeno y la alta concentración de oxígeno.

- Es un combustible libre de azufre, y no contiene enlaces carbono-carbono ni el craqueo térmico, reduciendo la probabilidad de formación de humo.

- Este combustible alternativo posee una velocidad de llama laminar elevada, lo que favorece una mejor propagación de la combustión. Además, su capacidad para operar con mezclas pobres de combustible permite una combustión más eficiente y una reducción de emisiones contaminantes.

- El metanol tiene una temperatura adiabática de combustión reducida, disminuyendo la pérdida de calor en la pared del cilindro y, con ello, la temperatura en la cámara de combustión.

#### **4.5.3 Funcionamiento en el motor**

De igual forma que el bioetanol, utilizar metanol en un MEP provoca la variación de sus prestaciones. El estudio realizado por Alexandru et al. (2017) en un motor Honda CN 250 demostró los siguientes resultados respecto a las prestaciones:

- **Potencia:** Se halló que a medida que incrementaba el porcentaje de metanol, los valores de potencia en un rango de 2000 a 7000 rpm iban disminuyendo, siendo la gasolina de 95 octanos la que más potencia generaba.

- **Torque:** De igual manera con la potencia, se encontró una disminución del torque a medida que aumentaba el porcentaje de metanol. Sin embargo, en este caso, la mezcla M5 obtuvo valores muy parecidos a la gasolina de 95 octanos, en especial en el rango de 6000 a 7000 revoluciones por minuto.

En general, las mezclas de gasolina y metanol presentan características interesantes respecto al rendimiento de un motor pero también presenta desafíos, uno de los más importantes consiste en la densidad energética, propiedad que es menor que la gasolina obligando a utilizar una mayor cantidad de metanol para generar la misma potencia (Woś & Jakubowski, 2020).

En cuanto a las emisiones contaminantes, estudios como el de Zhang et al., (2022) exponen los posibles efectos del metanol en la gasolina. En este estudio utilizaron mezclas desde el 10% al 75% (M0-M75), con los siguientes efectos.

- Las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyeron a medida que incrementaba el porcentaje de metanol, siendo que a una velocidad de 15km/h, la mezcla M75 tenía un 77,4% menos de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto a M0.

- Las emisiones de NO<sub>x</sub> tuvieron su máxima reducción a los 15 km/h, con una caída del 79,1%.

- En la mayor parte de casos, las emisiones de CO se vieron disminuidas, teniendo la máxima caída con la mezcla M75, la cual reduce en un 70,2%.

#### **4.5.4 Afecciones al motor**

La aplicación del metanol aunque interesante, aún presenta ciertos problemas. En primer lugar, por la naturaleza química de este alcohol, puede reaccionar y corroer determinados metales y juntas del motor. Otra problemática surge con el arranque en frío del motor, ya que el metanol necesita de mayor energía para evaporarse en el cilindro, lo que disminuye la temperatura durante la admisión. Sin embargo con los avances tecnológicos de la industria automotriz, estos problemas se han venido resolviendo. Un pionero de esto es China, que ha desarrollado materiales resistentes al alcohol, y lubricantes que minimizan la corrosión en componentes. También se han implementado depósitos de combustible duales, para cambiar la alimentación y minimizar el problema de arranque en frío (Li et al., 2023).

#### **4.6 Mezcla de combustibles alternativos y gasolina**

El átomo de oxígeno presente en el metanol reacciona con el anillo aromático del benceno presente en la gasolina, mientras que el átomo de hidrógeno presente en el grupo hidroxilo del metanol interactúa con el lado de carga parcial positiva. Es por esto que se produce una separación de la gasolina no polar y el metanol polar. En un primer momento, cuando se produce una mezcla de los componentes en un ambiente aislado, no se sufre del efecto de separación y se consigue una mezcla homogénea. Sin embargo, al interactuar la mezcla con el aire ambiente que contiene gran humedad, el metanol forma enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua y también aumenta la temperatura crítica de separación de fases de la mezcla. De esta manera, el enlace de hidrógeno entre el metanol y la molécula de agua tiene mayor poder que la interacción entre el metanol y el benceno de la gasolina, provocando que la mezcla se separe. Este fenómeno es cierto para fracciones bajas de metanol (Waluyo et al., 2021).

El problema de la separación de mezclas surge por la solubilidad del metanol en agua debido a su naturaleza polar, pero esto puede ser solucionado con la aplicación de etanol o bioetanol, debido a que la solubilidad de metanol en etanol es mayor que en agua. De esta manera, se logra una molécula metanol-etanol estable, difícil de unir con las moléculas de agua, consiguiendo una mezcla entre el

combustible fósil y alternativo homogénea y consistente. Para la mezcla entre el etanol y gasolina no existe problemas y la mezcla resultante es homogénea (Waluyo et al., 2020).

## 4.7 Medios de verificación de la factibilidad del uso de combustibles alternativos

### 4.7.1 Banco dinamométrico

Un banco dinamométrico es un dispositivo utilizado para medir las características de desempeño de motores de combustión interna, como el par, la potencia y la eficiencia. Funciona mediante la conexión del motor a un dinamómetro, el cual aplica una carga controlada al motor mientras este opera. Esto permite simular diferentes condiciones de funcionamiento y medir cómo responde el motor a estas cargas. Los beneficios de usar un banco dinamométrico incluyen la capacidad de evaluar el rendimiento del motor en condiciones controladas, identificar posibles mejoras en el diseño y optimización del motor, y realizar pruebas de diagnóstico. Los resultados obtenidos de estas pruebas proporcionan datos precisos sobre el comportamiento del motor bajo diversas cargas, permitiendo un análisis detallado de su eficiencia, potencia y consumo de combustible (Huang et al., 2024).

### 4.7.2 Ciclos de conducción

Los ciclos de conducción son secuencias estandarizadas de velocidades a lo largo del tiempo, diseñadas para simular las condiciones de conducción reales en un laboratorio o en un dinamómetro. Se utilizan principalmente en pruebas de vehículos para evaluar el consumo de combustible, las emisiones contaminantes y las prestaciones en diversas condiciones de manejo, como ciudad, carretera, y conducción mixta. Estos ciclos son vitales para establecer normativas de emisiones y eficiencia energética, como los usados por organismos como la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) o la Unión Europea (Tu et al., 2022). Entre los diferentes ciclos existentes, destacan los siguientes.

**New European Driving Cycle (NEDC):** Es un ciclo de conducción diseñado para evaluar el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes en vehículos. Se desarrolló en Europa y fue utilizado durante décadas para certificar vehículos y comprobar su conformidad con las normativas europeas de emisiones. El NEDC simula la conducción en ciudad y en carretera, y se utiliza principalmente en pruebas de laboratorio para proporcionar resultados comparables entre diferentes vehículos. El ciclo NEDC fue criticado por no reflejar adecuadamente las condiciones de conducción reales, ya que tiene un perfil de aceleración y velocidades relativamente suaves y no

incluye variaciones drásticas en la velocidad. A pesar de ello, fue uno de los estándares más utilizados en Europa hasta la introducción de ciclos más modernos (Xing et al., 2020).

**Federal Test Procedure 75 (FTP-75):** Es una prueba establecida por la EPA de Estados Unidos para medir las emisiones de gases contaminantes de los vehículos en condiciones que simulan la conducción urbana. El ciclo abarca una distancia total de 17.77 km y tiene una velocidad promedio de 34.1 km/h. El vehículo pasa aproximadamente el 23% del tiempo en ralentí, lo que es característico del tráfico urbano y permite calcular las emisiones de gases como el CO, HC y CO<sub>2</sub> (US. EPA, 2024)

#### 4.7.3 *Análisis estadístico*

El análisis de datos es una parte fundamental de cualquier investigación o estudio que trabaje con variables cuantitativas. Cuando se tiene una gran cantidad de datos y se necesita encontrar patrones de tendencia y comparar los análisis se puede depender de dos ramas de la estadística, la descriptiva y la inferencial. La primera se encarga de obtener los valores representativos de los datos del estudio para hallar factores de tendencia, mientras que la segunda permite plantear generalizaciones o deducir la razón de la configuración de los datos, basándose en leyes de probabilidad (Leiva et al., 2022).

Un estudio primordial para la comparación de datos es el análisis de una sola variable. Este resulta un procedimiento sencillo y práctico que permite calcular variables estadísticas de una sola columna de datos. Dentro de los parámetros de estudio tenemos los siguientes (Technologies, 2024).

- **Desviación:** retrata qué tan alejados están los datos individuales respecto al promedio, un valor alto indica datos dispersos.
- **Coefficiente de variación (CV):** indica la variabilidad relativa y permite comparar la variabilidad entre distintos conjuntos de valores.
- **Error estándar:** señala la precisión con la cual la media muestral representa a la media poblacional. Un valor pequeño indica que la media muestral estima de manera correcta la poblacional.
- **Sesgo estandarizado:** indica la simetría en la distribución de los datos, valores positivos o negativos indican una desviación hacia la derecha o izquierda respectivamente.
- **Curtosis estandarizada:** destaca como es la distribución de datos comparada con la distribución normal. Valores altos indican distribuciones puntiagudas, mientras valores bajos indican una distribución plana.
- **Raíz cuadrada media (RMS, Root Mean Square):** medida que evalúa la calidad de un modelo estadístico, mientras menor sea el valor mayor ajuste del modelo. Mide la magnitud global de los valores sin considerar su signo.

- Histograma: gráfico que expresa la distribución de frecuencias del conjunto de datos, el eje horizontal muestra los intervalos de valores y el vertical la frecuencia con la que aparecen los mismos.

- Diagrama de cajas y bigotes: visualiza la distribución de datos mediante cuartiles, la mediana se representa como una línea dentro de la caja y la media como un punto rojo. La caja contiene el 50% central de los datos, mientras los bigotes se extienden hasta los valores mínimo y máximo, mostrando los valores atípicos como puntos individuales.

#### 4.7.4 *Analizador de gases*

Se entiende como analizador de gases al dispositivo capaz de determinar la concentración y presencia de diferentes materiales y compuestos gaseosos, y enfocándose en un motor de combustión interna, los gases producto de los procesos de combustión. Para lograr un análisis correcto, se necesita contar con parámetros de ajuste y calibración tales como el cero y el span (escala máxima de medición), así como con sistemas para evitar fugas y mediciones incorrectas. La precisión de estos instrumentos es otro motivo de análisis, puesto que de aquí proviene la evaluación de efectividad de los sistemas de filtrado o de reducción de emisiones que se apliquen, así como los resultados correctos en casos de estudios e investigaciones (Petrov et al., 2022).

#### 4.7.5 *Prestaciones de un MEP*

En un MEP, las principales prestaciones que definen su eficiencia y rendimiento corresponden a las siguientes (Arízaga Mora, 2023).

- Torque: Se entiende como la fuerza de torsión que produce el motor, y su unidad de medida en el Sistema Internacional el newton por metro (N\*m). Se genera por el empuje de la combustión de la mezcla aire-combustible en el cilindro, impulsando el pistón y generando un movimiento rotacional por medio del cigüeñal. Su fórmula es la siguiente

$$T = Fb * r \quad (1)$$

Siendo:

T: el torque producido

Fb: fuerza aplicada

r: radio de aplicación

- Potencia: Representa cuantas veces se dispone del torque en un tiempo determinado. Este valor depende de la relación de compresión y cilindrada de un motor de forma fija, limitando las capacidades del motor en función de su diseño de fábrica. Por otro lado, en el vehículo, la potencia entregada dependerá de las revoluciones del motor, siendo que la mayor potencia se consigue a revoluciones altas, sin embargo esto tiene un límite que será definido por la capacidad del sistema de

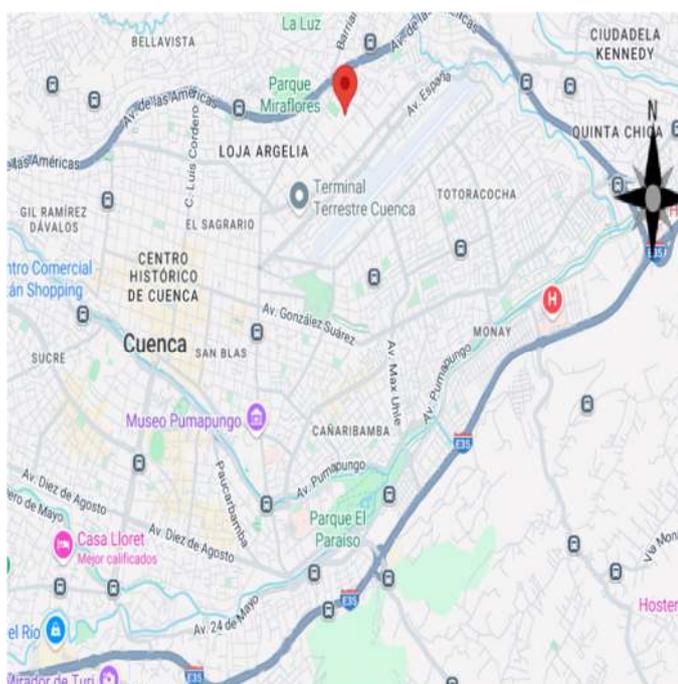
alimentación de combustible y el sistema de distribución. La potencia puede venir expresada en kilowatts (kW), caballos de fuerza (Hp) entre otras unidades.

## 5. Metodología

### 5.1 Área de Estudio:

La contaminación ambiental no es un problema ajeno a nuestro país ni región. El creciente parque automotor no hace más que agravar la situación, y los automóviles contribuyen significativamente a los gases contaminantes que se emiten en Ecuador, lo cual se ve agravado por la calidad de los combustibles que se manejan en el país (Primicias, 2022). Este estudio se centra en los combustibles alternativos y los biocombustibles, analizando las mezclas que han sido evaluadas por autores previamente, estudiando su comportamiento en nuestra área de estudio.

La presente investigación se desarrolla en la provincia de Azuay, en la ciudad de Cuenca, dentro del laboratorio de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador. Se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas geográficas: 2°53'08.6"S 78°59'19.6"W (-2.885731, -78.988776). En la Figura 4 se observa el mapa de la zona de estudio.



**Figura 4** Mapa de la Zona de Estudio, obtenido de Google Maps.

### 5.2 Unidad de estudio

Según datos del (INEC, 2024b), de la totalidad de vehículos matriculados en Ecuador, el 92% correspondían a vehículos de uso particular, siendo los vehículos deportivos utilitarios (SUV) una clase con gran presencia, teniendo 576,000 unidades. El 21% de la totalidad de vehículos provienen de la marca Chevrolet, siendo la empresa con mayor número de unidades en gran parte del país. Entre los vehículos de uso particular, SUV a gasolina pertenecientes a esta marca se encuentra el modelo Grand Vitara cinco puertas con su motor de 2 litros el cual comercializó cerca de 93 000 unidades

(El Telegrafo, 2017; El Universo, 2016). Esto lo convirtió en un vehículo comercial con gran mercado y presencia en Ecuador, haciéndolo una unidad de estudio pertinente a la investigación. Adicional a esto, el modelo a utilizar cuenta con el sensor de golpeteo, que mantiene un rendimiento estable cuando se utiliza combustibles de variable octanaje, protegiendo el motor y regulando los ajustes de encendido al combustible.

### 5.3 Instrumentos

Los materiales utilizados para el análisis completo corresponden a los siguientes.

#### 5.3.1 Vehículo

La unidad experimental utilizada corresponde a un vehículo Chevrolet Grand Vitara de dos mil centímetros cúbicos, modelo 2012. Se lo puede observar en la Figura 5.



**Figura 5** Vehículo empleado para el estudio

En la Tabla 5 se detallan las características del automóvil.

**Tabla 5** Características del vehículo empleado

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
Medidas	4195mm x 1685 mm
Peso bruto vehicular	1850 kg
Cilindrada	2000 cm <sup>3</sup>
Relación de compresión	9,3:1
Distribución	Doble árbol de levas DOHC
Alimentación	Atmosférico
Par	174 Nm/ 4300 rpm
Potencia	94 kW/6000
Sistema de alimentación de combustible	Inyección multipunto MPI
Gestión Electrónica	Encendido comandado electrónicamente
Sensor KNOCK	Si
Sensor de oxígeno	Si
Válvula EGR	Si
Sistema anticontaminante	Catalizador de 3 vías
Normativa de contaminación	No regulado, enfoque en mercados Latinos
Consumo promedio	12L/100 km

Nota: Recreada a partir de información de (Suzuki Motor Corporation, 2000)

### 5.3.2 Analizador de gases

El analizador de gases a utilizar corresponde al modelo AGS-688 de la marca BrainBee perteneciente a la carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad Nacional de Loja, observado en la Figura 6. Este cuenta con varias pantallas que muestran los gases emitidos por el tubo de escape del vehículo, además de un software de análisis Omnibus 800 que mediante una conexión USB permite realizar lectura y registro de datos en vivo.



**Figura 6** Analizador de gases AGS 688

Este cuenta con las siguientes características, detalladas en la Tabla 6.

**Tabla 6** Características del analizador de Gases AGS 688.

Característica	Descripción
Aplicaciones	Análisis gases de escape motores gasolina, opacímetro.
Gases medidos	CO, CO <sub>2</sub> , HC, O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , y relación Lambda
Rangos de medición	CO: 0 - 9.99 % vol - CO <sub>2</sub> : 0 - 19.9 % vol - HC (Hexano): 0 - 9999 ppm vol - O <sub>2</sub> : 0 - 25 % vol - NO <sub>x</sub> : 0 - 5000 ppm vol, con sensor aparte - Lambda: 0.5 - 5
Unidades de visualización	6 pantallas LCD retroiluminadas
Conexiones	Conexiones a PC, lectura de RPM vía pinza inductiva o capacitiva, y entrada para sonda de temperatura de aceite PT100
Calibración	Auto-cero y entrada de gas de referencia para calibración
Función de purga	Purga de agua condensada de manera automática y continua
Normativas	Cumple con OIML R 99 - ISO 3930 Clase 0 y la directiva MID 2004/22/EC

Nota: Tabla recreada a partir de datos de (Brain Bee, 2014)

### 5.3.3 Banco dinámico

El banco dinámico a utilizar corresponde al modelo Armfield CM11-MK, perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca, el cual permite realizar pruebas de par y potencia así como el empleo de ciclos de conducción previamente cargados, en la Figura 7 se lo observa.



**Figura 7** Banco dinamométrico Superflow 220 AutoDyn 30

En la Tabla 7 se pueden expresar las características del equipo utilizado.

**Tabla 7** Características del Banco Dinamométrico

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
Modelo	CM11-MKII
Capacidad de potencia	40 kW @ 4700 rpm (nominal)
Sistema de energía	Dinamómetro de corriente de Foucault
Refrigeración	Sistema de intercambio de agua y ventiladores
Requisitos energéticos	220-240V, 10A
Sistema de anclaje	Montaje en marco tubular con ruedas desmontables
Adquisición de datos	Sensores integrados con software de monitoreo
Sistemas adicionales	Compatible con biofuel y opciones avanzadas
Seguridad	Sistema de emergencia remoto y bloqueo

Nota: Tabla elaborada a partir de datos de (Ltd, 2019)

#### **5.3.4 Depósito de combustible**

Conjuntamente con la unidad de potencia se hizo uso de un dispositivo de almacenaje de combustible externo que se puede observar en la Figura 8, para poder realizar las mediciones de consumo así como los cambios de las mezclas, conectando las mangueras de alimentación del vehículo al mismo.



**Figura 8** Tanque externo de combustible

### 5.3.5 Probetas

Las probetas son los instrumentos utilizados para medir volúmenes específicos de muestras. Se puede observar un ejemplo de estas en la Figura 9. Estas se hallan fabricadas en polipropileno, material especial que resiste la exposición al combustible.



Figura 9 Probetas de medición

## 5.4 Insumos

### 5.4.1 Combustible

El combustible utilizado se determina en base a la revisión de artículos, seleccionando de las opciones disponibles en el mercado ecuatoriano (Extra y Super) la más acorde. Estas gasolinas se encuentran regidas por la normativa NTE INEN 935, que establece las siguientes características, especificadas en la Tabla 8 (EP Petroecuador, 2024).

Tabla 8 Propiedades de la gasolina Súper

Características	Súper	Extra
Número de Octano	95	87
Color y apariencia	Amarillo pálido	Verde azulado brillante
Punto inicial de ebullición	32°C	32°C
Punto final de ebullición	210°C	210°C
Punto de inflamación	-42°C	-42°C
Presión de vapor	6 a 12 kPa a 20°C	40 a 62kPa a 37,8 °C
Densidad de vapor	3-4 (aire=1)	3-4

Nota: Tabla elaborada a partir de datos de (EP Petroecuador, 2024).

### 5.4.2 Alcoholes

Los alcoholes utilizados se observan en la Figura 10 y corresponden a: Bioetanol ( $C_2H_6O$ ) y metanol ( $CH_3OH$ ), los cuales fueron obtenidos a través de la empresa MARECI, que ofrece el servicio de materiales y reactivos químicos en la ciudad de Loja, cuya ficha técnica se adjunta en los Anexos 1 y 2 donde la característica que destacan es la pureza de 99,97% y 99,5% para el alcohol metílico e etílico respectivamente, haciéndolos ideales para condiciones exigentes de prueba.

Estos compuestos presentan diferencias en su contenido energético, evaporación y comportamiento en la mezcla con gasolina. Si bien existen otras opciones como el propanol y el butanol, estos alcoholes han sido seleccionados por su disponibilidad y características favorables para

la aplicación en motores de combustión interna. La proporción óptima de mezcla será determinada en función de los resultados de investigaciones previas.



**Figura 10** Metanol y Bioetanol utilizados en la investigación

## 5.5 Procedimiento

### 5.5.1 Enfoque metodológico

El enfoque metodológico de esta investigación es de tipo mixto, combinando un análisis cualitativo mediante una revisión sistemática de la literatura y un estudio cuantitativo basado en pruebas experimentales. Para la parte cualitativa, se empleó la metodología de Torres et al. (2018), estableciendo un mapa conceptual que permite organizar los criterios de búsqueda y categorizar la información relevante. Se formularon preguntas clave para guiar la investigación, enfocándose en las mezclas de combustibles aplicadas en motores Otto para reducir emisiones contaminantes analizando su efecto en el rendimiento. La búsqueda se estructuró en clases: supraordenadas, isoordenadas, infraordenadas y exclusiones. Posteriormente, se elaboró un glosario de términos, con el apoyo de un tesoro de la Unesco. La búsqueda se optimizó mediante la implementación de operadores booleanos en un script automatizado, permitiendo filtrar artículos según su relevancia y asegurando que los resultados cumplan con los criterios establecidos.

En la parte cuantitativa, se llevó a cabo una evaluación experimental en un banco dinamométrico, analizando el comportamiento del motor al operar con diferentes mezclas de bioetanol, metanol y gasolina. Se midieron los parámetros de par y potencia, obteniendo curvas características del motor bajo condiciones controladas. Para el análisis de emisiones, se utilizó una parte del ciclo de conducción normalizado FTP-75, simulando condiciones reales de operación y registrando las concentraciones de HC, CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub> con un analizador de gases de escape. Además, se empleó el software ADVISOR, que permite simular el desempeño del vehículo con base en las especificaciones técnicas. Los resultados obtenidos en el banco de pruebas fueron contrastados con las simulaciones, permitiendo validar el impacto de cada mezcla de combustible en las prestaciones y emisiones del motor.

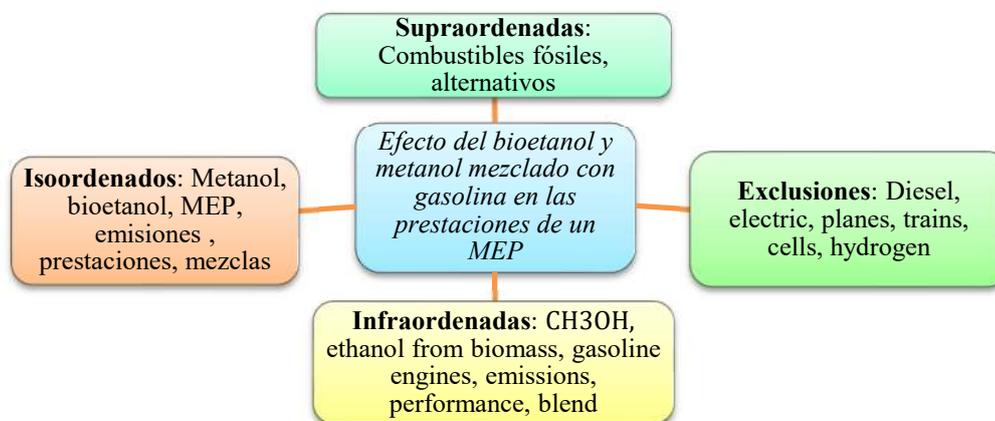
### 5.5.2 Técnicas

**Revisión sistemática de literatura:** Siguiendo la metodología de Torres et al. (2018), se establece un mapa conceptual para ordenar los criterios de búsqueda, categorizando la investigación y enfocándola en los textos que analicen la temática deseada. En este contexto, se plantean las preguntas de investigación que guían la búsqueda: “¿Qué proporción de bioetanol y metanol en la mezcla con gasolina permite obtener un equilibrio óptimo entre rendimiento del motor y reducción de emisiones?” y “¿Cuál es el octanaje de gasolina más adecuado para los ensayos con mezclas de bioetanol y metanol, considerando su impacto en las prestaciones y emisiones del motor?”

Seguido a esto se establecen las clases de búsqueda, que son las siguientes:

- **Supraordenadas:** Esta clase permite establecer el contexto de la investigación, estableciendo el problema.
- **Isoordenadas:** Permiten analizar propiedades específicas que se busca analizar.
- **Infraordenadas:** Esclarecen las subcategorías del problema de investigación que resultan de interés.
- **Exclusiones:** Es la parte primordial de la revisión, pues permite limitar la búsqueda y filtrar toda la bibliografía que no es de interés.

El mapa conceptual elaborado se observa en la Figura 11.



**Figura 11** Mapa conceptual para la revisión sistemática de Literatura

Seguido a esto, se procede a realizar un glosario de palabras con el uso de un tesoro. Utilizarlo ayuda a expandir el área de búsqueda que se pretende abarcar, buscando sinónimos que pueden haber sido utilizados en investigaciones de interés. El glosario dependerá del idioma en el que se desee buscar, teniendo en cuenta que la mayor parte de la bibliografía se encuentra en idioma anglosajón es conveniente enfocarse en utilizar palabras en inglés con el fin de agrandar el área de búsqueda. En la Tabla 9 se puede observar el glosario elaborado.

**Tabla 9** Glosario para la elaboración del script de búsqueda

Metanol	Bioetanol	MEP	Emissiones	Prestaciones	Mezclas	Exclusiones
CH3OH	ethanol from biomass	gasoline engines	emissions	performance	blend	Diesel
Methanol	bioethanol	spark ignition engines	exhaust	power	combination	Electric
Methyl Alcohol	biogenic ethanol	otto cycle engines	emanation	torque	fusion	Planes
Wood alcohol	C2H6O	fuel engines	discharges	horsepower	mixture	Trains
				twisting force		Cells
						Hydrogen

Luego de esto se procede a establecer la estructura semántica de búsqueda, para esto se hizo uso de los operadores booleanos, los cuales son comandos que establecen límites y programan la búsqueda hacia el sector deseado (Elsevier, 2024).

- OR: Establece que al menos un criterio de los establecidos debe aparecer en los resultados.
- AND: Se encarga de que ambos términos de búsqueda aparezcan en los resultados.
- AND NOT: Marca el criterio como una exclusión, evitando que aparezcan documentos que contengan el término.

En la Tabla 10 se aprecia como se combinan las clases y los operadores booleanos.

**Tabla 10** Estructura semántica del script de búsqueda

Palabra Clave	Estructura con operadores booleanos
MEP	(engine) AND (gasoline OR spark OR otto)
Bioetanol	AND (bioethanol OR “ethanol from biomass” OR “c2h6o” OR “methyl alcohol”)
Metanol	AND (methanol OR ch3oh OR “methyl alcohol” OR “wood alcohol”)
Prestaciones	AND (performance OR power OR torque OR horsepower OR “twisting force”)
Emissiones	AND (emissions OR exhaust OR emanation OR discharges)
Mezclas	AND (blend OR combination OR fusion OR mixture)
Exclusiones	AND NOT (diesel OR electric OR planes OR trains OR cells OR hydrogen OR butanol OR fermentation)

Finalmente se procede con la elaboración del script base, observado en la Tabla 11, el cual será refinado y podrá modificarse posteriormente para adecuarse a la búsqueda, agregando exclusiones, limitando la fecha de los documentos para obtener la bibliografía más actualizada en el tema de investigación, entre otras opciones.

**Tabla 11** Script base ensamblado

Ensamblaje del script de búsqueda
-----------------------------------

---

((engine) AND (gasoline OR spark OR otto) AND (bioethanol OR “ethanol from biomass” OR “c2h6o” OR “methyl alcohol”) AND (methanol OR ch3oh OR “methyl alcohol” OR “wood alcohol”) AND (emissions OR exhaust OR emanation OR discharges) AND (blends OR combination OR fusion OR mixture) AND NOT (diesel OR electric OR planes OR trains OR cells OR hydrogen OR butanol OR fermentation OR food))

---

Script con limitación de fecha de publicación

---

((engine) AND (gasoline OR spark OR otto) AND (bioethanol OR “ethanol from biomass” OR “c2h6o” OR “methyl alcohol”) AND (methanol OR ch3oh OR “methyl alcohol” OR “wood alcohol”) AND (emissions OR exhaust OR emanation OR discharges) AND (blends OR combination OR fusion OR mixture) AND NOT (diesel OR electric OR planes OR trains OR cells OR hydrogen OR butanol OR fermentation OR food)) AND PUBYEAR > 2019 AND PUBYEAR < 2025

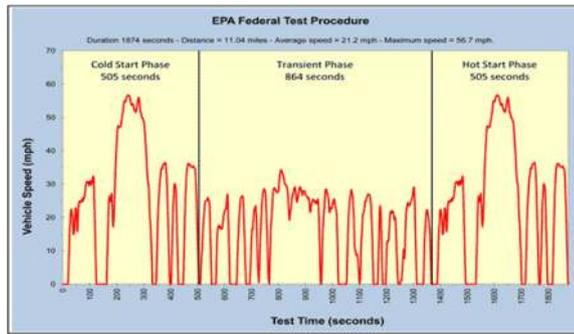
---

**Evaluación de mezclas:** La segunda parte del estudio consta del análisis de los combustibles alternativos, por medio de un ensayo en un vehículo con un MEP. Para la recreación de las mezclas se utiliza un recipiente de preparación cerrado, con capacidad de un litro, para garantizar la mezcla homogénea de los componentes. Se debe tener en cuenta la naturaleza polar de las materias primas, siendo que el bioetanol con la gasolina lograr mezclarse de manera correcta, pero en el caso del metanol eso no sucede, obligando a utilizar un co-solvente que para fines prácticos es el mismo bioetanol (Waluyo et al., 2021). Seguido a esto, se emplea un banco dinamométrico para extraer los datos de las prestaciones del vehículo, así como para analizar las emisiones, haciendo uso de una prueba de simulación de manejo que, junto con un analizador de gases y su software, permiten evaluar los valores de emisiones generados por el vehículo.

**Ciclo de conducción:** Para la elección se analizó el ensayo FTP-75 de normativa americana, debido a sus condiciones para evaluar un recorrido en ciudad. Este cuenta con gran aceptación en el mercado americano, y permite evaluar el impacto de los combustibles en las prestaciones y emisiones de un motor al someterse a un rango de velocidades y conducción (US. EPA, 2024).

- FTP-75: Se enfoca en representar la conducción urbana con paradas y aceleraciones frecuentes que permiten evaluar el consumo y emisiones. Dentro de esta rama existen diferentes ciclos como: UDDS que evalúa condiciones de ciudad, el EPA75 que se compone del UDDS pero se alarga 505 segundos para evaluar trayectos suburbanos, el HWFET que simula condiciones de carretera, el US06 que evalúa condiciones agresivas y el NYCC que examina trayectos de velocidades muy bajas, típicas de ciudades congestionadas.

El ciclo EPA75 cuenta con una duración total de 31 minutos y 14 segundos (1874 segundos), constando de tres fases. La primera de arranque en frío, seguida de la conducción por ciudad y arranque en caliente. El arranque en frío empieza tras un reposo de al menos 10 minutos, para continuar con el trayecto, en el cual se alcanza una velocidad máxima de 91.2 km/h, recorriendo un total de 17.77 km (US. EPA, 2024). El esquema del ensayo se puede observar en la Figura 12.



**Figura 12** Ciclo de conducción EPA75

La investigación somete a prueba el combustible más utilizado en las pruebas de investigadores previos, y la mezcla de bioetanol y metanol que más destacaron. De esta manera, se evalúan tres mezclas sometiéndolas a los primeros 505 segundos del ciclo FTP, que corresponde a la fase de arranque en frío. La US EPA, (2024) establece esta fase inicial como una etapa crítica conocida como “Bag 1”, debido a sus condiciones de carga y operación del motor, representando las emisiones en una porción significativa del ciclo de conducción. El uso de esta etapa inicial resulta de interés en el contexto urbano de ciudades pequeñas por donde circula la unidad experimental en mayor medida (Jiménez, 2024). Esta fase cuenta con una distancia recorrida de 5,77 km con una velocidad promedio de 41,11 km/h.

Por otra parte, estudios previos han analizado la etapa inicial de un ciclo para estudiar las emisiones generadas e identificar diferencias en el desempeño del motor (Du et al., 2020; Zhai et al., 2023). La decisión de limitar el análisis a esta fase entonces responde a la importancia científica además de la necesidad de mantener el enfoque práctico dentro de los recursos disponibles, puesto que fases adicionales del ciclo hubiera requerido un tiempo significativamente mayor, fuera del alcance el estudio. Por tanto las pruebas realizadas permiten comparar de manera válida los efectos de los combustibles alternativos sobre las prestaciones en un periodo representativo del ciclo de conducción.

**Recolección de Datos:** La recolección de datos se realizó con el programa Omnibus 800, integrado en el analizador de gases AGS 688, de esta manera se registró medidas cada medio segundo de las emisiones durante cada repetición. Al mismo tiempo, se registra los valores de potencia y consumo que provee la unidad de potencia donde transcurre la prueba.

En la Tabla 12 se muestran las condiciones ambientales en las cuales se realizaron las pruebas experimentales.

**Tabla 12** Condiciones experimentales

Temperatura ambiente	24,3 °C
Temperatura de aire aspirado	220 °C
Humedad relativa del aire	53,1 %
Presión del aire	755,6 hPa

En la Figura 13 se observa el transcurso de las actividades para alcanzar los objetivos de investigación.

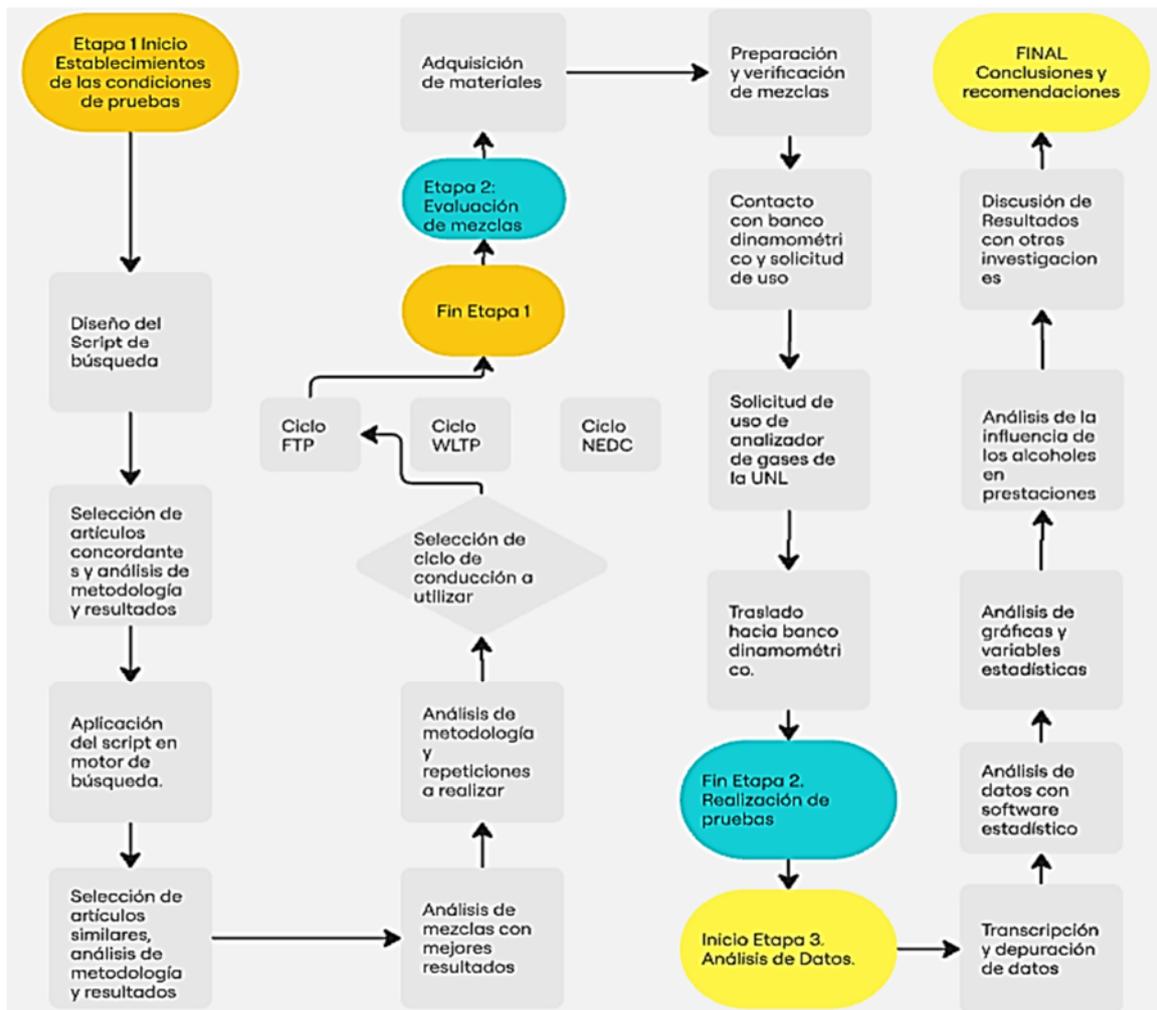


Figura 13 Flujograma de actividades de la investigación

## 5.6 Procesamiento y análisis de datos

### 5.6.1 Análisis con el software StatGraphics

Para realizar el análisis de los datos recolectados, se utilizó el software StatGraphics. En primer lugar, se obtuvo el resumen estadístico de la información recolectada por el script de búsqueda, para determinar el porcentaje de mezcla de metanol y bioetanol en el combustible, así como el tipo de gasolina utilizada en las investigaciones previas, como se detalla en la Figura 14. Posteriormente, el mismo software fue empleado para analizar los datos de emisiones, potencia y consumo. Para el caso de las emisiones se llevó a cabo una tabulación, como se observa en la Figura 15, donde se utilizó la gasolina Súper como base de referencia, promediando los resultados de tres pruebas, y luego

se calculó la diferencia respecto a las pruebas con mezclas de metanol y bioetanol. A esta diferencia se le aplicó un análisis estadístico de una variable, representado mediante gráficos de caja y bigotes, como se observa en Figura 16.



Figura 14 Análisis estadístico para la determinación de las condiciones experimentales

Promedio 3 pruebas				
CO	CO2	HC	O2	Potencia
%Vol	%Vol	%Vol	%Vol	kW
0.102	14.87	16.67	0.07	0.00
0.09	14.87	16.67	0.07	0.00
0.08	14.86	16.17	0.07	0.00
0.07	14.83	15.67	0.07	0.00
0.07	14.83	15.67	0.07	0.00
0.06	14.83	15.67	0.07	0.00
0.07	14.87	15.67	0.07	0.00
0.21	14.84	15.67	0.07	0.00
0.47	14.40	15.67	0.07	0.00
0.78	14.37	15.89	0.08	0.00
0.76	14.38	16.44	0.10	0.00
0.61	14.43	17.17	0.11	0.00
0.54	14.57	17.67	0.11	0.00
0.51	14.63	18.33	0.11	0.00
0.51	14.66	22.22	0.09	0.00
0.48	14.64	28.22	0.09	0.02
0.42	14.53	30.00	0.09	0.36
0.51	14.47	35.00	0.10	0.23
0.82	14.17	41.06	0.13	0.64
1.31	13.95	52.33	0.20	1.20
1.47	13.87	58.50	0.21	3.69
1.52	13.98	59.56	0.19	7.18
1.80	13.47	66.89	0.14	9.85
2.82	13.07	97.83	0.12	12.73

Figura 15 Modelo de tabulación de datos de emisiones y potencia

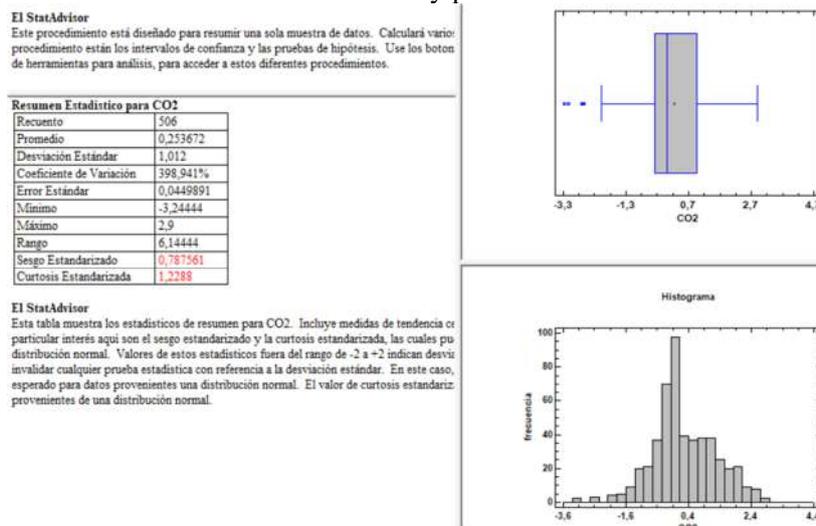


Figura 16 Análisis estadístico de una variable

## 5.6.2 Comparación de pruebas con modelos ideales

Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos se utilizó el software Advanced Vehicle Simulator (Advisor), el cual se halla integrado al entorno Matlab. Este programa permite realizar simulaciones de pruebas de conducción en una amplia gama de vehículos, siendo posible el ajuste de parámetros para estudiar un modelo específico (Markel et al., 2002).

En la Figura 17 se observa la interfaz de configuración del vehículo otorgada por el programa. En esta fase se configuran todas las características técnicas del vehículo a simular.

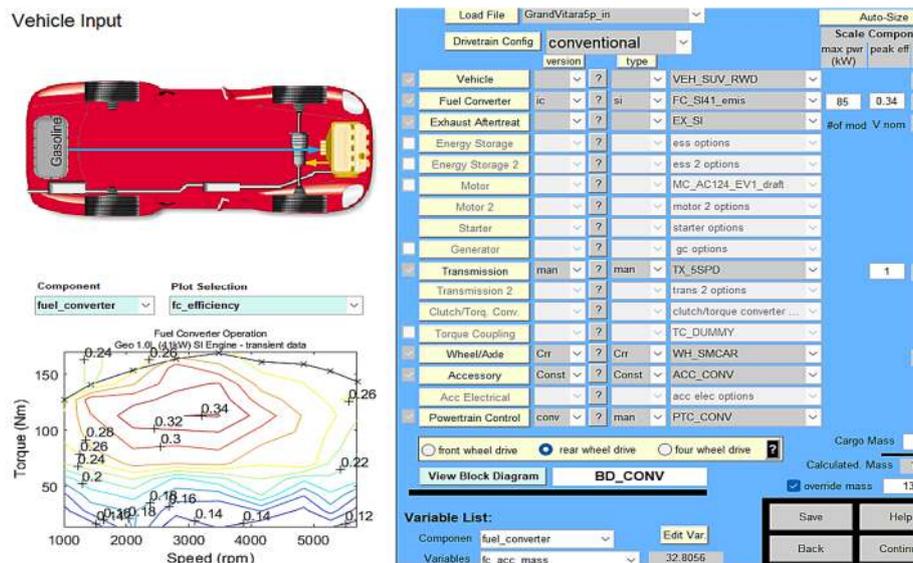


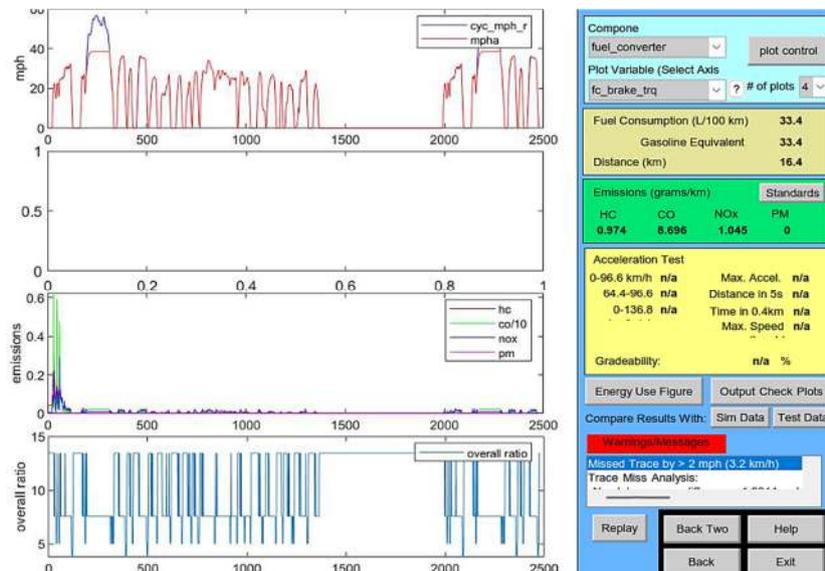
Figura 17 Software de comparación

Se destacan aspectos clave como:

- Conversión de energía: Se define la fuente energética a emular, como vehículos eléctricos o en el caso de estudio, un motor de encendido provocado.
- Sistema de Transmisión: Elige la configuración de marchas.
- Resistencia Aerodinámica y Rodadura: Se incluyen los coeficientes de arrastre y resistencia a la rodadura, obtenidos de la ficha técnica del vehículo (Anexo 3).
- Parámetros Físicos del Vehículo: Se ingresan dimensiones, peso y configuraciones de tracción. La determinación del área frontal se realizó mediante modelado en el software Autodesk Inventor (Anexo 6).

Una vez establecida la configuración del vehículo a simular se procede a continuar con análisis, realizando la prueba de conducción. El software presenta una gran cantidad de ciclos para la elección, siguiendo el caso de estudio se realiza la prueba del ciclo de conducción FTP-75, el cual es un estándar para evaluar consumo de combustible y emisiones en condiciones de conducción urbana. En la Figura 18 se visualiza como entrega el programa los datos, detallando lo siguiente:

- Velocidad del Vehículo: Representa la comparación entre la velocidad objetivo del ciclo y la velocidad alcanzada por el vehículo en la simulación.
- Emisiones Contaminantes: Se grafican los niveles de emisiones de HC, CO, NOx y partículas.
- Relación total de transmisión: muestra la variación de la relación de transmisión durante la prueba, reflejando los cambios de marcha y la eficiencia en la entrega de potencia. Valores altos indican marchas bajas, mientras que valores bajos corresponden a marchas altas.



**Figura 18** Resultados de simulación Advisor

Los resultados obtenidos en el software permitieron evaluar el efecto de los alcoholes bioetanol y metanol en las emisiones del motor, simulando un ciclo de conducción estandarizado. Se extrajeron los datos del entorno para recrear las gráficas y comparar con las pruebas experimentales.

## 6. Resultados

### 6.1 Resultados del script de búsqueda

El código realizado encontró un total de 41 artículos como se observa en la Figura 19, a estos se les aplico el filtro de tiempo para limitar la bibliografía a un máximo de cinco años previos.

Document title	Authors	Source	Year	Citations
Article • Open access 1 Improving efficiency and product quality by optimizing methanol purification in biodiesel plant: Addressing abnormalities in distillation column performance	Burmano, A.D., Benquerba, Y., Wicaksana, F., ... Taslim, T., Iriany, I.	International Journal of Thermo fluids , 25, 101019	2025	0

**Figura 19** Resultados del script previo filtro de fecha

Una vez realizado el filtro de tiempo quedaron un total de 17 documentos encontrados, como se observa en la Figura 20. Estos fueron los artículos analizados para determinar sus características y metodología.

Document title	Authors	Source	Year	Citations
Article • Open access 1 Improving efficiency and product quality by optimizing methanol purification in biodiesel plant: Addressing abnormalities in distillation column performance	Burmano, A.D., Benquerba, Y., Wicaksana, F., ... Taslim, T., Iriany, I.	International Journal of Thermo fluids , 25, 101019	2025	0

**Figura 20** Resultados del script con filtro de fecha activado

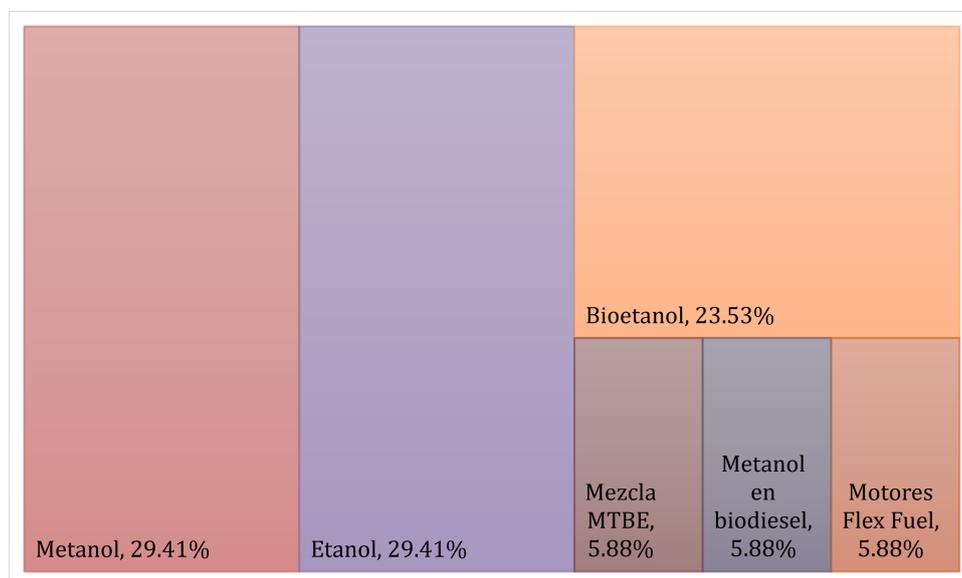
En la Tabla 13 se clasifican los documentos de acuerdo a si dan respuesta a la primera pregunta de investigación: “¿Qué proporción de bioetanol y metanol en la mezcla con gasolina permite obtener un equilibrio óptimo entre rendimiento del motor y reducción de emisiones?”. Se observa que, del total de los artículos analizados, tres de ellos no tenían relación específica con la pregunta de investigación.

**Tabla 13** Temáticas generales de los artículos obtenidos

Tipo de Mezcla	Artículos	Cantidad
Metanol	Verhelst et al. (2019); Wang et al., (2019); Zhang et al., (2022); Waluyo et al., (2021); Li et al., (2023)	5

Etanol	Sakthivel et al., (2019); Kozak, (2019); Calvin et al., (2022); Hatte & Bhalerao, (2019); (Deshpande et al., 2024)	5
Bioetanol	Herrera et al., (2022); Merezhko et al., (2020); Yelbey & Ciniviz, (2020); Khan et al., (2023)	4
Otras temáticas:	Abdelhafiz et al., (2023); Burmana et al., (2025); Gupta & Subramanian, (2023)	3
<b>Total</b>	17	
<b>Total de interés</b>	14	

En la Figura 21 se muestra las temáticas que abarcan los estudios previos analizados, observando tres grupos generales que concuerdan con la línea investigativa, y tres temáticas fuera de esta.



**Figura 21** Distribución de respuestas a la primera pregunta de investigación.

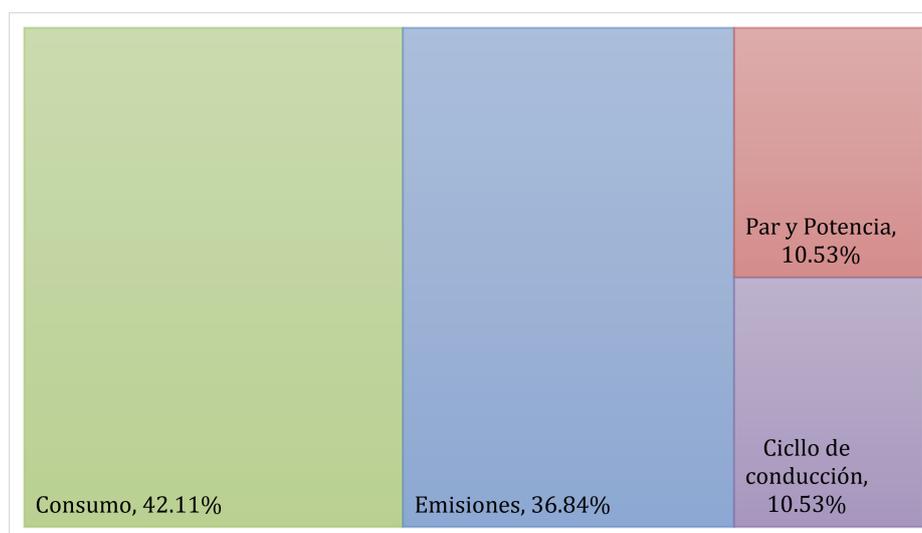
De igual forma se realiza este análisis para la segunda pregunta de investigación: “¿Cuál es el octanaje de gasolina más adecuado para los ensayos con mezclas de bioetanol y metanol, considerando su impacto en las prestaciones y emisiones del motor?”. Los resultados se expresan en la Tabla 14.

**Tabla 14** Temáticas de los artículos pertinentes al tema

Tipo de Mezcla	Artículos	Cantidad
Par y Potencia	Hatte & Bhalerao, (2019); Calvin et al., (2022); Merezhko et al., (2020); Khan et al., (2023); Verhelst et al. (2019); Wang et al., (2019); Waluyo et al., (2021);	7
Consumo	Sakthivel et al., (2019); Kozak, (2019);	2

Emisiones	Herrera et al., (2022); Yelbey & Ciniviz, (2020); Zhang et al., (2022); Li et al., (2023); Sakthivel et al., (2019); Kozak, (2019); Khan et al., (2023); Khan et al., (2023)	8
Ciclos de conducción	Sakthivel et al., (2019); Zhang et al., (2022)	2

En la Figura 22 se muestra la distribución de los artículos analizados en relación a la segunda pregunta de investigación. En este caso se toma en cuenta que gasolina ha sido de mayor interés cuando se trata de mezclas de biocombustibles.



**Figura 22** Distribución de respuestas a la segunda pregunta de investigación

De los 17 artículos encontrados, se halló que 3 no guardaban relación directa con ninguno de los puntos destacables por lo que se descartaron, quedando 14 artículos de interés, los cuales tienen el siguiente origen, detallados en la Tabla 15.

**Tabla 15** Revistas de los artículos encontrados en el script de búsqueda.

Revistas	Cantidad	SJR	IF	Qx	H5	SJR rank
Fuel	3	7.4	1	125	1.724	
Progress in Energy and Combustion Science	1	32	1	36.8	5.679	
Processes	1	2.8	2	3	0.529	
Sustainability	1	3.3	1	3.6	0.664	
Applied Thermal Engineering	1	6.1	1	5.8	1.559	
MATEC Web of Conferences	1	-	4	42	0.166	
International Journal of Energy Production and Management	1	-	2	12	0.315	
Diagnostyka	2	-	3	16	0.253	
Lecture Notes In Mechanical Engineering	1	-	4	24	0.16	
International Journal of Recent Technology and Engineering	1	-	4	31	0.11	
Journal of Mines, Metals and Fuels	1	-	4	12	0.163	

Nota: Tabla elaborado a partir de información de Scimago Journal & Country Rank (SJR)

## 6.2 Análisis de la bibliografía encontrada

La información del script de búsqueda fue filtrada buscando relaciones con el tema de investigación. Seguido a esto se analizó cada artículo, obteniendo la información relevante que permita determinar puntos de interés, como el número de octano de investigación (RON) y las mezclas de bioetanol y metanol (Ex y Mx). De esta manera se destacan los puntos primordiales.

### **Bioetanol**

En el artículo de Sakthivel et al. (2019) se utiliza mezclas de gasolina de RON 92 con etanol en tres porcentajes. Las mezclas de combustibles se realizaron sin usar aditivos, ni efectuar modificaciones al motor. Se realizaron dos pruebas, en una se obtuvo un incremento en el consumo y una reducción de la potencia, así como de dos de las tres emisiones evaluadas. En otra prueba se reveló un aumento del consumo y se redujeron igualmente dos de los tres gases evaluados. La mezcla E30 mostró los mejores resultados en emisiones, sacrificando el consumo.

En el artículo de Hatte & Bhalerao (2019) se hace uso de gasolinas con RON 87, agregando etanol hasta E40. Las pruebas se realizaron en condiciones de aceleración máxima y carga variable del banco dinamométrico. Se encontró que E10 proporciona mejor eficiencia mecánica y, a medida que la proporción de etanol incrementa, la eficiencia térmica indicada disminuye. Las emisiones disminuyen con la adición de etanol. Se concluye añadir etanol se considera una alternativa adecuada sin embargo, en altas cantidades se requiere de modificaciones al motor.

La investigación de Kozak (2019) utiliza gasolina RON 95 con diversas mezclas. En altas proporciones de bioetanol se necesitan aditivos para adecuar correctamente el combustible y la adición de este conlleva una velocidad de propagación de llama superior. Las emisiones contaminantes tuvieron el menor registro con E15. Los investigadores consideran el bioetanol como un combustible alternativo que lidera la búsqueda del transporte sostenible, siendo menos tóxico y más biodegradable que la gasolina.

Por su parte, Calvin et al. (2022) realizaron un estudio donde usaron tres combustibles diferentes y proporciones de bioetanol. Se enfriaron los componentes para minimizar la vaporización. El artículo propone un incremento en la relación de compresión del motor para aumentar la eficiencia térmica. La mayor presión de vapor de las gasolinas se consiguió al usar la mezcla E10 y se considera que la mezcla del alcohol y el carburante resulta beneficiosa, siempre que se tengan en cuenta las limitaciones de alta y baja volatilidad.

El artículo de Herrera et al. (2022) realizó una revisión de las mezclas de combustible alternativo utilizadas en la región. Destacan el bioetanol como potenciador para gasolinas de bajo octanaje con E20. En relación con otros productos agrícolas, el uso de bioetanol reduce el 89% de las

emisiones de gases de efecto invernadero y lo señalan como una alternativa eficaz para la reducción de emisiones contaminantes, teniendo en cuenta las ventajas de la región respecto a la producción de caña de azúcar, que es la planta más eficiente energéticamente para producir el biocombustible.

Por su lado, Merezhko et al. (2020) realizaron una investigación utilizando gasolinas de RON 85-89 para combinarlas con bioetanol. Se determinó que con mezclas bajas las propiedades resultantes cumplían con la norma técnica ucraniana SSTU y no muestran efectos adversos en el rendimiento técnico y operativo del motor. Se produce un incremento en el consumo de combustible, no significativo para mezclas bajas, así como una reducción en las emisiones. Se determina que los combustibles oxigenantes tienen un gran margen de mejora e investigación.

El artículo de Yelbey & Ciniviz (2020) empleó gasolina de RON 92, con mezclas de bioetanol de hasta E10. Se utilizaron cargas diferentes del motor, midiendo prestaciones y emisiones. Se encontró que la mezcla E10 producía una disminución de par, potencia, eficiencia térmica y emisiones, incrementando el consumo de combustible. Los autores destacan que la mezcla E10 produce una pérdida de prestaciones e incremento en el consumo de combustible, sin embargo, consideran que esta pérdida se ve compensada por la mejora en emisiones.

La investigación de Khan et al. (2023) analiza mezclas de gasolina de RON 85-89 con bioetanol hasta E14. Se utilizaron gasolina comercial y alcohol de laboratorio para evaluar el funcionamiento y las emisiones del motor en condiciones severas. El consumo se incrementa directamente con la cantidad de bioetanol. La mezcla E14 consiguió mejores resultados en emisiones. Se concluye que la mezcla E14 es una gran opción debido a la reducción en emisiones contaminantes a costa de un ligero incremento en el consumo de combustible.

El estudio realizado por Deshpande et al., (2024) analizó el rendimiento y emisiones de un motor de encendido por chispa que usaba una mezcla de etanol de 10-15%. Las pruebas se aplicaron en un motor mono cilíndrico de cuatro tiempos, variando condiciones de carga y velocidad. Se encontró que la mezcla de etanol E10 obtuvo los mejores resultados, disminuyendo emisiones de CO, HC y NOx, aunque incrementó los valores de CO2. Aparte, se observó una mejora en la potencia de frenado y eficiencia térmica del motor comparado con la gasolina sin aditivos.

### **Metanol**

Verhelst et al. (2019) analizan gasolinas de RON 80-87 con varios porcentajes de metanol. Se destaca que los alcoholes son más seguros que la gasolina, pero se advierte que a bajas temperaturas se vuelven inestables, por lo que se requiere tener un cosolvente, que generalmente es etanol. Se destaca que las mezclas de bajo volumen, como M10, son consideradas gasolinas en toda regla. El

metanol suprime mejor las detonaciones, respecto al etanol/bioetanol y es un combustible alternativo muy prometedor con una producción más sencilla que otros alcoholes.

El artículo de Wang et al. (2019) evalúa el metanol como incrementador de octanaje, probando dos combustibles de RON 81.7 y 94, agregando cantidades de metanol de 0 a 70%. Se explican dos metodologías de mezcla, de salpicadura y RON match. Con la mezcla M10 se mejora la eficiencia térmica en ambas gasolinas. Conforme se añade más metanol a la mezcla, esta reduce su poder calorífico inferior así como los óxidos de nitrógeno, mientras que la eficiencia térmica puede incrementar. El aumento en el consumo no es significativo para mezclas bajas.

El artículo de Zhang et al. (2022) también estudia el efecto del metanol en las emisiones, utilizando gasolina de RON 95-98 con mezclas M10 a M50 en un vehículo de pasajeros sin modificaciones previas, sometiéndolo a un ciclo de conducción NEDC. El consumo se eleva con más cantidad de metanol, y a partir del 30% el vehículo no se enciende en frío. Una elevada cantidad de metanol provoca una baja temperatura en el cilindro, combustión inestable y fallos en la chispa. La mezcla M10 muestra los mejores resultados en reducción de emisiones y partículas.

Por otro lado, Waluyo et al., (2021) utilizan mezclas de gasolina de 92 octanos y metanol con etanol como cosolvente. Los autores realizaron las mezclas en un entorno cerrado, con mezclado manual y tiempos de reposo. Se añadió una cantidad mínima de 0,5 mililitros de etanol para lograr una mezcla homogénea, indispensable en proporciones bajas de metanol. La mezcla M10 generó el par más elevado y, en general, con el metanol se presenta un mayor contenido de oxígeno, lo que permite una combustión más completa, así como una mayor relación hidrógeno-carbono para reducir emisiones.

El artículo de Li et al., (2023) presenta un estudio sobre los efectos del metanol en motores de combustión, con gasolinas de RON 80-89 y mezclas de hasta 15% de metanol en vehículos no adaptados. Se encontraron problemas de arranque en frío cuando se eleva la presencia de metanol pero con una reducción de emisiones. Los autores proponen diversificar el mercado de vehículos con mezclas de metanol, eligiendo M15 para vehículos que no cuenten con sistemas adaptados a combustibles alternativos.

En la Tabla 16 se muestra un resumen de los datos relevantes acerca de estudios que aplican bioetanol, luego de su respectivo análisis.

**Tabla 16** Características de las pruebas de gasolina con bioetanol

Artículo	RON base de gasolina	Mezclas	Mejor mezcla	Prestaciones resultantes	Emisiones resultantes
1 Sakthivel et al., (2019)	92	E10- E30	E30	+15% consumo	Caso 1 (WOT): -75% CO, -66% HC Caso 2 (INDC): -56% CO, -38E% NOx, +9% HC

2 Hatte & Bhalerao, (2019)	87	E0-E40	E10	+5% eficiencia mecánica	-CO -HC
3 Kozak, (2019)	95	E5-E85	E15	+5% consumo	-3% CO -40% HC
4 Calvin et al., (2022)	90	E10- E90	E10	+6 RON	No evaluado
5 Herrera et al., (2022)	92	E5-E27	E20	NO evaluado	-89%CO
6 Merezhko et al., (2020)	87	E10- E15	E10	+ Eficiencia	-CO -NOx -HC
7 Yelbey & Ciniviz, (2020)	92	E0-E10	E10	-5.77% Par +9.7 Consumo -4.7 Eficiencia térmica	-35,56% HC -26,04% CO -6,01% CO +22,39% O2
8 Khan et al., (2023)	87	E0-E14	E14	Torque aumentado en 1%-2% +14% potencia freno	-40% CO
9 (Deshpande et al., 2024)	95	E10- E15	E10	+1.39% Potencia de frenado -5.9% Consumo de combustible	-18% CO +3.9% CO2 -3.5% HC -2.53% NOx

Nota: Tabla elaborada a partir de los datos de los artículos resultantes del script

Por otro lado, en la Tabla 17 se hallan los datos destacados de los estudios que abordan la mezcla de metanol y gasolina.

**Tabla 17** Características de las pruebas de gasolina con metanol

Artículo	Combustible	Mezclas	Mejor mezcla	Prestaciones resultantes	Emisiones resultantes
1 Verhelst et al. (2019)	83	M15- M30	M10	+ Potencia	-CO2
2 Wang et al., (2019)	87	M10- M70	M10	+1.8% Eficiencia térmica	-NOx
3 Zhang et al., (2022)	96	M10- M50	M10	Menor tiempo de aceleración	-25% CO -partículas
4 Waluyo et al., (2021)	92	M5-M40	M10	Mayor Par promedio Mayor rendimiento	No evaluado
5 Li et al., (2023)	94	M0-M15	M15	No evaluado	-CO -HC

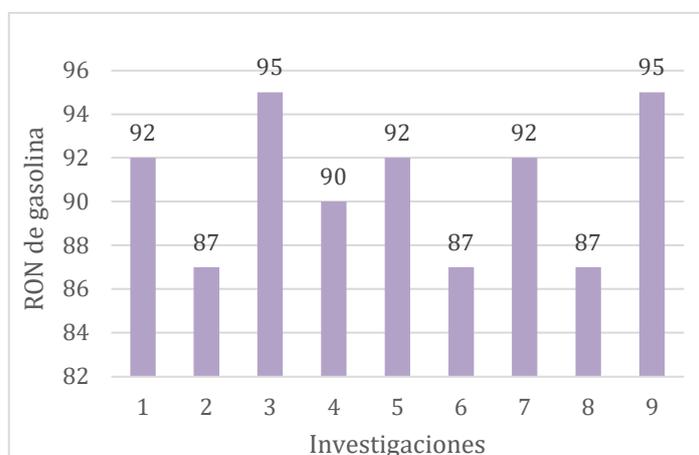
Nota: Tabla elaborada a partir de los datos de los artículos resultantes del script

### 6.3 Determinación de mezclas

Para establecer las condiciones para las pruebas experimentales se analiza los estudios previos, y se determina las pruebas que han reflejado resultados favorables.

### 6.3.1 Artículos analizados

En las Figura 23 se representa las gasolinas empleadas en los estudios previos que utilizan bioetanol, clasificando estas por el octanaje que tienen. Por otro lado, en la Figura 24 se representan las tendencias de gasolinas usadas en investigaciones que analizan el metanol.



**Figura 23** RON utilizado por investigadores en mezclas de gasolina y bioetanol



**Figura 24** RON utilizado por investigadores en mezclas de gasolina y metanol

En la Tabla 18 se analiza las gasolinas utilizadas y se obtiene una media de 90,77 y 90,4 para mezclas con bioetanol y metanol respectivamente. De esta manera, se denota que en mayor parte las investigaciones analizan gasolina de alto octanaje, enfocándose en encontrar mejoras para este combustible, tanto económicas como ambientales. El valor de la gasolina Súper presente en el medio coincide con estas características, siendo el valor de rango máximo, y teniendo una baja variabilidad (3%), indicando que el valor de octanos no dista de la media general. Además, emplear esta gasolina conlleva beneficios frente a la detonación que puede ocurrir con biocombustibles.

**Tabla 18** Análisis de gasolinas empleadas en estudios previos

	Bioetanol	Metanol
Promedio	90,77	90,4
Varianza	10,44	28,3
Desviación Estándar	3,23	5,31
Coefficiente de Variación	3,56%	5,88

Mínimo	87,0	83
Máximo	95,0	96
Rango	8,0	13

Nota: Tabla elaborado a partir de datos del Software StatGraphics

Prosiguiendo con las condiciones de estudio se determina las mezclas de alcoholes a realizar. En la Figura 25 se expresa los porcentajes de bioetanol que los investigadores han catalogado con mejores resultados.



**Figura 25** Porcentaje de bioetanol empleado en investigaciones previas

En el caso del segundo alcohol de interés, la Figura 26 muestra las mezclas que en artículos previos han mostrado resultados destacables.



**Figura 26** Porcentaje de metanol empleado en investigaciones previas

Finalmente la Tabla 19 muestra el resumen estadístico para la determinación de la concentración en volumen de los alcoholes. En este caso se tiene que para el bioetanol el promedio se halla en un 14,77%, mientras que para el metanol este tiene un valor de 11%. Así, se procede con la elección del porcentaje de mezcla, que será 15% para bioetanol y 10% para metanol. Estos porcentajes se encuentran dentro del rango de elección, y basándose en el coeficiente de variación, resulta importante emplear valores cercanos a la media, respetando los rangos que se pueden emplear en vehículos no adaptados. De esta manera, al aproximar los valores a los empleados comúnmente

en la literatura, se busca también reducir posibles errores de medición, facilitando la repetibilidad del experimento.

**Tabla 19** Análisis de concentración de bioetanol y metanol usados en estudios previos

	Bioetanol	Metanol
Promedio	14,33	11
Varianza	46,5	5
Desviación Estándar	6,81	2,23
Coefficiente de Variación	47,57%	20,32
Mínimo	10,0	10
Máximo	30,0	15
Rango	20,0	5

Nota: Tabla elaborado a partir de datos del Software StatGraphics

### 6.3.2 Mezclas seleccionadas

Con el análisis de la bibliografía previa se obtuvieron las mezclas a utilizarse, detalladas en la Tabla 20, donde se aproximó las cantidades a un 15% y 10%. Se toma en cuenta que el metanol requiere de un cosolvente para una mezcla homogénea en gasolina por lo que el porcentaje total disminuye ligeramente a una cantidad de 9,52%.

**Tabla 20** Mezclas de combustibles utilizadas

Gasolina	Aditivos		Tipo de mezcla
	Metanol	Bioetanol	
Super 95 Octanos	0%	0%	Gasolina 100%
Super 95 Octanos	0	15%	Mezcla E15
Super 95 Octanos	9,52%	4,76%	Mezcla M10

Una vez determinadas las concentraciones a utilizar se calculó las cantidades de insumos a utilizar, las cuales se resumen en la Tabla 21. También se procedió con una prueba de octanaje para cada mezcla, las cuales se pueden observar en el Anexo 5 y 6, omitiendo la gasolina Súper por tener su valor conocido por venta.

**Tabla 21** Cantidades empleadas para recrear las mezclas

Mezcla	Gasolina (L)	Bioetanol (L)	Metanol (L)	Octanaje
Super 100	7	0	0	95
E15	5.95	1.05	0	98,7
M10	5.99	0.33	0.66	98,6

Estas mezclas se sometieron a la fase inicial del ciclo EPA75 de la normativa americana FTP.

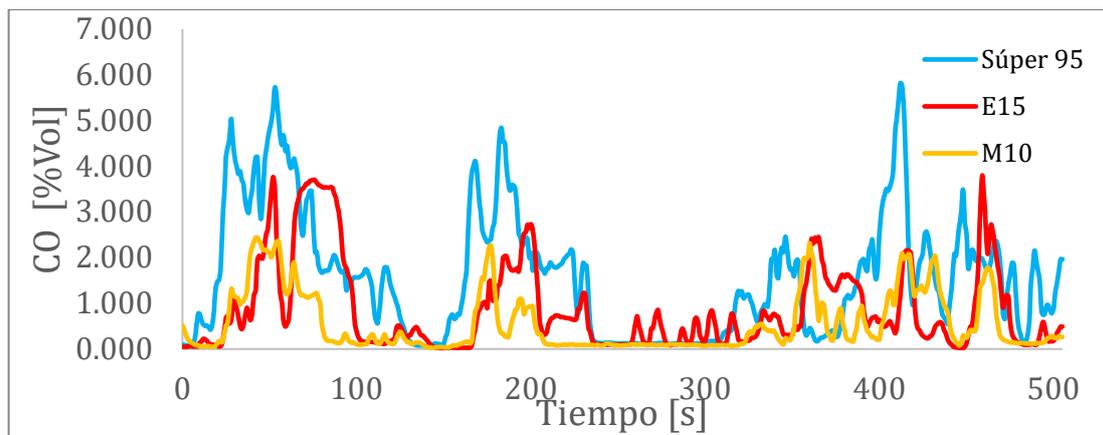
## 6.4 Evaluación de mezclas y comparación de mezclas

Las mezclas fueron evaluadas por medio de tres pruebas de ciclo de conducción y una prueba de par y potencia máxima. Es importante la repetición de las pruebas del ciclo para poder analizar de forma correcta el experimento, tomando en cuenta que se requiere seguir una instrucción que puede tener pequeñas variaciones por intervención humana. Por otro lado, una prueba de par y potencia

máxima resulta suficiente puesto que el ensayo tiene una ejecución más exacta. A continuación se expresan las gráficas de la variación de las emisiones y prestaciones entre la gasolina de 95 octanos, la mezcla E15 y la mezcla M10, comparando sus promedios, incrementos o decrecimientos y sus variables estadísticas.

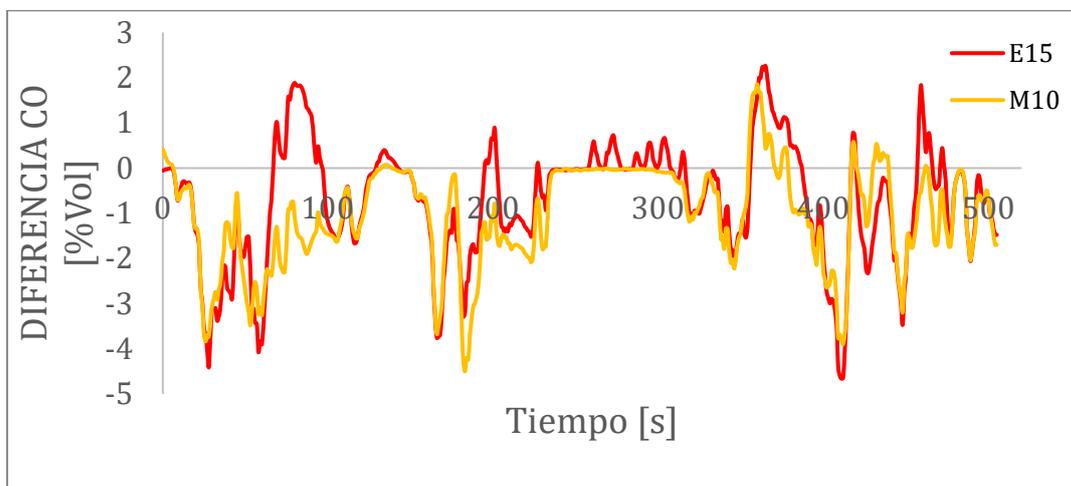
#### 6.4.1 Emisiones de monóxido de carbono (CO)

En la Figura 27 se observa la variación del CO a lo largo de la prueba. Se puede apreciar que los picos de valores máximos se producen cuando se utiliza la gasolina Súper sin ningún aditivo, notándose a primera vista una mejora importante al utilizar los biocombustibles, donde a primera vista, M10 tiene periodos con valores más bajos.



**Figura 27** Evolución del CO a lo largo de las pruebas

En la Figura 28 se indica como varía el porcentaje en volumen de CO. Se puede apreciar que ambas mezclas se encuentran en la parte negativa de la gráfica, indicando que en la mayor parte del ciclo de conducción se produce una reducción en las emisiones, sin embargo, la mezcla con metanol (M10) mantiene un comportamiento más estable y sus picos de incremento son menos en cantidad y valor respecto al combustible que emplea bioetanol (E15).



**Figura 28** Diferencia de emisiones de E15 y M10 respecto a la gasolina Súper

En la Tabla 22 se expresa el resumen estadístico del análisis de una variable de cada alcohol en función de la diferencia de producción de CO respecto a la gasolina sin aditivos, donde se destacan los siguientes efectos únicos:

- Promedio: En este caso representa la diferencia media en la producción de CO respecto a la gasolina sin aditivos. Para el bioetanol, la reducción es de 0,717 unidades de porcentaje en volumen, mientras que para el metanol, la reducción es aún mayor, alcanzando 1,037 unidades. Esto indica que ambas mezclas reducen la emisión de CO, aunque el metanol destaca en este caso.

- Varianza y Desviación Estándar: En el caso de E15, la desviación estándar es de 1,30, lo que significa que los valores de CO pueden variar aproximadamente en  $\pm 1,3$  unidades respecto a la media. Para M10, esta dispersión es un poco menor (1,10 unidades), lo que sugiere que los datos son más consistentes en torno a la media y que el efecto de la mezcla M10 para reducir CO es mejor.

- Error Estándar: Los valores son relativamente bajos (0,058 para E15 y 0,049 para M10), sugiriendo que la media calculada es una buena representación del comportamiento general de los datos y que las fluctuaciones no afectan significativamente la tendencia observada.

- Sesgo Estandarizado: El sesgo negativo observado (-4,75 para E15 y -5,13 para M10) indica que la mayoría de los valores están por debajo de la media, es decir, que la reducción de CO es predominante y que hay pocos valores donde el CO se mantuvo o aumentó ligeramente.

- Curtosis Estandarizada: Los valores (1,34 para E15 y 0,85 para M10) sugieren que existen algunos valores extremos, aunque no de manera excesiva. En el caso del E15, la curtosis es mayor a 1, lo que indica que hay ciertos puntos que se alejan significativamente de la media.

- RMS: Los valores de 1,487 para E15 y 1,516 para M10 exponen una baja variabilidad en los datos de las mediciones de CO respecto a la media, indicando que las mediciones realizadas por el analizador de gases presentan consistencia y una tendencia a reducir emisiones.

Se observa una reducción considerable de las emisiones de CO, siendo M10 más efectiva. De igual forma, los datos presentan consistencia y baja variabilidad con reducciones claras y predominantes producidas por los alcoholes.

**Tabla 22** Resumen estadístico de CO

	E15	M10
Promedio	-0,71	-1,03
Varianza	1,70	1,22
Desviación Estándar	1,30	1,10
Coefficiente de Variación	-181,94%	-106,63%
Error Estándar	0,05	0,04
Mínimo	-4,65	-4,49
Máximo	2,26	1,85
Rango	6,91	6,35
Sesgo Estandarizado	-4,74	-5,13
Curtosis Estandarizada	1,33	0,84

RMS	1,487	1,51
-----	-------	------

Nota: Tabla realizada a partir de los datos obtenidos del software StatGraphics

En la Figura 29(a) se observa el análisis de la variación de CO con la mezcla E15. Se aprecia que la mayor parte de los datos se encuentran en el rango negativo de -1,7 a 0, con algunos valores atípicos que indican una mayor reducción con la mediana ubicándose en el rango negativo de -0,4. En la Figura 29(b) se observa el gráfico de variación de M10. Se aprecia la mayoría de datos en el rango negativo de -1,5 a 0, indicando nuevamente una disminución de emisiones, con unos pocos valores atípicos de reducciones altas. La mediana y la media también se encuentran en la zona de disminución de emisiones, con valores de -1 y -1,03 respectivamente. En general, se observa una reducción marcada con ambas muestras, puesto que el 75% de los datos, representados por el cuerpo de la caja y el bigote inferior, se encuentran con valores inferiores a 0. Existen también algunos valores atípicos que pueden originarse en los periodos de cambio de marcha, donde se altera brevemente la prueba.

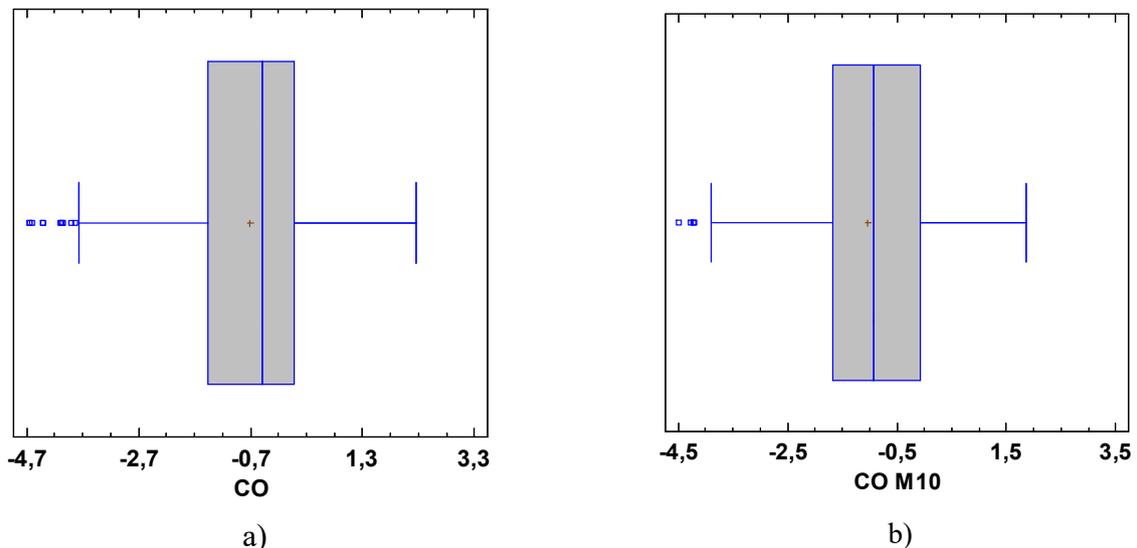
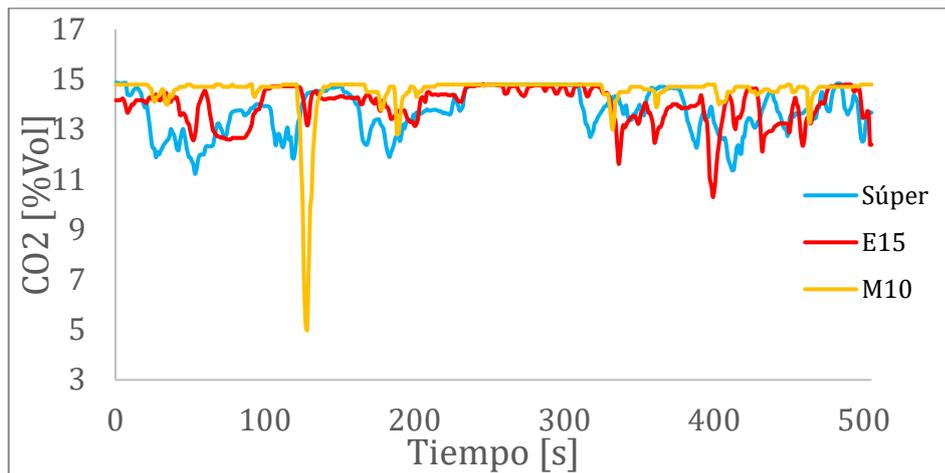


Figura 29 Gráfico de la producción de CO a) Mezcla E15 b) Mezcla M10

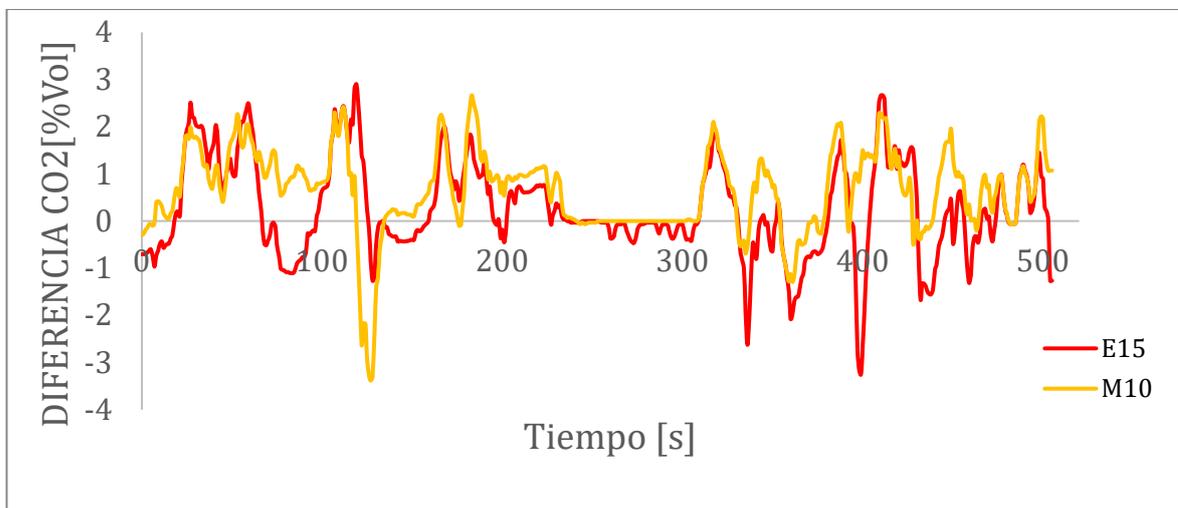
#### 6.4.2 Emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

En la Figura 30 se aprecia la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> a lo largo del ciclo, promediando las tres pruebas. Se tiene un pico de disminución con la mezcla M10 en un periodo de desaceleración del vehículo, siendo que, en general, se observa un incremento en las emisiones cuando se usa los aditivos bioetanol y metanol.



**Figura 30** Evolución del CO2 a lo largo de las pruebas

En la Figura 31 se expresa la diferencia de producción de CO2. Como se anticipaba en la gráfica anterior, existe un incremento de producción con el bioetanol y metanol, siendo la elevación más notoria con este último. El intervalo de menor aumento corresponde a los periodos donde el vehículo alcanzaba la mayor velocidad, de 80km/h a 90 km/h, y puede atribuirse a la combustión completa que se fuerza al añadir oxígeno extra en la cámara de combustión. Este aumento de CO2 puede verse desfavorable puesto que es de los principales causantes del calentamiento global, pero es un resultado natural de una reacción limpia que implica la menor producción de CO y HC, típicos de combustiones incompletas.



**Figura 31** Diferencia de emisiones de E15 y M10 respecto a la gasolina Súper

En la Tabla 23 se muestra el resumen estadístico al analizar la diferencia de producción de CO2. Se destaca los siguientes puntos:

- Promedio: Es posible apreciar que E15 generó un aumento de 0,253 unidades de porcentaje en volumen, mientras que M10 produjo un incremento mayor de 0,632 unidades. Esto indica que ambas mezclas aumentan las emisiones de CO2, siendo más pronunciado el efecto del metanol.

- **Varianza y Desviación Estándar:** Para E15, la desviación estándar es de 1,012, lo que significa que los valores pueden variar aproximadamente en  $\pm 1,012$  unidades respecto a la media. En el caso de M10, la desviación estándar es menor (0,877 unidades), lo que indica que sus valores están más concentrados en torno a la media en comparación con el bioetanol.

- **Error Estándar:** Se observa que los valores son bajos para ambas mezclas (0,0449 para E15 y 0,0389 para M10), lo que indica que la media calculada es una buena representación del comportamiento general de los datos y que las fluctuaciones no afectan significativamente la tendencia observada.

- **Sesgo Estandarizado:** En el caso de E15, el sesgo es 0,79, lo que indica que la distribución está inclinada hacia valores más altos, es decir, predominan los incrementos en el CO<sub>2</sub>. Para el M10, el sesgo es -7,10, lo que sugiere que existen valores extremos orientados a la reducción de CO<sub>2</sub>, aunque en promedio haya un incremento.

- **Curtosis Estandarizada:** Para E15, el valor de 1,23 sugiere una distribución cercana a la normal, sin una cantidad significativa de valores atípicos. En contraste, el M10 presenta una curtosis de 12,45, lo que indica la presencia de valores atípicos más extremos y una mayor concentración de datos en torno a la media.

- **RMS:** En este caso, los valores de 1,042 para E15 y 1,08 para M10 indican pocas desviaciones de los valores frente al promedio, agregando confiabilidad, e indicando que la tendencia general del incremento se cumple en el espectro de la prueba, aunque existan zonas donde haya disminución.

Se observó un incremento general de CO<sub>2</sub>, más pronunciado con M10. Con una baja dispersión y errores estándar, se puede indicar una confiabilidad de resultados. E15 presenta más variabilidad mientras que M10 mayor presencia de valores extremos.

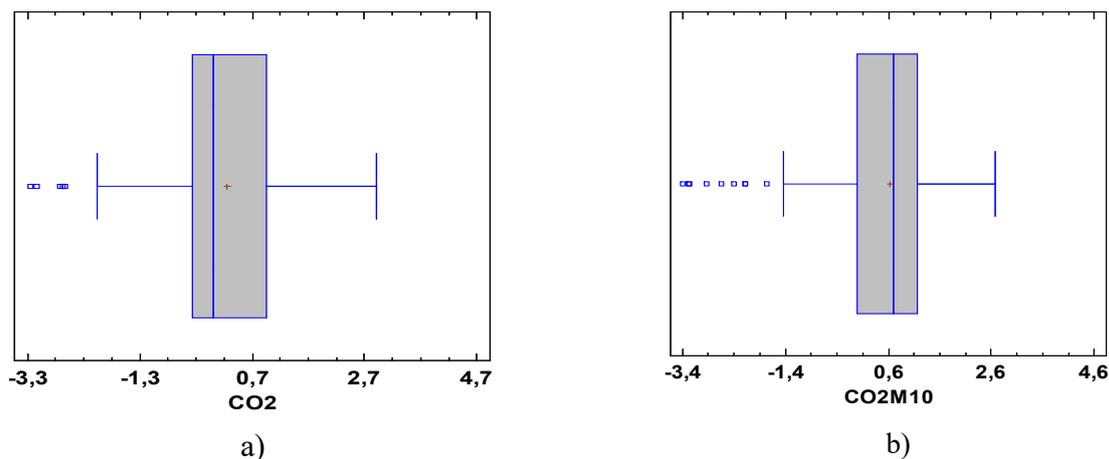
**Tabla 23** Resumen estadístico de CO<sub>2</sub>

	E15	M10
Promedio	0,25	0,63
Varianza	1,02	0,76
Desviación Estándar	1,01	0,87
Coefficiente de Variación	398,94%	138,67%
Error Estándar	0,04	0,03
Mínimo	-3,24	-3,38
Máximo	2,9	2,66
Rango	6,14	6,05
Sesgo Estandarizado	0,78	-7,10
Curtosis Estandarizada	1,22	12,45
RMS	1,042	1,08

Nota: Tabla realizada a partir de los datos obtenidos del software StatGraphics

En la Figura 32(a) que responde a E15, se muestra la distribución de los datos, siendo que la mayor parte de los mismos se encuentran en un rango positivo de 0.8 a -0,4, teniendo la mediana y la media un valor de 0 y 0,25 respectivamente. De esta manera se aprecia un incremento en el valor de

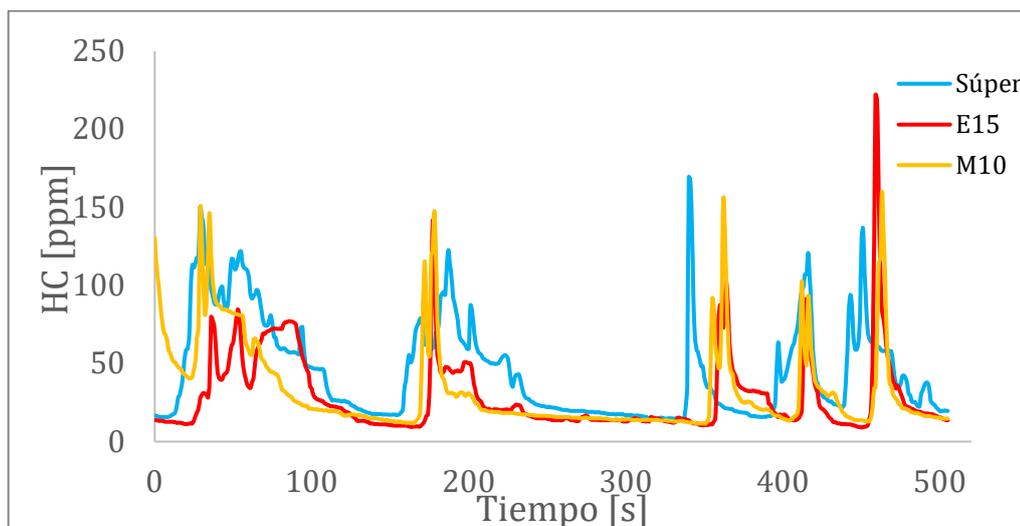
la emisión de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, la Figura 32(b) que corresponde a M10 muestra que la mayoría de los datos también están en el rango de aumento de CO<sub>2</sub> de 0 a 1,2. Y como indicaba la curtosis, existen valores atípicos en la parte de reducción, pero el promedio tiende al incremento con un valor de 0,63. Por otra parte, la mediana tiene un valor de 0,6, respondiendo a que los datos se ubican en la parte de crecimiento de emisiones. El gráfico en general muestra una tendencia de incremento de CO<sub>2</sub>, observando que en ambos casos un 75% de los daos tienen valores mayores a 0, con presencia de valores atípicos atribuidos a la existencia de periodos donde no se ejerce control de las pruebas como lo es el cambio de marcha, lo que marca puntos de valores fuera de norma.



**Figura 32** Grafico cajas y bigotes de producción de CO<sub>2</sub> a) Con E15 b) Con M10

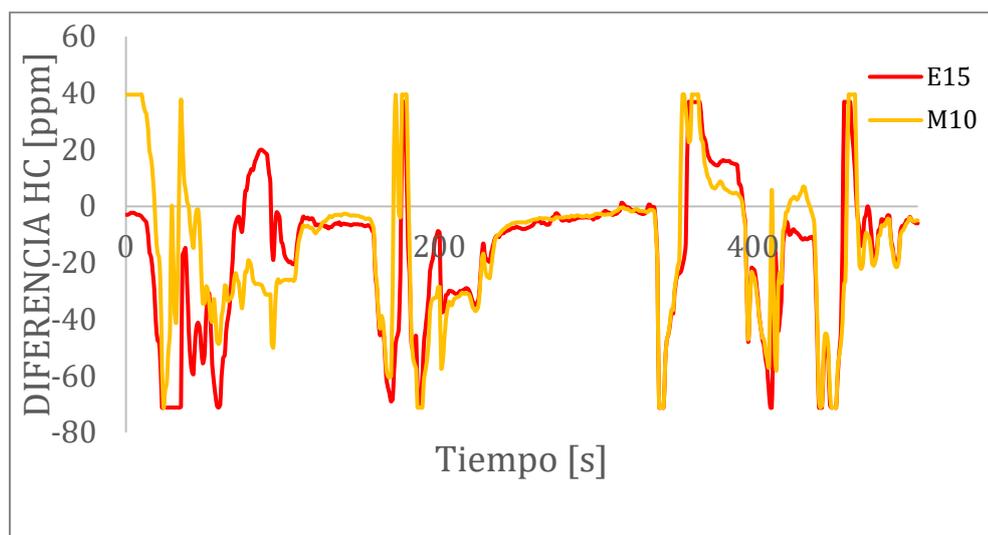
### 6.4.3 Emisiones de hidrocarburos (HC)

En la Figura 33 se observa el comportamiento de las emisiones de hidrocarburos a lo largo de los ensayos durante el ciclo. En este caso, la mezcla E15 muestra líneas pronunciadas de emisiones en momentos de alta velocidad, en comparación a M10 y la gasolina de 95 octanos. Los incrementos más significativos se producen en fases del ciclo con aceleraciones bruscas y velocidades altas.



**Figura 33** Evolución de los HC a lo largo de las pruebas

En la Figura 34 se visualiza la diferencia de producción de partículas por millón de HC, tanto de la prueba con E15 como de la prueba M10. En este caso se observa que E15 genera una caída pronunciada de emisiones en los primeros segundos de prueba, y pese a que mantenga valores absolutos más altos como se visualizó en la figura anterior, en general sus fluctuaciones son menos variables. Por otro lado, M10 presenta cambios más bruscos, con una mayor cantidad de picos de mayor y menor producción. De esta manera, se evidencia que en general, ambas mezclas reaccionan a las aceleraciones y desaceleraciones, aumentando y reduciendo ppm respectivamente.



**Figura 34** Diferencia de emisiones de E15 y M10 respecto a la gasolina Súper

La Tabla 24 presenta el resumen estadístico de las emisiones de hidrocarburos para las mezclas analizadas. A continuación, se destacan los coeficientes estadísticos.

- Promedio: Se observa que E15 disminuye los HC en 16,38 ppm, mientras que el M10 los reduce en 13,68 ppm. Esto indica que ambas mezclas producen una reducción de los hidrocarburos, con un mayor efecto en el caso del bioetanol.

- Varianza y Desviación Estándar: La desviación estándar es de 25,12 ppm para E15 y de 24,73 ppm para M10, lo que indica una alta variabilidad en ambos casos. Esto sugiere que las emisiones de HC reaccionan en gran medida a los cambios de velocidad.

- Error Estándar: El error estándar es bajo en ambos casos (1,116 para E15 y 1,099 para M10), lo que indica que la estimación de la media es precisa, a pesar de la alta variabilidad en los datos.

- Sesgo Estandarizado: En el caso de E15, el sesgo es -4,91, lo que indica una tendencia marcada hacia valores menores de HC. Para M10, el sesgo es -0,83, lo que sugiere una distribución más simétrica, con menos predominio de valores extremadamente bajos.

- Curtosis Estandarizada: Para el E15, la curtosis es 0,15, lo que indica una distribución relativamente uniforme sin una alta concentración de valores extremos. En contraste, el M10 tiene

una curtosis de 0,83, lo que sugiere la existencia de más valores atípicos en comparación con el bioetanol.

- RMS : Se observa que el RMS es de 29,97 para E15 y 28,24 para M10. Estos valores indican una magnitud promedio considerable respecto a la media de datos, reflejando que en ciertas condiciones las emisiones pueden ser significativas

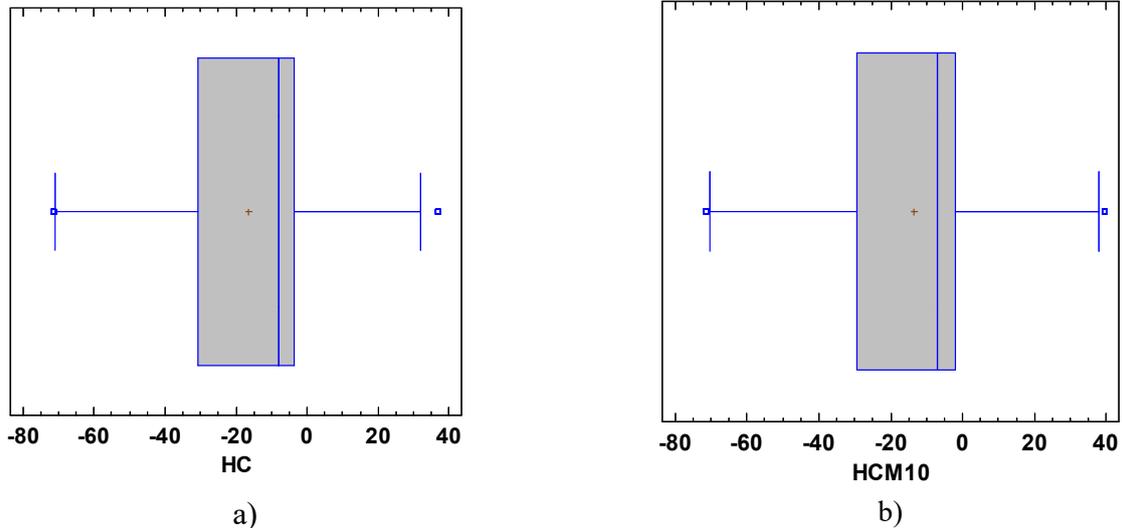
Ambas mezclas producen una reducción de las partículas de hidrocarburos producidas, teniendo E15 una ligera ventaja. Y aunque los datos presentan cierta variabilidad, los errores estándar indican una estimación representativa. De esta manera, se observa que las emisiones de hidrocarburos muestran una respuesta muy sensible a las condiciones del ciclo de conducción, como son aceleraciones y desaceleraciones.

**Tabla 24** Resumen estadístico de HC

	E15	M10
Promedio	-16,3829	-13,6837
Varianza	631,201	611,783
Desviación Estándar	25,1237	24,7342
Coficiente de Variación	-153,353%	-180,757%
Error Estándar	1,11689	1,09957
Mínimo	-71,2014	-71,1667
Máximo	36,8542	39,5
Rango	108,056	110,667
Sesgo Estandarizado	-4,91409	-0,8282
Curtosis Estandarizada	0,148657	0,8329
RMS	29,97	28,24

Nota: Tabla realizada a partir de los datos obtenidos del software StatGraphics

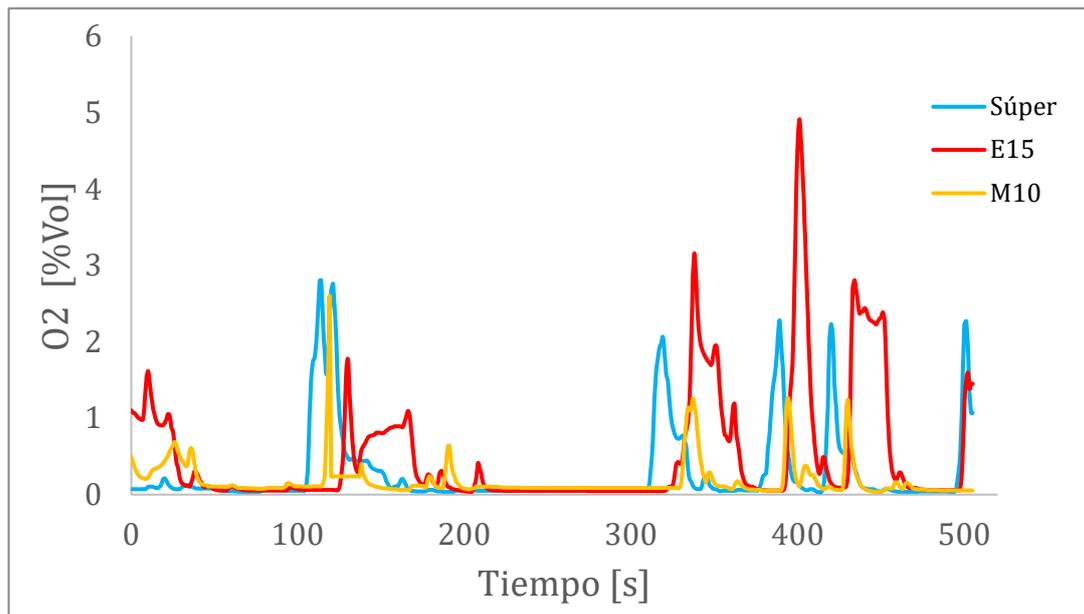
En la Figura 35(a) se observa la distribución de los datos para E15, donde la mayor parte de los valores se encuentran en el rango de -32 a -3 ppm, con una tendencia clara hacia la reducción de HC. Se identifican valores atípicos en la parte superior del diagrama, lo que indica que en ciertas condiciones del ciclo de conducción se registraron picos de emisión. Tanto la mediana como el promedio se ubican en la zona negativa con valores de -12 y -16 respectivamente, confirmando que la reducción de HC es el comportamiento predominante, aunque con una alta variabilidad. Por otro lado, la Figura 35(b) muestra la distribución para M10, con un intervalo principal de datos entre -30 y 0 ppm. En este caso, se observa la presencia de valores atípicos en la parte superior, lo que indica que existen más casos de incremento de HC en comparación con E15. Sin embargo, la mediana y el promedio siguen ubicándose en la parte negativa del cuadro con valores de -11 y -13 respectivamente, lo que confirma que, en general, la mezcla con metanol también tiende a reducir las emisiones de HC, aunque con una mayor dispersión y con unos pocos casos donde se registran aumentos significativos, esto demostrado por el 75% de los datos que se hallan con valores inferiores a 0.



**Figura 35** Grafico de la producción de HC a) Con E15 b) Con M10

#### 6.4.4 Emisiones de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>)

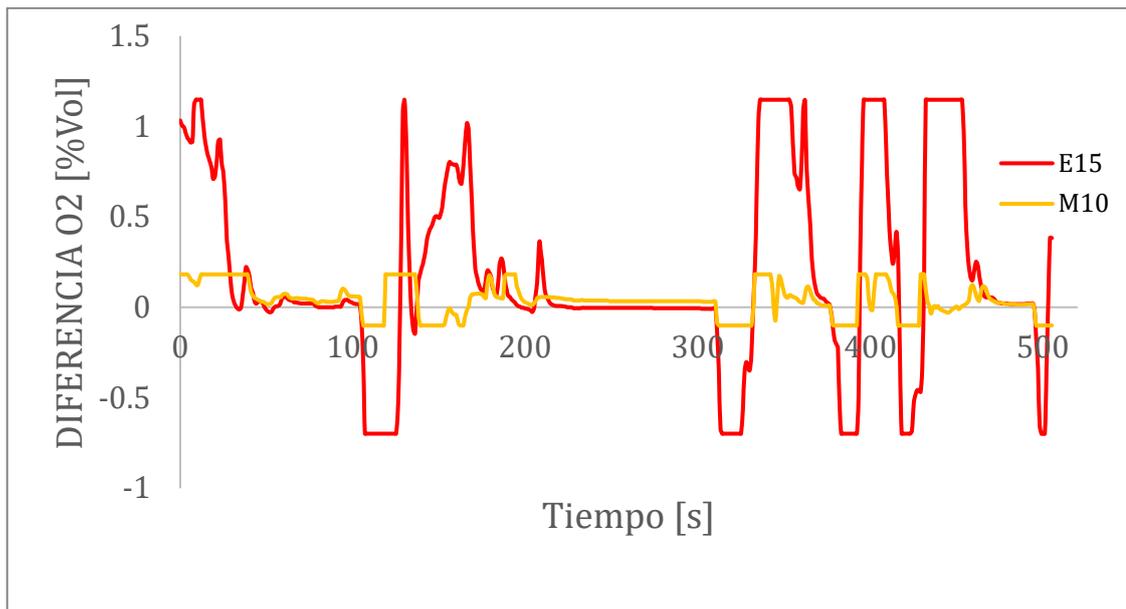
En la Figura 36 se observa el comportamiento del oxígeno durante el ciclo. Se aprecia un ligero incremento en la producción al añadir los alcoholes, siendo que M10 logra el pico más alto de generación, pero mantiene un comportamiento más estable. Por otra parte, E15 muestra picos más frecuentes.



**Figura 36** Evolución del O<sub>2</sub> a lo largo de las pruebas

En la Figura 37 se expresa la variación del oxígeno respecto a la gasolina Súper. Se puede notar periodos de variación con ambas mezclas, siendo que E15 presenta más fases de aumento, mientras M10 tiene más fases de reducción. Pero, en general, ambas mezclas muestran un ligero incremento con variaciones y periodos sin cambios, interpretándose como un resultado favorable

puesto que se evidencia la existencia de más O<sub>2</sub> para la mezcla aire combustible, pero sin llegar a valores muy altos que pudiesen producir detonaciones.



**Figura 37** Diferencia de emisiones de O<sub>2</sub> de E15 y M10 respecto a la gasolina Súper

En la Tabla 25 se expresan los datos estadísticos de la diferencia de O<sub>2</sub> al emplear las mezclas analizadas. Se destaca lo siguiente:

- Promedio: Se observa que el bioetanol generó un aumento promedio de 0,1810 unidades de porcentaje en volumen, mientras que el metanol produjo un incremento menor de 0,0389. Esto indica que la mezcla con bioetanol tiene un mayor impacto en el contenido de oxígeno en los gases de escape en comparación con el metanol.

- Varianza y Desviación Estándar: Para E15, la desviación estándar indica que los datos pueden variar aproximadamente en  $\pm 0,5243$  unidades respecto a la media. En el caso de M10, la desviación estándar es menor (0,088), lo que sugiere que los valores están más concentrados en torno a su media en comparación con el bioetanol.

- Error Estándar: En el caso de E15, tiene un valor de 0,0233, mientras que para M10 es de 0,0039, lo que sugiere que ambas estimaciones de la media son confiables, pero la del M10 es aún más precisa debido a su menor dispersión de datos.

- Sesgo Estandarizado: Para E15, el valor es de 3,8284, lo que sugiere una distribución asimétrica con una mayor cantidad de valores elevados. En el caso de M10, el sesgo es de 0,2139, indicando una distribución mucho más simétrica en comparación con la mezcla de bioetanol.

- Curtosis Estandarizada: Para E15, la curtosis es de -1,6921, lo que indica una distribución más plana de los datos, con menos valores extremos en comparación con una distribución normal. En

contraste, para M10 la curtosis es de -2,98, lo que sugiere una distribución aún más uniforme, sin picos pronunciados ni valores extremadamente alejados de la media.

• RMS: En este caso, el RMS es de 0,5541 para E15 y de 0,0964 para M10, lo que indica que el bioetanol tiene una variabilidad más amplia en los datos en comparación con el metanol, que presenta valores más estables. De esta manera, se puede indicar que aunque el E15 presenta un mayor incremento de oxígeno, estos valores no resultan estables como es el caso de M10, y siendo que los valores en ambos casos son pequeños, no se puede afirmar una mejora en todo el espectro.

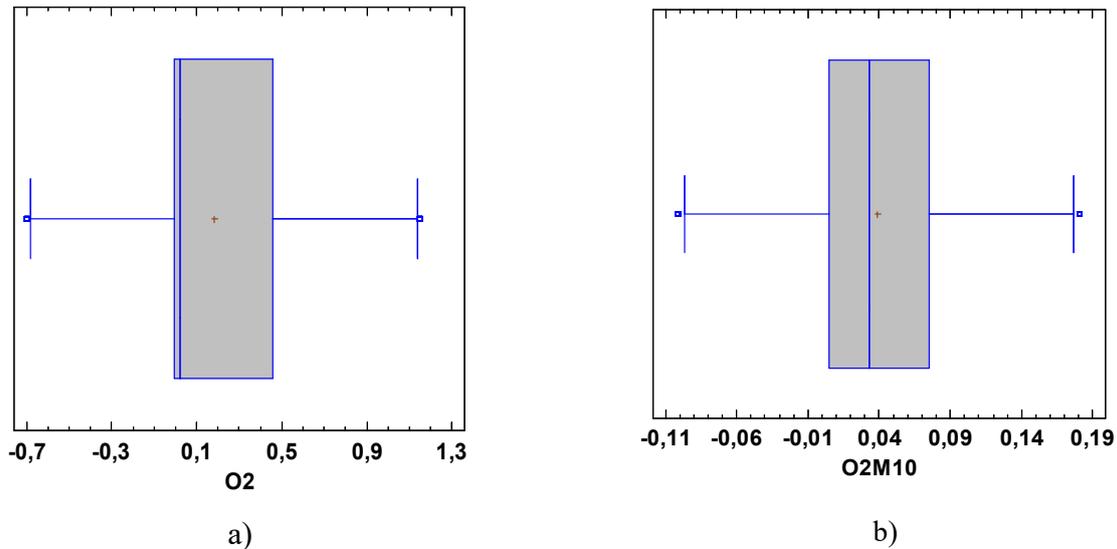
Se destaca un incremento en el contenido de oxígeno, aunque con una magnitud muy pequeña en ambos casos, siendo el metanol el que produce el menor cambio, mientras que E15 tiene mayor variabilidad y valores extremos lo que significa un comportamiento peor respecto a M10.

**Tabla 25** Resumen estadístico de O<sub>2</sub>

	E15	M10
Promedio	0,18	0,03
Varianza	0,27	0,007
Desviación Estándar	0,52	0,08
Coefficiente de Variación	289,62%	226,97
Error Estándar	0,02	0,003
Mínimo	-0,69	-0,10
Máximo	1,14	0,18
Rango	1,84	0,28
Sesgo Estandarizado	3,82	0,21
Curtosis Estandarizada	-1,69	-2,98
RMS	0,55	0,09

Nota: Tabla realizada a partir de los datos obtenidos del software StatGraphics

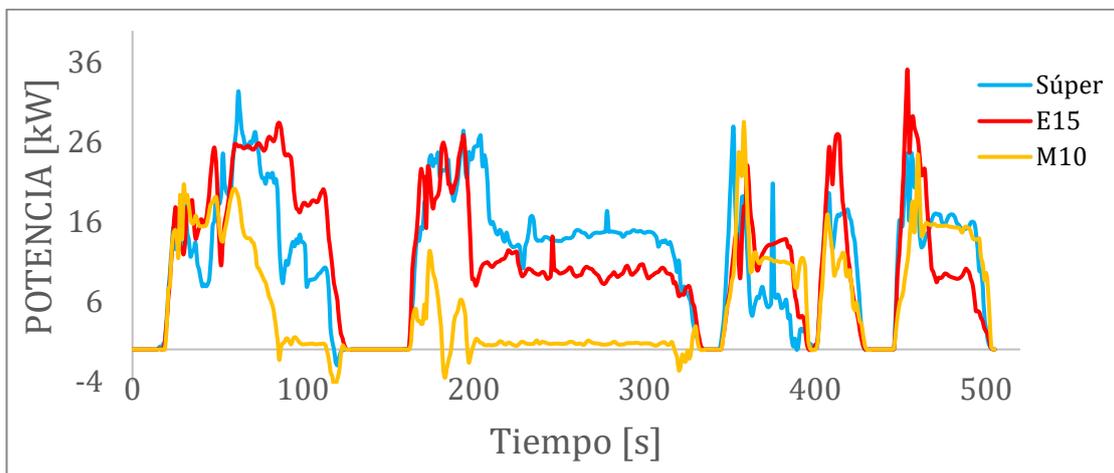
En la Figura 38(a), correspondiente a la mezcla E15, se observa la distribución de los datos de oxígeno. Se aprecia en el gráfico de cajas y bigotes que la mayor concentración de valores se extiende desde 0 hasta 0,5. Se mantiene una amplia dispersión, con valores mínimos cercanos a -0,7 y máximos alrededor de 1,3. La mediana se ubica en la parte inferior de la caja con un valor de -0,1, lo que sugiere que los valores altos son menos frecuentes pero con mayores picos. Generando una distribución sesgada hacia valores más altos. Por otro lado, en la Figura 38(b), que representa la mezcla M10, la caja se encuentra dentro de un rango más reducido, aproximadamente desde -0,01 hasta 0,09, indicando una menor variabilidad en comparación con E15. La mediana está cercana a 0, lo que confirma una distribución más equilibrada. De esta forma, se observa que los cambios en la producción de oxígeno fueron inclinados, aunque en una pequeña medida, hacia el aumento de este gas. Esto se demuestra también por la ubicación del 75% de los datos en la gráfica, los cuales se hallan luego del cero, indicando valores superiores a este.



**Figura 38** Grafico de la producción de O2 a) De E15 b) De M10

#### 6.4.5 Prestaciones: Potencia a lo largo del ciclo

En la Figura 39 se muestra la potencia producida por las diferentes mezclas durante el ciclo. Se puede observar que la gasolina de 95 octanos tiene los mayores valores a lo largo de la prueba, mientras que la mezcla E15 muestra un comportamiento similar, en cambio, M10 genera una disminución. De esta manera, E15 produce un comportamiento más estable, y M10 muestra mayor variabilidad y valores menores. El metanol muestra este comportamiento posiblemente por su menor poder calorífico aunque mayor contenido de oxígeno, que aunque pueda producir una combustión mas eficiente durante un ciclo, la energía liberada será menor.

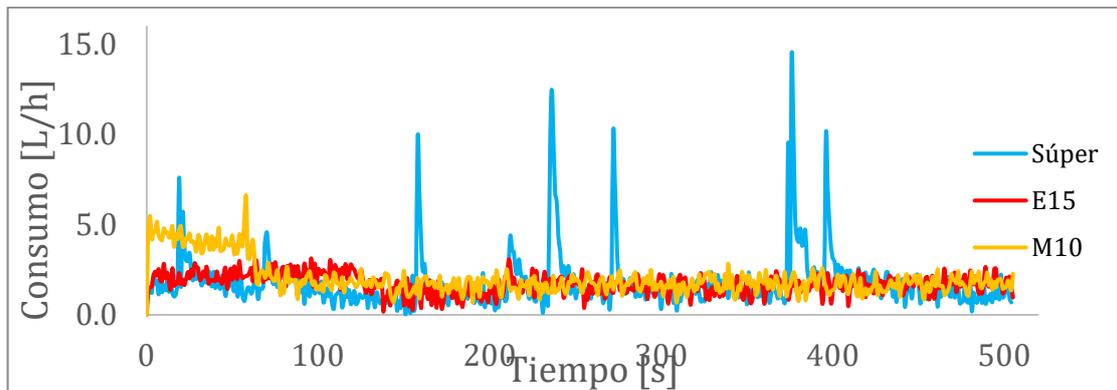


**Figura 39** Potencia generada a lo largo del ciclo con las diferentes mezclas.

#### 6.4.6 Prestaciones: Consumo

En la Figura 40 se observa el consumo de combustible en litros sobre hora en cada caso, valor obtenido de la medición directa al riel de inyección desde el depósito alimentador externo, el cual tomaba en cuenta ingreso y retorno. Se puede visualizar que la gasolina Súper tiene picos más

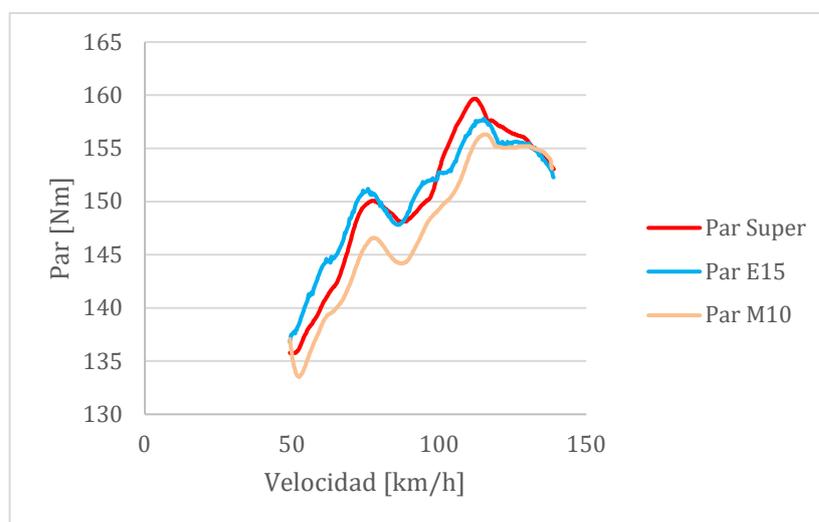
pronunciados, pero en las zonas constantes tiene un menor consumo. Por otro lado, el consumo de E15 sigue de cerca la gasolina de 95 octanos, mientras que M10 mantiene un gasto superior durante gran parte del ciclo. Los picos elevados que mantiene la gasolina de 95 octanos pueden corresponder a la mayor densidad energética de la misma, marcada por su mayor poder calorífico. Esto significa que el combustible de 95 octanos entrega más energía durante el funcionamiento del motor, lo que le permite responder de manera rápida a los picos de demanda de energía.



**Figura 40** Evolución del CO2 a lo largo de las pruebas

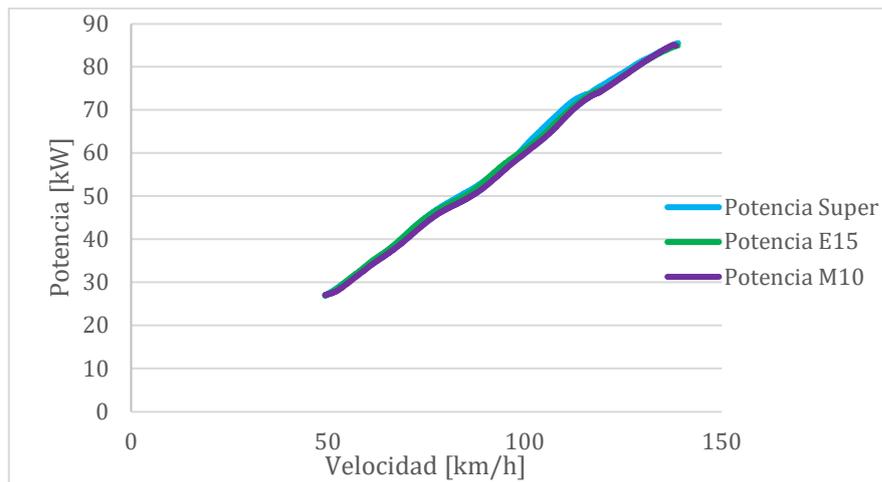
#### 6.4.7 Prestaciones: Par y potencia máximas

En la Figura 41 se presenta la comparación de las pruebas de par máximo en las tres muestras. A primera vista se observa que el par máximo alcanzado con la gasolina Súper tiene la mayor magnitud, seguido de la mezcla E15 y por último M10 donde se denota una reducción considerable. Sin embargo, a velocidades más bajas se denota que E15 mantiene el mayor par, específicamente en el intervalo de 50 km/h a 80 km/h. Esto podría estar producido por una combustión mas eficiente, que produzca que con menos revoluciones la fuerza generada sea mayor, pero a altas revoluciones que implica mayor ingreso de aire y menor tiempo de trabajo, la eficiencia energética y energía de vaporización menores pueden afectar el desempeño de la mezcla E15.



**Figura 41** Resultados de par máximo con las distintas mezclas

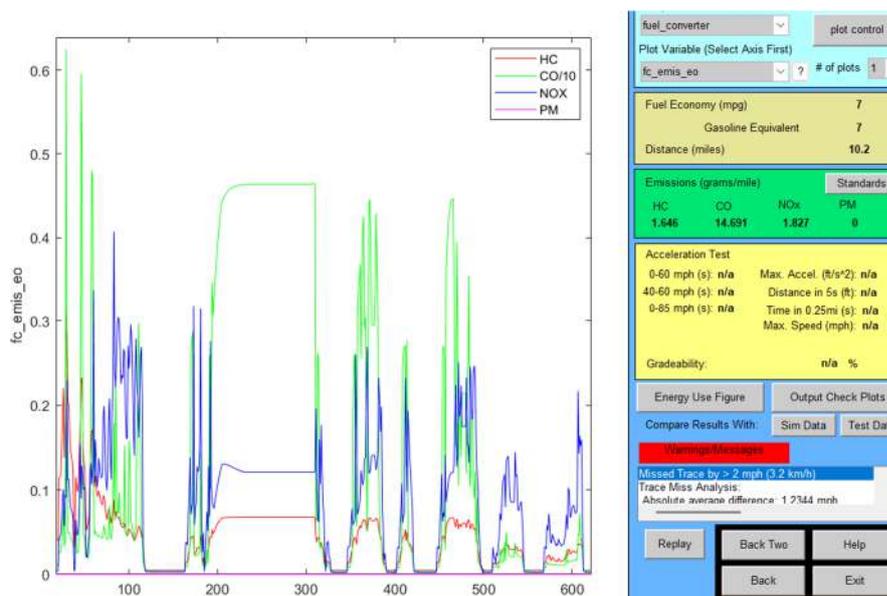
En la Figura 42 se muestran los resultados de potencia máxima en las pruebas realizadas. Se puede apreciar que las tres curvas mantienen comportamientos muy similares, siendo que la gasolina de 95 octanos sobresale ligeramente frente a las mezclas E15 y M10. Esto puede ser ocasionado por las características de los aditivos empleados, que aunque pueden suponer un beneficio en cuanto a la reducción de gases contaminantes, su menor densidad energética no permite una liberación de potencia mayor, más aún en vehículos no adaptados a sus características. Pese a esto, que mantengan valores similares puede tomarse como una ventaja.



**Figura 42** Resultados de potencia máxima con las diferentes mezclas

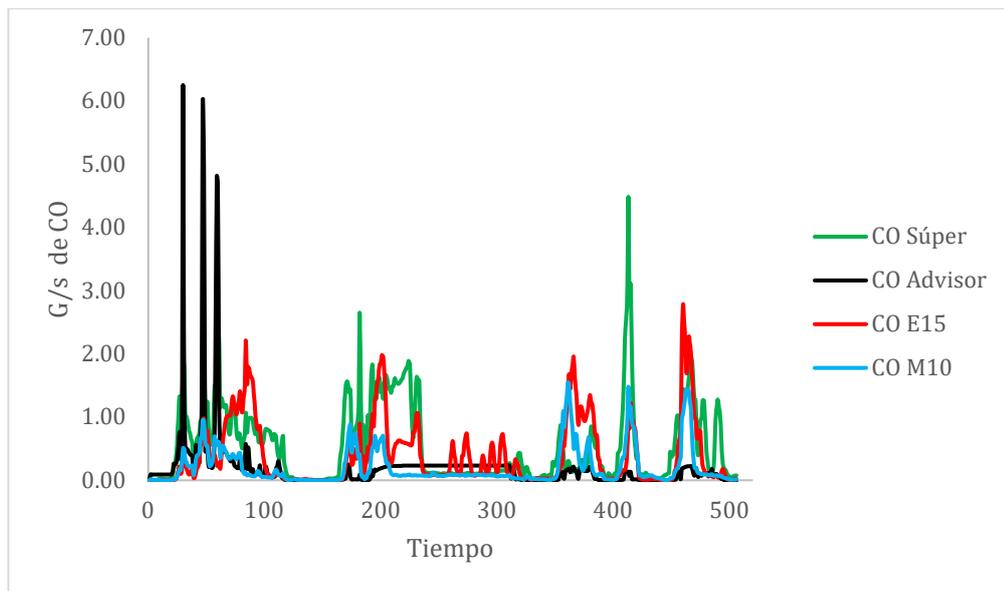
#### 6.4.8 Comparación con software

En la Figura 43 se aprecian los resultados de la simulación del programa Advisor. La plataforma entrega una gráfica de las emisiones del vehículo configurado, y los datos se extraen del espacio de trabajo del software Matlab. De esta forma, se permite la comparación con los datos experimentales.



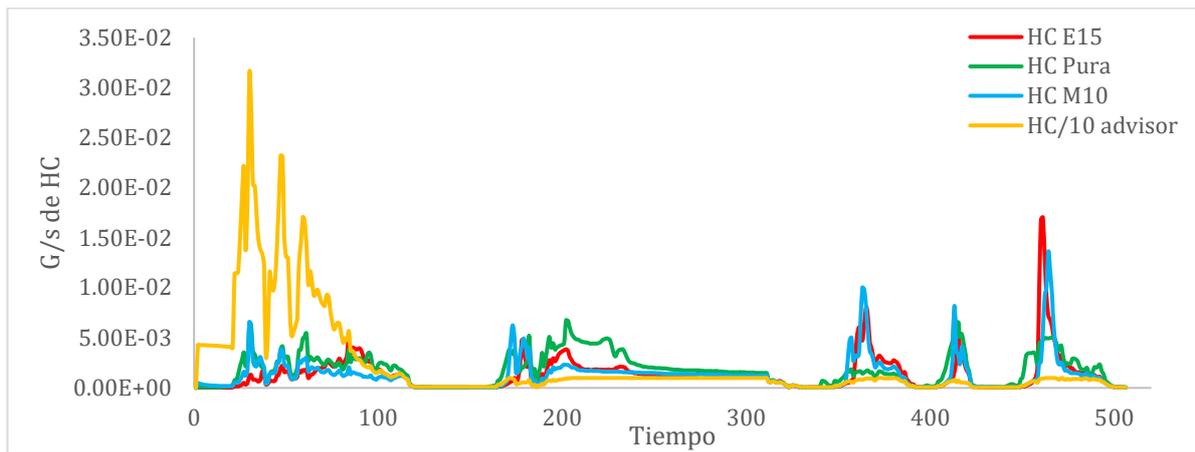
**Figura 43** Simulación del ciclo de conducción en el software Advisor

En la Figura 44 se visualizan las emisiones de CO. Se puede evidenciar que la simulación del software muestra valores elevados en los primeros instantes del ciclo, lo que sucede porque el programa considera un arranque en frío, lo que conlleva una mezcla rica para elevar la temperatura rápidamente. Por otro lado, las pruebas del presente estudio se realizaron considerando el vehículo en su temperatura de funcionamiento para estudiar el efecto en un periodo de conducción estable. De igual forma, se evidencia que los resultados experimentales reflejan valores altos de CO a lo largo de la prueba, lo que se atribuye a la menor cantidad de oxígeno disponible por la altura en que se realizaron las pruebas (Arroyo et al., 2021). De esta manera, se evidencia que la mejora proporcionada por los alcoholes agregados al combustible puede verse limitada por las condiciones geográficas.



**Figura 44** Comparación de resultados de emisiones CO con software Advisor

En la Figura 45, por otra parte, están expresadas las emisiones de HC de la simulación y las pruebas experimentales. Se observa un comportamiento similar en cuanto a los picos de emisión en fases de aceleración y cambio de carga. Nuevamente se tienen valores elevados en la fase de calentamiento del motor, pero en este caso, las emisiones en el resto del ciclo resultan con valores superiores, lo que requiere usar un factor de conversión para los datos simulados (1:10). Estos valores altos pueden tener varias razones: el sistema de control del motor, la gasolina utilizada y la altitud y calibración del modelo. Por otro lado, se puede observar que los datos simulados cuentan con un comportamiento estable sin demasiadas variaciones, parecido a las pruebas con gasolina sin aditivos, de esta forma se evidencia que los alcoholes producen en general menos emisiones de HC, pero reaccionan en mayor medida mostrando picos elevados.



**Figura 45** Comparación de resultados de emisiones de HC con el software Advisor

#### 6.4.9 Resumen de Resultados

En la Tabla 26 se observa el resumen de los datos principales obtenidos en las pruebas. Se expresa la diferencia promedio que se obtiene con cada mezcla, así como el porcentaje que representa respecto a la base de gasolina Súper.

**Tabla 26** Resumen de los resultados en las diferentes pruebas

Parámetro	Unidad	Valor original	RMS		Desviación estándar		Diferencia promedio		Cambio promedio	
			E15	M10	E15	M10	E15	M10	E15	M10
CO	% Vol	1,59	1,48	1,516	1,3	1,1	-0,71	-1,03	-44,98%	-65,09%
CO2	% Vol	13,71	1,04	1,08	1,01	0,87	0,25	0,63	1,85%	4,61%
HC	ppm	45,68	29,97	28,24	25,12	24,73	-16,38	-13,68	-35,86%	-29,96%
O2	% Vol	0,29	0,55	0,09	0,52	0,08	0,18	0,03	60,54%	13%
Consumo	L/h	1,8	-	-	-	-	-0,06	0,22	-4,35%	11,61%
Potencia en ciclo	kW	11,35	-	-	-	-	-0,22	-0,91	-1,97%	-8,06%
Potencia máxima	kW	85,52	-	-	-	-	-0,59	-0,40	-0,7%	-0,47%
Par máximo	Nm	159,66	-	-	-	-	-1,85	-3,34	-1,16%	-2,09%

## 7. Discusión

En investigaciones anteriores se ha analizado el comportamiento de los motores al utilizar combustibles con mezclas de alcoholes, este trabajo busca recopilar los datos de artículos que analicen específicamente el bioetanol y metanol, para examinar su efecto en vehículos no adaptados dentro del medio local, para determinar si se obtiene los efectos mencionados y si la mezcla resulta verdaderamente beneficiosa. En el caso de Sakthivel et al. (2019), encontraron que utilizar 30% de bioetanol en un combustible de RON 92 reducía las emisiones de CO y HC un 75% y 66% respectivamente. Esto concuerda con los resultados obtenidos, donde las cantidades disminuían en 44,9% y 36,49%. Sin embargo, los autores también hallaron que el consumo se veía incrementado en un 5%, y la potencia máxima se reducía un 10%. En el caso de esta investigación, al emplear la mezcla E15 se observó que; el consumo se redujo 3,5% y la potencia máxima un 0,7%. La diferencia entre estos resultados puede verse atribuida tanto al mayor porcentaje de bioetanol, como a la tecnología del motor. Sakthivel et al. (2019) utilizaron un motor de carburador, mientras que esta investigación hace uso de un vehículo con inyección donde la computadora ejerce un control electrónico preciso para mejorar la dosificación de combustible, de esta manera, resulta importante tener en cuenta el tipo de motor para apreciar su adaptabilidad al bioetanol además de que se puede objetar el empleo de una alta cantidad de bioetanol, puesto que pese a reducir emisiones en mayor cantidad, así también lo hace la potencia, al tiempo que el consumo se ve incrementado. Otra desventaja de utilizar porcentajes altos de mezcla consiste en las dificultades de arranque en frío, como indica el estudio de Kunwer et al. (2022). Estos autores señalan que la menor volatilidad y gran afinidad por el agua del bioetanol hacen imprescindibles las modificaciones al motor cuando se trata de medias y altas proporciones de aditivo, ocasionando gastos extra y complicaciones para los vehículos no adaptados.

Por otro lado, el estudio de Kozak, (2019) analiza mezclas E5, E15 y E85 durante un ciclo NEDC, encontrando que comparado con E15, un 5% de bioetanol produce un 1,38% menos de CO, un 0,52% menos de CO<sub>2</sub> y un 59,18% más de HC. En el caso de usar un 85% de bioetanol se incrementa emisiones de CO y HC en 1,34% y 40,59% respectivamente, disminuyendo el CO<sub>2</sub> un 8,97%. De esta forma se evidencia una concentración muy baja o muy alta de aditivo afecta en mayor medida a las emisiones de hidrocarburos y no supone una ventaja considerable. Teniendo en cuenta que Kozak, (2019) realiza las pruebas en un vehículo flex-fuel se hacen más evidentes las deficiencias de emplear volúmenes muy altos o muy bajos. Yelbey & Ciniviz, (2020) por su parte analizaron gasolinas de RON 92 con 10% de bioetanol, encontrando también una disminución del 6,25% en la potencia, pero consiguiendo un 35% menos de emisiones de hidrocarburos, así como un 26% menos CO y, al igual que en la presente investigación, un incremento del oxígeno pero en este caso en menor

cantidad y durante cargas fijas del motor a la vez que estos investigadores también emplearon un motor con carburador que puede explicar la caída alta de potencia. Dhande et al., (2021) en su trabajo encontraron a la mezcla E15 como la de mejores resultados, generando un 90% menos de CO respecto a la gasolina de 95 octanos, produciendo también menos que la mezcla E10, el cambio tan amplio respecto a las emisiones de CO puede deberse a utilizar cargas y velocidades fijas del motor y no un ciclo de pruebas que estudie más datos, o también puede ser provocado por realizar las pruebas en un motor de cilindro único multifuel que tiene una relación de compresión variable. Por otro lado, el CO<sub>2</sub> de este estudio se incrementa un 4,17% debido al mayor contenido de oxígeno presente que favorece una combustión completa que sigue la fórmula estequiométrica, esto concuerda con la presente investigación donde aumenta el CO<sub>2</sub> en un 1,85%.

Para el caso del metanol Zhang et al. (2022) analizan la mezcla M30 durante el ciclo NEDC, siendo que las emisiones de CO se reducen un 24,1%, los HC un 10,9% y el CO<sub>2</sub>, un 32,6%. En este caso se aprecia que, comparada a la mezcla M10, existe una reducción de CO<sub>2</sub> notable, aunque el CO se reduce en baja proporción. Esto puede deberse a la tecnología de inyección directa GDI con la que trabaja el motor, que favorece una combustión eficiente o por otra parte puede sugerir que existe una combustión incompleta que incrementa la producción del monóxido de carbono. Por otra parte, se encontraron complicaciones en el encendido puesto que M30 no permitía un arranque en frío del vehículo y el consumo se elevaba conforme se introducía una mayor cantidad de metanol. En este estudio en cambio, pese a que la producción de CO<sub>2</sub> incrementa un 4,6%, el CO se reduce en un 65%, una cantidad considerable, y los problemas para encender el motor con baja temperatura son mínimos en mezclas bajas. En el caso de Merezhko et al. (2020) se destaca también la habilidad del metanol para reducir el CO, mayor que el bioetanol. De igual forma, señalan que mezclas menores al 15% pueden considerarse como gasolinas en toda regla, puesto que los investigadores sometieron la mezcla a un análisis de normativa ucraniana encontrando que superaba los estándares mínimos en sus propiedades. De esta manera, resulta interesante apostar por cantidades menores de metanol, ya que no se evidencia un beneficio completo con el 30%.

Otra temática de importancia es la altura de la locación en donde se realizaron las pruebas. A medida que aumenta la altitud se disminuye la densidad del aire, reduciendo la cantidad de oxígeno presente, lo que altera la relación estequiométrica aire-combustible. De esta manera, se pueden incrementar las emisiones, como lo indica el estudio de Arroyo et al. (2021), quienes encontraron que la reducción de la presión atmosférica, dada por el incremento de altura, reduce las emisiones de CO<sub>2</sub>, favoreciendo una combustión incompleta que genera CO. En este caso utilizar aditivos oxigenados puede ser útil para las condiciones de trabajo del motor, inyectando oxígeno extra para una combustión limpia.

## 8. Conclusiones

Por medio de un script de búsqueda se establecieron las condiciones específicas de las pruebas experimentales. El código permitió encontrar bibliografía específica sobre el uso de alcoholes (bioetanol y metanol) en mezclas de gasolina, concluyendo que, para vehículos no adaptados, las mezclas E15 y M10 han demostrado mejoras en las emisiones contaminantes sin la necesidad de modificaciones complejas al sistema del motor.

Se realizó la evaluación de las mezclas de combustible investigadas, en condiciones de par motor y potencia máxima, así como durante la primera fase del ciclo de conducción FTP, analizando las emisiones de monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarburos, oxígeno y consumo, realizando tres repeticiones de un ciclo de conducción y una repetición de par y potencia máxima, se buscó examinar si los beneficios ambientales y de eficiencia reportados en estudios previos se logran en el contexto local con factores de altitud y calidad de combustible diferentes, para dar una idea de la viabilidad real de implementar las mezclas, consideradas por investigadores previos como mejores, en el medio.

Se comparó los resultados obtenidos y se encontró que tanto E15 como M10 lograron una reducción significativa en las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos, con un ligero aumento de oxígeno y dióxido de carbono, este último no beneficioso en su totalidad pero resultado natural de la combustión. Sin embargo, considerando el equilibrio entre prestaciones y reducción de emisiones, la mezcla de bioetanol E15 destaca como la mejor alternativa entre los dos aditivos contando con el mayor octanaje de todos los combustibles usados (98,7) y, a pesar de tener la gasolina Súper de 95 octanos una mayor potencia y par, estos valores no son distantes en gran medida y el consumo se ve reducido con el bioetanol. Por otro lado, la mezcla M10 tiene una mejora significativa en el CO, pero esto conlleva a generar también CO<sub>2</sub> en mayor magnitud, además de contar con un incremento de combustible y una caída de potencia y par máximo, atribuible a su menor poder calorífico, dificultando su viabilidad en condiciones reales de uso, y en cuanto al costo de adquisición resulta mayor el valor del metanol. En conclusión, E15 representa una opción más equilibrada y viable para una posible implementación en el contexto local.

## 9. Recomendaciones

- Durante la recopilación bibliográfica mediante un script de búsqueda resulta importante tomar en cuenta las palabras y sinónimos más utilizados por los investigadores, para encontrar los artículos que concuerdan con la línea investigativa, siendo útil realizar un análisis previo de los artículos destacables. También es importante no ser demasiado específico, y concorde a las búsquedas iterativas ir agregando exclusiones pertinentes.

- Es importante tener en cuenta los límites de mezcla que las investigaciones previas han destacado. Estos se encuentran en torno al 15%-20%, dependiendo del modelo del vehículo, y son aspectos importantes puesto que aumentar en una medida excesiva estos valores pueden afectar los componentes internos de los vehículos que no se encuentren correctamente adaptados a estas fuentes energéticas alternativas como el metanol o bioetanol.

- Para la realización de las pruebas en el banco dinamométrico resulta importante ejercer un manejo lo más igualitario posible, tener en cuenta la correcta medición del valor del consumo, tomando en consideración el retorno del mismo para no obtener mediciones exageradas. Otro aspecto importante resulta en el esfuerzo del motor, se debe tener en cuenta la exigencia de las pruebas, tanto durante el par y potencia máxima como durante el ciclo de conducción, siendo necesario periodos de descanso para un cuidado de la unidad.

- En el presente estudio se analiza la fase uno de arranque del ciclo FTP, considerada como la zona crítica del mismo, sin embargo, para obtener un análisis más completo, se puede analizar el ciclo en su totalidad, o, a su vez, analizar otras zonas del mismo, teniendo en cuenta que las cantidades de combustible necesarias serían elevadas puesto que se exige en gran medida al vehículo.

- En el presente estudio no se han podido contabilizar las cantidades de NO<sub>x</sub> generadas ni la relación estequiométrica ( $\lambda$ ). El estudio de estos valores sería interesante para comprender las demás fases del comportamiento del motor, y cómo varía el funcionamiento a lo largo del recorrido. También se pueden tomar en cuenta factores como la altitud para comparar el impacto de las mezclas ante una mayor presencia de oxígeno en el ambiente.

## 10. Bibliografía

- Abdelhafiz, M., Hussein, A. K., Naeim, I., Shalaby, A., Azazy, A., Saleh, A., Tolba, S., & Elbeih, A. (2023). A Comparative Azeotropic Research on Combustion of Common Ternary Systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 2616(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2616/1/012058>
- Abdul, M., Ahmad, M., Chen, Y.-F., Mustaqeem, M., Ali, A., Abbas, A., & Ashraf Gondal, M. (2024). Trends and advances in sustainable bioethanol production technologies from first to fourth generation: A critical review. *Energy Conversion and Management*, 321. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.119037>
- Abikusna, S., Sugiarto, B., Yamin, I., Suryana, N., & Andianto, D. (2020). Study on effects of oxygenated additives (cyclohexanol and cycloheptanol) to reduce coefficient of variations for performance and emission in SI engine fuelled by gasoline and bioethanol. *AIP Conference Proceedings*, 2255(1), 30038. <https://doi.org/10.1063/5.0013542>
- Abrar, I., Arora, T., & Khandelwal, R. (2023). Bioalcohols as an alternative fuel for transportation: Cradle to grave analysis. *Fuel Processing Technology*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107646>
- AEADE. (2024). *Boletín de Ventas Agosto 2024*. [https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2024/09/BOLETIN-VENTAS\\_PRENSA\\_SEPTIEMBRE-2024.pdf](https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2024/09/BOLETIN-VENTAS_PRENSA_SEPTIEMBRE-2024.pdf)
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2023, December 11). *Monóxido de carbono* | US EPA. <https://espanol.epa.gov/cai/monoxido-de-carbono>
- Alexandru, D., Ilie, D., & Dragos, T. (2017). Evaluation of performance and emissions characteristics of methanol blend (gasohol) in a naturally aspirated spark ignition engine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 252(1), 012086. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/252/1/012086>
- Arias, X. R. (2018). Estudio del comportamiento del motor a gasolina utilizando bioetanol a partir de despojos de maíz en la provincia de Imbabura-Ecuador. *Universidad Técnica Del Norte*. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7822/2/ART%C3%8DCULO.pdf>
- Arízaga Mora, M. E. (2023). Determinación de torque, potencia y capacidad de aceleración en un vehículo con filtro de aire original usado, nuevo y un filtro de aire K&N de mayor flujo. *Escuela de Ingeniería Automotriz, Universidad Del Azuay*. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/12792/1/18324.pdf>
- Arroyo, E., Cevallos, A., Imbaquinga, R., & Melo, J. (2021). Study of the effect of altitude on the emissions of exhaust gases in spark-ignition engines. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 148–162. <https://doi.org/10.14482/INDE.38.1.629.25>

- Brain Bee. (2014). *AGS-688 Exhaust Gas Analyser for Petrol Engines*.
- Burmana, A. D., Benguerba, Y., Wicaksana, F., Alexander, V., Nova, S., Taslim, T., & Iriany, I. (2025). Improving efficiency and product quality by optimizing methanol purification in biodiesel plant: Addressing abnormalities in distillation column performance. *International Journal of Thermofluids*, 25, 101019. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.101019>
- Calvin, Y. L., Hariyanto, P. A. T., Usman, A. I., Masuku, M., Wibowo, C. S., Maymuchar, Anggarani, R., Fathurrahman, N. A., & Sugiarto, B. (2022). Volatility and physicochemical properties of gasoline-ethanol blends with gasoline RON-based 88, 90, and 92. *Fuel*, 307, 121850. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2021.121850>
- Chalak, M. H., Vosoughi, S., Eskafi, F., Jafari, A., Alimohammadi, I., & Kanrash, F. A. (2022). Environmental Key Performance Indicators for Sustainable Evaluation in Automotive Industry: A Focus Group Study. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 22(3–4). <https://doi.org/10.1142/S1464333222500077>
- Choong Wah, L. (2022). Malaysia's expansion of its maritime jurisdiction and the World Oil Crisis, 1973-80. *Journal of Southeast Asian Studies*, 53(1–2), 309–338. <https://doi.org/10.1017/S002246342200025X>
- Deshpande, R. S., Tadamalle, A. P., Katikar, R. S., Biradar, A. K., Kadam, P. G., & Thipse, S. S. (2024). Engine Performance and Emission Evaluation of Gasoline-Ethanol Fuel Blend in SI Engines Under Various Conditions of Load and Speed. *Journal of Mines, Metals and Fuels*, 72(8), 803–813. <https://doi.org/10.18311/jmmf/2024/45291>
- Dhande, D. Y., Sinaga, N., & Dahe, K. B. (2021). Study on combustion, performance and exhaust emissions of bioethanol-gasoline blended spark ignition engine. *Heliyon*, 7(3), e06380. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06380>
- Diniz, A. S. A. C., Costa, S. C. S., & Kazmerski, L. L. (2023). Photovoltaic technology: advances in solar cells and modules. *Encyclopedia of Electrical and Electronic Power Engineering: Volumes 1-3*, 1, 162–185. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821204-2.00116-1>
- Du, B., Zhang, L., Geng, Y., Zhang, Y., Xu, H., & Xiang, G. (2020). Testing and evaluation of cold-start emissions in a real driving emissions test. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86, 102447. <https://doi.org/10.1016/J.TRD.2020.102447>
- El Telegráfo. (2017, August 17). El Grand Vitara 5P es uno de los modelos más demandados. *El Telegrafo*. <https://www.entelegrafo.com.ec/noticias/economia/1/el-grand-vitara-5p-es-uno-de-los-modelos-mas-demandados>
- El Universo. (2016, April 7). En Guayaquil, Chevrolet entregó el último modelo Grand Vitara del mundo. *El Universo*.

- Elsevier. (2024, August 15). *How do I search in Scopus? - Elsevier Support Center*.  
[https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/34325/](https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/34325/)
- EP Petroecuador. (2024). *Hojas de Seguridad: Gasolina de 92 Octanos*.  
<https://eppetroecuadorenlinea.eppetroecuador.ec/eppec-extranet-ang/clienteDirecto>
- Franco, M. E., & Loor, S. A. (2021). La ética del control de la contaminación ambiental automotriz en el Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 1(1), 1–14.  
<https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/V1/N1/16>
- Gupta, S. K., & Subramanian, K. A. (2023). Energy and Exergy Analysis of the Automotive Spark-Ignition Engine Fueled with Ethanol, Methanol, and Gasoline. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 525–533. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-8517-1\\_41](https://doi.org/10.1007/978-981-19-8517-1_41)
- Hatte, P., & Bhalerao, Y. (2019). Influence of ethanol-gasoline fuel fractions on variable compression ratio engine. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 2929–2936.  
<https://doi.org/10.35940/IJRTE.C4792.098319>
- Herrera, G., Mora, C., Arteaga, G., López, A., & Carrión, P. (2022). Analysis of Sugarcane Ethanol Production for Energy Development: Case Study Ecuador. *International Journal of Energy Production and Management*, 7(4), 293–309. <https://doi.org/10.2495/EQ-V7-N4-293-309>
- Huang, W., Liu, D., Chu, R., Qiu, F., Li, Z., Jin, X., Zhang, H., Wang, Y., & Ji, S. (2024). Analysis of Resistance Influencing Factors of a Bench System Based on a Self-Developed Four-Wheel Drive Motor Vehicle Chassis Dynamometer. *Machines*, 12(8).  
<https://doi.org/10.3390/machines12080580>
- Inambao, F. (2021). *Bioethanol Technologies*. IntechOpen.  
<https://books.google.com.ec/books?id=AztbEAAAQBAJ>
- INEC. (2024a). *Anuario de Estadísticas de Transporte, 2023*.  
[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA/2023/2023\\_BOLETIN\\_ESTRA.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/ESTRA/2023/2023_BOLETIN_ESTRA.pdf)
- INEC. (2024b). *Visualizador de Estadísticas de Transporte*. Microsoft Power BI.  
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZGE3ODRINzQtNmUxNi00MWMyLWFiYTQtZjc0MDQyYTBkODVklwiidCI6ImYxNThhMmU4LWNhZWVtNDQwNi0iMGFiLWY1ZTI1O-WJkYTEyMiJ9>
- Jain, H. (2024). From pollution to progress: Groundbreaking advances in clean technology unveiled. *Innovation and Green Development*, 3(2), 100143. <https://doi.org/10.1016/J.IGD.2024.100143>

- Jasiński, D., Meredith, J., & Kirwan, K. (2021). Sustainable development model for measuring and managing sustainability in the automotive sector. *Sustainable Development*, 29(6), 1123–1137. <https://doi.org/10.1002/SD.2207>
- Jiménez, S. S. Y. (2024). *Estimación de la contaminación del aire por fuentes móviles en la zona céntrica de la ciudad de Loja, utilizando el software MOVES*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/28915>
- Khan, A., Askari, G., & Ahmed, Z. (2023). The Performance and Cost Analysis on Bio Fuel Blends for Internal Combustion Engine. *MATEC Web Conf.*, 381, 1012. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202338101012>
- Kozak, M. (2019). Ethyl alcohol as a fuel for contemporary internal combustion engines. *Diagnostyka*, 20(2), 27–32. <https://doi.org/10.29354/diag/109173>
- Kunwer, R., Ranjit Pasupuleti, S., Sureshchandra Bhurat, S., Kumar Gugulothu, S., & Rathore, N. (2022). Blending of ethanol with gasoline and diesel fuel – A review. *Materials Today: Proceedings*, 69, 560–563. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.09.319>
- Leiva, D. E., García, I. L., Lopez, I., Serrano-Herrador, J. A., & Dorado, M. P. (2022). Descriptive and inferential statistics as an exhaust emission comparative tool between different engine operating conditions and fuels. Application to highly oxidized biodiesel blended with primary alcohols. *Fuel*, 324, 124453. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124453>
- Li, C., Jia, T., Wang, S., Wang, X., Negnevitsky, M., Wang, H., Hu, Y., Xu, W., Zhou, N., & Zhao, G. (2023). Methanol Vehicles in China: A Review from a Policy Perspective. *Sustainability*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/su15129201>
- Ltd, A. (2019). *Gasoline Engines—CM11-MKII*. <http://www.armfield.co.uk/cm11>
- Markel, T., Brooker, A., Hendricks, T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., O’Keefe, M., Sprik, S., & Wipke, K. (2002). ADVISOR: A systems analysis tool for advanced vehicle simulations. *Journal of Power Sources*, 110(2), 255–266. <https://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25928.pdf>
- Merezhko, N., Tkachuk, V., Romanchuk, V., Rechun, O., & Zolotariova, O. (2020). Influence of High-Octane Bioadditives on Physical and Chemical Properties of Low-Octane Gasoline. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 367–376. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-030-50491-5_35)
- Methanol Institute. (2024). *Methanol Price and Supply/Demand*. Methanol Institute. <https://www.methanol.org/methanol-price-supply-demand/>
- Montero, I., Vinueza, M., Castillo, G., Ruano, D., & Martín, N. (2020). Afecciones respiratorias y contaminación ambiental en Riobamba, Ecuador. *Correo Científico Médico (CCM)*, 20(1). <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=95780>

- Office of Energy Efficiency & Renewable Energy U.S. (EERE). (2024, January). *Global Ethanol Production By Country Or Region*. U.S Department Of Energy. <https://afdc.energy.gov/data/10331>
- Official Journal of the European Union. (2024, April 24). *Regulation - 2024/1257 - EN - EUR-Lex*. EUR-Lex. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32024R1257&qid=1728502122247>
- Our World In Data. (2023). *Per capita CO<sub>2</sub> emissions*. Our World In Data. <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions#explore-data-on-co2-and-greenhouse-gas-emissions>
- Peña, S. (2018). Impacto de la contaminación atmosférica en dos principales ciudades del Ecuador. *Universidad y Sociedad | Revista Científica de La Universidad de Cienfuegos*, 10(2), 285–288. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v10n2/2218-3620-rus-10-02-289.pdf>
- Petrov, D. V, Matrosov, I. I., Zaripov, A. R., & Tanichev, A. S. (2022). Raman Natural Gas Analyzer: Effects of Composition on Measurement Precision. *Sensors*, 22(9). <https://doi.org/10.3390/s22093492>
- Pinzón, S., & Guerrero, P. (2024). Índice de contaminación ambiental, consumo de energía no renovable, y políticas de eficiencia energética en Ecuador. *Revista Económica*, 12(1), 102–117. <https://doi.org/10.54753/rve.v12i1.2048>
- Primicias. (2022). *Ecuador tiene la gasolina Súper de más baja calidad en la región*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/gasolina-super-ecuador-latinoamerica-calidad/>
- Renewable Fuel Association (RFA). (2024, January). *Annual Ethanol Production*. Renewable Fuel Association. <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>
- Rodríguez-Guerra, A., & Cuvi, N. (2019). Contaminación del Aire y Justicia Ambiental en Quito, Ecuador. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 8(3), 13–46. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2019v8i3.p13-46>
- Roy, S., Zare, S., & Askari, O. (2018). Understanding the Effect of Oxygenated Additives on Combustion Characteristics of Gasoline. *Journal of Energy Resources Technology*, 141(2), 22205. <https://doi.org/10.1115/1.4041316>
- Rubio, J., Campaña, J., & Carrasco, P. (2023). Análisis comparativo de combustibles entre Colombia y Ecuador a partir de la norma INEN 2203 utilizada en la revisión técnica vehicular. *Dominio de Las Ciencias*, 9(4), 1118–1139. <https://doi.org/10.23857/DC.V9I4.3641>
- Sakthivel, P., Subramanian, K. A., & Mathai, R. (2019). Comparative studies on combustion, performance and emission characteristics of a two-wheeler with gasoline and 30% ethanol-

- gasoline blend using chassis dynamometer. *Applied Thermal Engineering*, 146, 726–737. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2018.10.035>
- Sarbu Roxana, Alpopi Cristina, Burlacu Sorin, & Diaconu Silviu. (2021). Sustainable Urban Development in the Context of Globalization and the Health Crisis Caused by the Covid-19 Pandemic. *SHS Web of Conf.*, 92, 1043. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20219201043>
- Sayin, B., & Ciniviz, M. (2020). Assessment of waste bread bioethanol-gasoline blends in respect to combustion analysis, engine performance and exhaust emissions of a SI engine. *Fuel*, 277, 118237. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2020.118237>
- Sharma, B., Larroche, C., & Dussap, C. G. (2020). Comprehensive assessment of 2G bioethanol production. *Bioresource Technology*, 313, 123630. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123630>
- Suzuki Motor Corporation. (2000). *Supplementary Service Manual for SQ416/SQ420 Canvas Top Model*.
- Tian, Z., Wang, Y., Zhen, X., & Liu, Z. (2022). The effect of methanol production and application in internal combustion engines on emissions in the context of carbon neutrality: A review. *Fuel*, 320, 123902. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2022.123902>
- Torres, L. M., Sanabria Lucero, S. J., & Pinilla Baron, D. J. (2022). “Análisis de emisiones y funcionamiento de mezclas de bioetanol en un motor de combustión interna encendido por chispa 1.6 L.” *Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica (SOMIM)*, 50–57. [https://somim.org.mx/memorias/memorias2022/articulos/A8\\_93.pdf](https://somim.org.mx/memorias/memorias2022/articulos/A8_93.pdf)
- Torres, P., González, C. S., Aciar, S., & Rodríguez-Morales, G. (2018). Methodology for systematic literature review applied to engineering and education. *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1364–1373. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363388>
- Tu, R., Xu, J., Wang, A., Zhang, M., Zhai, Z., & Hatzopoulou, M. (2022). Real-world emissions and fuel consumption of gasoline and hybrid light duty vehicles under local and regulatory drive cycles. *Science of The Total Environment*, 805, 150407. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.150407>
- US. EPA. (2024, May 14). *Dynamometer Drive Schedules | US EPA*. US EPA. <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>
- Usmani, R. A., Mohammad, A. S., & Ansari, S. S. (2023). Comprehensive biofuel policy analysis framework: A novel approach evaluating the policy influences. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113403>

- Verhelst, S., Turner, J. W. G., Sileghem, L., & Vancoillie, J. (2019). Methanol as a fuel for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 70, 43–88. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pecs.2018.10.001>
- Waluyo, B., Setiyo, M., Saifudin, & Wardana, I. N. G. (2020). The role of ethanol as a cosolvent for isooctane-methanol blend. *Fuel*, 262, 116465. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116465>
- Waluyo, B., Setiyo, M., Saifudin, & Wardana, I. N. G. (2021). Fuel performance for stable homogeneous gasoline-methanol-ethanol blends. *Fuel*, 294, 120565. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120565>
- Wang, C., Li, Y., Xu, C., Badawy, T., Sahu, A., & Jiang, C. (2019). Methanol as an octane booster for gasoline fuels. *Fuel*, 248, 76–84. <https://doi.org/10.1016/J.FUEL.2019.02.128>
- Woś, P., & Jakubowski, M. (2020). *Numerical and Experimental Studies on Combustion Engines and Vehicles*. IntechOpen. <https://books.google.com.ec/books?id=xGEtEAAAQBAJ>
- Xing, Y., Lv, C., & Cao, D. (2020). Longitudinal Driver Intention Inference. *Advanced Driver Intention Inference*, 157–191. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819113-2.00007-5>
- Yao, C., & Yao, A. (2023). Review on methanol as fuel for engines and its future prospect | 甲醇燃料的应用现状及其展望. *Journal of Automotive Safety and Energy*, 14(5), 521–535. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8484.2023.05.001>
- Yelbey, S., & Ciniviz, M. (2020). Investigation of the Effects of Gasoline-Bioethanol Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark Ignition Engine. *European Mechanical Science*, 4(2), 65–71. <https://doi.org/10.26701/ems.635790>
- Zhai, Z., Xu, J., Zhang, M., Wang, A., & Hatzopoulou, M. (2023). Quantifying start emissions and impact of reducing cold and warm starts for gasoline and hybrid vehicles. *Atmospheric Pollution Research*, 14(1), 101646. <https://doi.org/10.1016/J.APR.2022.101646>
- Zhang, Z., Wen, M., Cui, Y., Ming, Z., Wang, T., Zhang, C., Ampah, J. D., Jin, C., Huang, H., & Liu, H. (2022). Effects of Methanol Application on Carbon Emissions and Pollutant Emissions Using a Passenger Vehicle. *Processes*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/pr10030525>
- Zhou, F., Yu, J., Wu, C., Fu, J., Liu, J., & Duan, X. (2024). The application prospect and challenge of the alternative methanol fuel in the internal combustion engine. *Science of The Total Environment*, 913, 169708. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169708>

## 11. Anexos

### Anexo 1 Ficha Técnica del metanol



### PRODUCT SPECIFICATIONS SHEET

Product Name Methanol  
 Grade ACS/USP/NF Grade  
 Catalog # 339000000

TEST	MONO-GRAPH	SPECIFICATION	TYPICAL RESULT
Assay (corrected for water)	ACS	99.8% min	99.97 %
Assay	NF	NLT 99.5%	100.00 %
Substances Darkened by Sulfuric Acid	ACS	To Pass Test	Pass
Readily Oxidizable Substances	NF	To Pass Test	Pass
Substances Reducing Permanganate	ACS	To Pass Test	Pass
Readily Carbonizable Substances	NF	To Pass Test	Pass
Solubility in Water	ACS	To Pass Test	Pass
Color (APHA)	ACS	10 max	1
Water	ACS	NMT 0.1%	0.02 %
Water	NF	NMT 0.1%	0.02 %
Residue on Evaporation	ACS	0.001% max	0.000 %
Non -Volatile Residue	NF	NMT 2mg (0.001% w/w)	0 mg
Carbonyl Compounds - Acetone	ACS	0.001% max	None Detected
Acetone and Aldehydes (as Acetone)	NF	NMT 0.003%	LT 0.003%
Carbonyl Compounds - Formaldehyde	ACS	0.001% max	LT 0.001%
Carbonyl Compounds - Acetaldehyde	ACS	0.001% max	LT 0.001%
Titration Acid	ACS	0.0003 meq/g max.	0.0002 meq/g
Acidity	NF	NMT 0.45mL 0.020N NaOH required	0.10 ml

[www.pharmco.com](http://www.pharmco.com) | [www.greenfield.com](http://www.greenfield.com)

Form: Methanol, Reagent ACS/USP/NF, #101, Rev. 3.1, 01/24, PJM

## Anexo 2 Ficha técnica del bioetanol

### FICHA TECNICA DEL PRODUCTO ALCOHOL ANHIDRO

**Nombre del Fabricante:** SODERAL S.A.

**Dirección del Fabricante:** Ecuador, Guayaquil, Av. Pedro Menéndez Gilbert s/n y Marcos Aguirre

**Descripción:** Producto obtenido a partir de fermentaciones alcohólicas y un proceso de deshidratación.

**Composición:** 99.50% Alcohol Etilico (mínimo), 0.5% Agua (máximo).

**Formula Química:** C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

**Características Sensoriales:** Olor alcohólico

**Características Físico Químicas:**

Grado Alcohólico a 20°C	99.50 ° % v/v Mínimo
Densidad	0.7917 máximo
Acidez Acética mg/100ml	5.00 máximo
Esteres mg/100ml	75 máximo
Aldehidos mg/100ml	35 máximo
Metanol mg/100ml	20 máximo
Alcoholes Superiores mg/100ml	500 máximo

**Uso:** Disolvente; medio de extracción; fabricación de intermedios; colorantes; elastómeros; soluciones para limpieza; anticongelante; carburante.

**Envasado:** Se lo envasa en tanqueros debidamente aprobados y en bidones de 200Lts

**Controles de almacenamiento y comercialización:**  
Para que el producto no se altere, debe almacenarse en tanques de acero inoxidable o acero al carbón debidamente cerrados.

**Instrucciones de uso:**  
Las instrucciones de uso lo determina el cliente de acuerdo a su aplicación.

Elaborado por:  
Departamento de Control de Calidad  
Soderal S.A.

## Anexo 3 Ficha técnica del vehículo

<p><b>Suzuki Grand Vitara 2.0 Carrocería, Modelo y Producción</b></p> <p>Generación : <b>Grand Vitara 1st Gen</b></p> <p>Tipo de Carrocería : -</p> <p>Num. de Puertas : <b>5 puertas</b></p>	<p><b>Suzuki Grand Vitara 2.0 Prestaciones</b></p> <p>Velocidad Máxima : <b>160 km/h / 99 Mph</b></p> <p>Aceleración 0-100 km/h : - s</p>
<p><b>Suzuki Grand Vitara 2.0 Motor Datos Técnicos</b></p> <p>Motor : <b>En línea 4</b></p> <p>Código del Motor : -</p> <p>Combustible : <b>Gasolina</b></p> <p>Alimentación : <b>MPI</b></p> <p>Situación : <b>Longitudinal</b></p> <p>Cilindrada : <b>1995 cm<sup>3</sup> / 121.7 cu-in</b></p> <p>Diámetro x Carrera : <b>84.0 x 90.0 mm</b> 3.31 x 3.54 pulgadas</p> <p>Válvulas : <b>16 Válvulas</b></p> <p>Sobrealimentación : <b>atmosférico</b></p> <p>Relación de Compresión : <b>9.3</b></p> <p>Potencia : <b>128 PS / 126 HP / 94 kW</b> @ <b>6000 rpm</b></p> <p>Par máximo : <b>174 Nm / 128 lb-ft</b> @ <b>4300 rpm</b></p> <p>Tracción : <b>AWD</b></p> <p>Caja de Cambios : <b>5 velocidades Manual</b></p>	<p><b>Suzuki Grand Vitara 2.0 Dimensiones, Aerodinámica y Peso</b></p> <p>Batalla : <b>248.0 cm / 97.64 pulgadas</b></p> <p>Largo : <b>420.0 cm / 165.35 pulgadas</b></p> <p>Ancho : <b>178.0 cm / 70.08 pulgadas</b></p> <p>Alto : <b>174.0 cm / 68.5 pulgadas</b></p> <p>Coefficiente Cx : -</p> <p>Peso : <b>1330 kg / 2932 lbs</b></p> <p>Relación Peso/Potencia : <b>10.4 kg/hp</b></p>
<p><b>Suzuki Grand Vitara 2.0 Consumos, Emisiones y Autonomía</b></p> <p><b>12 L/100 km</b> Consumos - Urbano NEDC : 24 MPG UK 20 MPG US</p> <p><b>7.8 L/100 km</b> Consumos - Extraurbano NEDC : 36 MPG UK 30 MPG US</p> <p><b>9.3 L/100 km</b> Consumos - Medio NEDC : 30 MPG UK 25 MPG US</p> <p>Autonomía : <b>709 km / 441 miles</b></p> <p>Capacidad del Depósito : <b>66 L</b> 17.4 US gallons 14.5 UK gallons</p> <p>Emisiones de CO<sub>2</sub> : <b>230 g/km (Suzuki)</b></p>	<p><b>Suzuki Grand Vitara 2.0 Dimensiones interiores</b></p> <p>Volúmenes de maletero : <b>277 L / 9.8 cu-ft</b></p> <p><b>Suzuki Grand Vitara 2.0 Frenos, Neumáticos, Dirección y Suspensión</b></p> <p>Frenos Delanteros : <b>Disco ventilado</b> (- mm / - pulgadas)</p> <p>Frenos Traseros : <b>Tambor</b> (- mm / - pulgadas)</p> <p>Neumáticos Delanteros : <b>235/60 R16</b></p> <p>Neumáticos Traseros : <b>235/60 R16</b></p> <p>Suspensión Delantera : <b>Independent. MacPherson. Coil Springs. Anti-roll bar.</b></p> <p>Suspensión Trasera : <b>De-Dion axle. Coil Springs.</b></p>

### Anexo 4 Prueba de octanaje de la mezcla M10

IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE:		INFORMACIÓN GENERAL:		AUTENTIFICACIÓN DEL INFORME:	
CLIENTE ID:	WLADIMIR TORRES TOLEDO	N.º PROFORMA:	DQ-F1832-2025		
LOCALIDAD:	LOJA, CIUDAD VICTORIA	N.º FACTURA:	001-003-0087101		
CORREO ELECTRÓNICO:	twladimir641@gmail.com	TÉLEFONO:	+593 98 068 0195		
FECHA EMISIÓN FACTURA:		2025-01-31		FECHA ENTREGA:	
2025-02-13				EDITADO POR:	
Tania Pared					

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:		CONDICIONES AMBIENTALES:	
NÚMERO DE MUESTRAS:	1	TRANSPORTADO POR:	Cliente
FECHA RECEPCIÓN:	2025-03-02	MUESTRAS ANALIZADAS POR:	Dina Albuji
MUESTREO POR:	Cliente	FECHA DE INICIO DE ENSAYOS:	2025-02-12
TEMPERATURA [°C]	15,0 a 22,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	20,5 a 70,0
PRESIÓN [kPa]	72,4 a 73,2		

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:						
IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
S/N	1832-01	Gasolina	Gasolina	Vidrio	1	Litro

RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDADES	VALOR OBTENIDO
1832-01	Número de octano (RON)	NTE INEN 2102 - Enmienda 1	RON	98,6

### Anexo 5 Prueba de octanaje de la mezcla E15

TEMPERATURA [°C]	15,0 a 22,0	HUMEDAD RELATIVA [%]	32,0 a 70,0	PRESIÓN [kPa]	72,4 a 73,2		
------------------	-------------	----------------------	-------------	---------------	-------------	---	--

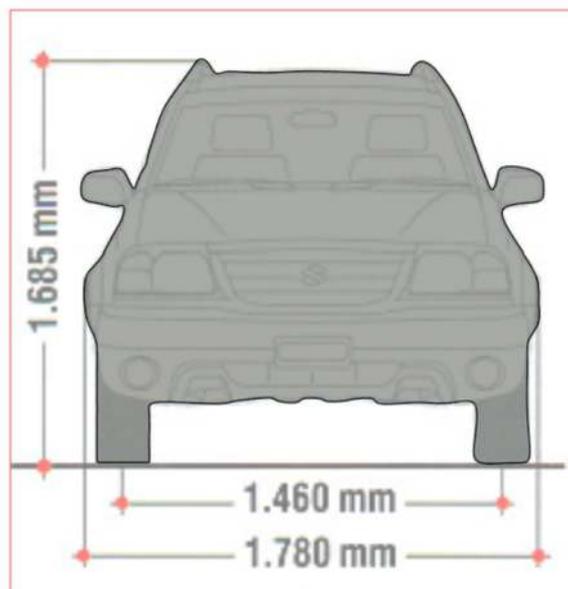
  

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:						
INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE	IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
---	MUESTRA 2	1674-01	Gasolina	Vidrio	1	L
---	MUESTRA 3	1674-02	Gasolina	Vidrio	1	L

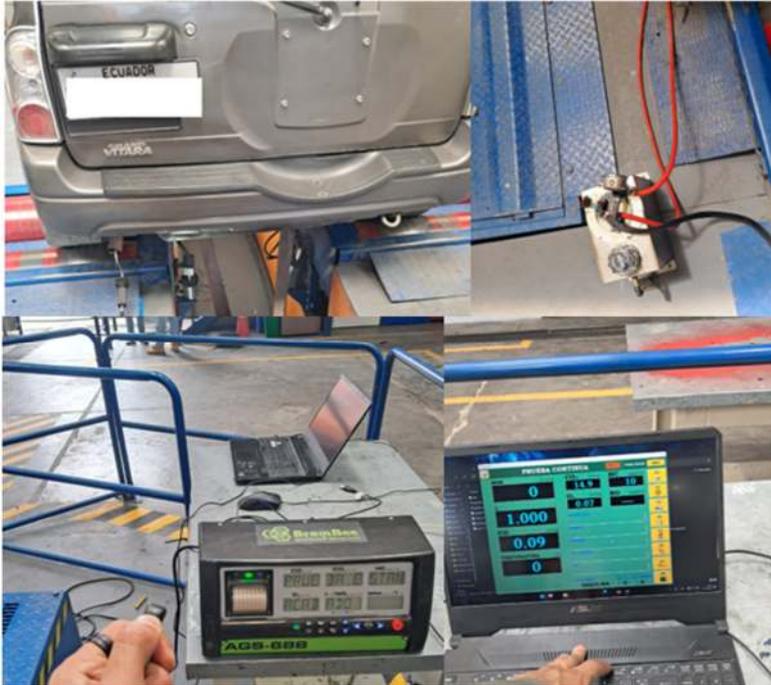
  

RESULTADOS OBTENIDOS:				
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDADES	VALOR OBTENIDO
	Número de octano (RON)	ASTM D2699-24a	---	98,7

### Anexo 6 Recreación de área frontal del vehículo



Anexo 7 Realización de pruebas



Loja, 04 de febrero de 2025

## CERTIFICACIÓN DE TRADUCCIÓN

Doctora.  
Erika Lucía González Carrión, Ph.D.

### CERTIFICO:

Yo, Doctora Erika Lucía González Carrión, Ph.D., con cédula de ciudadanía 1105820953, en mi calidad de traductora del idioma Inglés, con capacidades que pueden ser probadas a través de los siguientes documentos acreditativos:

- 1. TÍTULO DE LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION IDIOMA INGLES**, Registro SENESCYT Nro. 1008-16-1457913 (Anexo 1 documento SENESCYT):  
<https://drive.google.com/file/d/1TrRikB37XkDSSXRhIsZDh4FhWbylYkFz/view?usp=sharing>
- 2. CERTIFICADO DE PROFICIENCIA DEL IDIOMA INGLES** (Anexo 2 documento):  
<https://drive.google.com/file/d/1cNGWVEFjYH1E4eoHVDHGDkmLFEIUYAT/view?usp=sharing>
- 3. CERTIFICADO INGLÉS NIVEL B2** (Anexo 3):  
<https://drive.google.com/file/d/1i9QP22MCNrRMkflrKPO54003zE92tfMu/view?usp=sharing>
- 4. ACCESO A REVISTA COMUNICAR- BLOG ESCUELA DE AUTORES:**  
<https://www.grupocomunicar.com/wp/school-of-authors/>  
(Al acceder en el enlace al blog, se podrá evidenciar la traducción realizada por quien certifica de cada entrada. Para mayor referencia observar la captura de pantalla adjunta ANEXO 4 :  
[https://drive.google.com/file/d/1UjPj\\_R1ciRBxeW8UwNUHuNxICOXC1r2f/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1UjPj_R1ciRBxeW8UwNUHuNxICOXC1r2f/view?usp=sharing)

Con fundamento en la citada experiencia, numerales 1 al 4, **C E R T I F I C O** que la traducción del Resumen (Abstract) del Trabajo de Titulación denominado **Efecto del bioetanol y metanol mezclado con gasolina en las prestaciones de un MEP**, de autoría del estudiante: **Wladimir Ramón Torres Toledo** con CI: **1150087771**, es correcta y completa, según las normas internacionales de traducción de textos.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, **Wladimir Ramón Torres Toledo** hacer uso legal del presente, según estime conveniente.

Atentamente,

  
ERIKA LUCIA  
GONZALEZ  
CARRION

**Dra. Erika González Carrión. PhD.**  
**C.I. 1105820953**

- Registro SENESCYT Nro. 1008-16-1457913 - LICENCIADA EN CIENCIAS DE LA EDUCACION MENCION IDIOMA INGLES
- Registro SENESCYT Nro. 1031-15-1414538 - LICENCIADO EN COMUNICACION SOCIAL
- Registro SENESCYT Nro. 7242132304 - MASTER UNIVERSITARIO EN COMUNICACION Y EDUCACION AUDIOVISUAL
- Registro SENESCYT Nro. 7241182671 - DOCTORA DENTRO DEL PROGRAMA DE DOCTORADO EN COMUNICACION
- Registro Investigador SENESCYT acreditado: REG-INV-22-05714- Investigador Agregado 1.