



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DIÉSEL ELECTRÓNICO  
UTILIZANDO BIODIÉSEL (MANTENIMIENTO PREDICTIVO).”**

**AUTORES:**

**DILAN JOSHUE SIMBAÑA QUINATONA †**  
**NELSON ANDRES YANASCUAL ESPINOSA**

**DIRECTOR: ING. MAFLA YEPEZ CARLOS NOLASCO, MSC**

**Ibarra, diciembre 2024**

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1004395776		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Yanascual Espinosa Nelson Andrés		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Calle 27 de noviembre y las Américas.		
<b>EMAIL:</b>	nayanascuale@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	N/A	<b>TELF. MOVIL</b>	0982812054

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Análisis del comportamiento de un motor diésel electrónico utilizando biodiésel (mantenimiento predictivo)
<b>AUTOR:</b>	Yanascual Espinosa Nelson Andrés
<b>FECHA:</b>	02/12/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>CARRERA/PROGRAMA:</b>	<b>GRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniero Automotriz
<b>DIRECTOR:</b>	Carlos Nolasco Mafla Yépez

## **AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

Yo, Nelson Andrés Yanascual Espinosa, con cédula de identidad Nro. 1004395776, en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, a los 02 días del mes de diciembre de 2024

**EL AUTOR:**

  
.....

Nelson Andrés Yanascual Espinosa

## CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 02 días, del mes de diciembre de 2024.

### EL AUTOR:



.....  
Nelson Andrés Yanascual Espinosa

## CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 02 de diciembre de 2024

Carlos Nolasco Mafla Yépez  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:


Haber revisado el informe final del trabajo de Integración Curricular, que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

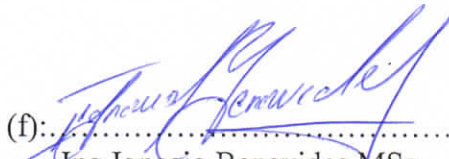


(f) .....  
*Carlos Nolasco Mafla Yépez*  
C.C.: 0401447826

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR DIÉSEL ELECTRÓNICO UTILIZANDO BIODIÉSEL (MANTENIMIENTO PREDICTIVO)”. elaborado por YANASCUAL ESPINOSA NELSON ANDRES, previo a la obtención del título de INGENIERO AUTOMOTRIZ, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f): .....  
Ing Carlos Mafla MSc.  
C.C.: 0401447826

(f): .....  
Ing Ignacio Benavides MSc  
C.C.: 1002415949

## **DEDICATORIA**

A mi familia, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, especialmente durante la realización de esta tesis. A mi madre Guadalupe Espinosa, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia; a mis hermanos, por su constante motivación y compañía. A mis profesores, por compartir su conocimiento y sabiduría, y por guiarme con dedicación en este proceso. A mis amigos, por su comprensión y aliento en los momentos más desafiantes. A todos ustedes, les agradezco profundamente por ser parte fundamental de este logro.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a la Universidad Técnica del Norte a mi director Carlos Mafla, quienes con su experiencia, paciencia y dedicación me guiaron en el desarrollo de este proyecto. Sus valiosas observaciones y comentarios fueron fundamentales para mejorar este trabajo y enriquecer mi aprendizaje.

A mi familia, les agradezco profundamente por su apoyo incondicional a lo largo de este proceso. Su confianza, ánimo y comprensión me dieron la fuerza necesaria para continuar incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es de ustedes.

A mi gran amigo Dilan Simbaña, gracias por su compañía, por los consejos compartidos y por ser una fuente de inspiración y motivación constante. Sus palabras de aliento y su solidaridad fueron clave para que este camino fuera más llevadero.



## RESUMEN EJECUTIVO

La contaminación ambiental es una preocupación creciente, siendo los vehículos con motores de combustión interna que emplean combustibles fósiles uno de los principales causantes. Ante esta problemática, el biodiésel surge como una opción prometedora para reducir las emisiones de gases nocivos en motores diésel. Este estudio se enfocó en la producción de biodiésel a partir de aceite de cocina virgen mediante transesterificación en un reactor tipo Batch, con el objetivo de analizar sus características fisicoquímicas y verificar su cumplimiento con la normativa NTE INEN 2482, evaluando además su aplicabilidad en motores de combustión interna. Se realizaron pruebas mecánicas y ambientales con mezclas B5 y B10, comparándolas con diésel convencional, encontrando que con B5 la potencia del motor se redujo en un 0,6% y con B10 en un 14%, mientras que el par disminuyó en 0,52% y 15,13%, respectivamente. En las pruebas ambientales, se observó una reducción del 30% en la opacidad al usar biodiésel. A bajas revoluciones, el CO<sub>2</sub> se mantuvo constante, el CO disminuyó en un 0,01% y los hidrocarburos (HC) aumentaron un 12,30% con B5 y bajaron un 7,70% con B10; mientras que, a altas revoluciones, el CO<sub>2</sub> aumentó un 1,3% con B10, el CO disminuyó un 0,09% con ambas mezclas y los HC se redujeron un 27,54% con B5 y un 41,08% con B10. Estos resultados demuestran que un mayor contenido de biodiésel en las mezclas contribuye a la reducción de emisiones contaminantes, mitigando el impacto ambiental del transporte sin comprometer significativamente el rendimiento mecánico del motor.

**Palabras clave:** Biodiésel, Motor diésel electrónico, Mantenimiento predictivo, Eficiencia energética, Análisis de rendimiento.

## **ABSTRACT**

Environmental pollution is a growing concern, with vehicles powered by internal combustion engines using fossil fuels being one of the main contributors. In response to this issue, biodiesel emerges as a promising option to reduce harmful emissions in diesel engines. This study focused on the production of biodiesel from virgin cooking oil through transesterification in a Batch reactor, aiming to analyze its physicochemical characteristics and verify its compliance with the NTE INEN 2482 standard, while also evaluating its applicability in internal combustion engines. Mechanical and environmental tests were conducted using B5 and B10 blends, comparing them with conventional diesel. The results showed that with B5, engine power decreased by 0.6%, and with B10, it dropped by 14%, while torque decreased by 0.52% and 15.13%, respectively. In the environmental tests, a 30% reduction in opacity was observed when using biodiesel. At low revolutions, CO<sub>2</sub> remained constant, CO decreased by 0.01%, and hydrocarbons (HC) increased by 12.30% with B5 and decreased by 7.70% with B10. At high revolutions, CO<sub>2</sub> increased by 1.3% with B10, CO decreased by 0.09% with both blends, and HC decreased by 27.54% with B5 and 41.08% with B10. These results demonstrate that a higher biodiesel content in the blends contributes to reducing pollutant emissions, mitigating the environmental impact of transportation without significantly compromising engine performance.

**Keywords:** Biodiesel, Electronic diesel engine, Predictive maintenance, Energy efficiency, Performance analysis.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>viii</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
Antecedentes .....	2
Planteamiento del Problema .....	3
Objetivos .....	4
<i>Objetivo General</i> .....	4
<i>Objetivos Específicos</i> .....	4
Justificación .....	5
Alcance .....	5
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>7</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
1.1 Motores diésel electrónicos.....	7
1.2 Bomba de alta presión VP44.....	8
1.3 Parámetros de funcionamiento de motores diésel electrónicos .....	9
1.3.1 <i>Presión de inyección</i> .....	10
1.3.2 <i>Tiempo de inyección</i> .....	10
1.3.4 <i>Duración de inyección</i> .....	11
1.4 Emisión de gases de escape .....	11
1.4.1 <i>Estructura de gases de escape</i> .....	13
1.5 Equipos de análisis de tren de potencia y gases contaminantes.....	14

1.6 Par Motor y Potencia .....	17
1.6.1 Par Motor .....	17
1.6.2 Potencia .....	17
1.6.3 Equipo de Medición Par Moto y Potencia.....	17
1.7 Gestión eléctrica de los motores diésel .....	18
1.8 Combustibles diésel .....	19
1.9 Biodiésel .....	20
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>22</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
2.1 Materiales.....	22
2.1.1 Chevrolet D-Max Diésel 3.0. ....	22
2.1.2 Equipos .....	24
2.1.3 Métodos.....	27
2.1.4 Preparación del vehículo de prueba.....	32
2.1.5 Par y Potencia en dinamómetro .....	34
2.1.6 Emisiones de gases .....	37
2.1.7 Pruebas de opacidad .....	38
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>40</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>40</b>
3.1 Análisis Físicoquímico del Biodiésel.....	40
3.1.1 Punto de Inflamación.....	41
3.1.2 Poder Calorífico Bruto .....	42
3.1.3 Índice de Cetano: .....	44
3.1.4 Densidad API a 60°F .....	45
3.2 Potencia y Par .....	46

3.2.1 Análisis del Par Motor Utilizando Diésel.....	46
3.2.2 Análisis del Par Motor Utilizando Biodiésel B5 .....	48
3.2.3 Análisis del Par Motor Utilizando Biodiésel B10 .....	50
3.2.4. Comparación de Par entre Diésel, Biodiésel B10 y B5.....	51
3.2.5 Análisis de la Potencia Utilizando Diésel .....	52
3.2.6 Análisis de la Potencia Utilizando Biodiésel B5 .....	54
3.2.7 Análisis de la Potencia Utilizando Biodiésel B10 .....	55
3.2.8 Comparación de Potencia con Diferentes Combustibles .....	56
3.3 Análisis de Emisiones de Gases de Escape.....	57
3.3.1 Hidrocarburos (HC) .....	57
3.3.2 Monóxido de Carbono (CO).....	59
3.3.3 Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	60
3.4 Opacidad .....	61
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>63</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>63</b>
4.1 Conclusiones .....	63
4.2 Recomendaciones .....	65
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Especificaciones técnicas de la bomba vp44. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Principales equipos para el análisis de tren de potencia y gases contaminantes. ....	16
<b>Tabla 3.</b> Especificaciones técnicas del Chevrolet D-Max Diésel 3.0. ....	22
<b>Tabla 4.</b> Características del dinamómetro. ....	25
<b>Tabla 5.</b> Características del analizador de Gases Brain Bee AGS-688. ....	26
<b>Tabla 6.</b> Características del Opacímetro Brain Bee OPA-100. ....	26
<b>Tabla 7.</b> Comparación de estándares de combustible. ....	40
<b>Tabla 8.</b> Datos del Punto de inflamación. ....	41
<b>Tabla 9.</b> Datos del Poder Calorífico Bruto. ....	42
<b>Tabla 10.</b> Datos del Índice de Cetano. ....	44
<b>Tabla 11.</b> Datos de la Densidad API a 60°F. ....	45
<b>Tabla 12.</b> Datos del Par Motor Utilizando Diésel. ....	47
<b>Tabla 13.</b> Datos del Par Motor Utilizando Biodiésel B5. ....	48
<b>Tabla 14.</b> Datos del Par Motor Utilizando Biodiésel B10. ....	50
<b>Tabla 15.</b> Datos de la Potencia Utilizando Diésel.. ....	53
<b>Tabla 16.</b> Datos de la Potencia Utilizando Biodiésel B5. ....	54
<b>Tabla 17.</b> Datos de la Potencia Utilizando Biodiésel B10. ....	55
<b>Tabla 18.</b> Datos de los Hidrocarburos (HC). ....	58
<b>Tabla 19.</b> Datos de Monóxido de Carbono (CO). ....	59
<b>Tabla 20.</b> Datos de Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ). ....	60
<b>Tabla 21.</b> Datos de Opacidad. ....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Representación del motor diésel electrónico.</i> .....	8
<i>Figura 2. Bomba de alta presión VP44.</i> .....	9
<i>Figura 3. Emisiones de gases de escape.</i> .....	13
<i>Figura 4. Chevrolet D-Max 3.0.</i> .....	22
<i>Figura 5. Tanque de combustible casero.</i> .....	23
<i>Figura 6. Reactor Batch.</i> .....	24
<i>Figura 7. Analizador de Gases Brain Bee AGS-688.</i> .....	25
<i>Figura 8. Opacímetro Brain Bee OPA-100.</i> .....	26
<i>Figura 9. Pasos para elaborar biodiésel.</i> .....	27
<i>Figura 10. Aceite de palma y metanol.</i> .....	28
<i>Figura 11. Hidróxido de sodio.</i> .....	28
<i>Figura 12. Mezcla de metanol e hidróxido de sodio (Metóxido).</i> .....	29
<i>Figura 13. Precalentamiento del aceite de palma.</i> .....	29
<i>Figura 14. Mezcla de metóxido y aceite de palma.</i> .....	30
<i>Figura 15. Etapa de separación de biodiésel y glicerina.</i> .....	30
<i>Figura 16. Etapa de lavado del biodiésel.</i> .....	31
<i>Figura 17. Etapa de secado de biodiésel.</i> .....	31
<i>Figura 18. Evaluación de funcionamiento de los inyectores.</i> .....	32
<i>Figura 19. Pruebas a la bomba de inyección.</i> .....	33
<i>Figura 20. Sustitución del filtro de aire.</i> .....	34
<i>Figura 21. Preparación de la camioneta en los rodillos del dinamómetro.</i> .....	34
<i>Figura 22. Afianzamiento de la camioneta con correas de sujeción.</i> .....	35

<b>Figura 23.</b> Software para las pruebas de Potencia y Par.....	35
<b>Figura 24.</b> Prueba real de Par y Potencia utilizando el dinamómetro inercial. ....	36
<b>Figura 25.</b> Preparación y auto encerado del analizador de gases. ....	37
<b>Figura 26.</b> Limpieza de la sonda.....	38
<b>Figura 27.</b> Impresión de datos obtenidos de la emisión de gases de escape. ....	38
<b>Figura 28.</b> Tacómetro.....	39
<b>Figura 29.</b> Punto de inflamación.....	41
<b>Figura 30.</b> Poder Calorífico Bruto.....	43
<b>Figura 31.</b> Índice de Cetano.....	44
<b>Figura 32.</b> Densidad API a 60°F.....	45
<b>Figura 33.</b> Análisis del Par Motor Utilizando Diésel. ....	48
<b>Figura 34.</b> Análisis del Par Motor Utilizando Biodiésel B5.....	49
<b>Figura 35.</b> Análisis del Par Motor Utilizando Biodiésel B10.....	51
<b>Figura 36.</b> Comparación de Par Entre Diésel, Biodiésel B10 y B5.....	52
<b>Figura 37.</b> Análisis de la Potencia Utilizando Diésel.....	53
<b>Figura 38.</b> Análisis de la Potencia Utilizando Biodiésel B5.....	55
<b>Figura 39.</b> Análisis de la Potencia Utilizando Biodiésel B10.....	56
<b>Figura 40.</b> Comparación de Potencia con Diferentes Combustibles.....	57
<b>Figura 41.</b> Hidrocarburos (HC).....	58
<b>Figura 42.</b> Monóxido de Carbono (CO).....	59
<b>Figura 43.</b> Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ).....	60
<b>Figura 44.</b> Opacidad.....	62



## INTRODUCCIÓN

Los motores diésel desempeñan un papel crucial en diversas industrias debido a su alta eficiencia y durabilidad. Estos motores, comúnmente utilizados en el transporte, la generación de energía y la agricultura, destacan por su capacidad para operar a niveles de eficiencia superiores en comparación con otras tecnologías de motores de combustión interna.

El funcionamiento de los motores diésel se basa en la inyección de combustible a alta presión, lo que permite una combustión eficiente que maximiza el rendimiento del motor y minimiza las emisiones. No obstante, los motores diésel también han sido objeto de crecientes preocupaciones ambientales debido a las emisiones de contaminantes como el material particulado y los Óxidos de Nitrógeno (NOx), que contribuyen al cambio climático y la contaminación del aire. Estas preocupaciones han llevado a la implementación de regulaciones más estrictas para controlar las emisiones, como la normativa Euro VI en Europa.

En este contexto, el biodiésel ha emergido como una alternativa viable y ecológica al diésel convencional. Al ser un combustible renovable y biodegradable, el biodiésel no solo reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también contribuye a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.

Este estudio se centra en la evaluación del rendimiento y las emisiones de un motor diésel al utilizar mezclas de biodiésel (B5 y B10) en comparación con diésel convencional. A través de pruebas de par y potencia, así como análisis de emisiones de gases de escape, se busca determinar el impacto del uso de biodiésel en el rendimiento del motor y en la reducción de emisiones contaminantes. Asimismo, se exploran las propiedades fisicoquímicas del biodiésel y cómo estas influyen en su comportamiento en motores diésel.

## **Antecedentes**

La contaminación ambiental se produce por los gases de los tubos de escape que emiten los motores de combustión interna, después de una mala combustión, que resulta del uso de combustibles fósiles y de mala calidad. Es un preocupante que se ha intentado resolver aplicando normas estrictas que controlan la cantidad de emisiones máximas que una máquina de combustión puede emanar al ambiente, también se aborda el tema con la búsqueda de otro tipo de energía que reduzca considerablemente la contaminación. La cantidad de contaminantes debido al uso de combustible diésel aumenta en proporción de vehículos a diésel que existen en la actualidad [1].

Las afecciones pulmonares asociadas al Covid 19, pueden ir desde una lesión leve en el tracto respiratorio hasta afecciones muy graves que pueden derivarse en una fibrosis pulmonar[2]. Este tipo de problemas son ocasionados por partículas como polvo en el aire y se agraban por la mala calidad de aire ocasionado por los gases emitidos de fuentes móviles, como son los motores de combustión interna.

El biodiésel se considera un tipo de energía alternativa para la aplicación en motores a diésel y es renovable debido a que su obtención requiere de un tipo de aceite vegetal o grasa animal, además contribuye a reducir la emisión de gases de escape, por ende la contaminación ambiental[3].

En los últimos años el uso del biodiésel como fuente de energía amigable en motores de compresión se ha apuntalado como sustituto del combustible diésel, tomando en cuenta que ciertas propiedades. EL biodiesel presenta mayor viscosidad y emisiones de óxido de nitrógeno que ocasiona que este deba ser mezclado con diésel normal [4]. Las tecnologías han variado el tipo de obtención del biodiésel y su combinación que mejore estas propiedades.

Las emisiones producidas en la combustión de monóxido de carbono, hidrocarburos y residuos de biodiésel, son menores a las que se producen con diésel convencional y hasta un 78% menos de CO<sub>2</sub>, pero emisiones de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), presentan un leve aumento [3].

### **Planteamiento del Problema**

Actualmente, la fabricación de vehículos de combustión ha implementado tecnología para controlar las emisiones, porque la cantidad de gases contaminantes que generan estos vehículos.

Varios estudios realizados sobre el tema han demostrado que las emisiones generadas por los vehículos no solo causan un daño significativo al ambiente, sino que también representan un riesgo para la salud de las personas. Estos hallazgos científicos respaldan la necesidad de tomar medidas urgentes para reducir y controlar las emisiones de los vehículos, a fin de salvaguardar el ecosistema. Gracias a estos factores y el valor actual de diésel comercial en Ecuador. El biodiésel es una opción de energía alternativa en los motores de compresión.

Las Emisiones Diésel (ED) contienen diversos irritantes de la mucosa conjuntival y respiratoria en las fases de gas y particulada (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, aldehídos entre otros). La exposición aguda, además de las irritaciones descritas previamente (conjuntivitis, rinitis y faringitis), también ocasiona otros síntomas respiratorios (tos, expectoración, disfonía, etc.) y neurofisiológicos como cefalalgia, mareos, náuseas, vómitos y parestesias de las extremidades. Estos síntomas se han descrito en trabajadores y en estudios clínicos de humanos expuestos a altas concentraciones de las ED [7].

El coronavirus se caracterizó por afectar a enfermedades y síntomas relacionados con las vías respiratorias. Estas condiciones de salud preexistentes se convirtieron en los principales objetivos del virus, exacerbando su impacto y provocando complicaciones.

Las emisiones que producen los biocombustibles durante su ciclo de vida (18 a 70 g CO<sub>2</sub> e/MJ etanol y 0 a 80 g CO<sub>2</sub> e /MJ utilizando biodiésel) son inferiores a las de los combustibles fósiles (85 a 105 g CO<sub>2</sub> e /MJ gasolina y 90 a 115 g CO<sub>2</sub> e/MJ diésel) [5]. Los efectos negativos de las fuentes de energía tradicionales, como los combustibles fósiles, ha llevado a la búsqueda de alternativas sostenibles y amigables con el entorno. Es esencial encontrar soluciones que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y promuevan la preservación de los ecosistemas.

La constante amenaza de agotamiento del petróleo unido a la necesidad de energías más limpias ha dado un impulso mundial al uso de otras fuentes de energía y biocombustibles. Si bien a nivel mundial se está avanzando a pasos acelerados, aún se está lejos de eliminar la dependencia de los combustibles fósiles [6].

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Evaluar el potencial del biodiésel como alternativa sostenible en la industria del transporte mediante el análisis de sus propiedades fisicoquímicas y su impacto en el rendimiento de motores de encendido por compresión.

### ***Objetivos Específicos***

1. Investigar las diferentes tecnologías actuales de obtención de biodiésel mediante revisión bibliográfica.
2. Determinar las propiedades fisicoquímicas del biodiésel, mediante normativa, que contribuyen a una combustión completa.

3. Analizar el comportamiento del motor de encendido por compresión con el uso de biodiésel con el estudio de gases de escape, potencia y par.
4. Evaluar los resultados obtenidos en las pruebas entre diésel Premium y biodiésel.

### **Justificación**

El objetivo de la investigación consiste en analizar la eficiencia del motor diésel de la camioneta Luv Dmax 3.0 disponible en los talleres de la Universidad Técnica del Norte. Para ello, se pretende cuantificar las emisiones de gases, así como la potencia y el par del motor. En este estudio, se empleará biodiésel como combustible ecológicamente amigable.

El proyecto se acoge al Plan Nacional de Creación de Oportunidades, en el cuarto eje Transición ecológica, Objetivo 12 Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al Cambio Climático” literal 12.3 “Implementar mejores prácticas ambientales con responsabilidad social y económica, que fomenten la concientización, producción y consumo sostenible, desde la investigación, innovación y transferencia de tecnología [7].

El proyecto de investigación tiene un impacto significativo en la reducción de gases contaminantes, lo cual contribuye a mitigar el cambio climático y mejora la calidad del aire. Esto, a su vez, ayuda a reducir las afecciones pulmonares que pueden ser perjudiciales para la salud de las personas. A través del uso de energía alternativa como el biodiésel, se evalúan las emisiones, la potencia y el par del motor. Además, se comparan estos parámetros con los del diésel Premium, así como también se analiza el consumo de combustible.

### **Alcance**

En este estudio, se realizará un análisis exhaustivo de las propiedades del biodiésel B10 de tercera generación viscosidad, densidad, índice de cetano, poder calorífico y punto de inflamación.

Además, se utilizará los equipos de la Universidad Técnica del Norte para llevar a cabo siete pruebas estáticas y tres pruebas en el dinamómetro. Estas pruebas permitirán determinar la potencia, par y gases en el motor de inyección electrónica VP44 (vehículo diésel LUV Dmax). El objetivo principal de este estudio es evaluar la eficiencia de esta forma de energía en comparación con el diésel convencional.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Motores diésel electrónicos

El sistema se basa en un principio fundamental: el suministro de combustible a través de alta presión que alimenta los inyectores de combustible en cada cilindro del motor. Este diseño centralizado y de alta presión permite una pulverización precisa y controlada del combustible, optimizando la eficiencia de la combustión y minimizando las emisiones nocivas [8].

Este sistema destaca del resto por su gran capacidad para suministrar combustible de manera precisa y controlada a través del tipo de bomba de inyección electrónica, lo cual es posible debido a que su diseño centralizado garantiza que cada cilindro del motor reciba la cantidad de combustible necesaria en el momento preciso, optimizando así la eficiencia de la combustión y maximizando el rendimiento del motor.

Los motores diésel electrónicos han revolucionado la industria automotriz con su eficiencia, potencia y menor emisión de gases contaminantes. Estos motores representan un hito significativo en la evolución de la tecnología diésel, proporcionando un rendimiento excepcional y una respuesta más suave que sus predecesores [9].

La eficiencia de los motores electrónicos diésel es un factor clave que ha permitido la adopción generalizada en la industria automotriz, ya que el combustible se suministra a alta presión y de manera precisa a cada cilindro del motor. Esto permite una pulverización controlada, facilita una combustión más completa, mejorando eficiencia energética y reduciendo el consumo de combustible en comparación con motores diésel convencionales.

**Figura 1.** *Representación del motor diésel electrónico.*



Tomado de: [10].

Los motores diésel electrónicos han demostrado ser más respetuosos con el medio ambiente que sus predecesores, además de su rendimiento mejorado. La inyección precisa y controlada de combustible permite la combustión completa, lo que contribuye a disminuir las emisiones de partículas y Óxidos de Nitrógeno (NOx). Además, la tecnología permite la integración de sistemas de post procesamiento de emisiones, los (DPF) filtros de partículas diésel y sistemas de reducción catalítica selectiva (SCR), para cumplir con los estándares de emisiones más estrictos [11].

Por ende, con base en lo planteado anteriormente, se puede deducir que los motores diésel electrónicos destacan del resto a diésel por su capacidad para ajustar el combustible inyectado en los cilindros según las demandas del motor y las condiciones de conducción. Lo que se logra usando sensores y un sistema de control electrónico sofisticado que monitorea constantemente las variables del motor, como la carga, la velocidad y la temperatura.

## **1.2 Bomba de alta presión VP44**

La bomba rotativa de émbolos radiales VP44 la presento la marca Bosch. La cual para la década en la que se presentó, genero una mejora significativa en motores diésel ya que la presión de trabajo aumento haciendo que el motor sea más eficiente y por ende reduciendo las emisiones.



**Figura 2.** Bomba de alta presión VP44.



Tomado de: [12].

Además, este tipo de bombas se fue implementando en vehículos pequeños y camionetas, donde los tubos variaron para el vehículo de carga pesada, debido a que trabajan con 24V, a continuación, se describen las especificaciones de la bomba.

**Tabla 1.** Especificaciones técnicas de la bomba vp44.

<b>Especificaciones técnicas de la bomba</b>	
<b>Presión máxima</b>	1000 BAR
<b>Numero de émbolos</b>	4
<b>Elevación máxima</b>	3,5 mm
<b>Especificación de la batería</b>	12v 24v

Tomado de: [13].

### **1.3 Parámetros de funcionamiento de motores diésel electrónicos**

Los motores electrónicos han revolucionado el funcionamiento de los motores diésel al proporcionar un control preciso y sofisticado sobre una serie de parámetros críticos. Dichos parámetros de funcionamiento clave permiten optimizar el rendimiento, la eficiencia y la respuesta de los motores estableciendo nuevos estándares en la industria automotriz. Tales parámetros se clasifican en:

### ***1.3.1 Presión de inyección***

La presión de inyección permite una atomización fina del combustible, lo que garantiza que la mezcla de combustible y aire en cada cilindro sea homogénea. Al ajustar la presión de inyección, se puede controlar la cantidad de combustible inyectado, lo que tiene un impacto directo en la eficiencia y rendimiento del motor en diferentes condiciones de conducción [14].

Este parámetro también influye en la atomización del combustible, es decir, en cómo se divide en partículas más pequeñas, ya que una presión de inyección más alta permite una mayor atomización, lo que resulta en una mejor mezcla de combustible y aire. Tal atomización fina mejora la combustión al permitir una distribución más uniforme del combustible dentro del cilindro.

### ***1.3.2 Tiempo de inyección***

Este parámetro determina el momento preciso en el que se inyecta el combustible en cada cilindro, mediante los sistemas de control electrónico avanzados, el tiempo de inyección se ajusta de manera precisa y adaptativa, lo que permite optimizar la combustión y la eficiencia del motor en cada ciclo de funcionamiento. A la par, que el control preciso del tiempo de inyección también garantiza una respuesta rápida y suave del motor en diferentes cargas y condiciones de conducción [15].

El tiempo de inyección influye en la suavidad y la respuesta del motor, ya que, al ajustarlo de manera precisa, se puede lograr una entrega de potencia más suave y lineal, lo que se traduce en una respuesta rápida del motor a las solicitudes del conductor y una experiencia de conducción más agradable en cuanto a aceleración y capacidad de respuesta.

### ***1.3.4 Duración de inyección***

Este parámetro define la cantidad total de combustible suministrado a cada cilindro durante un ciclo de funcionamiento. Ya que, al ajustar adecuadamente la duración de inyección, se puede optimizar el consumo de combustible y minimizar las emisiones contaminantes. El control preciso de la duración de inyección permite una inyección adecuada y precisa de combustible que se adapta a las demandas específicas del motor en cada momento, garantizando una combustión eficiente y reduciendo el desperdicio de combustible [16].

Además de mejorar el rendimiento y la eficiencia, el control preciso de la duración de inyección también tiene un impacto directo en las emisiones contaminantes, puesto que, al ajustar la duración de inyección de manera adecuada, se logra una combustión más completa y controlada, lo que reduce significativamente las emisiones de gases nocivos, como los NOx y material particulado. Lo cual contribuye a un menor impacto ambiental y a cumplir con los estándares de emisiones más estrictos.

## **1.4 Emisión de gases de escape**

La emisión de gases de escape es un tema de gran relevancia en el contexto actual, donde la preocupación por la contaminación del ambiente y la calidad del aire es cada vez mayor. Los motores de combustión interna, como los utilizados en vehículos y en muchas industrias, emiten una variedad de gases nocivos durante su funcionamiento, dichos gases incluyen Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), NOx, hidrocarburos no quemados y partículas sólidas [17].

El uso de combustibles fósiles en los motores de combustión interna libera altas concentraciones de CO<sub>2</sub>, uno de los principales gases responsables de efecto invernadero que contribuye al cambio

climático, provocando un aumento de la concentración de este gas y provocando el calentamiento global. Como resultado, se producen efectos perjudiciales como el derretimiento de los casquetes polares, la ampliación del nivel del mar y la modificación de los patrones climáticos.

Según [18], la emisión de gases de escape tiene efectos significativos tanto a:

- **Nivel local.** Los gases contaminantes pueden tener un impacto directo en la calidad del aire, lo que puede afectar negativamente la salud humana y el medio ambiente circundante. Los NO<sub>x</sub> contribuyen a la formación de smog y lluvia ácida, mientras que las partículas sólidas pueden inhalarse y provocar problemas respiratorios.
- **Nivel global.** La emisión de gases de escape juega un papel crucial en el cambio climático. El CO<sub>2</sub> uno de los principales gases de efecto invernadero, que contribuye al calentamiento global y al aumento de la temperatura promedio del planeta. Esto tiene repercusiones en términos de fenómenos climáticos extremos, alteraciones en los ecosistemas y el aumento del nivel del mar.

La reducción de las emisiones de gases de escape es esencial a nivel local y global para proteger la salud humana y mitigar el cambio climático ya que, a nivel local, los gases contaminantes afectan la calidad del aire y la salud respiratoria, mientras que, a nivel global, el Dióxido de Carbono contribuye al calentamiento global y eventos climáticos extremos. Y por lo tanto medidas estrictas y tecnologías limpias son ampliamente necesarias para reducir las emisiones y preservar el medio ambiente para futuras generaciones.

**Figura 3.** *Emisiones de gases de escape.*



Tomado de: [19].

Según lo planteado anteriormente, la emisión de gases de escape representa un desafío a nivel local y global en cuanto al impacto en la calidad del aire y el cambio climático. Por ende, es fundamental implementar medidas y regulaciones más estrictas, así como promover el avance y la implementación de tecnologías más limpias y sostenibles en diversos sectores ya que, al abordar este problema de manera integral, se puede proteger la salud humana, preservar el medio ambiente y avanzar hacia un futuro más sostenible y respetuoso con el planeta.

#### ***1.4.1 Estructura de gases de escape***

***1.4.1.1 Óxidos de Nitrógeno.*** - El nitrógeno es un gas que aporta el 78 % de aire, inodoro e insípido. Aunque no representa un riesgo para la salud por sí solo, puede reaccionar con el oxígeno se para crear distintos Óxidos de Nitrógeno, como el Óxido Nítrico (NO) y el Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Estos compuestos han sido ampliamente estudiados debido a su importancia biología y su papel como contaminantes ambientales especialmente en áreas urbanas [20].

***1.4.1.2 Monóxido de carbono CO.*** - El monóxido de carbono es un gas que carece de color, sabor y olor, y es un ligeramente más denso que el aire, en la naturaleza, se forma monóxido de carbono durante la producción y descomposición de la clorofila. por otro lado, los humanos lo generan a través de combustiones incompletas [20]. Por suerte, el motor diésel

funciona con abundancia de aire, lo que se llama con mezcla pobre, por lo que emisiones de monóxido de carbono (CO) limitadas en comparación con los motores de gasolina. Por lo que no plantean ningún problema [21].

**1.4.1.3 Dióxido de Carbono.** - El Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) se produce mediante la utilización de combustibles fósiles en vehículos. También se genera con combustibles renovables como bioetanol y biodiésel. Sin embargo, lo que diferencia ente combustibles y biocombustibles es el balance total en las emisiones de la atmosfera es neutro, aunque otros gases como el óxido nitroso pueden ser generados durante el proceso de combustión [22]. El Dióxido de Carbono es un gas residual de efecto invernadero que es producto de toda combustión de material que contenga carbono.

**1.4.1.4 Partículas de Hollín PM.** El Material Particulado (PM) se genera cuando las moléculas de combustible se combinan con las moléculas de aire debido a una combustión incompleta, actuando como el precursor de moléculas de PM, también conocido como hollín. Las partículas más pequeñas, de menos de 2 nanómetros, se forman a partir de moléculas de combustible mediante procesos como la fragmentación, condensación y polimerización. Estas partículas pequeñas pueden unirse entre sí para formar partículas de mayor tamaño [23].

## **1.5 Equipos de análisis de tren de potencia y gases contaminantes**

Los equipos de análisis de tren de potencia y gases contaminantes desempeñan un papel crucial en la evaluación y regulación de las emisiones de gases contaminantes generadas por los vehículos y otros sistemas de propulsión, esto debido a que estos equipos permiten medir y analizar de manera precisa la composición de los gases emitidos por el escape de los motores, proporcionando información valiosa sobre la eficiencia de combustión y el cumplimiento de los estándares de emisiones [24].

Al informar sobre la composición de los gases emitidos, estos equipos evalúan la eficiencia de combustión de los motores, algo relevante en cuanto a optimización de combustibles y tecnologías de control de emisiones. También son esenciales para garantizar el cumplimiento de los estándares de emisiones establecidos por las regulaciones gubernamentales y las normas ambientales.

Debido a que utilizan técnicas avanzadas de muestreo y análisis, estos equipos permiten cuantificar la presencia de gases contaminantes, como los Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>), los hidrocarburos no quemados, el Monóxido de Carbono (CO) y las partículas sólidas, entre otros. Además, también se pueden evaluar los niveles de Oxígeno (O<sub>2</sub>) y Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), así como otros parámetros relacionados con el rendimiento del motor [25].

La capacidad de evaluar múltiples parámetros relacionados con el rendimiento del motor y las emisiones hace que estos equipos sean herramientas versátiles y valiosas, especialmente para los fabricantes de vehículos, laboratorios de investigación y profesionales de la ingeniería automotriz. Ya que estos pueden utilizar dicha información proporcionada para desarrollar y mejorar tecnologías de control de emisiones, evaluar el cumplimiento de los estándares reguladores y realizar investigaciones sobre el impacto ambiental de diferentes combustibles y sistemas de propulsión.

Todo equipo de análisis de tren de potencia y gases contaminantes es esencial en el desarrollo y cumplimiento de regulaciones y normativas medioambientales, dado que permiten a los fabricantes de vehículos y a los organismos reguladores evaluar y controlar las emisiones de gases contaminantes durante las pruebas de homologación y en condiciones reales de conducción [11].

**Tabla 2.** Principales equipos para el análisis de tren de potencia y gases contaminantes.

<b>Equipo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Aplicaciones</b>
<b>Espectrómetro de Masas</b>	Utiliza la espectrometría de masas para identificar y cuantificar los diferentes gases presentes en los gases de escape.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Evaluación de emisiones de vehículos en pruebas de homologación.</li> <li>✓ Análisis de la eficiencia de combustión en motores</li> </ul>
<b>Cromatógrafo de gases</b>	Emplea la cromatografía de gases para separar y analizar los componentes individuales de una muestra de gases de escape.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Evaluación de la calidad del aire en entornos urbanos.</li> <li>✓ Estudios de emisiones de gases contaminantes en industrias.</li> </ul>
<b>Sondas de Análisis de gases</b>	Son dispositivos portátiles que se insertan en el escape de los vehículos para medir y analizar la composición de los gases emitidos en tiempo real.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Evaluación de emisiones en condiciones reales de conducción.</li> <li>✓ Inspecciones de cumplimiento de estándares de emisiones.</li> </ul>
<b>Analizador de gases</b>	Estos equipos miden y registran los niveles de diversos gases, como el Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ), el Monóxido de Carbono (CO), entre otros.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Monitoreo continuo de emisiones en plantas industriales.</li> <li>✓ Investigación y desarrollo de tecnologías de control de emisiones.</li> </ul>

Tomado de:[24].

Estos equipos son fundamentales para garantizar el cumplimiento de las regulaciones medioambientales, impulsan el desarrollo de tecnologías más limpias y fomentan una movilidad sostenible, a la par que proporcionan información valiosa sobre las emisiones de gases contaminantes en vehículos y sistemas de propulsión. Ya que, al permitir la medición precisa de las emisiones, estos equipos ayudan a los fabricantes a ajustar y mejorar sus tecnologías de control de emisiones, asegurando que los vehículos cumplan con los estándares establecidos.



Según lo planteado en la tabla anterior, los equipos de análisis de tren de potencia y gases contaminantes desempeñan un papel fundamental en varias aplicaciones, que van desde la evaluación de emisiones en pruebas de homologación de vehículos hasta el monitoreo continuo de emisiones en plantas industriales. Dichos equipos son esenciales, ya que brindan datos precisos sobre la composición de los gases de escape, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire y a la implementación de tecnologías más limpias y sostenibles en diversos sectores.

## **1.6 Par Motor y Potencia**

### ***1.6.1 Par Motor***

Par Motor, también conocido como Par, es una medida física que indica el momento de fuerza aplicado a un eje que gira sobre sí a una velocidad determinada. Representa la fuerza requerida para que el cigüeñal del motor gire y pueda transmitir al resto de los componentes mecánicos [26].

### ***1.6.2 Potencia***

El concepto de Potencia considera el Par Motor y la frecuencia con la que el Par está disponible en el tiempo necesario, la velocidad con la que obtenemos el Par [30],[27]. La Potencia de un motor de combustión interna depende de varios factores como: tipo de combustible que se usa, relación de compresión, tecnología utilizada, entre otros.

### ***1.6.3 Equipo de Medición Par Moto y Potencia***

El dinamómetro inercial de chasis es muy común en vehículos para medir Par y Potencia en las ruedas motrices de un automóvil, es muy útil, ya que permite evaluar y probar los diferentes

componentes de un vehículo, lo que garantiza los resultados obtenidos sean más precisos en comportamientos reales del vehículo en condiciones de funcionamiento [31],[28].

### **1.7 Gestión eléctrica de los motores diésel**

En los últimos años, la gestión eléctrica ha demostrado ser un pilar clave para el desarrollo y mejora de motores diésel más eficientes y respetuosos con el medio ambiente. Gracias a la integración de sistemas electrónicos avanzados, se ha logrado una optimización sin precedentes de los motores diésel, permitiendo una combustión más precisa y controlada [29].

Lo cual ha contribuido significativamente en la lucha contra el cambio climático y en la búsqueda de un futuro más sostenible, ya que la mejora en la eficiencia de los motores diésel gestionados electrónicamente ha disminuido la liberación de CO<sub>2</sub> y otros gases contaminantes, principales responsables del calentamiento global y el deterioro del medio ambiente.

La gestión eléctrica de los motores diésel ha experimentado un significativo avance en las últimas décadas, impulsando la eficiencia y la sostenibilidad de estos motores de combustión interna, mediante el empleo de sistemas electrónicos avanzados, logrando un control más preciso de la inyección de combustible, la sincronización de la ignición y la distribución de la potencia [30].

Esos avances permitieron optimizar el rendimiento del motor diésel, para reducir las emisiones de gases contaminantes y cumplir con las normativas medioambientales, gracias a la correcta gestión eléctrica que proveen, se logró un control más preciso de la inyección de combustible, permitiendo una mejor mezcla y combustión del diésel en la cámara de combustión. Lo cual da como resultado una mayor eficiencia térmica y una disminución significativa en la emisión de gases nocivos como el CO<sub>2</sub>, los NO<sub>x</sub> y las partículas de hollín.

## 1.8 Combustibles diésel

Los combustibles diésel de actuales son una evolución de los combustibles fósiles tradicionales, diseñados para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones contaminantes. Esta clase de combustibles se caracterizan por su alta calidad y por estar conformados principalmente de una mezcla de hidrocarburos más refinada y purificada que los diéseles convencionales [31].

Debido en gran parte a las grandes cargas contaminantes a las cuales están sujetos la gran mayoría de vehículos que utilizan combustibles diésel de primera y segunda generación, surgen los combustibles diésel de tercera generación, los cuales, a través del máximo grado de refinamiento de Hidrocarburos y purificación del diésel convencional, buscan ser una alternativa fehaciente ante el resto de competencia de combustibles diésel. La poca o nula emisión de gases contaminantes al usarlo como fuente de energía es una de sus principales cualidades.

Estos combustibles están diseñados para ser compatibles con los motores diésel actuales, lo que permite una transición más fluida hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles. Al tener un contenido reducido de azufre, estos combustibles contribuyen a una menor emisión de Óxidos de Azufre (SOx), lo que disminuye la formación de partículas finas y aerosoles que afectan negativamente la calidad del aire y la salud humana [32].

Entre las propiedades más destacadas de los combustibles diésel de tercera generación, se encuentra su capacidad para mejorar la eficiencia del motor diésel, ya que presentan un índice de cetano más elevado, lo que permite una mejor combustión y una mayor potencia. Además, su bajo contenido de azufre reduce la emisión de partículas de hollín y SOx, lo que disminuye su impacto negativo en la calidad del aire y en la formación de smog.

Además de su enfoque en la eficiencia y la reducción de emisiones, los combustibles diésel de tercera generación también ofrecen ventajas económicas y estratégicas. Ya que a medida que los gobiernos y las industrias buscan cumplir con regulaciones más estrictas sobre emisiones y adoptar prácticas más sostenibles, estos combustibles emergen como una opción viable para alcanzar dichos objetivos.

Aunque los combustibles diésel de tercera generación presentan muchas ventajas, su adopción generalizada aún enfrenta desafíos tecnológicos, logísticos y de infraestructura. Esto debido a que la implementación de esta nueva tecnología requiere inversiones significativas en plantas de producción y distribución adecuadas. También para aprovechar al máximo los beneficios del combustible diésel de tercera generación, se necesita avanzar en la investigación y el desarrollo para mejorar su eficiencia y reducir los costos asociados.

## **1.9 Biodiésel**

El biodiésel representa una alternativa ecológica al diésel fósil y se obtiene de recursos renovables tales como aceites de origen vegetal o animal, así como de aceites reciclados de cocina. Desde el punto de vista químico, se clasifica como un éster de cadena larga de ácidos grasos, originado de lípidos naturales. Su producción se realiza mediante la transformación de triglicéridos, conocidos también como triglicéridos, en presencia de etanol o metanol y un catalizador, que puede ser ácido o básico, resultando en biodiésel y glicerina como subproducto [33].

El biodiésel puede usarse en motores diésel existentes y se mezcla con diésel de petróleo en varias proporciones; la mezcla más común es B20, entre un 80 % diésel y un 20 % de biodiésel.

En el ámbito de la sostenibilidad y la reducción de emisiones contaminantes, los combustibles biodiésel de tercera generación han surgido como una opción prometedora. Esta nueva clase de combustibles se distingue por su origen renovable, ya que se produce a partir de fuentes como aceites vegetales, grasas animales o algas. Al aprovechar recursos naturales y renovables, los combustibles biodiésel presentan ventajas significativas en comparación con los combustibles fósiles tradicionales.

Una de las características clave de los combustibles biodiésel es su capacidad para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Al contrario de los combustibles diésel convencionales, que liberan grandes cantidades de Dióxido de Carbono y otros gases nocivos durante su combustión, el biodiésel tiene una huella de carbono mucho más baja. Esto los convierte en una opción atractiva para gobiernos, empresas y usuarios conscientes del medio ambiente que buscan reducir su impacto en el cambio climático [34].

Además de sus beneficios ambientales, los combustibles biodiésel también ofrecen ventajas económicas y sociales. Al promover la producción de materias primas renovables, se fomenta el desarrollo de nuevas industrias y se crean oportunidades de empleo en las comunidades rurales. Asimismo, la diversificación de la matriz energética mediante el uso de biodiésel contribuye a la seguridad energética, disminuyendo la dependencia de los combustibles fósiles importados y, potencialmente, estabilizando los precios del combustible a nivel nacional.

A pesar de todas estas ventajas, la adopción masiva de los combustibles biodiésel aún enfrenta desafíos. Entre ellos están los costos de producción elevados en comparación con los combustibles fósiles convencionales. Sin embargo, se espera que, con el avance tecnológico y la escala de producción, estos costos disminuyan, volviendo al biodiésel más competitivo en el mercado.

## CAPÍTULO II

### 2. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 2.1 Materiales

##### 2.1.1 Chevrolet D-Max Diésel 3.0.

Es un vehículo fabricado por Isuzu Motors, comercializado en Ecuador bajo la marca Chevrolet. Fue introducido en el año 2008 al mercado destacándose en su segmento por diferentes motivos, uno de ellos fue la bomba de inyección VP44 respaldada por la marca Bosch.

**Tabla 3.** Especificaciones técnicas del Chevrolet D-Max Diésel 3.0.

Especificaciones técnicas	
<b>Tipo de motor</b>	4JH1TC
<b>Cámara de combustión</b>	Inyección directa
<b>Número de cilindros, calibre y carrera</b>	4 – 95,4 x 104,9 mm
<b>Cilindrada total</b>	2.999 litros
<b>Orden de inyección de combustible</b>	1 – 3 – 4 – 2
<b>Tipo de bomba de inyección</b>	Tipo VP44 BOSCH
<b>Potencia</b>	130 CV @ 3800 RPM
<b>Par máximo</b>	280 Nm @ 2000 RPM

Tomado de:[35].

A continuación, se muestra el vehículo utilizado para el trabajo de investigación tomando en cuenta que se realizó un previo mantenimiento.

**Figura 4.** Chevrolet D-Max 3.0.



**2.1.1.1 Tanque de combustible.** - Para realizar las pruebas con las diferentes mezclas de combustible y evitar limpiar los conductos de combustible, deseamos reemplazar y desmontar el tanque de combustible original del vehículo. Se optó por realizar un tanque externo de combustible, el cual facilitará el cambio de las diferentes mezclas y el mayor control de la cantidad de combustible disponible durante las pruebas. En la figura se observa la adaptación que se realizó al tanque y los diferentes componentes que este tiene, los cuales son:

- Botellón de agua como tanque de almacenamiento.
- Manguera de alimentación de combustible con las respectivas abrazaderas.
- Manguera de retorno con las respectivas abrazaderas.

**Figura 5.** *Tanque de combustible casero.*



**2.1.1.2 Combustible.** - En la investigación se utilizarán diferentes proporciones, que serán B5 y B10, ya que para esta sección el método seleccionado será cuantitativo, se utilizarán estas mezclas para determinar las propiedades fisicoquímicas del biodiésel obtenido para permanecer en los rangos permitidos según la normativa NTE INEN 2482:2009.

En las siguientes pruebas comparativas solo se usarán la mezcla de biodiésel B15 y Diésel Premium en la tabla, se muestran las proporciones que se usarán para dicha prueba.

### **2.1.2 Equipos**

**2.1.2.1 Reactor Batch.** - Es un reactor discontinuo el cual está en el campus de la UTN y lo elaboraron estudiantes. Este reactor tiene 3 tanques con control independiente de velocidad de giro y la temperatura a la que se encuentra la mezcla para que la producción de biodiésel se obtenga correcta. También tiene un panel principal que controla la temperatura y la velocidad a la que hay 2 tanques. En la **Figura 6** podemos observar el reactor y sus diferentes partes donde se realiza el biodiésel y su tablero de control.

**Figura 6. Reactor Batch.**



**2.1.2.2 Dinamómetro Inercial Vamag modelo BPA-V2R.** - El cual se vincula a un computador el cual gráfica y registra los resultados del vehículo que se encuentra trabajando sobre



los rodillos, dando como resultado la gráfica de Par y Potencia, en la **Tabla 4** se detalla las características del equipo:

**Tabla 4.** *Características del dinamómetro.*

<b>Características del dinamómetro</b>	
<b>Potencia máxima</b>	400hp
<b>Par</b>	1500 Nm
<b>Voltaje</b>	220 – 400 V Ac (1-3/N/PE)
<b>Frecuencia</b>	50 – 60 Hz
<b>Corriente nominal</b>	16 amp
<b>Masa</b>	1200 kg
<b>Dimensiones</b>	3070x870x310 h mm
<b>Presión del circuito de aire comprimido</b>	6 bar
<b>Diámetro del rodillo</b>	240 mm
<b>Ancho de rodillo</b>	660 mm

Tomado de:[36].

**2.1.2.3 Analizador de Gases Brain Bee AGS-688.** - El analizador de gases AGS-688 permite técnico operario observar los valores de gases de escape que emite un motor de combustión interna ya sea diésel o gasolina. Este analizador de gases tiene una impresora térmica que emite los resultados obtenidos a revoluciones por minuto.

**Figura 7.** *Analizador de Gases Brain Bee AGS-688.*



**Tabla 5.** Características del analizador de Gases Brain Bee AGS-688.

Parámetro	Escala	Unidad	Resolución
CO	0-9,99	% vol.	0,01
CO2	0-19,99	% vol.	0,1
HC	0-9,999	PPM	1
O2	0-25	%	0,01
NOx	0-5000	PPM	10
Lambda	0,5-5,0		0,001
Revolución de motor	300-9990	min	10
Temperatura de aceite	20-150	C	1

Tomado de:[37].

**2.1.2.4 Opacímetro Brain Bee OPA-100.** - El opacímetro OPA-100 permite al técnico medir el porcentaje de opacidad emitido por un motor diésel.

**Tabla 6.** Características del Opacímetro Brain Bee OPA-100.

Parámetro	Escala	Unidad	Resolución
Opacidad	0; 99,9	%	0,1
Contador de revoluciones	300; 9990	RPM	10
Temperatura de aceite	20; 150	C	1
Temperatura de humo	20; 400	C	1

Tomado de:[38].

Este equipo se utiliza profesionalmente y se conecta al computador, con un programa de la misma marca indicará los valores obtenidos y los pasos a seguir para llegar a los resultados sin errores.

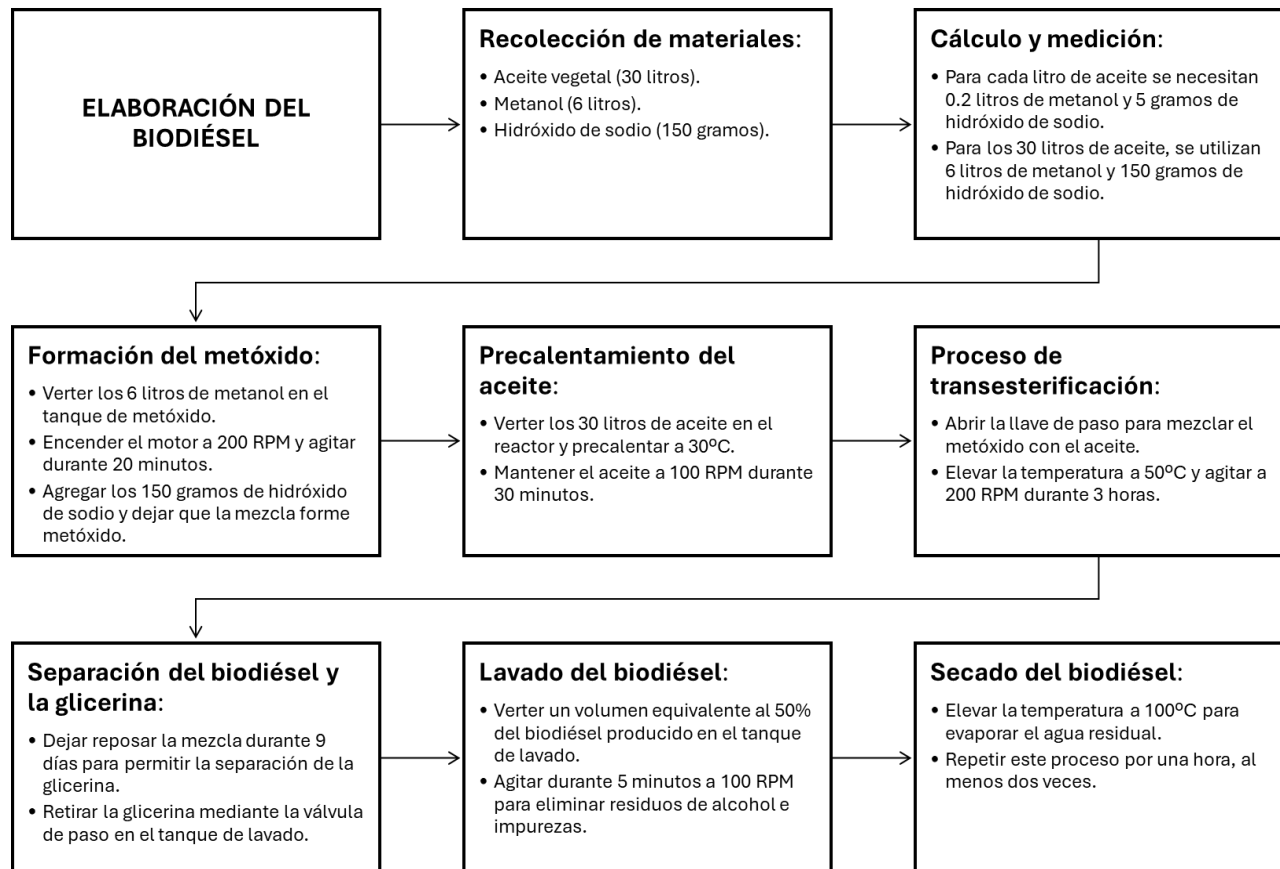
**Figura 8.** Opacímetro Brain Bee OPA-100.



### 2.1.3 Métodos

**2.3.3.1 Proceso de Elaboración del Biodiésel.** - El biodiésel de aceite vegetal puede ser obtenido mediante la reacción de la mezcla de hidróxido de sodio y metanol (metóxido), mediante un proceso llamado transesterificación, el cual se produce al unir los dos compuestos formando un compuesto exotérmico llamado metóxido que al unirse con el aceite la glicerina y ácidos grasos que al reaccionar con el metanol forman el biodiésel.

*Figura 9. Pasos para elaborar biodiésel.*



**2.1.3.1 Obtención del Biodiésel.** - El proceso de elaboración del biodiésel, una alternativa renovable y sostenible al combustible fósil, implica una serie de pasos meticulosos y

bien definidos. Para comenzar, se reúnen los materiales necesarios: aceite de palma, hidróxido de sodio y metanol, todos ellos componentes esenciales en la reacción química que transformará el aceite en biodiésel.

- El primer paso es calcular con precisión la proporción adecuada de metanol e hidróxido de sodio respecto a la cantidad de aceite que se utilizará.
- Para un litro de aceite se requiere 0,2 litros de metanol
- Para un litro de aceite se requiere 5 gramos de hidróxido de sodio.
- Tomando en cuenta la relación si estamos procesando 30 litros de aceite de cocina, se deben determinar las cantidades exactas de cada reactante para garantizar una reacción eficiente y completa, obteniendo así.
- 6 litros de metanol para los 30 litros de aceite de palma y 150 gramos de hidróxido de sodio

**Figura 10.** *Aceite de palma y metanol.*



Una vez identificadas las proporciones que van a ser utilizadas se procede, se procede a pesar el hidróxido de sodio.

**Figura 11.** *Hidróxido de sodio.*



**2.1.3.2 Formación de metóxido.** - Para la elaboración de este componente se deben realizar los siguientes pasos, descritos a continuación.

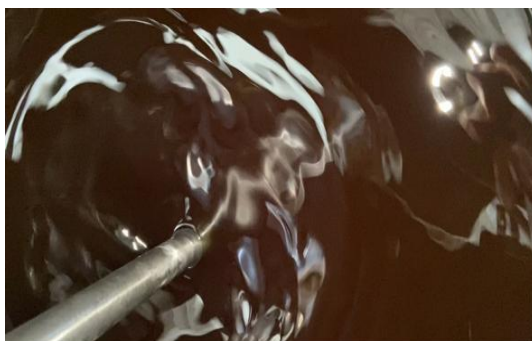
- Se procede a verter los 6 litros de metanol en el tanque de metóxido.
- Ajustamos un tiempo de 20 minutos y encendemos el motor a partir del botón superior izquierdo en el tablero de control, para conseguir que esta se agite.
- En este momento se agrega la cantidad de hidróxido de sodio calculada (150 gramos).
- La velocidad de las aspas de calibran a 200 RPM, culminado el tiempo establecido el motor se apagará de forma automática.

**Figura 12.** *Mezcla de metanol e hidróxido de sodio (Metóxido).*



**2.1.3.3 Proceso de transesterificación.** - En el reactor, se introduce los 30 litros de aceite y precalentamos el aceite, debe estar regulado a una temperatura de 30° C y el motor debe girar a 100RPM durante 30 minutos.

**Figura 13.** *Precalentamiento del aceite de palma.*



Culminado este tiempo el motor se detiene y dejamos que el metóxido se mezcle con el aceite abriendo la llave de paso del primer tanque, elevamos la temperatura a 50° C a una velocidad de 200RPM por 3 horas, ayudara al proceso de transesterificación.

**Figura 14.** *Mezcla de metóxido y aceite de palma.*



**2.1.3.4 Elaboración del biodiésel.** - Tras completar esta fase, la mezcla se transfiere al último reactor para el lavado y separación. Al abrir la válvula de paso, la mezcla se libera y en esta deberá reposar al menos 9 días para conseguir la separación glicerina como observamos en la **Figura 15**, al cabo de este tiempo se retira la glicerina por medio de la llave de paso presente en el tanque de lavado.

**Figura 15.** *Etapas de separación de biodiésel y glicerina.*



Finalmente, en la **Figura 16** la etapa de lavado y secado se inicia vertiendo el 50% del volumen producido de biodiésel, activando el motor por un tiempo de 5 minutos a 100RPM, esto ayuda a la correcta agitación y retira residuos de alcohol y otras impurezas.

**Figura 16.** *Etapa de lavado del biodiésel.*



Culminamos ajustando la temperatura a 100°C que ayudara a evaporar la cantidad de agua residual de la etapa de lavado como se observa en la **Figura 17**, este proceso se realiza por alrededor de una hora, repitiendo la acción por al menos 2 veces.

**Figura 17.** *Etapa de secado de biodiésel.*



#### ***2.1.4 Preparación del vehículo de prueba***

Antes de proceder con las pruebas en la camioneta, se llevó a cabo un mantenimiento preventivo y correctivo. Este proceso incluyó la verificación y reparación diferentes componentes que influyen directamente en el rendimiento del motor. El objetivo principal de estas acciones fue asegurar que las pruebas otorguen resultados más precisos y confiables. Minimizando el riesgo de que el vehículo sufra desperfectos en durante el desarrollo de las pruebas.

***2.1.4.1 Verificación y reparación de compontes.*** - Al momento de poner en marcha la camioneta, el motor presentaba fallas y vibraciones excesivas y la potencia del vehículo no era la adecuada durante la conducción. Por ello, se procedió a revisar componentes internos del motor. Se revisó el estado de las paredes del cilindro y el pistón utilizando una cámara que se introduce por el orificio de los inyectores. Con el cual se verifico las paredes de cilindro del pistón observando la cantidad de carbonilla.

Después de analizar las imágenes obtenidas, se concluyó que los cuatro pistones y cilindros estaban trabajando de manera adecuada, Sin embargo, se observó una acumulación de carbonilla en los pistones, lo que llevo a proceder con la revisión de los inyectores, para analizar el funcionamiento de los inyectores, se evaluó la presión a la cual están inyectando y se verifico que existe goteo de diésel, como se muestra en la **Figura 18**.

**Figura 18.** *Evaluación de funcionamiento de los inyectores.*





Los demás se encontraban en condiciones similares, por lo que se desmontaron para examinar el estado de las toberas y las agujas. En la figura se observa el estado de las toberas.

Al observar el estado de los componentes del inyector, se decidió proceder con la reparación, lo cual implica el reemplazo agujas y toberas. Además, se llevó a cabo la calibración de cada inyector siguiendo las especificaciones recomendadas por el fabricante.

Al momento de probar el funcionamiento de la camioneta, esta no desarrollaba el rendimiento esperado. Por ello, se optó por revisar la bomba de inyección en un banco de pruebas, como se muestra en la **Figura 19**. Los resultados de la prueba determinaron que algunos componentes internos de la bomba no se encontraban trabajando adecuadamente. Debido a esto, se decidió reparar la bomba de inyección para evitar complicaciones futuras durante las pruebas de alta exigencia.

**Figura 19.** *Pruebas a la bomba de inyección.*



**2.1.4.2 Mantenimiento predictivo.** - Consiste en hacer cambios de componentes según el cronograma otorgado por el fabricante y vida útil de cada pieza, dado que el vehículo estaba inactivo durante mucho tiempo, se decidió hacer un mantenimiento exhaustivo cambiando aceite, filtros de combustible, aceite y aires como se observa en la **Figura 20**. Este enfoque proactivo en el mantenimiento contribuye significativamente a prolongar la vida útil del vehículo y a prevenir posibles problemas mecánicos en el futuro.

**Figura 20.** *Sustitución del filtro de aire.*



### **2.1.5 Par y Potencia en dinamómetro**

**2.1.5.1 Preparación de equipos.** - Para realizar las pruebas en el dinamómetro de manera precisa, es crucial seguir una secuencia de pasos, para que el ensayo salga de forma correcta. Asimismo, es necesario que el vehículo de prueba se encuentre en condiciones específicas para garantizar exactitud en los datos obtenidos, a continuación, se detalla unos pasos a seguir: Colocar la ruedas delanteras o posteriores, dependiendo del eje de tracción sobre los rodillos, como se puede observar en la **Figura 21**.

**Figura 21.** *Preparación de la camioneta en los rodillos del dinamómetro.*



Se debe colocar las correas de sujeción en forma de cruz como se muestra en la **Figura 22**. esto con el fin de evitar algún tipo de accidente.

**Figura 22.** Afianzamiento de la camioneta con correas de sujeción.



Ingresar al software correspondiente para la obtención de datos

Ingresar los datos correspondientes sobre el vehículo de prueba **Figura 23.** como:

- Nombre del operador
- Modelo del vehículo
- Tipo de combustible
- Tipo de motor
- Cilindrada total
- Tracción

Se introduce la Potencia del motor indicada en la ficha técnica por el fabricante.

La **Figura 23.** muestra el ajuste y preparación del software para las pruebas de Potencia y Par.

**Figura 23.** Software para las pruebas de Potencia y Par.



El vehículo se debe encontrar en la temperatura normal de trabajo

**2.1.5.2 Pruebas de Par y Potencia.** - Para realizar las pruebas en el dinamómetro, se deben llevar a cabo pasos preliminares con el vehículo a fin de que el programa tome como referencia la marcha directa al motor para realizar los siguientes pasos:

- El vehículo debe estar en la posición correcta y con los parámetros de seguridad.
- La velocidad de salida debe ser de 50 km/h en cuarta marcha. Para esto, debemos realizar aceleraciones paulatinas desde primera marcha hasta las 2000 RPM. Cuando se llegue a este punto, se debe realizar el cambio de marcha hasta la cuarta, y comenzará la prueba.
- Con el vehículo en cuarta marcha, realizar una aceleración a fondo hasta observar que las curvas de Par y Potencia comiencen a disminuir.
- Se reducirá la velocidad hasta que el motor llegue a ralentí (800 RPM) sin presionar el pedal del freno.
- Para la obtención de datos, se realizó el procedimiento descrito. Este proceso se realizó 3 veces con las diferentes mezclas de biodiésel y con el diésel puro. En la **Figura 24.** se observa la realización de la prueba de Par y Potencia.

**Figura 24.** Prueba real de Par y Potencia utilizando el dinamómetro inercial.



## 2.1.6 Emisiones de gases

**2.1.6.1 Preparación del equipo.** - Antes de realizar la prueba de análisis de gases en el vehículo de prueba, se realizan los siguientes pasos para preparar y calibrar el analizador de gases, asegurando la obtención de datos más precisos y correctos:

- Conexiones de conductos y mangueras del analizador de gases del mismo modo se debe colocar filtros y otros componentes que se encuentren limpios.
- Se debe colocar el contador de revoluciones del motor para tener un mayor control al momento de realizar las pruebas a 2500 RPM.
- Se debe encender el analizador de gases y esperar que este calibre automáticamente con los procesos que se llaman auto cero y de calentamiento si estos procesos el equipo no funcionara. En la **Figura 25.** se observa al analizador de gases en el proceso de precalentamiento antes de la prueba.

**Figura 25.** Preparación y auto encendido del analizador de gases.



- Se debe colocar los datos del vehículo que el equipo nos pide.
- Introducir la sonda en el tubo de escape y después de terminar la prueba limpiar la sonda.

En la **Figura 26.** limpieza de la sonda después de una prueba

**Figura 26.** Limpieza de la sonda.



**2.1.6.2 Medición de gases de escape.** - Cuando el vehículo y analizador de gases se encuentre listos, se procederá a colocar la sonda para la toma respectiva de datos con cada combustible. La prueba se llevará a cabo en ralentí y a 2500 revoluciones por minuto con las dos mezclas de biodiésel y diésel, esta prueba se realizará 3 veces con cada combustible y velocidad del motor. En la **Figura 27.** se pueden observar los datos obtenidos con una mezcla a ralentí

**Figura 27.** Impresión de datos obtenidos de la emisión de gases de escape.



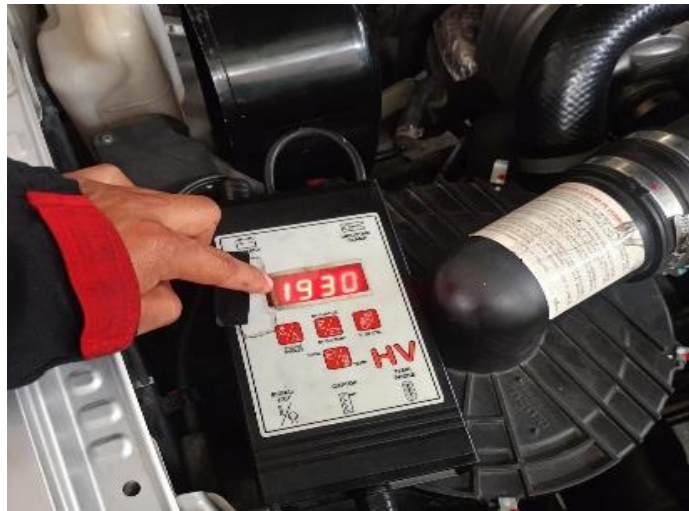
### **2.1.7 Pruebas de opacidad**

**2.1.7.1 Preparación de equipos.** - Antes de empezar la prueba se debe realizar algunos pasos previos en el programa que se usará para el análisis de opacidad, los cuales son:

- Precargar en el software los datos del vehículo como: marca, modelo, año, cilindrada, propietario entre otros.

- Conectar el contador de revoluciones para que el software trabaje en conjunto con el opacímetro. Esto con el fin de tener un control de revoluciones mejor y asegurar sean correctos. En la Figura se puede observar la forma con la que fue conectada el tacómetro

**Figura 28. Tacómetro.**



- Asegurarse que el vehículo de prueba debe estar en temperatura normal de funcionamiento para que la inyección sea la correcta.

**2.1.7.2 Proceso de medición de opacidad.** - Para realizar las pruebas de opacidad, se coloca la sonda en el tubo de escape y se procede a realizar 5 aceleraciones constantes a 3000 revoluciones por minuto, el programa utilizado toma los 5 datos obtenidos y realiza un promedio para otorgar el valor final. Esta prueba se realizó 3 veces con cada mezcla y con diésel puro.

## CAPÍTULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Este capítulo expone los resultados del análisis del comportamiento de un motor diésel electrónico alimentado con mezclas de biodiésel B5 y B10, junto con los hallazgos derivados de las pruebas fisicoquímicas realizadas en estas mezclas de biodiésel. Se detallan minuciosamente los efectos observados en el par, la potencia y las emisiones de gases durante las pruebas experimentales, Además, se comparan estos resultados con los obtenidos al utilizar diésel comercial. Determinando las implicaciones para el impacto ambiental y la eficiencia del motor. Por último, se discute la viabilidad como alternativas sostenibles.

#### 3.1 Análisis Físicoquímico del Biodiésel

En primera instancia, se realizaron pruebas en el laboratorio de Química de la Universidad Central del Ecuador con el fin de caracterizar las propiedades físicas y químicas de las mezclas de biodiésel B5 y B10 utilizadas en el estudio. Estos análisis incluyeron la determinación de la viscosidad, densidad, índice de cetano, contenido de agua y otros parámetros relevantes según la normativa NTE INEN 2482: 2009. Estos parámetros son fundamentales, para evaluar la calidad del biodiésel y determinar diferentes cambios en el rendimiento del motor en aplicaciones prácticas. Los resultados obtenidos de esta prueba, se presenta en la **Tabla 7**, proporcionando la base para una comparativa sobre diferentes estándares exigidos en el combustible.

**Tabla 7.** Comparación de estándares de combustible.

Determinación	Unidad	Resultado B5	Resultado B10	Diésel Premium
<b>Punto de inflamación</b>	°C	<b>82,0</b>	<b>83,5</b>	<b>51</b>
<b>Poder calorífico bruto</b>	MJ/kg	<b>45,102</b>	<b>44,519</b>	<b>45,10</b>
<b>Índice de cetano</b>	-	<b>48,3</b>	<b>48,5</b>	<b>45</b>
<b>Densidad API a 60°F</b>	°API	<b>34,5</b>	<b>33,5</b>	<b>36</b>



### 3.1.1 Punto de Inflamación

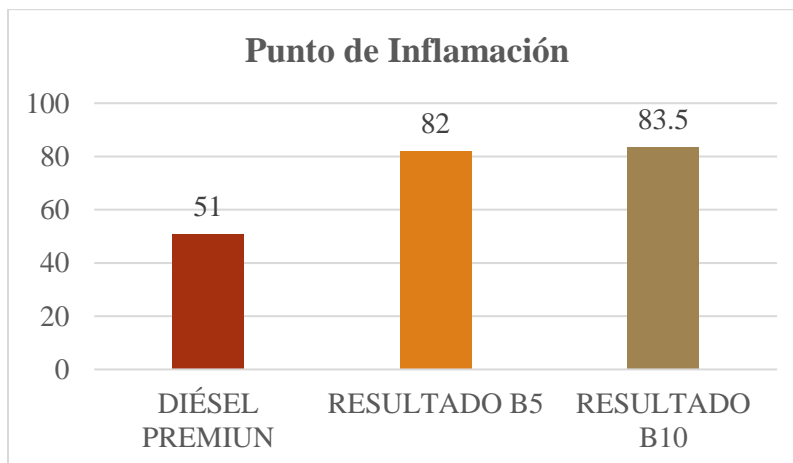
El punto de inflamación es una medida crucial que indica la temperatura mínima a la cual un combustible desprende vapores en cantidad suficiente para formar una mezcla inflamable con el aire. En el contexto del análisis comparativo entre diferentes tipos de combustibles, se evaluaron los puntos de inflamación del biodiésel B5, B10 y del diésel Premium, Según los datos obtenidos en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Datos del Punto de inflamación.

DETERMINACIÓN	UNIDAD	RESULTADO B5	RESULTADO B10	DIÉSEL PREMIUN
<b>Punto de inflamación</b>	<b>°C</b>	<b>82,0</b>	<b>83,5</b>	<b>51</b>

El biodiésel B5 muestra un punto de inflamación de 82,0 °C, mientras que el biodiésel B10 alcanza los 83,5 °C. En comparación, el Diésel Premium tiene un punto de inflamación notablemente menor de 51 °C. Esta diferencia resalta la mayor seguridad y estabilidad térmica del combustible, lo cual lo hace menos propenso a una ignición en almacenamiento en comparación al diésel comercial.

**Figura 29.** Punto de inflamación.



El análisis comparativo revela que tanto el biodiésel B5 como el B10 presentan puntos de inflamación significativamente más altos en comparación con el Diésel Premium. Este resultado indica una mejora notable en la seguridad durante su manejo y almacenamiento. Los puntos de inflamación más elevados de B5 y B10 indica que sus vapores inflamables se liberan solo a temperaturas más altas, lo que disminuye considerablemente el riesgo de ignición accidental.

En resumen, los valores obtenidos indican que el biodiésel B5 y B10 no solo son opciones más seguras en comparación al diésel comercial, sino que también ofrece una alternativa más segura para aplicaciones diversas. El uso de biodiésel puede reducir el riesgo en operaciones industriales, transporte y alimento, teniendo una adopción más amplia de combustibles alternativos teniendo beneficios para la seguridad.

### **3.1.2 Poder Calorífico Bruto**

El poder calorífico bruto es una medida fundamental que indica la cantidad de energía liberada por unidad de masa de combustible durante la combustión completa. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el análisis del poder calorífico bruto de tres combustibles: B5, B10 y Diésel Premium, lo cual permite comparar la eficiencia energética de cada uno en distintas aplicaciones.

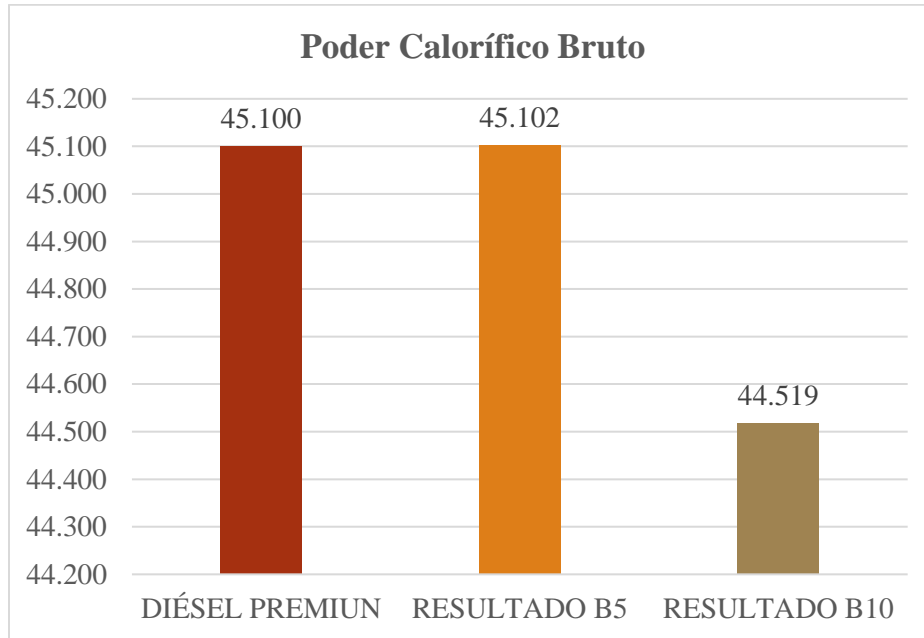
**Tabla 9. Datos del Poder Calorífico Bruto.**

DETERMINACIÓN	UNIDAD	RESULTADO B5	RESULTADO B10	DIÉSEL PREMIUN
<b>Poder calorífico bruto</b>	<b>MJ/kg</b>	<b>45,102</b>	<b>44,519</b>	<b>45,10</b>

El biodiésel B5 presenta un poder calorífico bruto medido de 45,102 MJ/kg, mientras que el biodiésel B10 muestra un valor ligeramente inferior de 44,519 MJ/kg. En contraste, el Diésel Premium registra un poder calorífico bruto prácticamente igual al del B5, alcanzando los 45,10

MJ/kg. Estos valores indican una pequeña diferencia en la eficiencia energética entre combustibles, destacando su competitividad.

**Figura 30. Poder Calorífico Bruto.**



Al calcular las diferencias porcentuales entre estos valores, se observa que el biodiésel B5 tiene un poder calorífico bruto un 0,436% más alto que el biodiésel B10. Ambos tipos de biodiésel muestran poderes caloríficos bruto ligeramente inferiores en comparación con el Diésel Premium, con una diferencia de 0,004% para el B5 y 0,178% para el B10 respecto al Diésel Premium.

Estas pequeñas diferencias sugieren que el biodiésel B5 y B10 tienen una eficiencia energética comparable al Diésel Premium en términos de la cantidad de energía disponible por unidad de masa de combustible. Aunque el biodiésel B5 muestra una ligera ventaja sobre el B10 en términos de poder calorífico bruto, ambas variantes muestran una capacidad energética adecuada para su aplicación como combustibles alternativos.

### 3.1.3 Índice de Cetano:

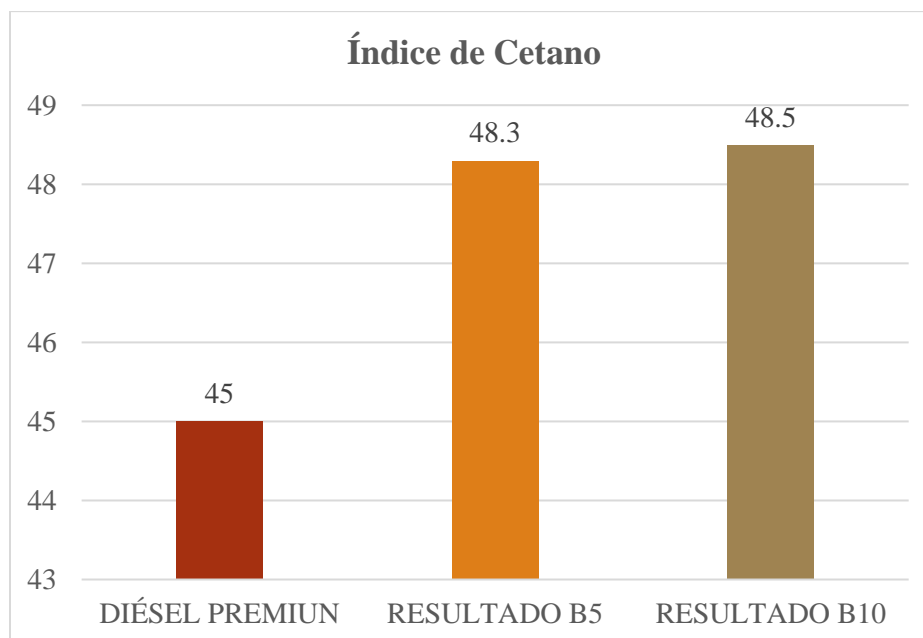
El índice de cetano es una medida de la calidad de ignición del combustible Diésel. Valores más altos indican una mejor calidad de ignición y una combustión más eficiente. Según los resultados:

**Tabla 10.** Datos del Índice de Cetano.

DETERMINACIÓN	UNIDAD	RESULTADO B5	RESULTADO B10	DIÉSEL PREMIUN
Índice de cetano	-	48,3	48,5	45

Tanto el biodiésel B5 como el B10 muestran índices de cetano de 48,3 y 48,5, respectivamente. En comparación, el Diésel Premium tiene un índice de cetano de hasta tres puntos menos.

**Figura 31.** Índice de Cetano.



Los índices de cetano del biodiésel B5 y B10 son un 7,8% y 8,9% más altos que el Diésel Premium, respectivamente. Un índice de cetano superior indica una mejor calidad de ignición, por lo tanto, una combustión más eficiente del combustible en motores diésel.

Estos resultados subrayan las ventajas significativas que ofrecen tanto el biodiésel B5 como el B10 sobre el Diésel Premium en términos de calidad de ignición. Una mejora en la calidad de ignición puede conducir a una combustión más completa y eficiente, beneficiando el rendimiento del motor y potencialmente contribuyendo a la reducción de emisiones.

### 3.1.4 Densidad API a 60°F

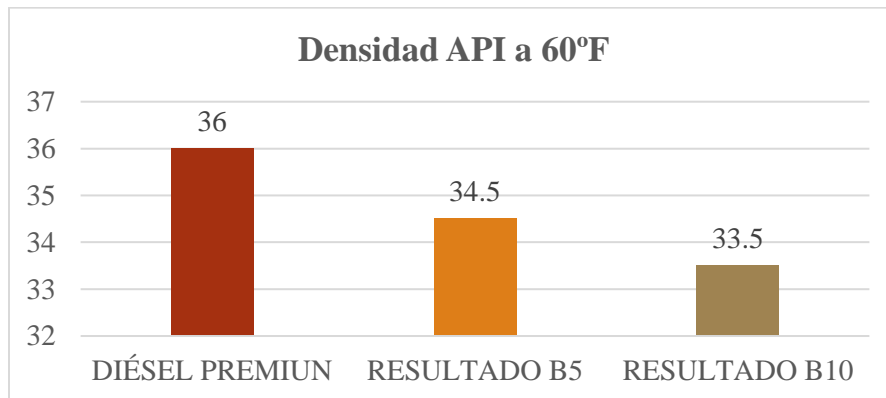
La densidad API es una medida de la densidad relativa del combustible en comparación con el agua. Valores más bajos indican una mayor densidad relativa. Según los resultados:

**Tabla 11.** Datos de la Densidad API a 60°F.

DETERMINACIÓN	UNIDAD	RESULTADO B5	RESULTADO B10	DIÉSEL PREMIUN
<b>Densidad API a 60°F</b>	<b>°API</b>	<b>34,5</b>	<b>33,5</b>	<b>36</b>

El biodiésel B5 tiene una densidad API de 34,5 °API, mientras que el biodiésel B10 muestra 33,5 °API. Existiendo una diferencia mínima al Diésel Premium que es de 36 °API.

**Figura 32.** Densidad API a 60°F.



La diferencia en densidad API entre el biodiésel B5 y B10 es de 1 °API. Ambos tipos de biodiésel muestran densidades API más bajas que el Diésel Premium, con una diferencia de -1,5 °API para el B5 y -2,5 °API para el B10 respecto al Diésel Premium.

Esta diferencia en densidad API entre los combustibles puede afectar la viscosidad y la fluidez del combustible, influenciando así la atomización y la combustión dentro del motor. Una menor densidad API generalmente implica una mayor facilidad de flujo y una mejor atomización, aspectos que pueden contribuir a una combustión más eficiente y a una reducción potencial de emisiones en motores diésel.

Se observa que el biodiésel B5 y B10 muestran densidades API inferiores en comparación con el Diésel Premium, lo que sugiere una mayor ligereza y potencial para mejorar la eficiencia del combustible en diversas aplicaciones industriales y de transporte.

### **3.2 Potencia y Par**

En este apartado se presentan y discuten los resultados de las pruebas de Potencia y Par realizadas en un dinamómetro inercial, donde se evaluaron diferentes tipos de combustibles: biodiésel B5, B10 y Diésel Premium. Cada combustible fue sometido a tres pasadas para garantizar la consistencia y fiabilidad de los datos obtenidos.

#### ***3.2.1 Análisis del Par Motor Utilizando Diésel***

La Tabla indica la relación que existe entre las RPM del motor y el Par Motor usando biodiésel como combustible. A continuación, se resume la información obtenida: los resultados muestran la variación del Par Motor a diferentes velocidades de giro del motor, proporcionando un análisis detallado del rendimiento del diésel en diversas condiciones operativas que se puede presentar en condiciones reales de conducción.

**Tabla 12.** *Datos del Par Motor Utilizando Diésel.*

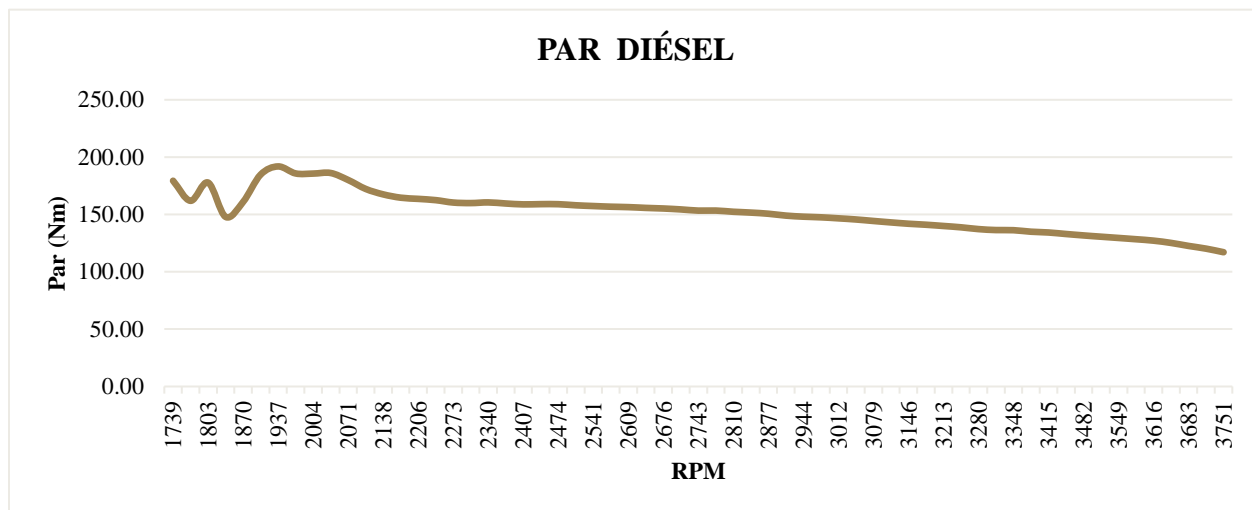
RPM	Par (Nm)
<b>1739</b>	<b>179,4</b>
<b>1769</b>	<b>161,91</b>
<b>1803</b>	<b>177,80</b>
<b>1836</b>	<b>147,88</b>
<b>1870</b>	<b>160,96</b>
<b>3683</b>	<b>122,56</b>
<b>3717</b>	<b>120,20</b>

El Par Motor máximo registrado es de 191,88 Nm @ 1937 RPM. Conforme aumentan las RPM, el Par motor disminuye de manera gradual, lo que es común en motores diésel. Este comportamiento indica la eficiencia del motor a bajas revoluciones alcanzando el pico máximo de Par y disminuyendo conforme suben las revoluciones del motor.

Como se observa en el **Figura 32** el Par motor fluctúa, alcanzando valores más altos en las RPM más bajas y disminuyendo a medida que las RPM aumentan, lo que demuestra una tendencia descendente a medida que se incrementa la velocidad del motor.

Este comportamiento es fundamental en aplicaciones que requieren Par alto en rangos de RPM más bajos, como vehículos industriales y de transporte. Para proporcionar la potencia necesaria para mover cargas pesadas o superar terrenos difíciles, optimizando el rendimiento y a eficiencia.

**Figura 33. Análisis del Par Motor Utilizando Diésel.**



### 3.2.2 Análisis del Par Motor Utilizando Biodiésel B5

Se examinaron las relaciones de Par Motor frente a las RPM empleando biodiésel B5 como combustible, revelando patrones distintivos en el rendimiento del motor. A continuación, se detalla un resumen exhaustivo de los hallazgos obtenidos:

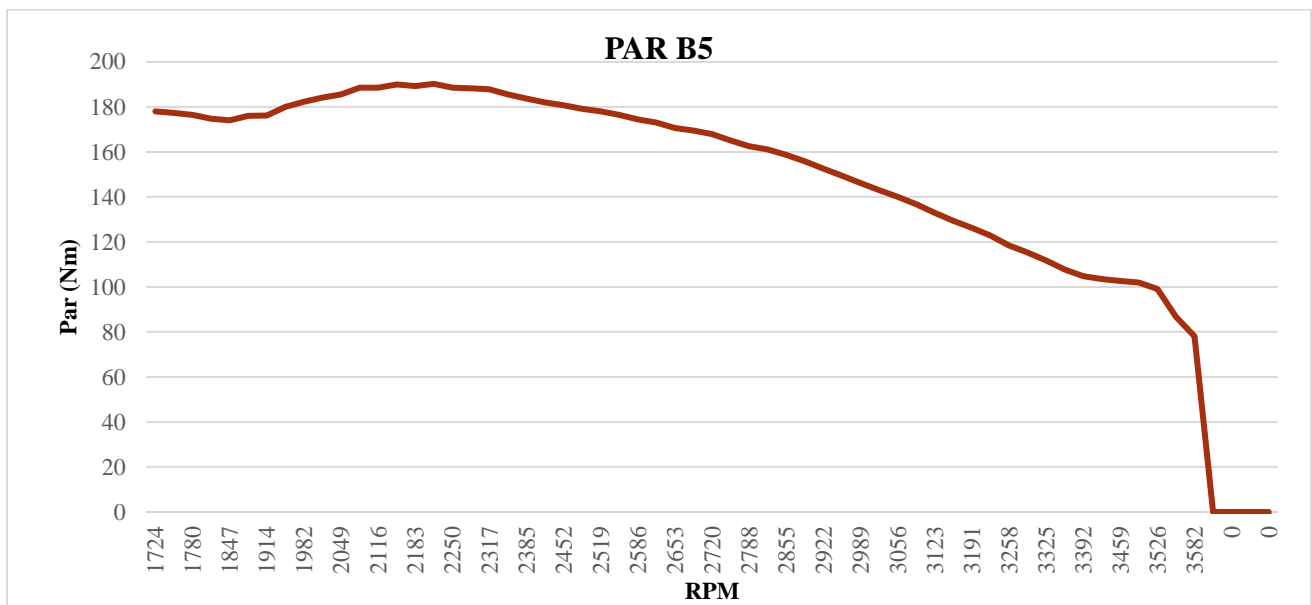
**Tabla 13. Datos del Par Motor Utilizando Biodiésel B5.**

RPM	Par (Nm)
<b>1724</b>	<b>178,08</b>
<b>1746</b>	<b>177,36</b>
<b>1780</b>	<b>176,46</b>
<b>1814</b>	<b>174,78</b>
<b>1847</b>	<b>174</b>
<b>3459</b>	<b>102,72</b>
<b>3493</b>	<b>102</b>
<b>3526</b>	<b>99,12</b>
<b>3560</b>	<b>86,76</b>
<b>3582</b>	<b>78</b>



El biodiésel B5 demostró una capacidad variable de producción de Par Motor en función de las RPM. A velocidades más bajas, el Par motor se mantuvo relativamente alto, alcanzando su punto máximo de 190,26 Nm a 2217 RPM. Este resultado sugiere una respuesta inicial robusta del motor con biodiésel B5, ideal para aplicaciones que requieren fuerza motriz constante en condiciones de carga moderada.

**Figura 34.** Análisis del Par Motor Utilizando Biodiésel B5.



En la **Figura 34** muestra conforme las RPM aumentaron, el Par Motor disminuyó gradualmente, mostrando una tendencia natural de adaptación del combustible. Este comportamiento es indicativo de la capacidad del biodiésel B5 para ofrecer un rendimiento equilibrado entre potencia y eficiencia energética en condiciones operativas variadas.

La eficacia del biodiésel B5 refleja su potencial para ser una alternativa viable en sectores que priorizan tanto el rendimiento como la sostenibilidad ambiental. Este análisis resalta cómo el biodiésel B5 puede integrarse de manera efectiva en aplicaciones que demandan un alto rendimiento mecánico con un impacto reducido en el medio ambiente.

### 3.2.3 Análisis del Par Motor Utilizando Biodiésel B10

Se han evaluado las relaciones de Par Motor en función de las RPM utilizando biodiésel B10 como combustible, revelando patrones distintivos en el rendimiento del motor.

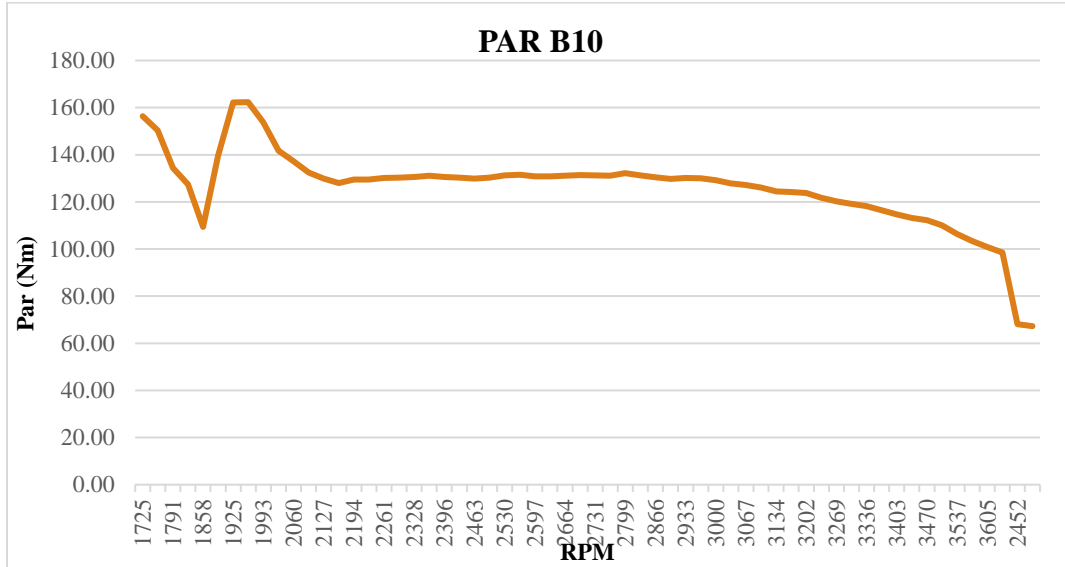
A continuación, se presenta un resumen detallado de los resultados obtenidos del Par Motor con Biodiésel B10 en la siguiente **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Datos del Par Motor Utilizando Biodiésel B10.

RPM	Par (Nm)
<b>1725</b>	<b>156,36</b>
<b>1757</b>	<b>150,36</b>
<b>1791</b>	<b>134,32</b>
<b>1825</b>	<b>127,40</b>
<b>1858</b>	<b>109,32</b>
<b>3571</b>	<b>103,44</b>
<b>3605</b>	<b>100,8</b>
<b>3638</b>	<b>98,56</b>
<b>2452</b>	<b>68,16</b>
<b>2474</b>	<b>67,28</b>

A velocidades más bajas, el Par Motor alcanza su punto máximo de 162,32 Nm a 1959 RPM, indicando una respuesta inicial efectiva del motor en condiciones de carga moderada.

**Figura 35. Análisis del Par Motor Utilizando Biodiésel B10.**



En la **Figura 35** el Par Motor experimenta una disminución gradual. Este comportamiento sugiere una capacidad limitada para mantener niveles óptimos de par motor en comparación con combustibles menos concentrados, como el B5.

La eficacia del biodiésel B10 para mantener el Par competitivo en rangos de RPM más altos es menor, evidenciando su potencial limitado en aplicaciones que requieren una potencia.

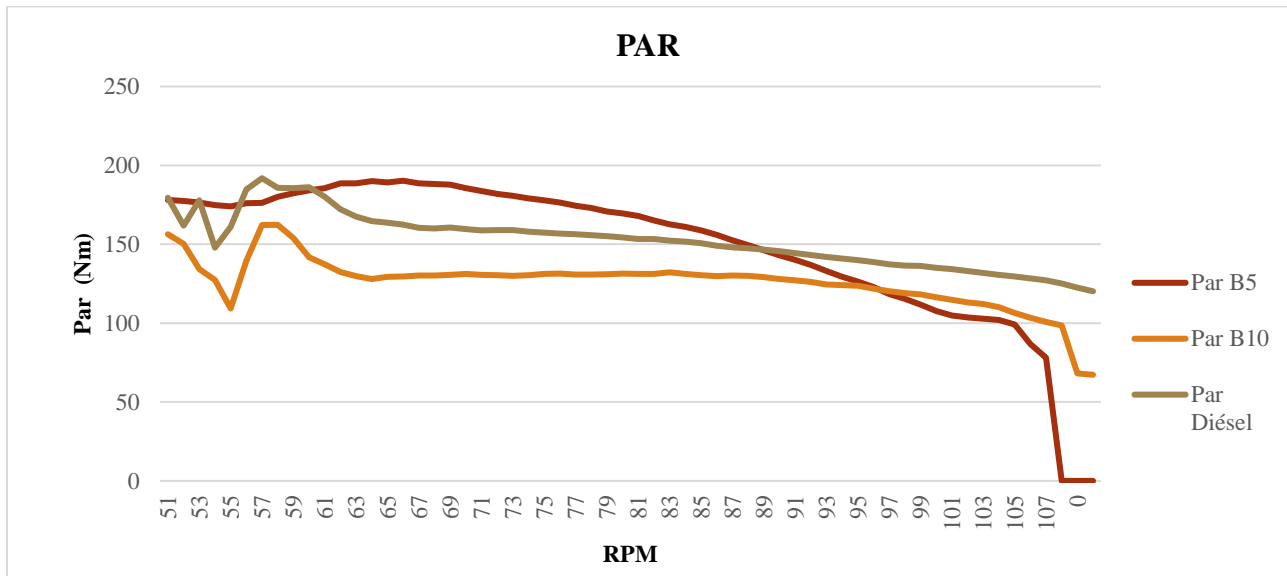
### **3.2.4. Comparación de Par entre Diésel, Biodiésel B10 y B5**

Al analizar el rendimiento de Par para Diésel, Biodiésel B10 y B5 a lo largo de diferentes RPM, se observan varias tendencias y diferencias notables. El Diésel presenta el Par máximo a 1937 RPM con un valor de 191,88 Nm, mientras que el B10 alcanza su máximo Par a 1959 RPM con 162,32 Nm, y el B5 a 2217 RPM con 190,26 Nm.

En RPM bajas (1739 a 1900 RPM), el Diésel generalmente proporciona un Par superior al del biocombustible. Por ejemplo, a 1937 RPM, el Diésel produce 191,88 Nm, mientras que el

Biodiésel B10 ofrece 162,32 Nm a 1959 RPM que es uno de los valores más altos, representando una diferencia porcentual de aproximadamente 12,86% en favor del Diésel. Comparado con el B5, a 2217 RPM de 190,26Nm, el Par del B5 es un 2,03% mayor.

**Figura 36.** Comparación de Par Entre Diésel, Biodiésel B10 y B5.



La gráfica comparativa confirma que, mientras el Diésel muestra un mejor rendimiento en RPM bajas, El biodiésel (B10 y B5) ofrecen un Par competitivo o superior en RPM medias y altas, con el B5 destacándose especialmente en los rangos más altos de RPM.

### 3.2.5 Análisis de la Potencia Utilizando Diésel

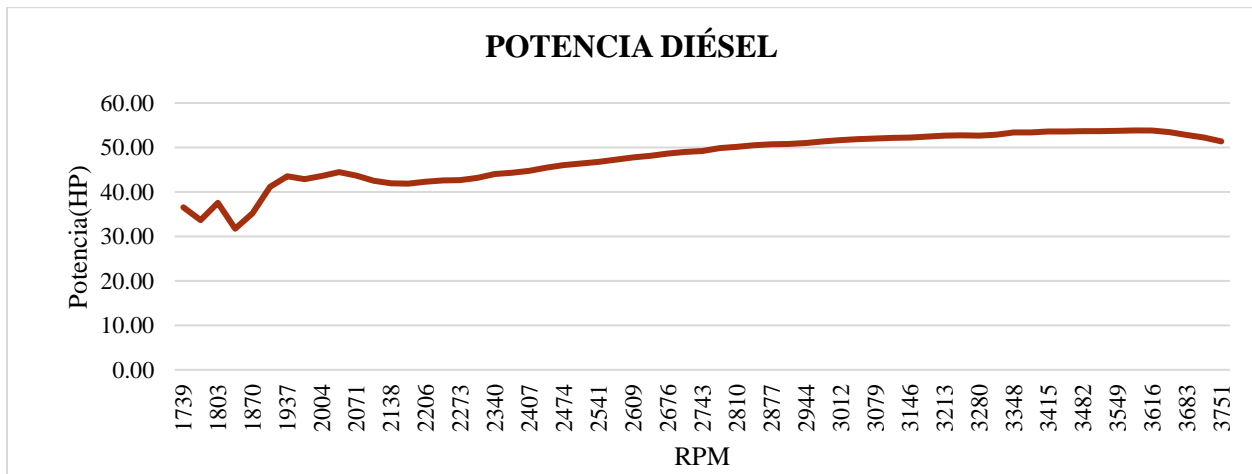
Se analizaron los resultados obtenidos de Potencia utilizando diésel normal comercializado en las gasolineras de Ecuador y puede diferenciar la variación de Potencia con respecto a las revoluciones.

**Tabla 15.** Datos de la Potencia Utilizando Diésel..

RPM	Potencia (HP)
<b>1739</b>	<b>43,84</b>
<b>1769</b>	<b>40,36</b>
<b>1803</b>	<b>45,08</b>
<b>1836</b>	<b>38,08</b>
<b>1870</b>	<b>42,24</b>
<b>3616</b>	<b>64,56</b>
<b>3650</b>	<b>64,16</b>
<b>3683</b>	<b>63,36</b>
<b>3717</b>	<b>62,72</b>
<b>3751</b>	<b>61,68</b>

Considerando que la Potencia máxima se obtiene con revoluciones más altas, y que con el diésel la potencia más alta alcanzada es de 64,60 HP a 3583 revoluciones por minuto, se observa el comportamiento del motor en el dinamómetro durante el diésel convencional. Esto indica que el motor está alcanzando su máxima eficiencia y rendimiento a esa velocidad de giro del motor.

**Figura 37.** Análisis de la Potencia Utilizando Diésel.



### 3.2.6 Análisis de la Potencia Utilizando Biodiésel B5

Se observa la variación de Potencia durante el aumento de la velocidad del motor durante la prueba, lo que permitió determinar cambios significativos al utilizar una mezcla de biodiésel B5. La tabla es un resumen de los datos obtenidos durante las pruebas realizadas con la mezcla B5.

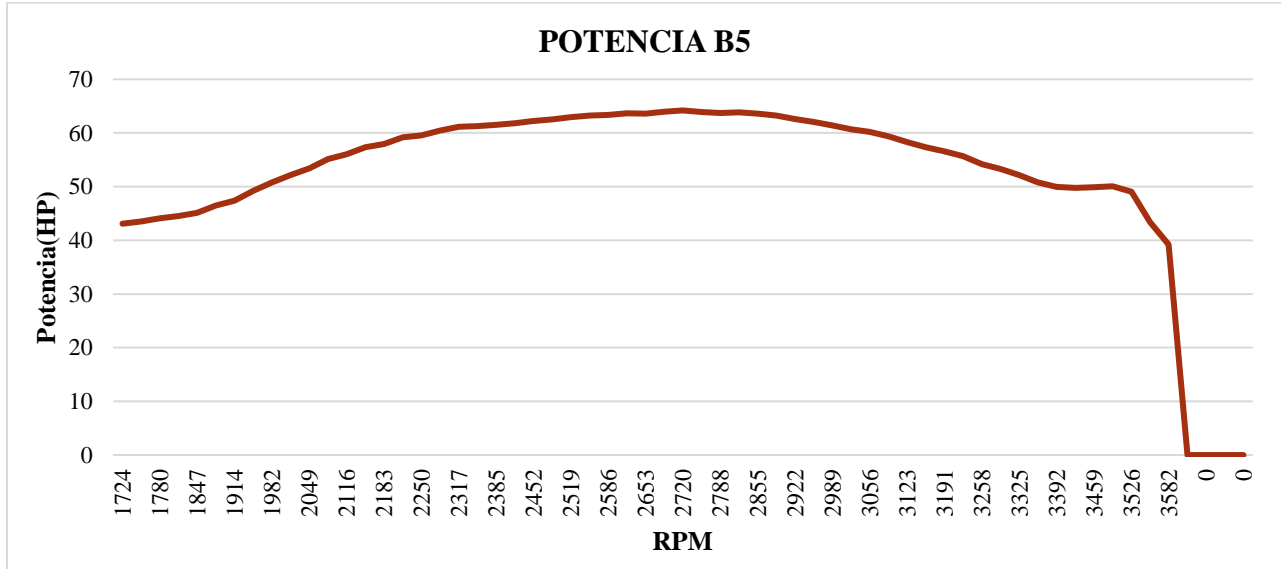
**Tabla 16.** Datos de la Potencia Utilizando Biodiésel B5.

RPM	Potencia (HP)
1724	43,08
1746	43,5
1780	44,1
1814	44,52
1847	45,12
3459	49,92
3493	50,04
3526	49,08
3560	43,38
3582	39,24

En los datos se obtuvo que la Potencia al usar biocombustible B5 es de 64,2 HP a 2720 RPM, con una reducción de 0,35 HP, una disminución muy pequeña de Potencia, poco significativa en aplicaciones prácticas. Por otro lado, se observó un cambio en la velocidad (RPM), con una disminución al utilizar biodiésel B5, lo que indica que el motor puede operar de manera más eficiente a una velocidad más baja.

Al cambiar a la mezcla B5, el motor muestra un rendimiento ligeramente diferente, con una pequeña disminución en la Potencia máxima a una velocidad menor. Estos cambios pueden tener varias implicaciones prácticas, especialmente en términos de eficiencia, sostenibilidad y adecuación para diferentes aplicaciones. En la gráfica se observa cómo va graficando la Potencia a diferentes RPM con el uso de B5, donde se puede observar el punto más alto de Potencia y las revoluciones a las cuales se encuentra el motor.

**Figura 38.** *Análisis de la Potencia Utilizando Biodiésel B5.*



**3.2.7 Análisis de la Potencia Utilizando Biodiésel B10**

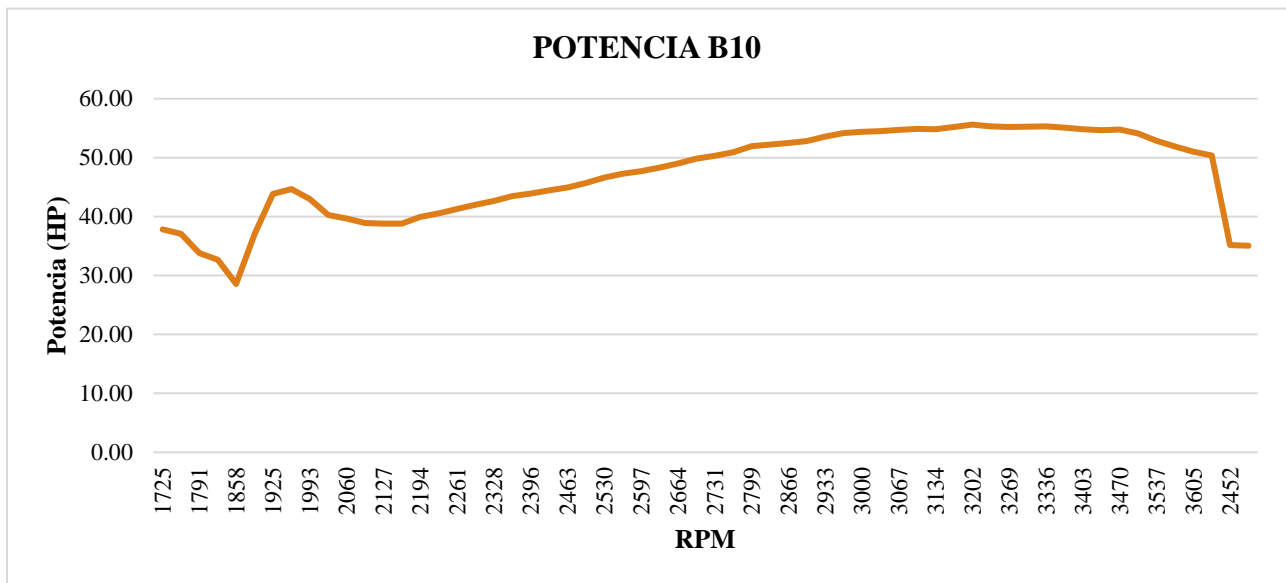
Durante la prueba, se observó una variación en la potencia conforme aumentaba la velocidad del motor, detectando cambios significativos al utilizar una mezcla de biodiésel B10. La tabla presenta un resumen de los datos recopilados durante las pruebas realizadas con la mezcla B10.

**Tabla 17.** *Datos de la Potencia Utilizando Biodiésel B10.*

RPM	Potencia (HP)
1725	37,84
1757	37,08
1791	33,80
1825	32,64
1858	28,56
3571	51,88
3605	51,04
3638	50,36
2452	35,16
2474	35,08

En este caso, se obtuvieron 55,6HP a 3202 RPM, lo que indica que la Potencia del motor disminuyó mucho un 14 % en comparación con la obtenida con diésel común y un 13,5 % en comparación con la que utiliza la concentración B5. Esto supone una reducción en la capacidad de generar energía del motor. En la gráfica se observa el comportamiento del motor utilizando B10, donde se muestra el punto más alto de Potencia a la que llega utilizando esta mezcla.

**Figura 39.** *Análisis de la Potencia Utilizando Biodiésel B10.*



### 3.2.8 Comparación de Potencia con Diferentes Combustibles

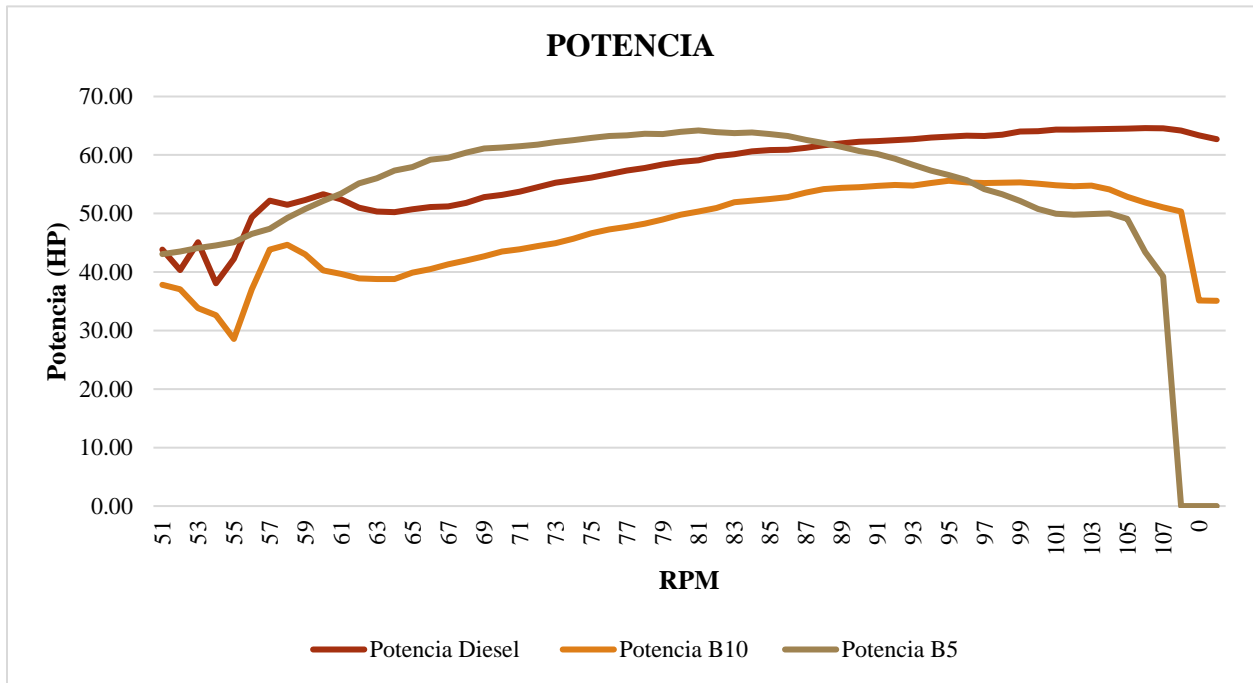
En cuanto al rendimiento del motor diésel del vehículo de prueba, el diésel convencional da mayor potencia con 64,60 HP a 3583 RPM, mientras que el biodiésel B5 ofrece 64,2 HP a 2720 RPM, lo que indica una operación más eficiente a menores velocidades en las que trabaja el motor.

Por otro lado, la mezcla de B10 reduce la Potencia del motor a 55,60 HP a 3202 RPM. Esta significativa reducción de potencia puede limitar el rendimiento del motor en ciertas aplicaciones, dado que es un vehículo de carga y se verá afectado en algunas situaciones.



En la gráfica se observa de manera sencilla la diferencia de comportamientos que existe al usar los diferentes combustibles. Del mismo modo, se puede apreciar la diferencia entre potencias máximas a la que se alcanza y el comportamiento del motor.

**Figura 40.** Comparación de Potencia con Diferentes Combustibles.



### 3.3 Análisis de Emisiones de Gases de Escape

En este estudio se evaluaron las emisiones de gases (HC, CO y CO<sub>2</sub>) de motores operando con diésel convencional, B5 y B10 a dos niveles de velocidad del motor (700 RPM y 2000 RPM), con el objetivo de comprender el impacto ambiental relativo de estos combustibles alternativos.

#### 3.3.1 Hidrocarburos (HC)

Los Hidrocarburos (HC) son compuestos orgánicos volátiles que pueden contribuir a la formación de ozono troposférico y smog fotoquímico.

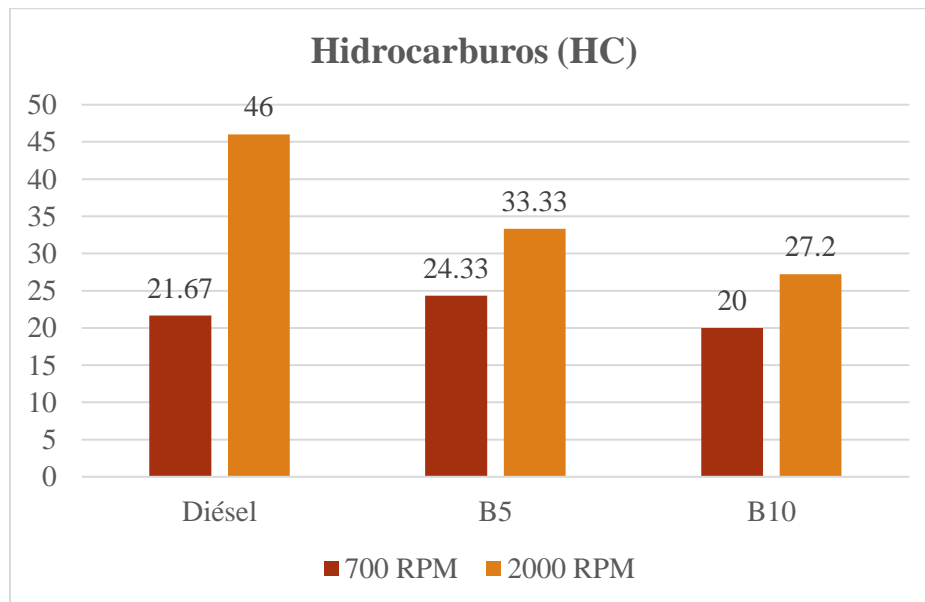
**Tabla 18.** Datos de los Hidrocarburos (HC)..

REVOLUCIONES	DIÉSEL	B5	B10
700 RPM	21,67 ppm	24,33 ppm	20 ppm
2000 RPM	46 ppm	33,33 ppm	27,2 ppm

**Análisis de HC:**

A 700 RPM, el biodiésel B5 y el B10 mostraron niveles ligeramente más altos de HC en comparación con el diésel convencional. Esto podría atribuirse a diferencias en la combustión y en la composición química de los combustibles. A 2000 RPM, tanto el B5 como el B10 mostraron una tendencia a reducir los niveles de HC en comparación con 700 RPM, mientras que el diésel convencional mostró un aumento significativo. Este patrón sugiere una mejor adaptabilidad del biodiésel a altas velocidades de motor en términos de emisiones de HC.

**Figura 41.** Hidrocarburos (HC).



### 3.3.2 Monóxido de Carbono (CO)

El Monóxido de Carbono (CO) es un gas inodoro e incoloro que puede ser perjudicial para la salud humana y contribuir a la formación de smog.

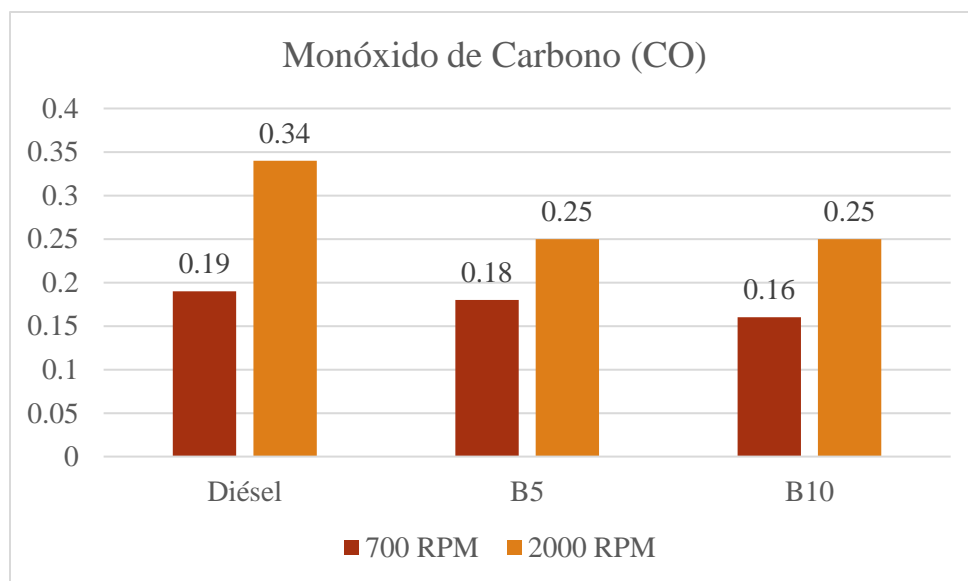
**Tabla 19.** Datos de Monóxido de Carbono (CO).

REVOLUCIONES	DIÉSEL	B5	B10
<b>700 RPM</b>	<b>0,19%</b>	<b>0,18%</b>	<b>0,16%</b>
<b>2000 RPM</b>	<b>0,34%</b>	<b>0,25%</b>	<b>0,25%</b>

#### Análisis de CO:

Los niveles de CO fueron comparables entre el diésel convencional y las mezclas B5 y B10 en ambas velocidades de motor. A 2000 RPM, se observó una ligera reducción en los niveles de CO con el B10 en comparación con el diésel convencional. Esto indica una buena combustión y eficiencia en la utilización del oxígeno por parte del B10, reduciendo así las emisiones de CO.

**Figura 42.** Monóxido de Carbono (CO).



### 3.3.3 Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

El (CO<sub>2</sub>) es un gas de efecto invernadero principal que contribuye al calentamiento global.

*Tabla 20. Datos de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).*

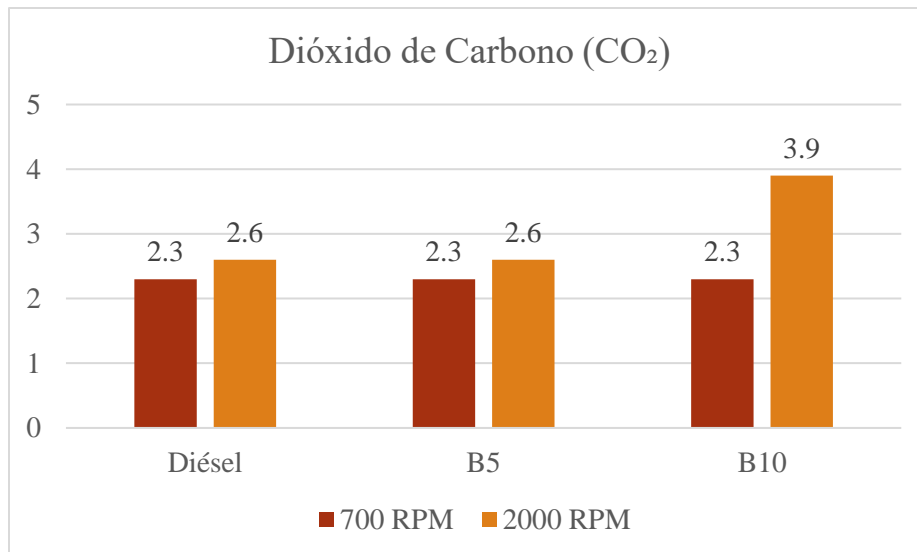
REVOLUCIONES	DIÉSEL	B5	B10
<b>700 RPM</b>	<b>2,30%</b>	<b>2,30%</b>	<b>2,30%</b>
<b>2000 RPM</b>	<b>2,60%</b>	<b>2,60%</b>	<b>3,90%</b>

#### Análisis de CO<sub>2</sub>:

Los niveles de CO<sub>2</sub> fueron consistentemente más altos con el B10 en comparación con el diésel convencional y el B5, especialmente a 2000 RPM. Esto puede atribuirse a una mayor eficiencia de combustión del B10 a mayores velocidades del motor, donde se aprovecha mejor el contenido energético del combustible.

La figura representa de forma visual los resultados obtenidos de CO<sub>2</sub>, los resultados y diferencia porcentual de opacidad con diésel y diversas mezclas de biodiésel, se puede observar claramente que el uso de biodiésel en diferentes proporciones mejora la calidad de aire, lo que denota la efectividad del biodiésel como una alternativa más limpia y sostenible.

**Figura 43. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>).**



### 3.4 Opacidad

Para llevar a cabo la prueba, realizaron 3 series de mediciones con cada mezcla de combustible en el vehículo de prueba. Cada serie de mediciones consto de 5 lecturas utilizando el opacímetro OPA-100 el cual da como resultado da un promedio, la **Tabla 21** muestra los valores promedio de opacidad obtenidos en cada pasada con diésel y las distintas mezclas de biodiésel. Estos valores permitieron determinar las diferencias de opacidad entre cada combustible. Al analizar los resultados, se pudo establecer comparaciones precisas que indican el impacto del biodiésel en cada mezcla de combustible, proporcionando información de suma importancia sobre opacidad.

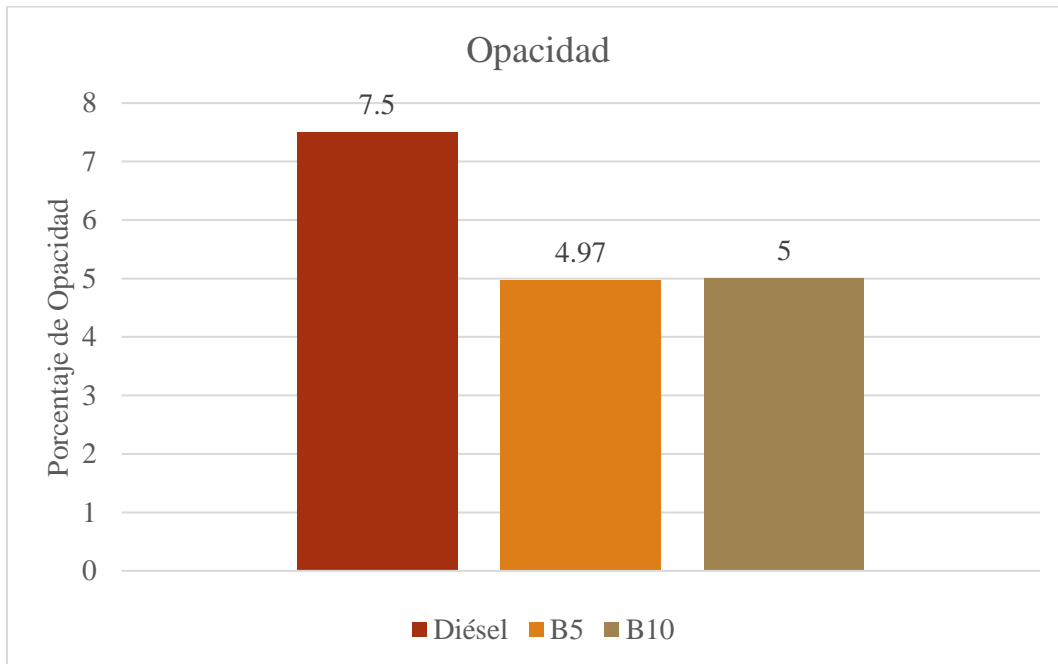
**Tabla 21.** *Datos de Opacidad.*

N. PRUEBA	DIÉSEL	B5	B10
<b>1</b>	<b>9,6%</b>	<b>6,5%</b>	<b>4,6%</b>
<b>2</b>	<b>5,7%</b>	<b>4,7%</b>	<b>5,3%</b>
<b>3</b>	<b>7,2%</b>	<b>3,7%</b>	<b>5,1%</b>
<b>Promedio</b>	<b>7,5%</b>	<b>4,97%</b>	<b>5%</b>

En los resultados obtenidos se puede observar que el porcentaje de opacidad reduce el 30% al utilizar diferentes mezclas. Esto demuestra la mejora significativa en la calidad de aire al implementar biodiésel en lugar de combustibles tradicionales. Además, al comparar la diferencia entre las mezclas B5 y B10 se puede determinar que no existe gran diferencia en el porcentaje de opacidad. por lo tanto, esto determina que el aumento de concentración de biodiésel del 5% al 10% nos existe una diferencia significativa adicional en términos de opacidad.

La **Figura 43** representa de manera visual los resultados y diferencia porcentual de opacidad con diésel y diversas mezclas de biodiésel, se puede observar claramente que el uso del biocombustible en diferentes proporciones mejora la calidad de aire, lo que denota la efectividad del biodiésel como una alternativa más limpia y sostenible.

**Figura 44. Opacidad.**



## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- El proceso de transesterificación ofrece una alta calidad del biodiésel y permite la utilización de diversas fuentes de materia prima, facilitando su integración en el mercado de combustibles renovables. En este estudio, se utilizaron 30 litros de aceite vegetal, de los cuales se obtuvieron 28 litros de biocombustible, lo que refleja la eficiencia del proceso al obtener un 93% de biocombustible. Esta tecnología sigue siendo crucial para el desarrollo sostenible del biodiésel, contribuyendo significativamente a la reducción de emisiones y la disminución de la dependencia de combustibles fósiles.
- El análisis revela que el biodiésel B5 y B10 presentan diferencias significativas frente al Diésel Premium: el punto de inflamación de B5 (82,0 °C) y B10 (83,5 °C) es hasta 32,5 °C mayor que el del Diésel Premium (51 °C), mejorando la seguridad en almacenamiento, pero con posible impacto en la facilidad de ignición. En términos de poder calorífico bruto, B5 (45,102 MJ/kg) es casi equivalente al Diésel Premium (45,10 MJ/kg, +0,004%), mientras que B10 (44,519 MJ/kg) muestra una reducción del 0,436%. El índice de cetano de B5 (48,3) y B10 (48,5) es un 7,8% y 8,9% superior al Diésel Premium (45), lo que mejora la calidad de ignición y la eficiencia de combustión. Finalmente, la densidad API de B5 (34,5 °API) y B10 (33,5 °API) es ligeramente menor que la del Diésel Premium (36 °API), favoreciendo una mayor fluidez y mejor atomización, aspectos clave para un desempeño eficiente en motores diésel.
- El rendimiento del motor con diésel y biocombustible B5 y B10 revela diferencias significativas en términos de Par Motor y Potencia. Mientras que el diésel convencional

muestra un Par Motor máximo de 191.88 Nm a 1937 RPM y una Potencia máxima de 64.60 HP a 3583 RPM, el biodiésel presenta un comportamiento variado. El B5 ofrece un rendimiento competitivo, superando al diésel en Par Motor en rangos de RPM medias y altas, con un incremento de hasta un 2,6% en comparación con el diésel a 2700 RPM. Además, el B5 mantiene una Potencia cercana a la del diésel, con una ligera disminución de solo 0,35 HP a 2720 RPM.

- Los resultados de las mediciones de gases de escape muestran que las mezclas B5 y B10 mejoran la calidad del aire frente al diésel convencional. A 700 RPM, B5 aumentó los HC en un 12% (24,33 ppm) y B10 los redujo en un 7,8% (20 ppm) respecto al diésel (21,67 ppm). A 2000 RPM, los HC disminuyeron con B5 y B10 en un 27,5% y 40%, respectivamente, frente al diésel (46 ppm). Las emisiones de CO también se redujeron: a 700 RPM, B5 y B10 emitieron un 5,3% y 15,8% menos CO que el diésel (0,19%), y a 2000 RPM ambas mezclas mostraron un 26,5% menos CO que el diésel (0,34%). La opacidad promedio disminuyó un 33%, pasando del 7,5% con diésel a 4,97% con B5 y 5% con B10. Sin embargo, a 2000 RPM, B10 aumentó el CO<sub>2</sub> a 3,90%, un 50% más que el diésel (2,60%), indicando una mayor eficiencia de combustión.
- El biodiésel de aceite vegetal no solo disminuye la cantidad de partículas emitidas, mejorando así la calidad del aire, sino que también contribuye a la sostenibilidad global al promover el uso de fuentes de energía renovables y menos dependientes de los combustibles fósiles. En este estudio, se observó una reducción del 30% en las partículas emitidas, lo que refuerza su impacto positivo en la disminución de contaminantes atmosféricos y su contribución a un entorno más limpio y saludable.



## 4.2 Recomendaciones

- Durante las pruebas, es recomendable realizar un análisis detallado de la gestión electrónica del motor utilizando un escáner para comparar el funcionamiento de los sensores y actuadores del motor. Esto permitirá identificar posibles ajustes necesarios en la electrónica del motor para optimizar el rendimiento con biodiésel.
- Evaluar el impacto ambiental del biocombustible, centrándose en la reducción de gases contaminantes y su efecto en la calidad del aire en áreas urbanas. Esto ayudará a validar los beneficios ambientales del biodiésel en comparación con el diésel convencional.
- Es fundamental investigar los efectos a largo plazo del uso de biodiésel en componentes clave del motor, como los inyectores y el sistema de combustible. Evaluar el impacto en la durabilidad y el mantenimiento del motor permitirá identificar posibles problemas y desarrollar estrategias para mitigar cualquier efecto negativo.
- El biocombustible, aunque es una alternativa más ecológica al diésel convencional, puede ocasionar hinchazón, degradación del material y reducción en su resistencia sobre los componentes de caucho y elastómeros utilizados en los sistemas de combustible, por lo que es fundamental realizar un estudio de materiales que puedan resistir los efectos del biodiésel.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Yilmaz, “Performance and emission characteristics of a diesel engine fuelled with biodiesel–ethanol and biodiesel–methanol blends at elevated air temperatures,” *Fuel*, vol. 94, pp. 440–443, Apr. 2012, doi: 10.1016/J.FUEL.2011.11.015.
- [2] S. Patil, V. Raka, S. Narkar, J. Dahiphale, S. Choudhari, and G. Gondhali, “Post COVID lung fibrosis (PCLF) or post COVID lung sequelae (PCLS): Which one is the right choice?,” 2023, doi: 10.53346/wjapls.2023.4.1.0059.
- [3] J. Van Gerpen, “Biodiesel processing and production,” *Fuel Processing Technology*, vol. 86, no. 10, pp. 1097–1107, Jun. 2005, doi: 10.1016/J.FUPROC.2004.11.005.
- [4] H. Serin and Ş. Yıldızhan, “Influence of the compression ratio on the performance and emission characteristics of a vcr diesel engine fuelled with alcohol blended fuels §,” vol. 1, no. 2, pp. 39–46, 2017.
- [5] Edenhofer Ottmar, Pichs-Madruga Ramón, and Sokona Youba, *renewable energy sources and climate change mitigation*. Cambridge University, 2011. Accessed: May 28, 2023. [Online]. Available: [https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN\\_FD\\_SPM\\_final.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/SRREN_FD_SPM_final.pdf)
- [6] K. Carrera, “CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL HIDROCARBURO CONDENSADO QUE SE OBTIENE EN LA EXTRACCIÓN DEL GAS NATURAL EN EL CAMPO AMISTAD BLOQUE 6 OPERADO POR PETROAMAZONAS EP, CON FINES PARA SER USADO COMO COMBUSTIBLE.,” 2016, Accessed: Jun. 18, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/18003/1/401-1202%20->

- %20Hidrocarburo%20Condensado%20-  
%20Katherine%20Lisbeth%20Carrera%20Caicho.pdf
- [7] “Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado\_compressed”.
- [8] E. Sisalema, *Análisis de desempeño del sistema de control electrónico del sistema CRDI del motor Kia 2.0L tipo D4EA*. Obtenido de. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20718>
- [9] Reyes, *Diagnóstico de motores diésel electrónicos, a base de presiones en el riel común (CRDI)*. Obtenido de. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8354>
- [10] Hyundai Chile, “Performance Santa Fe Turbo.” Accessed: Aug. 28, 2024. [Online]. Available: <https://www.hyundai.cl/modelos/santa-fe/performance/>
- [11] Molina, *Análisis de los parámetros mecánicos y electrónicos de funcionamiento del sistema de alta presión del conjunto CRDI del motor diésel Kia 2.0L tipo D4EA*. Obtenido de. [Online]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20716>
- [12] “Ajuste de Bomba VP44 | PDF | Inyección de combustible | Bomba.” Accessed: Jun. 30, 2024. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/500311092/Ajuste-de-Bomba-VP44>
- [13] “ilide.info-tf-bosch-vp44-fuel-pump-ver1-pr\_5850177162ea27ef82aeb332904703d,” vol. 1, Feb. 2003.
- [14] Andrango, *Construcción de un banco de pruebas para el motor J3 CRDI de Hyundai Terracan GL EX*. Obtenido de. [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1927>

- [15] C. Gonzáles, *31 de Enero de 2019*). *Análisis comparativo del funcionamiento del inyector de un motor CRDI bajo diferentes alturas geográficas*. Obtenido de. [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3420>
- [16] O. Valles, “Mejora de la productividad en el área de inyección de piezas de plástico de la empresa Multiaccesorios M.G.” [Online]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/34400>
- [17] Beltrán, *Analizar las emisiones de los gases de escape de un motor electrónico a gasolina a diferentes alturas sobre el nivel del mar.* . Obtenido de. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10739>
- [18] P. Toscano, *Análisis de gases de escape en un motor de combustión interna, utilizando un colector de admisión de aluminio y un colector plástico*. Obtenido de. [Online]. Available: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/3080>
- [19] Redacción Médica, “El exceso de emisiones diésel mata cada año a 5.000 personas en Europa.” Accessed: Aug. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.redaccionmedica.com/secciones/neumologia/el-exceso-de-emisiones-diesel-mata-cada-ano-a-5-000-personas-en-europa-1966>
- [20] E. Aránguez *et al.*, “CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS Y SU VIGILANCIA,” 1999.
- [21] J. Ramón and S. Cabrera, “EMISIONES CONTAMINANTES DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA,” México, 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/357753927>
- [22] Edwin Castellanos, “Contaminación por emisiones de vehículos automotores El CO<sub>2</sub> como contaminante de efecto invernadero Gramos de CO<sub>2</sub> por milla Gramos de CO<sub>2</sub> por milla Gramos de CO<sub>2</sub> por milla Emisiones por tipo de vehículo,” 2017.

- [23] A. Rodolfo, G. Antamba, M. Alexander, and P. Clavón, “ESTUDIO DE LAS EMISIONES DE GASES CONTAMINANTES DE UN MOTOR DE CICLO DIESEL, USANDO COMBUSTIBLE MICROEMULSIONADO CON AGUA,” Quito, Oct. 2011.
- [24] Chávez, *Análisis de emisiones de gases contaminantes provocadas por vehículos de combustión interna en el cantón Quevedo*. Obtenido de. [Online]. Available: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3740>
- [25] Orellana, *Predicción de emisiones contaminantes de gases de escape a través de la presión media efectiva empleando redes neuronales en motores de encendido provocado*. Obtenido de. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15998>
- [26] Daniela Marín Arias and Miguel Toro Ladino, “CARACTERIZACIÓN DE LAS CURVAS DE PRESIÓN, PAR Y POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MONOCILÍNDRICO BAJO DIFERENTES REGÍMENES DE OPERACIÓN,” Pereira, 2018. Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3524310>
- [27] Darío Jairo Calderón Castillo and Vicente Edgar Reinoso Rojas, “DETERMINACIÓN DEL PAR Y POTENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA MEDIANTE EL USO DE BUJÍA CON SENSOR DE PRESIÓN ADAPTADO Y APLICACIÓN DE UN MODELO MATEMÁTICO,” Quito, Nov. 2015. Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/719](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/719)
- [28] Alfredo Alejandro Ávila Avelino, “ESTUDIO E IMPLEMENTACIÓN DEL DINAMÓMETRO DE CHASIS MODELO X TRACCIÓN 2 RUEDAS DEL

- FABRICANTE DYNOCOM,” Guayaquil, Mar. 2016. Accessed: May 13, 2024. [Online]. Available: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1023>
- [29] T. Torres, “Propuesta de una aula virtual como herramienta de enseñanza-aprendizaje para la realización de las prácticas de laboratorio de la cátedra Inyección Diésel en la Universidad Politécnica Salesiana.” [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20835>
- [30] N. Moreno, *Análisis de los sistemas eléctricos y electrónicos de un motor de combustión interna mediante la utilización del osciloscopio automotriz BOSCH FSA – 500*. Obtenido de. [Online]. Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9007>
- [31] P. Avemañay, “Obtención y uso del aceite de cáscara de limón como una nueva fuente de energía alternativa renovable para motores diésel.” [Online]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16050>
- [32] P. Téran, *Obtención de biodiesel de tercera generación a partir de la producción del contenido lipídico del cultivo de la microalga chlorella sp de origen marino*. Obtenido de. [Online]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/40048>
- [33] L. Pereira Ramos, K. Thomas Kucek, A. Kurunczi Domingos, and H. Maria Wilhelm, “Biodiesel”.
- [34] M. A. Armas, *Proyección de una industria azucarera para transformarse en una biorrefinería a partir de biocombustibles de segunda y tercera generación*. Obtenido de. [Online]. Available: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2224-61852019000300489](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000300489)
- [35] Isuzu motors limited, “MANUAL DE SERVICIO SERIE TF MOTOR 4JA1/4JH1-TC SECCIÓN 6,” Tokyo, Aug. 2001.

- [36] “UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE”. Available:  
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/12545/2/04%20MAUT%20186%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- [37] Brain Bee, “AGS-688 Analizador de gases para motores de gasolina de 2 y 4 tiempos Manual de uso.”
- [38] Brain Bee, “OPA-100 PEQUEÑO Y COMPACTO: GRACIAS A SU REDUCIDO TAMAÑO, LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN DE 12 V Y SU MANGO CÓMODO Y ERGONÓMICO, EL OPA-100 ES.” [Online]. Available: [www.brainbee.mahle.com](http://www.brainbee.mahle.com)

## ANEXOS

