



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN MOTOR
DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN UTILIZANDO MEZCLAS DE
DIÉSEL FÓSIL Y BIODIESEL B10**

AUTOR: BENAVIDES VILLARREAL DIEGO JAVIER

DIRECTOR: ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL, MSc.

Ibarra, 2021

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es **Evaluación del comportamiento de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel fósil y biodiesel B10** presentado por el señor: **Benavides Villarreal Diego Javier** con número de cédula 100376892-4, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 15 días del mes Julio del 2021.

Atentamente

**ERIK PAUL
HERNANDEZ
RUEDA**

Firmado digitalmente por
ERIK PAUL HERNANDEZ
RUEDA
Fecha: 2021.10.21 11:59:49
-05'00'

Ing. Hernández Rueda Erik Paúl MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003768924		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Benavides Villarreal Diego Javier		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Av. 13 de abril - Quito		
EMAIL:	djbenavidesv@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	06 2 545 451	TELÉFONO MÓVIL:	0998648729

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación del comportamiento de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel fósil y biodiesel B10
AUTOR (ES):	Benavides Villarreal Diego Javier
FECHA: DD/MM/AAAA	25/10/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Hernández Rueda Erik Paúl. MSc

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta 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 el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 25 días del mes de octubre de 2021

EL AUTOR:

Diego Javier Benavides Villarreal

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado es dedicado para las personas más especiales en mi vida, mi madre Katty y mi hermano Kevin, quienes, con sus consejos y el apoyo brindado, han logrado guiarme por el camino correcto, con el fin de convertirme en una mejor persona.

Diego Javier Benavides Villarreal

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, institución que me ha brindado sólidos conocimientos para desempeñarme en el campo profesional. Así como, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, que me han su sabiduría y experiencias en el transcurso del día a día.

A mi director de trabajo de grado Ing. Paúl Hernández Msc., de la misma manera a mis asesores, Ing. Carlos Mafla Msc. e Ing. Ignacio Benavides Msc., quienes, gracias a su apoyo ha sido posible la culminación de este proyecto.

Diego Javier Benavides Villarreal

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
CAPÍTULO I	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación actual	3
1.3. Prospectiva	4
1.4. Planteamiento del problema	5
1.5. Formulación del problema	7
1.6. Delimitación	7
1.6.1. Delimitación temporal	7
1.6.2. Delimitación espacial	7
1.7. Objetivos	7
1.7.1. Objetivo general	7
1.7.2. Objetivos específicos	8
1.8. Alcance	8
1.9. Justificación	8
1.10. Tipo de investigación	9
1.10.1. Investigación experimental	9
1.10.2. Investigación bibliográfica	10
1.11. Métodos investigativos	10
1.11.1. Método inductivo	10
1.11.2. Método histórico lógico	10
1.12. Biocombustibles	11
1.12.1. Biodiesel	11
1.12.1.1. Propiedades del biodiesel	12
1.12.1.2. Ventajas del biodiesel	14
1.12.1.3. Desventajas del biodiesel	15
1.13. Materia prima	15
1.14. Propiedades físico químicas del aceite de frituras	16
1.15. Métodos de obtención del biodiesel	17
1.15.1. Transterificación	17
1.16. Catalizadores	18
1.17. Alcoholes	19
1.17.1. Etanol	20

1.17.2. Metanol	20
1.18. Parámetros que afectan la reacción de transterificación	20
1.18.1. Cantidad de alcohol	20
1.18.2. Tiempo de reacción	21
1.18.3. Temperatura de reacción	21
1.18.4. Concentración de catalizador	22
1.18.5. FFA (ácidos grasos libres)	22
1.19. Normas de emisiones	23
1.19.1. Norma Ecuatoriana	23
1.19.2. Norma Europea	24
CAPÍTULO II	25
2. MATERIALES Y MÉTODOS	25
2.1. Propósito de la investigación	25
2.2. Proceso Metodológico	25
2.3. Materiales y Equipos	26
2.3.1. Aceite usado de frituras	26
2.3.2. Reactivos	27
2.3.2.1. Hidróxido de Sodio	27
2.3.2.2. Metanol	28
2.3.3. Equipos	29
2.3.3.1. Filtro	29
2.3.3.2. Reactor discontinuo	30
2.3.3.3. Dinamómetro inercial	31
2.3.3.4. Analizador de gases Brain Bee	32
2.3.3.5. Opacímetro Brain Bee Opa 100	33
2.4. Proceso de elaboración del Biodiesel	34
2.4.1. Recepción y almacenaje del aceite usado	34
2.4.2. Pretratamiento del aceite	34
2.4.3. Filtrado de partículas	34
2.4.4. Evaporación de agua	35
2.5. Proceso de Transesterificación	36
2.5.1. Porcentaje catalizador	36
2.5.2. Porcentaje de metanol	36
2.5.3. Tanque de metóxido	37
2.5.4. Separación glicérica	38
2.5.5. Lavado y secado del Biodiesel	39

2.6.	Preparación mezcla diésel Premium/biodiesel	40
2.7.	Caracterización físico-química biodiesel B10	41
2.8.	Pruebas de emisiones de gases	41
2.9.	Pruebas de torque y potencia en el dinamómetro	42
2.10.	Ficha Técnica del vehículo	43
	CAPÍTULO III	44
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1.	Resultados de la caracterización del biodiésel b10 a base de aceite reciclado de cocina	44
3.1.1.	Tabla de resultados de los análisis fisicoquímicos del biodiesel a base de aceite reciclado de cocina	44
3.1.2.	Comparación de los resultados de los análisis fisicoquímicos del biodiesel entre las normas INEN, ASTM y EN	45
3.1.2.1.	Comparación de los resultados de la densidad a 15°C con las normas ASTM, EN e INEN	47
3.1.2.2.	Comparación de los resultados de la punto de inflamación con las normas ASTM, EN e INEN	47
3.1.2.4.	Comparación de los resultados del agua por destilación con las normas ASTM, EN e INEN	48
3.1.2.5.	Comparación de los resultados de la viscosidad cinemática a 40°C con las normas ASTM, EN e INEN	49
3.1.2.6.	Comparación de los resultados de las cenizas sulfatadas con las normas ASTM, EN e INEN	49
3.1.2.7.	Comparación de los resultados de azufre con las normas ASTM, EN e INEN	50
3.1.2.8.	Comparación de los resultados de la corrosión a la lámina de cobre con las normas ASTM, EN E INEN	50
3.1.2.9.	Comparación de los resultados de la temperatura de destilación al 90% recuperado con las normas ASTM, EN e INEN	51
3.1.2.10.	Comparación de los resultados del índice de cetano con las normas ASTM, EN e INEN	51
3.1.2.11.	Comparación de los resultados de la punto de escurrimiento con las normas ASTM, EN e INEN	52
3.1.2.12.	Comparación de los resultados del calcio con las normas ASTM, EN e INEN	53
3.1.2.13.	Comparación de los resultados del potasio con las normas ASTM, EN E INEN	53
3.1.2.14.	Comparación de los resultados del magnesio con las normas ASTM, EN e INEN	54
3.1.2.15.	Comparación de los resultados del sodio con las normas ASTM, EN e INEN	54

3.2.	Emisiones de gases	56
3.2.1.	Comparación gases diésel – biodiésel b10	56
3.2.1.1.	Monóxido de carbono	56
3.2.1.2.	Dióxido de carbono	57
3.2.1.3.	Hidrocarburos	59
3.2.1.4.	Oxígeno	60
3.2.2.	Opacidad	61
3.3.	Pruebas dinamométricas	63
3.3.1.	Torque	63
3.3.1.1.	Torque con combustible diésel	63
3.3.1.2.	Torque con combustible biodiésel b10	64
3.3.1.3.	Comparación torque diésel - biodiésel b10	65
3.3.2.	Potencia	67
3.3.2.1.	Potencia con combustible diésel	67
3.3.2.2.	Potencia con combustible biodiésel b10	68
3.3.2.3.	Comparación potencia diésel – biodiésel b10	69
CAPITULO IV		71
4.	CONCLUSIONES Y RESULTADOS	71
4.1.	Conclusiones	71
4.2.	Recomendaciones	73
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		74
ANEXOS		78

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	PÁGINA
1. 1 Principales biocombustibles	11
1. 2 Materias primas para producción de biodiesel	16
1. 3 Tipos de catalizadores utilizados en la obtención de biodiesel	18
1. 4 Especificaciones emisiones norma NTE INEN 2207:2002	23
1. 5 Normativa opacidad vehículos diésel norma NTE INEN 2207:2002	24
1. 6 Límites emisiones norma Euro	24
2. 1 Propiedades Hidróxido de sodio	27
2. 2 Datos físicos del metanol	29
2. 3 Ficha técnica dinamómetro Vamag	32
2. 4 Ficha técnica analizador de gases AGS-688	32
2. 5 Campos de medición Brain Bee AGS – 688	33
2. 6 Campos de medición OPA 100	33
2. 7 Especificaciones del vehículo	43
3. 1 Resultados de la caracterización B10	44
3. 2 Comparación de resultados con las Normas ASTM, EN e INEN	46
3. 3 Comparación densidad a 15°C	47
3. 4 Comparación Punto de Inflamación	48
3. 5 Comparación Sedimento básico y agua (%BSW)	48
3. 6 Comparación agua por destilación	49
3. 7 Comparación Viscosidad cinemática a 40°C	49
3. 8 Comparación Cenizas Sulfatadas	50
3. 9 Comparación Azufre	50
3. 10 Comparación Corrosión a la lámina de Cu	51
3. 11 Comparación a la Temperatura de destilación al 90% recuperado	51
3. 12 Comparación de Índice de cetano	52
3. 13 Comparación Punto de escurrimiento	53
3. 14 Comparación Calcio	53
3. 15 Comparación Potasio	54
3. 16 Comparación Magnesio	54
3. 17 Comparación Sodio	55

3. 18 Comparación monóxido de carbono	56
3. 19 Comparación Dióxido de Carbono	57
3. 20 Comparación hidrocarburos	59
3. 21 Comparación Oxígeno	60
3. 22 Resultados de opacidad	62
3. 23 Resultados de torque diésel premium	63
3. 24 Resultados de torque Biodiesel B10	64
3. 25 Resultados de la comparación entre Diésel y Biodiesel B10	65
3. 26 Resultados de potencia diésel premium	67
3. 27 Resultados de potencia biodiesel B10	68
3. 28 Resultados de comparación entre diésel y biodiesel B10	69

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	PÁGINA
1. 1 Rudolf Christian Karl Diesel	1
1. 2 Disposición final de los desechos de aceite y grasas en hogares del Ecuador en el año 2016	4
1. 3 Contaminantes atmosféricos, límites recomendados por la OMS y efectos en la salud	5
1. 4 Calidad del aire en Ecuador	6
2. 1 Etapas de la investigación	25
2. 2 Aceite de cocina Reciclado 20l	26
2. 3 Hidróxido de Sodio	28
2. 4 Enlace químico de metanol	28
2. 5 Determinación filtro de nylon con un aumento (4x/0.10)	30
2. 6 Reactor Discontinuo	31
2. 7 Malla plástica empleada en la primera filtración	34
2. 8 Aceite filtrado mediante malla nylon	35
2. 9 Aceite filtrado en proceso de evaporación de agua	35
2. 10 Pesaje del catalizador	36
2. 11 Medición de metanol	37
2. 12 Agitación metóxido de sodio	37
2. 13 Transterificación	38
2. 14 Separación glicérica por decantación	39
2. 15 Lavado	40
3. 1 Emisiones de Monóxido de Carbono	57
3. 2 Emisiones de Dióxido de Carbono	58
3. 3 Emisiones de Hidrocarburos	60
3. 4 Emisiones de Oxígeno	61
3. 5 Valores comparativos de opacidad	62
3. 6 Gráfica de torque con diésel	64
3. 7 Gráfica de torque con B10	65
3. 8 Valores comparativos de Torque	66
3. 9 Comparación de gráfica de torque Diésel – B10	66
3. 10 Gráfica de potencia con diésel	68

3. 11 Gráfica de potencia con B10	69
3. 12 Valores comparativos de potencia	70
3. 13 Comparación de gráfica de potencia Diésel – B10	70

GLOSARIO DE TÉRMINOS

NaOH: Hidróxido de sodio

KOH: Hidróxido de potasio

B10: 90% Diésel premium / 10% Biodiésel

AGL: Ácidos Grasos Libres

CH₃OH: Formula química del metanol

ASTM: Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

EN: Normas Europeas

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

NTE: Norma Técnica Ecuatoriana

Hp: Caballos de Fuerza / Unidad de medida de potencia

Nm: Newton por metro / Unidad de medida del torque

DPEC: Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación

PPM: Partículas por millón

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM.	PÁGINA
A.I. 1. Resultados de la caracterización	79
A.II. 1. Prueba 1	80
A.II. 2. Prueba 2	81
A.II. 3. Prueba 3	82
A.II. 4. Prueba 4	83
A.II. 5. Prueba 5	84
A.III.1. Prueba 1	85
A.III 2. Prueba 2	86
A.III 3. Prueba 3	87
A.III 4. Prueba 4	88
A.III 5. Prueba 5	89

RESUMEN

El presente trabajo de investigación presenta el procesamiento de biocombustibles utilizando como materia prima los aceites de cocina desechados posteriormente de su utilización en la preparación de alimentos, la materia prima fue reciclada y almacenada por el ministerio del ambiente en la ciudad de Ibarra. Al reciclar este tipo de desechos se evita la contaminación de recursos hídricos, sumideros, etc. El aceite de cocina reciclado obtenido por el ministerio del ambiente fue separado por tipo de materia apta para o no apta para el proceso de transesterificación. El aceite de cocina reciclado apto se sometió a un pretratamiento de filtración de partículas y secado (evaporación del agua presente en la materia). A continuación, se realizó el proceso de transesterificación en el reactor discontinuo o tipo batch en la Universidad Técnica del Norte, obteniendo un rendimiento del 50% . Posteriormente a la obtención del biodiesel B100, se realizó una caracterización de biodiesel B10 en la Universidad Central del Ecuador en la Facultad de Ingeniería Química de Petróleos Energía y Contaminación, obteniendo resultados favorables, las propiedades que no cumplieron con las normativas al ser comparados con las normas ASTM, EN e INEN fueron: la Densidad a 15°C, punto de inflamación, calcio, potasio, magnesio y sodio. Las pruebas de opacidad, emisión de gases, pruebas dinamométricas de torque y potencia fueron realizadas en una camioneta Chevrolet Luv D-max. En las pruebas de opacidad se obtuvo una reducción del 54.2%. En las pruebas de gases a diferente régimen de motor como ralentí, 2000 rpm y 3000 rpm, se obtuvo en general resultados favorables, reduciendo las emisiones de gases como los monóxidos de carbono, dióxidos de carbono, hidrocarburos y oxígeno. Para las pruebas de potencia se obtuvo con diésel premium 65.84 Hp @ 3422.6 rpm y 66.22 Hp @ 3414.2 rpm empleando biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado, se obtuvo un incremento de 0.38 Hp usando biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina. Para las pruebas de torque máximo con diésel premium obtuvo 167.6 Nm @ 2122 rpm y 167 Nm @ 1675 rpm empleando biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado, se ha obtenido una reducción del torque del 0.6 Nm, pero se ha conseguido un torque máximo a 447 rpm menor.

ABSTRACT

This research work presents the processing of biofuels using as raw material the cooking oils discarded after their use in food preparation; the raw material was recycled and stored by the Ministry of the Environment in the city of Ibarra. Recycling this type of waste avoids contamination of water resources, drains, etc. The recycled cooking oil obtained by the Ministry of the Environment was separated by type of material suitable or unsuitable for the transesterification process. The recycled cooking oil suitable was subjected to a pretreatment of particle filtration and drying (evaporation of the water present in the material). Then, the transesterification process was carried out in the batch reactor at the Universidad Técnica del Norte, obtaining a yield of 50%. After obtaining biodiesel B100, a characterization of biodiesel B10 was carried out at the Central University of Ecuador in the Faculty of Chemical Engineering of Petroleum, Energy and Pollution, obtaining favorable results, the properties that did not comply with the regulations when compared with ASTM, EN and INEN standards were: Density at 15°C, flash point, calcium, potassium, magnesium and sodium. The opacity, gas emission, torque and power dynamometric tests were performed on a Chevrolet Luv D-max pickup truck. In the opacity tests, a 54.2% reduction was obtained. In the gas tests at different engine speeds such as idling, 2000 rpm and 3000 rpm, favorable results were obtained in general, reducing gas emissions such as carbon monoxides, carbon dioxides, hydrocarbons and oxygen. For the power tests, 65.84 Hp @ 3422.6 rpm was obtained with premium diesel and 66.22 Hp @ 3414.2 rpm using B10 biodiesel based on recycled cooking oil; an increase of 0.38 Hp was obtained using B10 biodiesel based on recycled cooking oil. For the maximum torque tests with premium diesel, 167.6 Nm @ 2122 rpm and 167 Nm @ 1675 rpm using B10 biodiesel based on recycled cooking oil, a torque reduction of 0.6 Nm was obtained, but a lower maximum torque at 447 rpm was achieved.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. ANTECEDENTES

El primer reporte de uso de biocombustibles provenientes de plantas oleaginosas data de 1900, cuando Rudolf Diésel (1858-1913), inventor del motor diésel, utilizó aceite vegetal para demostrar su invención (Piloto Rodríguez, DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE BIODIÉSEL, 2010).



Figura 1. 1 Rudolf Christian Karl Diesel
(Martín Algarra, 2010)

Rudolph Diesel en 1913 escribió: En el futuro los aceites vegetales como combustibles serán muy importantes, tanto como el petróleo y el carbón utilizados en la época. En vista al declive futuro del petróleo los biocombustibles están teniendo una mayor fuerza en la actualidad, gracias a sus beneficios en comparación con el petróleo.

Asimismo, durante las décadas de 1920 y 1930, se realizaron diversos experimentos con algunas plantas oleaginosas en Europa, y en 1937, en la historia han surgido investigaciones acerca de los biocombustibles, en la Universidad de Bruselas un grupo de investigadores patentó un biocombustible a base de aceite de palma. Todas estas investigaciones surgieron esporádicamente, todo dependía de los precios del petróleo, al

existir un aumento del precio del petróleo motivó al estudio de los biocombustibles en los 70's.

Cuando se realizaron pruebas mezclando aceite vegetal con gasoil los resultados de las pruebas fueron que terminaron dañando los motores. Para ello se plantearon dos soluciones: Modificaban el aceite o modificaban los motores. Se tomó la decisión de modificar el aceite vegetal.

Hasta principios del siglo XX los motores automotrices utilizaban dos tipos de combustible, los derivados del petróleo y biocombustibles (López Ramirez, De los Santos Reyes, Jiménez Díaz, & Palacios Silva, 2005). En esa época la materia para la realización de los biocombustibles era la marihuana, pero en 1920 se penalizó su uso, lo que provocó la explotación del petróleo, ya que la utilización de la marihuana como materia prima de biodiesel era de bajo costo.

En los últimos años, los biocombustibles han comenzado a ser considerados mundialmente como una alternativa seria frente al petróleo. El precio del crudo, el cual tiende a aumentar (Barón, Huertas, & Orjuela, 2013). La posibilidad de que el petróleo se termina en los próximos 100 años ha provocado la búsqueda de nuevos combustibles alternativos, entre ellos tenemos los biocombustibles que se busca como solución a esta posibilidad. Además, funciona como una solución más limpia con respecto a sus emisiones en los vehículos.

Uno de los principales inconvenientes que existen en los vehículos es la contaminación hacia el medio ambiente debido a la expulsión de las emisiones de los gases de escape, existen estudios donde muestra la reducción de emisiones con la utilización de biocombustibles.

Se reportan resultados de pruebas con biodiesel en los que se observa reducción de emisiones de compuestos de azufre hasta en un 20 % respecto al combustible diésel, 10 % de monóxido de carbono (CO), 14 % de hidrocarburos (HC) y 26 % de partículas sólidas. En cuanto a las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), no hay un criterio unánime, algunos trabajos reportan aumento de las emisiones de NOx y otros su disminución (Piloto

Rodríguez, DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE BIODIÉSEL, 2010).

El calentamiento atmosférico es el principal desafío medioambiental que hoy afronta la humanidad a nivel mundial, las reservas de petróleo son agotables, ello obliga a buscar fuentes de energías alternativas que sean renovables y con efectos beneficiosos para el medio ambiente (Ávila, Tunala, Erazo, Mena, & Rodríguez, 2014).

1.2. SITUACIÓN ACTUAL

En la actualidad el ser humano presenta la necesidad de encontrar nuevas alternativas a las energías fósiles debido a dos aspectos fundamentales, el primero es que los combustibles fósiles se están agotando día a día, y se requiere un combustible alternativo para cumplir con la demanda de energía del mundo. El biodiesel es una de las mejores fuentes disponibles para suplir esta demanda (Basha, Gopal, & Jebaraj, A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance, 2009)

En Ecuador la empresa ARC (Aceite de Cocina Reciclado) dedicada al reciclaje de aceite de cocina usado para su exportación hacia el país de Holanda. Anualmente ARC recicla 100 000 litros de aceite de cocina en todo el país. En Holanda el aceite reciclado enviado por ARC es transformado en una fuente de energía verde, Biodiesel.

ARC es la empresa de reciclaje de aceite de cocina más grande en el país y tiene un convenio con el patronato de Quito, donde por el aceite reciclado ARC dona a instituciones públicas libros.

El consumo anual de aceite en Ecuador es de 46,47 millones de kilos, de ellos, 7'000.000,00 son arrojados a las alcantarillas después de ser usados en la cocina, en los restaurantes o por la industria (R.T., 2016).



Figura 1. 2 Disposición final de los desechos de aceite y grasas en hogares del Ecuador en el año 2016
(INEC, 2016, pág. 1)

1.3. PROSPECTIVA

La materia prima (Aceite de cocina reciclado) utilizada para la creación del biodiesel de este proyecto tiene un costo nulo en proyecto, ya que este se puede reciclar de diferentes lugares como: restaurantes, hoteles, hogares, etc. por lo que el costo del biodiesel tendría un valor relativamente bajo en comparación a otras materias primas utilizadas para la creación del biodiesel.

El costo del biodiesel depende en gran medida del material utilizado para la fabricación. Por ejemplo, cuando los aceites comestibles se utilizan para la fabricación de biodiesel, representan entre el 70 y el 95% del costo total de producción de biodiesel.

El alto costo de las materias primas representa una barrera importante en la comercialización de biodiesel. Por lo tanto, minimizar los costos de la materia prima es la mejor oportunidad de una mejor producción rentable de combustible y disminuir la dependencia del combustible a base de petróleo (Al-Hamamre & Yamin, Parametric study of the alkali catalyzed transesterification of waste frying oil for Biodiesel production, 2014).

La concientización del reciclaje del aceite de cocina en los hogares y la implementación de normas en lugares de preparación de alimentos en el país es necesario, esto impulsaría al país a un nivel cultural de conservación del medio ambiente.

La creación de una planta de tratamiento del aceite de cocina reciclado para la transformación en biodiesel sería una innovación para el país. Además, esta iniciativa crearía fuentes de empleo en el país.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las problemáticas que se encuentra en el Ecuador es la falta reciclaje del aceite usado y la reutilización del aceite. El aceite usado de cocina es un residuo, que se puede convertir en biodiesel y esto será útil para la reducción de la contaminación ya que el aceite reciclado de cocina se desperdicia en el medio ambiente (Sahar, 2018). El Ecuador tiene la posibilidad de crear una empresa estatal para el reciclaje del aceite usado y el procesamiento de la materia prima para la creación del biodiesel.

Las emisiones vehiculares tienen un impacto nocivo hacia el medio ambiente y hacia la salud de las personas de acuerdo a los estudios realizados por OMS (Organización Mundial de la Salud). A continuación, se muestra un gráfico donde se puede apreciar los límites permisibles de las emisiones que puede tener el aire.

Nombre del contaminante	Límite recomendado OMS	Efectos en la salud causados por la exposición crónica al contaminante
Partículas contaminantes	PM _{2.5} 10 µg/m ³ de media anual 25 µg/m ³ de media en 24h PM ₁₀ 20 µg/m ³ de media anual 50 µg/m ³ de media en 24h	No existe ningún umbral por debajo del cual no se hayan observado daños para la salud. Los límites establecidos se orientan a lograr las concentraciones de partículas más bajas posibles. <ul style="list-style-type: none"> • Aumento del riesgo de cardiopatías y neumopatías (asma, por ejemplo). • Aumento del riesgo de desarrollar cáncer de pulmón.
Ozono	O ₃ 100 µg/m ³ de media en 8h	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas respiratorios (asma, por ejemplo). • Reduce la función pulmonar. • Aumenta riesgo de bronquitis en niños.
Dióxido de azufre	SO ₂ 20 µg/m ³ media en 24h 500 µg/m ³ de media en 10 min	Una exposición de sólo 10 minutos puede provocar cambios en la función pulmonar. <ul style="list-style-type: none"> • Irritación ocular. • Inflamación del sistema respiratorio. • Tos, secreción mucosa, agravamiento del asma y la bronquitis crónica. • En combinación con el agua, es el principal componente de la lluvia ácida.
Dióxido de nitrógeno	NO ₂ 40 µg/m ³ de media anual 200 µg/m ³ de media en 1h	<ul style="list-style-type: none"> • Inflamación en las vías respiratorias. • Disminución del desarrollo de la función pulmonar.

Figura 1. 3 Contaminantes atmosféricos, límites recomendados por la OMS y efectos en la salud
(OMS, 2014, pág. 1)

Estudios realizados por la MAE (Ministerio del Ambiente de Ecuador) en Ecuador revela las ciudades más contaminantes en el país, varias de ellas rebasan el límite permisible por la OMS como son las ciudades de Quito, Milagro y Santo Domingo. A continuación, se presta un gráfico con las estadísticas de algunas de las ciudades más contaminantes de Ecuador. Estos estudios fueron realizados en 2012 y al 2015 la ciudad de Santo Domingo ha tenido una reducción de contaminación a llegar a tener 19.64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

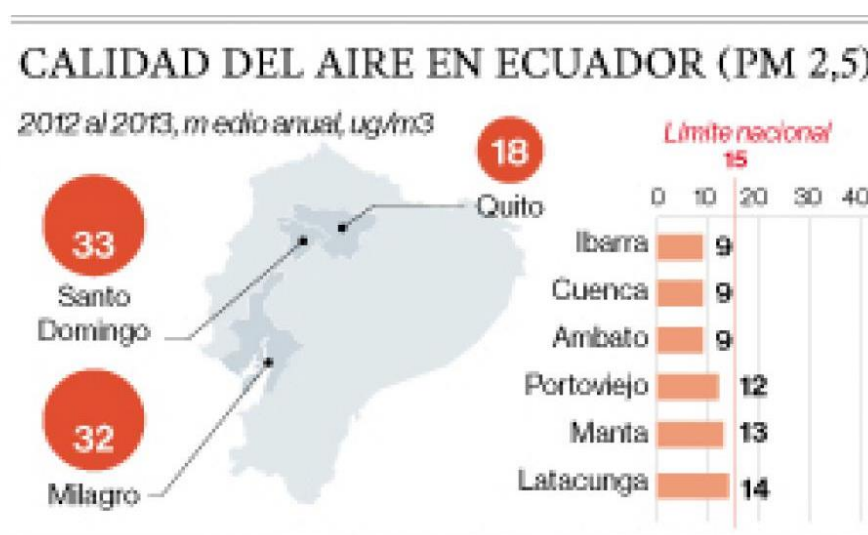


Figura 1. 4 Calidad del aire en Ecuador
(Sorgato, 2016, pág. 1)

Los problemas medio ambientales causante de las emisiones de los vehículos tiene como consecuencias la disminución de la calidad del aire, la reducción de la capa de ozono, las lluvias ácidas y el cambio climático en el planeta. Por ello es necesario realizar medidas que permitan la reducción de las emisiones contaminantes de los vehículos, para ello una de las alternativas es la utilización de los biocombustibles.

La OMS obtiene pruebas científicas relativas a la relación entre la contaminación del aire y determinadas enfermedades, incluidas cardiopatías, neumopatías y cánceres, y realiza estimaciones de la carga de morbilidad mundial y regional derivada de la exposición actual a la contaminación del aire (Organización Mundial de la Salud, 2018).

1.5. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo comprobar la eficiencia y las emisiones de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel fósil y biodiésel B10, con el fin de comprobar si existe una reducción en las emisiones?

1.6. DELIMITACIÓN

El presente proyecto de titulación guarda las siguientes delimitaciones:

1.6.1. DELIMITACIÓN TEMPORAL

Este proyecto se llevó a cabo desde el mes de enero del 2021, al mes de Junio del 2021.

1.6.2. DELIMITACIÓN ESPACIAL

El proyecto se llevará a cabo en los talleres de la Universidad Técnica del Norte en la Ciudad de Ibarra.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de un motor de encendido por compresión utilizando mezclas de diésel fósil y biodiésel B10.

1.7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los métodos de obtención del aceite de fritura residual en biodiesel
- Caracterizar las propiedades físico química del biodiesel B10
- Evaluar las emisiones de gases de escape y las pruebas de torque y potencia
- Analizar y comparar los resultados

1.8. ALCANCE

Se plantea la investigación de los métodos de transformación del aceite de cocina a biodiesel y la realización del proceso para la obtención del biodiesel a base de aceite de fritura. Posteriormente a la obtención del biodiesel se procederá al análisis físico químico del compuesto para determinar sus características y especificaciones; con ello se podrá determinar si el compuesto realizado esta acorde a la norma NTE INEN 2482:2009.

Con la obtención del biodiesel y con los equipos de la Universidad se realizarán pruebas de emisiones y potencia en el vehículo a Diésel Luv D-max 2011 2.5 para determinar la incidencia del biodiesel en los vehículos.

1.9. JUSTIFICACIÓN

El proyecto tiene como objetivo el estudio de las emisiones en los motores por compresión utilizando biodiesel para determinar los aspectos positivos de su uso en los vehículos. Además, las ventajas de utilizar el aceite de fritura como base para la creación del biodiesel permiten una reducción en el impacto medio ambiental.

Acorde con el Plan Nacional de Desarrollo donde busca el desarrollo del país a largo plazo, donde esté involucrada toda la sociedad de manera que todas las personas puedan satisfacer sus necesidades.

Acorde con el Objetivo número 3 del plan nacional de desarrollo “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”. Donde busca el cuidado y la preservación del medio ambiente utilizando nuevas prácticas, en este caso el reciclaje del aceite de fritura evitando la contaminación del medio ambiente y la reducción de las emisiones de los vehículos con motores por compresión utilizando el biodiesel.

Acorde con el objetivo las políticas en contexto con el tema y el estudio que se realizara son las que a continuación se presentan.

3.4 Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (PLAN NACIONAL DE DESARROLLO, 2017 - 2021).

3.6 Impulsar la generación de bioconocimiento como alternativa a la producción primario-exportadora, así como el desarrollo de un sistema de bioseguridad que precautele las condiciones ambientales que pudieran afectar a las personas y otros seres vivos (PLAN NACIONAL DE DESARROLLO, 2017 - 2021).

3.7 Incentivar la producción y consumo ambientalmente responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada (PLAN NACIONAL DE DESARROLLO, 2017 - 2021)

1.10. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo fue realizado mediante diferentes métodos de investigación, los cuales se mencionan a continuación.

1.10.1. INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

En la investigación experimental se realizó pruebas estáticas y dinámicas con los dos tipos de mezclas para realizar una comparación en las emisiones producidas por el motor de encendido por compresión con los combustibles diésel fósil y B10. Además, se realizó

pruebas de torque y potencia para determinar los diferentes rangos de uso con cada uno de los combustibles.

1.10.2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La investigación bibliográfica se utilizaron diferentes libros, artículos científicos de acceso público y en la biblioteca de la universidad, así como su hemeroteca para la investigación de este trabajo de tesis.

1.11. MÉTODOS INVESTIGATIVOS

Para el presente trabajo se utilizaron los siguientes métodos:

1.11.1. MÉTODO INDUCTIVO

Mediante el método inductivo conocido también como experimental, este método científico logra obtener resultados variados a través de una idea pequeña, en el presente trabajo investigativo se determinarán conclusiones con datos extraídos de otras investigaciones publicadas.

1.11.2. MÉTODO HISTÓRICO LÓGICO

Este método se basa en estudios de resultados lógicos provenientes de diferentes investigaciones, al apoyarse en información seleccionada y organizada se pretende alcanzar los objetivos que fueron establecidos con la ayuda de investigaciones recopiladas que brinden potenciales escenarios en el campo investigativo.

1.12. BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles son combustibles obtenidos a partir de biomasa vegetal o animal, renovables, que permiten reemplazar a los combustibles fósiles obtenidos del petróleo. Se los usa mezclados con los combustibles fósiles (Acosta, 2012).

A medida que los combustibles fósiles se están agotando día a día, es necesario encontrar un combustible alternativo para satisfacer la demanda energética del mundo (Basha, Gopal, & Jebaraj, A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance, 2009).

Entre los biocombustibles principales se encuentran el biodiesel y el bioetanol.

Tabla 1. 1 Principales biocombustibles

Biocombustibles	Biodiesel	Bioetanol
Siglas	BX	EX
Ejemplo	B100	E100

- La X representa el porcentaje de la mezcla.
- Para el caso de B100, este es 100% biodiesel.
- Para el caso de E100, este es 100% bioetanol.

1.12.1. BIODIESEL

El biodiesel es una de las mejores fuentes disponibles para satisfacer la demanda energética del mundo. Los combustibles del petróleo desempeñan un papel muy importante en el desarrollo del crecimiento industrial, el transporte, el sector agrícola y para satisfacer muchas otras necesidades humanas básicas (Basha, Gopal, & Jebaraj, A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance, 2009).

El biodiesel está compuesto de "ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales o grasas animales". Es decir, un combustible alternativo de

combustión limpia hecho con grasa o aceite (como el de soya o de palma) que se ha sujetado a un proceso químico para extraerle la glicerina. El término biodiesel alude al combustible puro –denominado B100– que ha sido designado como combustible alternativo por los Departamentos de Energía y de Transporte de los EE.UU. (Nelson, 2009).

El biodiesel es biodegradable, renovable, no tóxico, posee lubricidad inherente, un punto de inflamación relativamente alto, un balance de energía positivo y, en comparación con el petrodiesel, reduce la mayoría de las emisiones de escape reguladas (Knothe, 2010).

El biodiesel es una alternativa de combustión más limpia al combustible diésel a base de petróleo. Al igual que el combustible diésel a base de petróleo, el biodiesel funciona en los motores de encendido por compresión (diésel). La introducción y comercialización exitosas del biodiesel en muchos países de todo el mundo ha ido acompañada del desarrollo de estándares para garantizar una alta calidad del producto y la confianza del usuario. Algunas normas de biodiesel son ASTM D6751 (ASTM - American Society for Testing and Materials) y la norma europea EN 14214 (Balat & Balat, 2010).

1.12.1.1. PROPIEDADES DEL BODIESEL

Las propiedades físico-químicas del biodiesel pueden variar dependiendo la materia prima que se utilice. En varios artículos científicos los resultados varían dependiendo el método utilizado para su elaboración y la manera en la cual el autor desarrolló el método. Además, existen otras variables las cuales pueden influir en los resultados como: Proceso de limpieza o purificación, proceso químico utilizado para la producción de FAME, las condiciones de almacenamiento.

Las propiedades del biodiesel tienen normas estándar establecidas por organizaciones como son la ASTM (American Society for Testing and Materials) es una organización internacional que establece normas técnicas para diferentes productos, materiales, etc. Esta se encuentra en los Estados Unidos. Y el CEN (Comité Europeo de Normalización) es una organización europea que desarrolla estándares de seguridad, medio ambiental, etc.

ASTM ha establecido especificaciones estándar para los materiales de mezcla de combustible biodiesel (B100) para combustibles destilados, llamados ASTM D6751, así como para mezclas de biodiesel de B6 a B20 en diésel de petróleo, llamados ASTM D7467. Las mezclas de B5 y posteriores están permitidas bajo las especificaciones estándar para el combustible diésel No. 2, ASTM D975. Hasta la fecha, el CEN ha especificaciones estándar establecidas únicamente para B100, llamadas EN 14214 (Hoekman S. , Broch, Robbins, Cenicerros, & Natarajan, 2012).

A continuación, se detallan las propiedades que tiene el biodiesel.

- **Densidad**

La densidad de combustible es una propiedad clave que afecta al rendimiento del motor. Debido a que las bombas de inyección de combustible miden el combustible por volumen, no por masa, una mayor o menor masa de combustible se inyecta dependiendo de su densidad. Por lo tanto, la relación aire-combustible y el contenido de energía dentro de la cámara de combustión están influenciadas por la densidad de combustible (Hoekman S. , Broch, Robbins, Cenicerros, & Natarajan, 2012).

- **Viscosidad**

La viscosidad es una medida de resistencia al flujo de un líquido debido a fricción interna de una parte de un fluido que se mueve sobre otra. Ésta es una propiedad crítica porque afecta el comportamiento de la inyección de combustible. En general, una mayor viscosidad conduce a una atomización de combustible más pobre. La alta viscosidad puede causar tamaños de gotas más grandes, vaporización más pobre, ángulo de pulverización de inyección más estrecho, y una mayor penetración en el cilindro del spray de combustible. Esto puede conducir a una combustión más pobre en general, mayores emisiones y una mayor dilución del aceite. La viscosidad del biodiésel es típicamente más alta que el del diésel de petróleo, a menudo por un factor de dos (Saxenaa, Jawaleb, & Joshipurac, 2013).

La viscosidad se ve muy afectada por la temperatura. Por lo tanto, muchos de los problemas resultantes de la alta viscosidad son más notables bajo condiciones de baja temperatura ambiente y arranque en frío del motor. Un estudio reciente ha demostrado que,

como se reduce, la distribución de combustible B100 entre los inyectores individuales dentro de un conjunto de inyectores se vuelve muy desigual (Kegl, 2008).

- **Propiedades a bajas temperaturas**

El rendimiento a baja temperatura es una de las consideraciones más importantes para los usuarios de biodiesel. Al igual que con el combustible diésel convencional, se deben tomar precauciones para garantizar una operatividad satisfactoria a baja temperatura del biodiesel y sus mezclas. El bajo rendimiento de baja temperatura puede ser exhibido de varias maneras, pero principalmente por el taponamiento del filtro debido a la formación de cera, y el motor hambriento debido a la reducción del flujo de combustible (Hoekman S. , Broch, Robbins, Cenicerros, & Natarajan, 2012).

- **Índice de Cetano**

El número de cetano (CN) es una medida de las características de calidad de autoignición de un combustible. Dado que el biodiesel se compone en gran medida de grupos de hidrocarburos de cadena larga (prácticamente sin ramificaciones o estructuras aromáticas) por lo general tiene una CN más alta que el diésel de petróleo (Hoekman S. , Broch, Robbins, Cenicerros, & Natarajan, 2012).

- **Punto de inflamación**

El punto de inflamación está inversamente relacionado con la volatilidad del combustible. Las especificaciones de biocombustible para el punto de inflamación están destinadas a proteger contra la contaminación por impurezas altamente volátiles, principalmente el exceso de metanol restante después de los procesos de eliminación del producto (Hoekman S. , Broch, Robbins, Cenicerros, & Natarajan, 2012).

1.12.1.2. VENTAJAS DEL BIODIESEL

Las ventajas de la utilización de los biocombustibles son varias, como, por ejemplo: Medio ambientales, estudios han demostrado una significativa reducción en los gases emitidos durante la combustión.

Puede mezclarse con diferentes proporciones con el gasoil.

Tienen un rendimiento similar al diésel.

1.12.1.3. DESVENTAJAS DEL BIODIESEL

Una desventaja se refleja al momento del arranque en frío del motor ocasionado por la alta viscosidad y densidad que posee el biodiesel.

Altos costes de fabricación, dependiendo la materia prima que se usa, los procesos químicos que se utilizan en obtención del combustible apto para su utilización.

Puede presentar daños en algunos cauchos del motor, disminuyendo su vida útil.

El almacenaje para el biodiesel no puede superar los seis meses debido a su baja estabilidad oxidativa.

1.13. MATERIA PRIMA

La producción mundial de biocombustibles seguirá dominada por las materias primas tradicionales, pese a la creciente sensibilidad al aspecto de sostenibilidad de la producción de biocombustibles que se observa en muchos países (Figura 9.3). Los cereales secundarios, en especial el maíz y la caña de azúcar, se mantendrán como las principales materias primas para etanol. Se prevé que para 2028 la producción de etanol utilizará 14% y 24% de la producción mundial de maíz y de caña de azúcar, respectivamente. Se espera que el aceite vegetal se mantenga como la materia prima preferida en la producción de biodiésel. La producción de biodiésel basada en aceite de desecho y sebo mantendrá su papel importante en la Unión Europea, Canadá y Estados Unidos. (OCDE-FAO, 2019, pág. 224)

En la tabla 1.3 se observan diferentes tipos de materias primas destinadas a la producción de biodiesel.

Tabla 1. 2 Materias primas para producción de biodiesel

Origen vegetal	Origen animal
<ul style="list-style-type: none"> • Palma • Girasol • Colza • Aceite de frituras usados • Soya • Aceite de microalgas • Oliva 	<ul style="list-style-type: none"> • Cebo de res • Manteca de cerdo • Aceite de pescado • Subproductos industria avícola

Fuente: (Benjuema, Agudelo, & Rios, 2009, págs. 10-11)

1.14. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL ACEITE DE FRITURAS

Los aceites empleados para el uso de frituras provienen de plantas como la palma africana, el aceite comestible de palma africana se obtiene de la grasa cruda de palma mediante el proceso de fraccionamiento y refinado, apto para el consumo humano, las propiedades físico-químicas y organolépticas deben ser características de este producto. Según la norma NTE INEN 1640 el aceite de palma debe cumplir los siguientes requisitos:

REQUISITOS	UNIDAD	MIN.	MAX.	Método de ensayo
Densidad relativa 25/25 °C		0,891	0,914	INEN 35
Índice de yodo	cg/g	58,0	-	INEN 37
Acidez (ácido oleico)	%		0,2	INEN 38
Pérdida por calentamiento	%		0,05	INEN 39
Índice de saponificación	mg/g	180	270	INEN 40
Materia insaponificable	%	1,4630	1,0	INEN 41
Índice de refracción 25 °C			1,4680	INEN 42
Índice de peróxidos	meq02/kg		10,0	INEN 277
Punto de enturbiamiento	°C		10,0	INEN 1 639

Figura 1.8 Requisitos aceite de palma NTE INEN 1640
(INEN, 2020)

El aceite de cocina usado es una alternativa para la producción de biodiesel, este tipo de materia prima reduce el costo de producción, es más barato que los aceites vegetales vírgenes. El proceso de transesterificación reduce aproximadamente el peso molecular a un

tercio, reduce la viscosidad en aproximadamente un séptimo, reduce ligeramente el punto de inflamación, aumenta la volatilidad marginal y reduce considerablemente el punto de fluidez, durante este proceso existen componentes indeseables como los FFA y agua.

1.15. MÉTODOS DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

1.15.1. TRANSESTERIFICACIÓN

El método de transesterificación de aceites o grasa se realiza mediante una reacción con alcohol de cadena corta, usualmente se utiliza metanol en presencia de un catalizador. La materia prima empleada para producir biodiesel son aceites provenientes de plantas oleaginosas como girasol, palma africana, soya entre otras. La Figura 1.9 presenta el proceso de transesterificación empleado para obtener biodiesel.

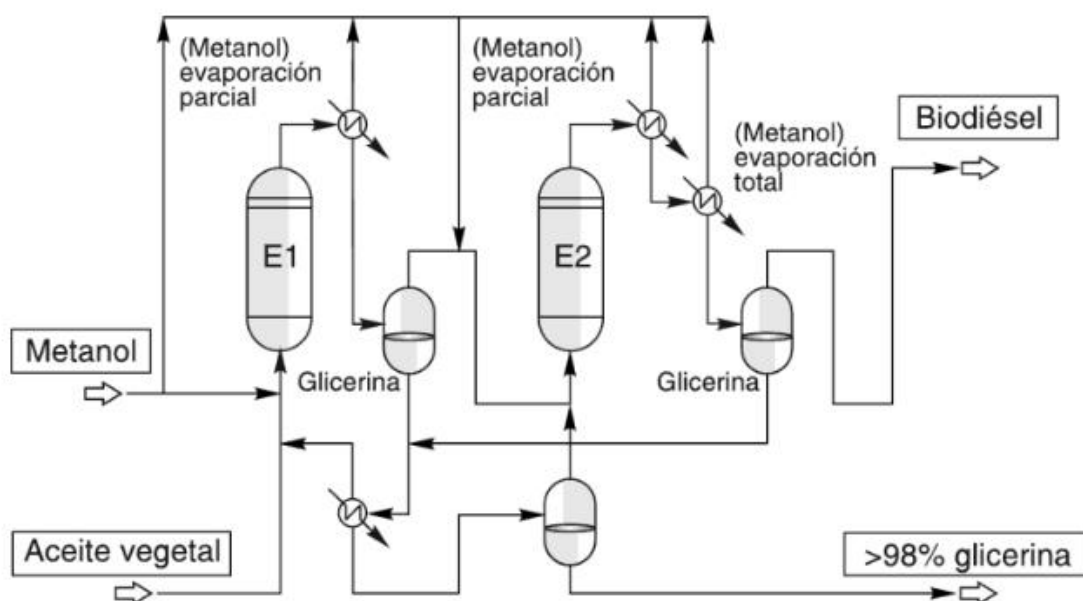


Figura 1.9 Flujo del proceso de transesterificación biodiesel
(Benjuema, Agudelo, & Rios, 2009, pág. 56)

La reacción química de transesterificación se ve afectada por la procedencia de la materia prima, la concentración del catalizador, además de la relación entre las cantidades de moles de alcohol-aceite, el nivel térmico en la atmósfera, la forma de mover la mezcla, la presión

utilizada en el tiempo de reacción, contenido de humedad y de los ácidos grasos libres. La Figura 1.10 presenta la reacción que procede entre un aceite vegetal y un alcohol primario



Figura 1.10 Reacción química aceite vegetal con metanol
(Cárdenas, 2014, pág. 23)

El proceso comienza con una secuencia de tres reacciones reversibles consecutivas, donde los triglicéridos se convierten en diglicéridos, los diglicéridos son convertidos en monoglicéridos, y los monoglicéridos se convierten en glicerol, cada uno de ellos se aproxima y, como consecuencia, genera tres moléculas de éster de una molécula de triglicérido. (Sharma & Singh, 2008, pág. 1)

1.16. CATALIZADORES

En general, existen tres categorías de catalizadores utilizados para la producción de biodiesel: álcalis, ácidos y enzimas. Los catalizadores enzimáticos pueden evitar la formación de jabón y el proceso de purificación es sencillo de realizar. Sin embargo, se usan con menos frecuencia comercialmente debido a los tiempos de reacción más largos y al mayor costo.

Tabla 1. 3 Tipos de catalizadores utilizados en la obtención de biodiesel

Tipos de catalizadores	Ejemplo de catalizadores
Ácidos homogéneos	H_2SO_4 , HCl y H_3PO_4 ⁹⁻¹¹
Ácidos heterogéneos	Zeolitas, resinas sulfónicas, SO_4/ZrO_2 , TiO_2 y catalizadores a base de carbono ¹²⁻¹⁶
Básicos homogéneos	KOH y NaOH [17-18]
Básicos heterogéneos	MgO, CaO y Na/NaOH/ Al_2O_3 ¹⁹⁻²¹
Enzimáticos	Lipasas, Candida, Penicillium y Pseudomonas ²²⁻²⁵

Fuente: (Cabello, Rincón, & Zepeda, 2016, pág. 52)

En comparación con los catalizadores enzimáticos, los catalizadores alcalinos y ácidos se utilizan más comúnmente en la producción de biodiésel. Los catalizadores alcalinos y ácidos incluyen catalizadores homogéneos y heterogéneos. Debido al bajo costo de las materias primas, el hidróxido de sodio y el hidróxido de potasio se usan generalmente como catalizadores homogéneos de álcali y la transesterificación catalizada por álcali es la más comúnmente utilizada comercialmente. Estos materiales son los más económicos porque el proceso de transesterificación catalizado por álcali se lleva a cabo en un entorno de baja temperatura y presión, y la tasa de conversión es alta sin pasos intermedios.

Sin embargo, los catalizadores básicos homogéneos son altamente higroscópicos y absorben agua del aire durante el almacenamiento. También forman agua cuando se disuelven en el reactivo de alcohol y afectan el rendimiento. Por otro lado, algunos catalizadores heterogéneos son sólidos y podrían separarse rápidamente del producto por filtración, lo que reduce la necesidad de lavado. Además, los catalizadores sólidos heterogéneos pueden catalizar de forma estimulante la reacción de transesterificación y esterificación que puede evitar la etapa de preesterificación, por lo que estos catalizadores son particularmente útiles para aquellas materias primas con alto contenido de ácidos grasos libres.

1.17. ALCOHOLES

El metanol (CH_3OH) y el etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) son formas simples de alcoholes que se producen a partir de una variedad de fuentes renovables. Los procesos de producción sencillos y respetuosos con el medio ambiente, la disponibilidad local y la capacidad de quemarse limpiamente han hecho de estos alcoholes una buena opción para su uso en motores CI (Vinod, Madhu, & Amba Prasad, 2017, pág. 1070).

1.17.1. ETANOL

El etanol domina el mercado actual de biocombustibles debido a su facilidad de fabricación y respeto al medio ambiente en comparación con el metanol. Se puede producir a partir de materiales lignocelulósicos como materia prima agrícola, residuos de caña de azúcar, biomasa residual y biomasa forestal sin depender demasiado de los cultivos alimentarios. Se podrían obtener altos rendimientos de biomasa lignocelulósica a partir de cultivos energéticos. La producción de etanol implica procesos de hidrólisis (descomposición de celulosa en glucosa) y fermentación (conversión de glucosa en etanol) (Vinod, Madhu, & Amba Prasad, 2017, pág. 1070).

1.17.2. METANOL

El metanol es un elemento muy indispensable para realizar el biodiésel, el metanol, también llamado alcohol metílico, alcohol de madera, carbinol y alcohol de quemar, es el primero de los alcoholes (Echeverría, 2018, pág. 42).

El uso de metanol es común, ya que suele ser más económico que el etanol y, al ser un alcohol de cadena más corta, es menos miscible en aceite, lo que facilita su separación del biodiésel que se obtiene. Además, el metanol produce biodiésel menos viscoso que el producido por alcoholes de cadena superior. Dada su mayor sencillez de uso y menor precio, el metanol se utilizó como alcohol reactivo en el presente trabajo (Cordero-Ravelo & Schallenberg-Rodriguez, 2018, pág. 120).

1.18. PARÁMETROS QUE AFECTAN LA REACCIÓN DE TRANSTERIFICACIÓN

1.18.1. CANTIDAD DE ALCOHOL

Los principales factores que afectan el rendimiento de biodiesel es la relación molar de alcohol a triglicéridos. Teóricamente, la relación para la reacción de transesterificación requiere 3 moles de alcohol por 1 mol de triglicérido para producir 3 moles de éster de

ácido graso y 1 mol de glicerol. Se utiliza un exceso de alcohol en la producción de biodiesel para garantizar que los aceites o grasas se conviertan por completo en ésteres y una proporción de triglicéridos de alcohol más alta puede resultar en una mayor conversión de éster en un tiempo más corto. El rendimiento de biodiésel aumenta cuando la relación de triglicéridos de alcohol se eleva por encima de 3 y alcanza un máximo. Además, la relación molar está asociada con el tipo de catalizador utilizado y la relación molar de alcohol a triglicéridos en la mayoría de las investigaciones es de 5:1 con el uso de un catalizador alcalino.

1.18.2. TIEMPO DE REACCIÓN

La tasa de conversión de ésteres de ácidos grasos aumenta con el tiempo de reacción. Al principio, la reacción es lenta debido a la mezcla y dispersión del alcohol en el aceite. Después de un tiempo, la reacción avanza muy rápido. Normalmente, el rendimiento alcanza un máximo con un tiempo de reacción menor a 90 minutos, y luego permanece relativamente constante con un aumento adicional del tiempo de reacción. Además, el exceso de tiempo de reacción conducirá a una reducción en el rendimiento del producto debido a la reacción hacia atrás de la transesterificación, lo que resultará en una pérdida de ésteres y provocará que más ácidos grasos formen jabones.

1.18.3. TEMPERATURA DE REACCIÓN

La temperatura influye claramente en la reacción y el rendimiento del biodiesel. Una temperatura de reacción más alta puede disminuir las viscosidades de los aceites y resultar en una mayor velocidad de reacción y un tiempo de reacción más corto. Sin embargo, cuando la temperatura de reacción aumenta más allá del nivel óptimo, el rendimiento del producto de biodiesel disminuye porque una temperatura de reacción más alta acelera la reacción de saponificación de los triglicéridos. La temperatura de reacción debe ser menor que el punto de ebullición del alcohol para asegurar que el alcohol no se escape por vaporización. Dependiendo del aceite utilizado, la temperatura óptima oscila entre 50 C y 60 C.

1.18.4. CONCENTRACIÓN DE CATALIZADOR

La concentración de catalizador puede afectar el rendimiento del producto biodiesel, el catalizador más comúnmente utilizado para la reacción es el hidróxido de sodio. Sin embargo, (Freedman et al) encontró que el metóxido de sodio era más efectivo que el hidróxido de sodio porque al mezclar el hidróxido de sodio con metanol se producirá una pequeña cantidad de agua, lo que afectará el rendimiento del producto debido a la reacción de hidrólisis. Ésta es la razón por la que el catalizador debe agregarse primero al metanol y luego mezclarse con el aceite. A medida que aumenta la concentración de catalizador, aumenta la conversión de triglicéridos y el rendimiento de biodiesel. Esto se debe a que una cantidad insuficiente de catalizadores da como resultado una conversión incompleta de los triglicéridos en los ésteres de ácidos grasos. Por lo general, el rendimiento alcanza un valor óptimo cuando la concentración de catalizador (NaOH) alcanza el 1,5% en peso y luego disminuye un poco con un aumento adicional en la concentración de catalizador. La reducción del rendimiento del biodiesel se debe a la adición de un catalizador alcalino excesivo que hace que reaccionen más triglicéridos con el catalizador alcalino y forme más jabón. (Leung & Wu, 2010, pág. 9)

1.18.5. FFA (ÁCIDOS GRASOS LIBRES)

Otro factor que afecta la selección del tipo de catalizador es la cantidad de ácidos grasos libres (FFA, por sus siglas en inglés) presentes en el aceite. Para los aceites que tienen menor cantidad de ácidos grasos libres, el uso de catalizadores básicos conduce a una mejor conversión de transesterificación de aceites vegetales a biodiesel en un tiempo relativamente corto. Mientras que para elevados contenidos de FFA en los aceites vegetales, la esterificación con catalizadores ácidos, seguida de una transesterificación podrían eventualmente ser adecuadas. (Rincón & Silva, 2015, pág. 238)

En el proceso de transesterificación catalizada por una base, el índice de acidez del aceite vegetal debe ser inferior a 1 y todos los materiales deben ser sustancialmente anhidros (Demirbas, 2009). Si el índice de acidez es superior a 1, se inyecta más álcali para neutralizar los FFA. En la transesterificación convencional de grasas y aceites vegetales

para la producción de biodiesel, los ácidos grasos libres y el agua siempre producen efectos negativos ya que la presencia de ácidos grasos libres y el agua provoca que la formación de jabón consuma el catalizador y la eficacia del catalizador (Balat & Balat, 2010, págs. 14-15).

1.19. NORMAS DE EMISIONES

1.19.1. NORMA ECUATORIANA

El Instituto Ecuatoriano de Normalización es el ente encargado de emitir los parámetros que regulan las emisiones de los vehículos diésel en nuestro país, la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002 establece los límites de emisiones de toda fuente móvil de diésel que se importe o se ensamble en el país, estas no podrán emitir al ambiente monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y partículas en cantidades superiores a las expuestas en la Tabla 1.4.

Tabla 1. 4 Especificaciones emisiones norma NTE INEN 2207:2002

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Partículas g/km	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos Livianos	Todos	Todos	2,10	0,25	0,62	0,12	FTP - 75
Vehículos Medianos	≤ 3 860	≤ 1 700	6,2	0,5	0,75	0,16	
		> 1 700 ≤ 3 860	6,2	0,5	1,1	0,28	
Vehículos Pesados**	> 3 860	Todos	15,5	1,3	5,0	0,10***	Transiente pesado
* prueba realizada a nivel del mar ** en g/bHP-h (gramos / brake Horse Power-hora) *** para buses urbanos el valor es 0,07 g/bHP-h							

Fuente: (INEN, 2002, pág. 6)

Los límites establecidos para opacidad de humos en NTE INEN 2 207:2002 dice: Toda fuente móvil con motor de diésel, en condición de aceleración libre, no podrá descargar al aire humos en cantidades superiores a las indicadas en la Tabla 1.5.

Tabla 1. 5 Normativa opacidad vehículos diésel norma NTE INEN 2207:2002

Año modelo	% Opacidad
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Fuente: (INEN, 2002, pág. 8)

1.19.2. NORMA EUROPEA

El estado europeo está estableciendo acacimientos sobre medidas más estrictas en cuanto a valores límite de emisiones para motores de gasolina y diésel, hasta llegar a la actual Euro V y Euro VI (Angamarca, 2019, pág. 37).

Actualmente rige la normativa Euro VI como base principal para futuros desarrollos, establecida en el año 2014, la misma que tiene como objetivo la reducción exponencial de los gases NO_x, emitidas por automotores diésel principalmente (Peiró, 2015, pág. 18).

La Tabla 1.6 establece los límites permitidos para emisiones en motores diésel por la unión europea hasta el año 2014.

Tabla 1. 6 Límites emisiones norma Euro

Límites de emisiones establecidas por cada norma Euro para los turismos					
Norma	Entrada en vigor	CO (g/km)	HTC + NO _x (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/km)
Euro 1**	01/07/1992	2,72 (3,16)	0,97 (1,13)	0,14 (0,18)
Euro 2	01/01/1996	1,0	0,7	0,08
Euro 2	01/01/1996	1,0	0,9	0,10
Euro 3	01/01/2000	0,64	0,56	0,50	0,05
Euro 4	01/01/2005	0,50	0,30	0,25	0,025
Euro 5	01/09/2009	0,50	0,23	0,18	0,005
Euro 6	01/09/2014	0,50	0,17	0,08	0,005

Fuente: (Sánchez, 2010, pág. 4)

Capítulo II

2. Materiales y métodos

2.1. PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN

El propósito de esta investigación es la reutilización del aceite de cocina usado para producir biodiesel en proporción B10, esto quiere decir 10% de biodiesel filtrado y procesado con 90% de diésel Premium. Además, en la presente investigación se realizarán pruebas de emisiones para demostrar las ventajas de la utilización del biodiesel mezclado con diésel fósil, también se ejecutarán pruebas de torque y potencia en los vehículos para comprobar su eficiencia.

2.2. PROCESO METODOLÓGICO

A continuación, se realizará un gráfico de las etapas las cuales se van a realizar en la presente investigación.

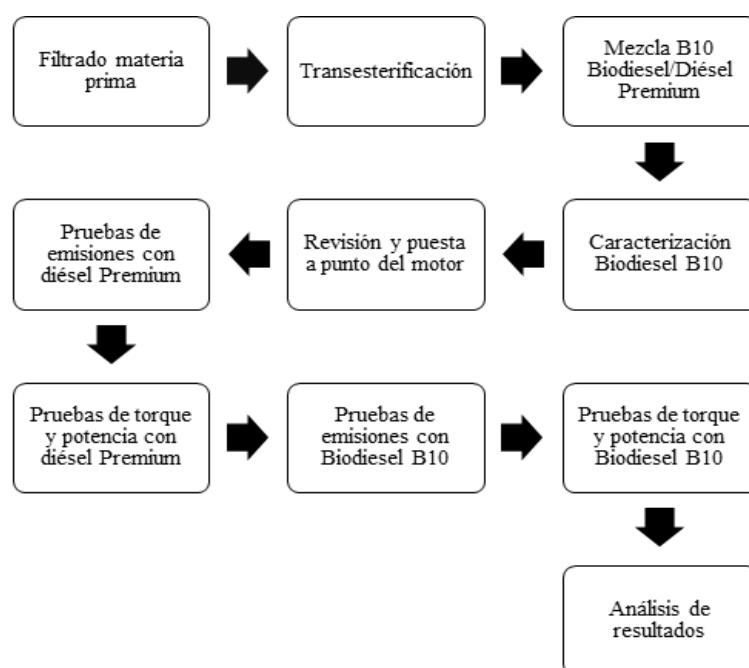


Figura 2. 1 Etapas de la investigación

La primera etapa de la investigación es la separación de residuos del aceite usado de cocina y la evaporación del agua del aceite reciclado. A continuación, se procede a realizar el proceso de transesterificación donde separamos la glicerina y el biocombustible. El siguiente paso es la caracterización del biodiesel obtenido para comprobar si el proceso que se ha realizado cumple con las normativas. Para fines comparativos de la investigación se realizan pruebas de emisiones y torque – potencia del vehículo con diésel premium.

2.3. MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1. ACEITE USADO DE FRITURAS

El aceite reciclado de frituras es la materia principal para la elaboración del biodiesel, este aceite reciclado se obtuvo del Ministerio del Ambiente, este ministerio se encarga de receptor el aceite usado de los diferentes locales de la zona, para esta investigación fue necesario solicitar 20 litros de aceite usado de frituras. Este aceite tuvo un tiempo de reposo para la tener una separación de residuos sólidos en la parte inferior del recipiente, separando una mejor calidad de aceite reciclado en la parte superior, dejando restos de comida y grasas en la parte inferior. De los 20 litros de aceite reciclado aportado por el Ministerio del Ambiente, se desecharon 6 litros materiales catalogados como no utilizables para este proyecto.



Figura 2. 2 Aceite de cocina Reciclado 20l

2.3.2. REACTIVOS

2.3.2.1. HIDRÓXIDO DE SODIO

Su fórmula química es NaOH, también es conocido con el nombre de sosa cáustica, es de color blanco y absorbe la humedad del aire.

Este elemento químico es necesario para el proceso de transesterificación, su manipulación se debe realizar utilizando el equipo de protección personal, acorde como indica la norma NTE INEN 1943:1995.

Este elemento químico está prohibida su venta en el Ecuador, ya que este es usado en laboratorios clandestinos de elaboración de cocaína. Por ello, se exige un permiso de autorización emitido por el CONSEP (Consejo Nacional de Control de Sustancias y Estupefacientes) para la comercialización, compra o venta de este producto.

Tabla 2. 1 Propiedades Hidróxido de sodio

Propiedad	Valor
Masa molar	39,99 g/mol
Apariencia	Sólido o cristales blancos, serosos u opacos
Punto de fusión	323 °C
Punto de ebullición	1388 °C
Solubilidad en agua	1000 g/l a 25°C
Basicidad (pKb)	-0,56
Índice de refracción	1433 a 320°C
Punto de autoignición	No es inflamable
Viscosidad	4 cPoise a 350 °C
Calor de vaporización	175 KJ/ mol a 1388 °C

Fuente: (Bolívar, 2019)



Figura 2. 3 Hidróxido de Sodio

2.3.2.2. METANOL

El metanol es un producto químico que se utilizó en mezcla proporcional a la cantidad de aceite usado que se transformará en biodiesel, las reacciones químicas que se producen junto al catalizador dan como resultado la separación del biocombustible y la glicerina, para este proceso se emplearon 2,8 litros de metanol.

El metanol fue adquirido por la empresa Labdin, esta se encuentra localizada en la ciudad de Quito, la empresa es especializada en la venta de productos químicos y productos de laboratorio.

El metanol tiene una pureza del 99.8%, la fórmula molecular del metanol es CH₃OH.

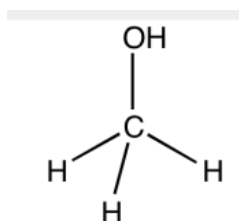


Figura 2. 4 Enlace químico de metanol

Tabla 2. 2 Datos físicos del metanol

Datos Físicos	
Peso molecular	32.04g/mol
Densidad	0.792 g/cm ³
Solub. en agua	(20°C) miscible
Punto de fusión	-98°C
Punto de ebullición	65°C
Punto de Inflamación	10°C
Temperatura de ignición	455°C
Viscosidad	(20°C) 0.52mPas
Ph	7

Fuente: (Scharlau, 2019, pág. 1)

2.3.3. EQUIPOS

2.3.3.1. FILTRO

Los filtros de alta pureza son indispensables para el proceso de filtración de líquidos que presentes impurezas. Se utilizó dos tipos de mallas para el filtrado, en la primera filtración se empleó una malla plástica para evitar el paso de impurezas sólidas que se encuentre en el aceite, en la siguiente filtración se utilizó malla elástica de fibra de nylon obteniendo un aceite más limpio.

Para el filtrado del aceite reciclado de cocina se utilizó tres mallas de nylon sobre puestas para garantizar su filtrado del mayor número de partículas. Se utilizó este tipo de material por sus características físicas.

Según (Angamarca, 2019), al realizar estudios microscópicos con un lente de aumento 4x/0.10 de este material se determinó la cantidad de 4 poros encontrados en 1mm². Cada uno de estos poros tiene un área de 0,25mm² aproximadamente.

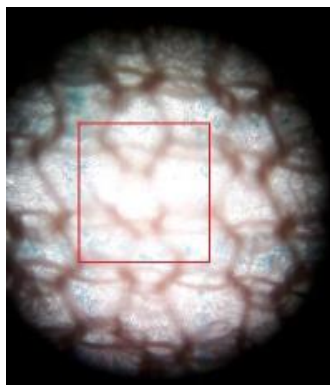


Figura 2. 5 Determinación filtro de nylon con un aumento (4x/0.10)

Fuente: (Angamarca, 2019, pág. 59)

2.3.3.2. REACTOR DISCONTINUO

Para la elaboración del biodiésel se utilizó un reactor discontinuo, también llamado Batch, elaborado por los estudiantes de la UTN, este reactor cuenta con tres tanques de diferente volumen donde se controla la temperatura y velocidad de giro en el interior de su tanque, produce una agitación a una temperatura controlada. Cada uno de los tanques cuenta con un mecanismo de agitación de 3 paletas inclinadas para producir flujos axiales y radiales.

Se producen cinco etapas:

- Mezcla de metóxido
- Transterificación
- Separación glicérica
- Lavado
- Secado

El primer tanque tiene una capacidad volumétrica de 5 litros, para la agitación del metóxido tiene un motor con una potencia de 25W. Para la fase de transterificación tiene una capacidad volumétrica de 31 litros con un motor de 60W para la agitación de la mezcla. Para la separación glicérica, lavado y secado tiene una capacidad volumétrica de 46 litros y tiene un motor de 373W para la agitación.

En su diseño de fabricación tiene acero inoxidable AISI 304 debido a los químicos corrosivos que se utilizan en la transterificación. En la figura 2.6 se muestra el reactor discontinuo con donde se producen cada una de las etapas y el panel de control donde se controla la temperatura y velocidad de giro en cada uno de los tanques.



Figura 2. 6 Reactor Discontinuo

2.3.3.3. DINAMÓMETRO INERCIAL

El dinamómetro inercial marca Vamag tiene un método de microcontrolador que está vinculado al computador que concede a cualquier automóvil trabajar a velocidades determinadas y registrar resultados de una forma gráfica obteniendo su torque y potencia. Las características del dinamómetro de la carrera de ingeniería automotriz de la universidad Técnica del Norte se detallan a continuación.

Tabla 2. 3 Ficha técnica dinamómetro Vamag

Marca	Italiana Vamag
Potencia Máxima	400 HP
Torque	1 500 Nm
Voltaje de suministro	220 - 400V AC (1-3/N/PE)
Frecuencia	50 - 60 HZ
Corriente nominal	16 Amp
Masa	1 200 kg
Dimensiones	3 070 x 870 x 310 h mm
Presión del circuito de aire comprimido	6 bar
Diámetro del rodillo	240 mm
Ancho de rodillo	660 mm
Velocidad máxima	180 km/h

Fuente: (Vamag, 2017, pág. 4)

2.3.3.4. ANALIZADOR DE GASES BRAIN BEE

El analizador de gases Brain Bee modelo AGS – 688, es un equipo italiano que determina el porcentaje y las partículas por millón de los compuestos emitidos producto de la combustión.

Las características de este analizador de gases se detallan a continuación.

Tabla 2. 4 Ficha técnica analizador de gases AGS-688

Tiempo de calentamiento	Menor a 10 minutos a 20°C
Sistema de filtrado	Reforzado y con trampa de agua
Pruebas automáticas	Residuos de HC y vacío
Capacidad de medir 5 gases	HC, CO, CO ₂ , O ₂ y NO _x 15seg
Temperatura de funcionamiento	5 a 40°C
Alimentación	12 VD C típica (11-15VD C)
Consumo	1.5 A DC
Compensación automática de la presión	Ambiente de 850 a 1060 kPa
Normas	Europeas de calidad y precisión

Tabla 2. 5 Campos de medición Brain Bee AGS – 688

Campos de medición	Unidades	Límites	Resolución
CO	% Vol	0 – 9,99	0,01
CO2	% Vol	0 – 19,9	0,1
HC	ppm Vol	0 – 9999	1
O2	% Vol	0 – 25	0,01
Nox	ppm Vol	0 – 5000	1
Lambda	0,5 – 5		0,001
Revoluciones	rpm	300 – 9990	10
Temperatura del aceite	°C	20 – 150	1

Fuente: (Brain Bee, 2021, pág. 2)

2.3.3.5. OPACÍMETRO BRAIN BEE OPA 100

Este equipo nos permite medir las emisiones de los vehículos a diésel, calcula las gráficas de acuerdo a las revoluciones y temperatura a la que se encuentra el vehículo, gracias al cuenta revoluciones Brain Bee MGT – 300. Este equipo cuenta con un software OMNIBUS-800 el cual puede ser usado en cualquier sistema operativo, desarrollado especialmente por Brain Bee.

Tabla 2. 6 Campos de medición OPA 100

Campos de medición	Unidad	Límites	Resolución
Transmisión de luz	%	0 - 99,9	0,1
Transmisión de luz	M-1	0 - 99,9	0,01
Contador de revoluciones	RPM	300 - 9990	10
Temperatura de aceite	°C	20 - 150	1
Temperatura del humo	°C	20 - 400	1

Fuente: (Brain Bee, 2021, pág. 2)

2.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DEL BIODIESEL

2.4.1. RECEPCIÓN Y ALMACENAJE DEL ACEITE USADO

El aceite usado de cocina se recepo en recipientes plásticos de colores oscuros para para mantener las características estables de este tipo de materia prima, su almacenaje se realizó en instalaciones cubiertas con ventilación necesaria, evitando el contacto con la luz solar y clasificándolo de acuerdo a una verificación visual.

2.4.2. PRETRATAMIENTO DEL ACEITE

Debido a que este tipo de aceite posee partículas sólidas, fue puesto en reposo durante unos días para que dichas sustancias macizas por decantación bajaran al fondo del depósito. Al empezar el proceso de filtrado, el aceite que se encontraba en la parte superior del recipiente se encontraba en buenas condiciones.

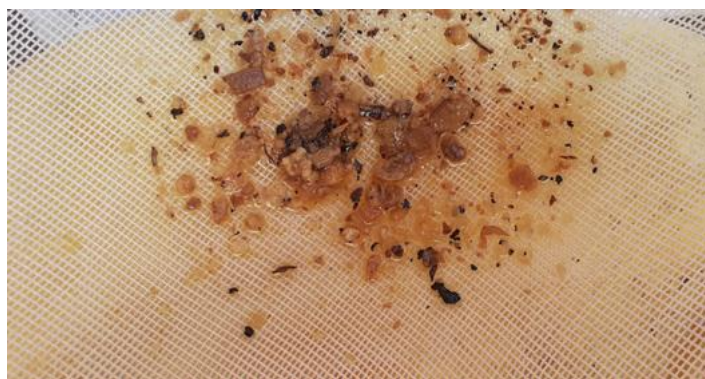


Figura 2. 7 Malla plástica empleada en la primera filtración

2.4.3. FILTRADO DE PARTÍCULAS

Para realizar el filtrado del aceite usado se utilizó un filtro especial para retener la mayor cantidad de desustancia sólidas provenientes del uso al que fue destinado este tipo de aceite, para realizar este proceso se calentó el aceite a 30 ° C logrando una fluidez adecuada para ser filtrado, fue necesario filtrar el aceite dos veces empleando un nuevo

filtro para obtener un aceite en mejores condiciones libre de impurezas para su posterior uso.



Figura 2. 8 Aceite filtrado mediante malla nylon

2.4.4. EVAPORACIÓN DE AGUA

Después de haber sido filtrado el aceite, lo importante es que este se encuentre libre de agua, para esto se calienta el aceite a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 15 minutos, logrando eliminar la mayor cuantía de agua durante este proceso. Luego se dejó enfriar el aceite hasta que llegue a una temperatura para su siguiente tratamiento que es la valoración de acidez de una muestra de aceite.

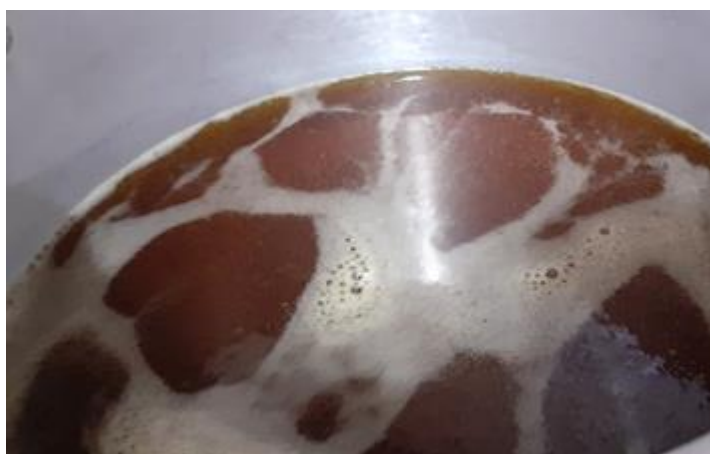


Figura 2. 9 Aceite filtrado en proceso de evaporación de agua

2.5. PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

2.5.1. PORCENTAJE CATALIZADOR

El porcentaje que se utilizó para la transterificación fue del 1% del peso del aceite que se obtuvo luego del filtrado y secado. Se obtuvieron 14 litros, pero de acuerdo a la diferencia de densidad tuvo un peso de 13.4kg por lo cual la cantidad de Hidróxido de sodio a utilizar fue de 134 gramos.



Figura 2. 10 Pesaje del catalizador

2.5.2. PORCENTAJE DE METANOL

La cantidad de metanol a utilizar de acuerdo a la investigación que se realizó entre mayor cantidad de metanol se utilice, mayor será el rendimiento del biodiesel.

Para este proceso se utilizó un porcentaje de 5:1, por tanto, si tenemos 14litros de aceite de cocina reciclado, vamos a utilizar 2.8litros de metanol.



Figura 2. 11 Medición de metanol

2.5.3. TANQUE DE METÓXIDO

A continuación, se describen los pasos realizados en el tanque de metóxido establecidos por (DÍAZ CASTILLO & VACA ANDRADE, 2017):

1. Se ingresa los 2.8 litros de metanol.
2. Se calibra el temporizador para un tiempo de 20 minutos.
3. Se enciende el motor pulsando el botón verde que se encuentra en la parte superior izquierda del tablero de control para que inicie la agitación.
4. Se agrega los 134 gramos de hidróxido de sodio sobre el metanol que se encuentra previamente agitado.
5. Se establece la velocidad de giro mediante el variador a 200 rpm.
6. Una vez culminado el tiempo de agitación previamente establecido en el temporizador se activará una alarma sonora y visual la cual indicará que la reacción esta lista y se apagará el motor de agitación automáticamente.



Figura 2. 12 Agitación metóxido de sodio

Antes de proceder con el proceso de transesterificación se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se vierten los 14 litros de aceite de usado en el reactor.
2. Se configura el controlador de temperatura a 30° C.
3. Se fija la velocidad de rotación en el variador a 100 rpm.
4. Se programa el temporizador para un tiempo de 30 minutos, tiempo que durará la homogenización de la temperatura en todo el volumen de aceite.
5. Una señal sonora y visual se activará con el fin de indicar la culminación de la etapa de homogenización del aceite y poder dar paso al proceso de transesterificación.
6. Para realizar el proceso de transesterificación el cual se lleva a cabo en el reactor se procede a activar la llave de paso que se encuentra ubicada entre el tanque de metóxido y reactor con el fin de dejar fluir el metóxido y mezclarse con el aceite.
7. Se eleva la temperatura a 55° C.
8. Se incrementa la velocidad de agitación a 200 rpm.
9. El proceso de transesterificación se mantiene en las condiciones anteriormente descritas por un lapso de tiempo de 2 horas previamente programado en el temporizador.
10. Una vez transcurrido las 2 horas de agitación el motor se detendrá indicando por medio de una señal visual y sonora que el proceso ha finalizado.

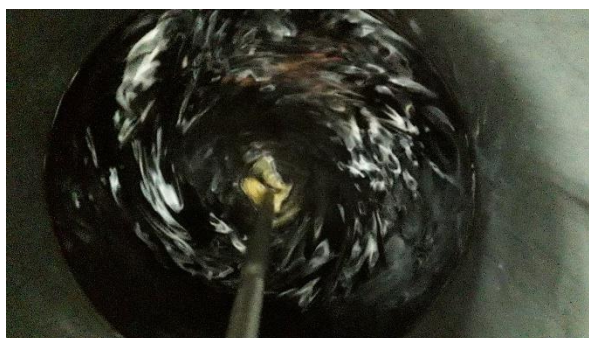


Figura 2. 13 Transterificación

2.5.4. SEPARACIÓN GLICÉRICA

1. Para realizar la separación de la glicérica se abre la llave de paso que se encuentra ubicada entre el reactor y el tanque cónico dejando pasar todo el producto de la transesterificación que se encuentra en el reactor.

2. Se deja reposar el producto de la transesterificación en el tanque cónico por un tiempo aproximado de 9 días.
3. Transcurrido el tiempo de 9 días se puede diferenciar que la glicerina se ha separado del biodiésel.
4. Se extraer la glicerina por medio de la llave de paso que se encuentra ubicada en la parte inferior del tanque cónico.



Figura 2. 14 Separación glicérica por decantación

2.5.5. LAVADO Y SECADO DEL BIODIESEL

1. Es necesario tomar en consideración que el lavado se realiza agregando el 50% de agua del volumen del biodiésel presente en el tanque.
2. Se programa el tiempo de agitación del motor en el temporizador de 5 minutos, el cual se encuentra ubicado dentro de la caja de control.
3. Se inicia presionando el pulsador color verde que se encuentra en la parte derecha superior del tablero denominado T. Separación glicérica, a una velocidad de agitación de 100 rpm o 26Hz que se puede configurar desde la pantalla del variador.
4. Una vez ya establecida la frecuencia el motor empieza a mover el agitador por un tiempo establecido de 5 minutos.
5. El agua de lavado debe estar a una temperatura de 70°C.
6. El agua es vertida en el tanque mediante aspersion.

7. Con la finalidad de obtener un biodiésel libre de agua se realiza el procedimiento de secado a una temperatura de 100°C la cual ayuda a evaporar toda el agua de la etapa de lavado, esta acción se lleva por un tiempo de una hora, dicha acción se realiza por una resistencia eléctrica ubicada en la parte interior e inferior del tanque cónico.
8. El proceso de lavado y secado se debe realizar 4 veces para asegurar que el biodiésel esté libre de residuos de agua.



Figura 2. 15 Lavado

2.6. PREPARACIÓN MEZCLA DIÉSEL PREMIUM/BIODIESEL

Se debe mantener las medidas de seguridad necesarias al momento de manipular el combustible, existe riesgo de intoxicación ocasionado por los gases emanados en su elaboración. Para la preparación de la mezcla se adquirió diésel Premium como combustible base y biodiesel elaborado de aceite usado de frituras.

La composición del biocombustible B10 se basa en una mezcla con el 90 % de combustible de origen fósil y 10 % de biodiesel puro, se mide 1.8 litros de diésel Premium en un recipiente graduado y se vierte en un envase para preparar la mezcla, de igual forma se cuantifica 0.2 litro de biocombustible en el recipiente graduado y se coloca en el envase que contiene diésel, se revuelve hasta conseguir una mezcla equilibrada.

Este volumen de 2 litros fue preparado para la caracterización realizada por la Universidad Central del Ecuador, en el Departamento de petróleos, energía y contaminación.

2.7. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA BIODIESEL B10

Una vez preparado el biodiesel B10 a base de aceite usado de frituras se procedió a comparar sus características físico-químicas con las especificaciones establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, American Society for Testing and Materials ASTM y las Normas Europeas EN para determinar si el biodiesel B10 se encuentran dentro de los estándares de calidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización del biodiesel en proporción B10 producido a base de aceite de cocina reciclado se procede a realizar la comparación con las normas nacionales e internacionales para determinar si cumplen con los estándares de calidad.

2.8. PRUEBAS DE EMISIONES DE GASES

El método comparativo se enfoca con el objetivo en relacionar los resultados obtenidos mediante pruebas de emisiones de gases de escape con combustible fósil y biocombustible. Definiendo que tipo de combustible reduce las emisiones producidas por la combustión «NO_x, CO, HC, Material particulado» a diferentes revoluciones del motor. (Barriga, 2020) Las pruebas de emisiones se realizaron con la ayuda del analizador de gases Brain Bee AGS - 688, se procedió a conectar los filtros y componentes en el equipo para poder utilizarlo, a continuación, se describe el procedimiento:

1. Conectar los elementos externos del analizador de gases.
2. Limpiar la sonda.
3. Encender el equipo de medición de gases durante 5 minutos y esperar hasta que se calibre automáticamente en cero.
4. Introducir la sonda y adherirla al tubo de escape.

La medición de gases contaminantes junto con las pruebas de torque y potencia se realizaron primero utilizando combustible diésel Premium en los vehículos de prueba, a continuación, se les adaptó un tanque externo con sus respectivas mangueras y filtros para utilizar biodiesel B10 a base de aceite usado y proceder de la misma forma a la toma de datos tanto de emisiones como de torque y potencia.

2.9. PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA EN EL DINAMÓMETRO

Para la realización de las pruebas de torque y potencia en el dinamómetro se procedió con los siguientes pasos:

- Colocar las ruedas motrices del automotor en los rodillos del dinamómetro.
- Anclar el vehículo con la utilización de correas de sujeción formando una x desde el chasis hasta las argollas que se encuentran empotradas en el suelo y se tensiona.
- Proveer de corriente eléctrica al computador.
- Esperar mientras se enciende el quipo.
- Presionar la tecla ESC para ingresar al software.
- Ingresar los siguientes datos en el software.
 - Nombre del técnico operador.
 - Nombre del cliente o usuario.
 - Modelo del vehículo.
 - Cilindraje.
 - Tipo de combustible.
 - Tipo de motor.
 - Tracción.
- Presionar Enter para guardar los datos ingresados.
- Seleccionar la potencia de la ficha técnica
- Se procedió a realizar las pruebas siguiendo el siguiente procedimiento:
- Encender el vehículo.
- Verificar la temperatura del motor, debe estar entre 75 – 90 °C.
- Establecer la velocidad de salida en 50 km/h, esta es la velocidad donde las curvas de torque y potencia se generan.
- Incrementar la velocidad paulatinamente hasta llegar a su máxima velocidad.
- Reducir la velocidad hasta el régimen de ralentí.
- Mantener en reposo el vehículo y realizar nuevamente las pruebas acordes al número de repeticiones establecidas.

2.10. FICHA TÉCNICA DEL VEHÍCULO

El chevrolet Luv D max es un vehículo de tipo pick up, es un modelo fabricado en el año 2011 y el motor de combustión interna es enviada la propulsión a las ruedas traseras. En la tabla 2.7 muestra las especificaciones del motor

Tabla 2. 7 Especificaciones del vehículo

Potencia máxima	79 CV @ 3800rpm.
Potencia por litro	31.7 CV/l
Par máximo	180 Nm @ 1200rpm.
Posición del motor	Frontal, transversal
Cilindrada -real-	2492 cm ³
Número de cilindros	4
Distribución de los cilindros	En línea
Número de válvulas por cilindro	2
Sistema de combustible	Diesel – estándar de inyección diésel (IDE)
Aspiración del motor	Turbocompresor
Distribución	DOHC

Fuente: (Chevrolet, 2011, pág. 1)

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL BIODIÉSEL B10 A BASE DE ACEITE RECICLADO DE COCINA

Las pruebas de caracterización se realizaron en la Universidad Central del Ecuador, en la Facultad de Ingeniería Química, en el departamento de petróleos, energía y contaminación. La muestra fue ingresada el 05-02-2021 para su análisis, el código de la muestra 21-032.1.

3.1.1. TABLA DE RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS DEL BIODIESEL A BASE DE ACEITE RECICLADO DE COCINA

En la tabla 3.1 se encuentran los métodos de ensayo realizados para cada uno de las pruebas. Los métodos utilizados por el departamento de petróleos, energía y contaminación toman como referencia las normas internacionales desarrolladas por la organización ASTM para el desarrollo de cada una de las pruebas.

Tabla 3. 1 Resultados de la caracterización B10

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO
DENSIDAD A 15°C	kg/m ³	MÉTODO INTERNO	846
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	72,1
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)	%V	ASTM D-1796	0
AGUA POR DESTILACIÓN	%V	ASTM D-95	<0,05
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	3,58

Tabla 3.1 Resultados de la caracterización B10 (Continuación...)

CENIZAS SULFATADAS	%P	ASTM D-482	0,022
AZUFRE	%P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,072
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE CU	UNIDAD DE CORROSIÓN	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1a
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90% RECUPERADO	°C	ASTM D-86	340,5
ÍNDICE DE CETANO		FORMULA Y COMPARACIÓN	52
PUNTO DE ESCURRIMIENTO	°C	ASTM D-97	-12
CALCIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	13,689
POTASIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	6,007
MAGNESIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	13,397
SODIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	48,137

Fuente: (DPEC, 2021)

3.1.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL BIODIESEL ENTRE LAS NORMAS INEN, ASTM Y EN

A continuación, se muestran las normas ASTM, EN e INEN para su comparación con los resultados obtenidos de la caracterización realizada en la Universidad Central del Ecuador. Para comparar las características que se encuentran dentro del rango establecido por las Normas nacionales e internacionales.

Tabla 3. 2 Comparación de resultados con las Normas ASTM, EN e INEN

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
DENSIDAD A 15°C	kg/m ³	MÉTODO INTERNO	846	860 a 900	860 a 900	860 a 900
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	72,1	93	120	120
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)	%V	ASTM D-1796	0	0,05	0,05	0,05
AGUA POR DESTILACIÓN	%V	ASTM D-95	<0,05	-	-	0,05
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	3,58	1,9 a 6,0	3,5 a 5,0	3,5 a 5,0
CENIZAS SULFATADAS	%P	ASTM D-482	0,022	0,02	0,02	0,02
AZUFRE	%P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,072	0,05	0,001	0,001
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE CU	UNIDAD DE CORROSIÓN	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1a	Clase 3	Clase 1	Clase 3
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90% RECUPERADO	°C	ASTM D-86	340,5	360	-	360
ÍNDICE DE CETANO	-	FORMULA Y COMPARACIÓN	52	47	51	49
PUNTO DE ESCURRIMIENTO	°C	ASTM D-97	-12	-	-	-
CALCIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	13,689	5	5	5
POTASIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	6,007	5	5	5
MAGNESIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	13,397	5	5	5
SODIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	48,137	5	-	-
NOTA: Condiciones Ambientales. Presión: 543,8 a 542,7 mmHg; Temperatura: 19,1 a 19,4 °C						

Fuente: (DPEC, 2021)

Los resultados de la caracterización del biodiesel B10 elaborados, al ser comparados con las normativas muestran ciertas características que no cumplen con los estándares de las normativas como: Densidad, Punto de inflamación, Calcio, Potasio, Magnesio y Sodio.

3.1.2.1. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA DENSIDAD A 15°C CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método interno utilizado por el DPEC para la densidad del biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado es de 846 Kg/m³ y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyos rangos de valores varían entre 860 Kg/m³ como mínimo y 900 Kg/m³ como máximo. Esto quiere decir que la densidad del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina no cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 3 Comparación densidad a 15°C

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
DENSIDAD A 15°C	kg/m ³	MÉTODO INTERNO	846	860 a 900	860 a 900	860 a 900

3.1.2.2. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PUNTO DE INFLAMACIÓN CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método PNE/DPEC/P/ASTM D-93 utilizado por el DPEC para el punto de inflamación del biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado es de 72°C y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyos rangos de valores varían entre 93°C para la Norma ASTM y 120°C para las normas EN e INEN. Esto quiere decir que el punto de inflamación del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina no cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 4 Comparación Punto de Inflamación

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	72,1	93	120	120

3.1.2.3. Comparación de los resultados de la sedimento básico y agua (%bsw) con las normas ASTM, EN e INEN

Los resultados obtenidos por medio del método ASTM D-1796 utilizado por el DPEC para el sedimento básico y agua (%BSW) del biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado es de 0% V y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyos rangos de valores son de 0,05 %V para todas normas. Esto quiere decir para el sedimento básico y agua (%BSW) del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 5 Comparación Sedimento básico y agua (%BSW)

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)	%V	ASTM D-1796	0	0,05	0,05	0,05

3.1.2.4. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL AGUA POR DESTILACIÓN CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método ASTM D-95 utilizado por el DPEC para el agua por destilación del biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado es de <0,05% V y comprando el valor obtenido con la norma INEN cuyo rango de valor es de 0,05 %V. Esto quiere decir que para el agua por destilación del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 6 Comparación agua por destilación

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
AGUA POR DESTILACIÓN	%V	ASTM D-95	<0,05			0,05

3.1.2.5. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método PNE/DPEC/P/ASTM D-445 utilizado por el DPEC para la viscosidad cinemática del biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado es de 3,58 cSt y comprando el valor obtenido con las diferentes normas nacionales e internacionales cuyos rangos de valores varían para la norma ASTM van desde 1,9 cSt a 6,0 cSt y para las normas INEN y EN van desde 3,5 cSt a 5,0 cSt. Esto quiere decir que la viscosidad cinemática del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 7 Comparación Viscosidad cinemática a 40°C

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	3,58	1,9 a 6,0	3,5 a 5,0	3,5 a 5,0

3.1.2.6. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LAS CENIZAS SULFATADAS CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método ASTM D-482 utilizado por el DPEC para las cenizas sulfatadas del biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado es de 0,022 %P y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyos valores es de 0,02 %P. Esto quiere decir que las cenizas sulfatadas del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina cumplen con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 8 Comparación Cenizas Sulfatadas

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
CENIZAS SULFATADAS	%P	ASTM D-482	0,022	0,02	0,02	0,02

3.1.2.7. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE AZUFRE CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294 utilizado por el DPEC para la prueba de azufre del biodiesel B10 es de 0,072 %P y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyos rangos de valores varían para la norma ASTM es de 0,05 %P y para las normas INEN y EN son de 0,001 %P. Esto quiere decir que el azufre del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina no cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 9 Comparación Azufre

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
AZUFRE	%P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,072	0,05	0,001	0,001

3.1.2.8. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método PNE/DPEC/P/ASTM D-130 utilizado por el DPEC para la corrosión a la lámina de cobre del biodiesel B10 es de 1a y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM e INEN es de clase 3 y para la norma EN es de Clase 1. Esto quiere decir que corrosión a la lámina de cobre del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina cumple con los rangos establecidos por las normas.

Tabla 3. 10 Comparación Corrosión a la lámina de Cu

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE CU	UNIDAD DE CORROSIÓN	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1a	Clase 3	Clase 1	Clase 3

3.1.2.9. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90% RECUPERADO CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método ASTM D-86 utilizado por el DPEC para la temperatura de destilación al 90% recuperado del biodiesel B10 es de 340,5 °C y comparando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM e INEN cuyos rangos de valores es de 360 °C. Esto quiere decir que la temperatura de destilación al 90% recuperado del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina no cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 11 Comparación a la Temperatura de destilación al 90% recuperado

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90% RECUPERADO	°C	ASTM D-86	340,5	360		360

3.1.2.10. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE CETANO CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio de una fórmula para calcular el índice de cetano, utilizando los datos de la caracterización y realizando una comparación para verificar la autenticidad de los resultados. Se calculó que índice de cetano del biodiesel B10 es de 52 y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyos rangos de valores varían entre 47 como mínimo y 51 como máximo. Esto quiere decir que el

índice de cetano para el biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina cumple con los rangos establecidos por las normas.

Tabla 3. 12 Comparación de Índice de cetano

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
ÍNDICE DE CETANO		FORMULA Y COMPARACIÓN	52	47	51	49

Índice Cetano calculado = $454,74 - 1641,416 D + 774,74 D^2 - 0,554 B + 97,803 (\log B)^2$

En donde:

D = Densidad a 15 °C, g/ml, determinada por el Método de Ensayo ASTM D1298 o ASTM D4052.

B = Temperatura media de ebullición, ° C, determinada mediante el Método de Ensayo ASTM D86 y corregida a presión barométrica estándar.

Datos

D=0,8521

B=360

Resultado

Índice de cetano = 52

3.1.2.11. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA PUNTO DE ESCURRIMIENTO CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método ASTM D-97 utilizado por el DPEC para el punto de escurrimiento del biodiesel B10 es de -12 °C. Para el punto de escurrimiento del biodiesel no existen límites establecidos por la norma, por lo tanto, cumple con los requerimientos para su utilización.

Tabla 3. 13 Comparación Punto de escurrimiento

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
PUNTO DE ESCURRIMIENTO	°C	ASTM D-97	-12			

3.1.2.12. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL CALCIO CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B utilizado por el DPEC para el calcio del biodiesel B10 es de 13,689 mg/kg y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyos rangos de valores es 5 mg/kg. Esto quiere decir que el calcio para el biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina no cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 14 Comparación Calcio

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
CALCIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	13,689	5	5	5

3.1.2.13. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL POTASIO CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B utilizado por el DPEC para el potasio del biodiesel B10 es de 6,007 mg/kg y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyos límites son de 5 mg/kg. Esto quiere decir que el potasio para el biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina no cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 15 Comparación Potasio

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
POTASIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	6,007	5	5	5

3.1.2.14. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MAGNESIO CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B utilizado por el DPEC para el magnesio del biodiesel B10 es de 13,397 mg/kg y comprando el valor obtenido con las diferentes normas ASTM, EN e INEN cuyo valor es de 5 mg/kg. Esto quiere decir que el magnesio para el biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina no cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 16 Comparación Magnesio

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
MAGNESIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	13,397	5	5	5

3.1.2.15. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL SODIO CON LAS NORMAS ASTM, EN E INEN

Los resultados obtenidos por medio del método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B utilizado por el DPEC para el sodio del biodiesel B10 es de 48,137 mg/kg y comprando el valor obtenido con la norma ASTM cuyo límite es de 5mg/kg, ya que para la norma EN e INEN no tiene rangos de límites en sus normas. Esto quiere decir que el sodio para el biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina no cumple con los rangos mínimos establecidos por las normas.

Tabla 3. 17 Comparación Sodio

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	NORMA ASTM	NORMA EN	NORMA INEN
SODIO	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D-5056/ APHA3111B	48,137	5		

3.2. EMISIONES DE GASES

3.2.1. COMPARACIÓN GASES DIÉSEL – BIODIÉSEL B10

3.2.1.1. MONÓXIDO DE CARBONO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la medición monóxido de carbono en ralentí, 2000 rpm y 3000 rpm utilizando el analizador de gases en las pruebas realizadas al vehículo Luv D-max, empleando combustible diésel premium y la mezcla de biocombustible a base de aceite de cocina reciclado en proporción B10.

Tabla 3. 18 Comparación monóxido de carbono

MONÓXIDO DE CARBONO						
COMBUSTIBLE	RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PROMEDIO
DIÉSEL	RALENTÍ	0,1	0,09	0,067	0,062	0,080
	2000	0,384	0,385	0,343	0,33	0,361
	3000	0,083	0,086	0,063	0,051	0,071
BIODIÉSEL	RALENTÍ	0,08	0,06	0,06	0,06	0,065
	2000	0,177	0,142	0,161	0,179	0,165
	3000	0,043	0,043	0,052	0,039	0,044

Las emisiones a ralentí registraron un promedio 0,080% Vol. CO utilizando diésel premium, las que mismas que disminuyen a 0,065% Vol. CO cuando se realizaron las pruebas con el biocombustible, obteniendo 0,217 % Vol CO menos a este régimen de motor.

En el régimen de 2000 rpm los resultados promedios en las emisiones de CO con diésel premium registraron disminución al utilizar biodiesel B10, disminuyendo de 0,361 % Vol. CO a 0,165 % Vol. CO con una disminución de 0,169 % Vol. CO.

En la prueba a 3000 rpm los resultados promedios de las emisiones de CO con diésel premium registraron una disminución al utilizar biodiesel B10, disminuyendo de 0,071 % Vol. CO a 0,044 % Vol. CO que implica 0,027 % Vol CO de reducción de emisiones.

En la figura 3.1 se observa la reducción de las emisiones de los monóxidos de carbono utilizando biodiésel en proporciones B10. Se analizaron las emisiones durante la fase de ralentí a 2000 rpm y 3000 rpm.

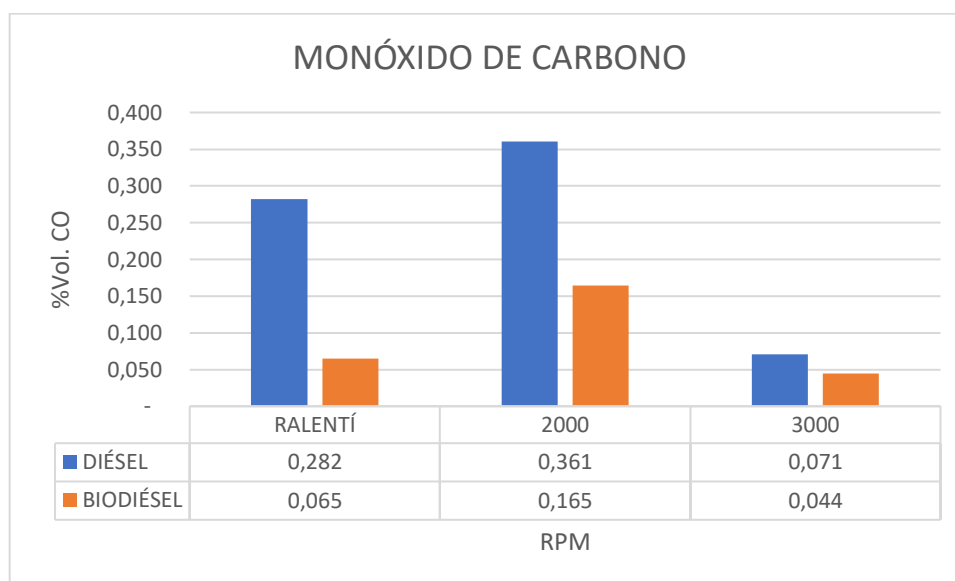


Figura 3. 1 Emisiones de Monóxido de Carbono

3.2.1.2. DIÓXIDO DE CARBONO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la medición del dióxido de carbono en ralentí, 2000 rpm y 3000 rpm utilizando el analizador de gases en las pruebas realizadas al vehículo Luv D-max, empleando combustible diésel premium y la mezcla de biocombustible a base de aceite de cocina reciclado en proporción B10.

Tabla 3. 19 Comparación Dióxido de Carbono

DIÓXIDO DE CARBONO						
COMBUSTIBLE	RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PROMEDIO
DIÉSEL	RALENTÍ	2,2	2,1	2,1	2	2,10
	2000	2,4	2,5	2,6	2,4	2,48
	3000	2,9	3	2,9	2,9	2,93
BIODIÉSEL	RALENTÍ	2,1	2,1	2	2	2,05
	2000	2,4	2,5	2,4	2,3	2,40
	3000	3	2,8	2,9	3	2,93

Las emisiones a ralentí registraron un promedio 2,10% Vol. CO₂ utilizando diésel premium, las que mismas que disminuyen 2,05% Vol. CO₂ cuando se realizaron las pruebas con el biocombustible, obteniendo 0,05 % Vol CO₂ menos a este régimen de motor.

En el régimen de 2000 rpm los resultados promedios en las emisiones de CO con diésel premium registraron disminución al utilizar biodiésel B10, disminuyendo de 2,48 % Vol. CO₂ a 2,40 % Vol. CO₂ con una disminución de 0,08 % Vol. CO₂.

En la prueba a 3000 rpm los resultados promedios de las emisiones de CO₂ con diésel premium y biodiésel B10 se, obteniendo de 2,93 % Vol. CO₂.

En la figura 3.2 se observa la mínima reducción de las emisiones de los dióxidos de carbono utilizando biodiésel en proporciones B10. Se analizaron las emisiones durante la fase de ralentí a 2000 rpm y 3000 rpm.

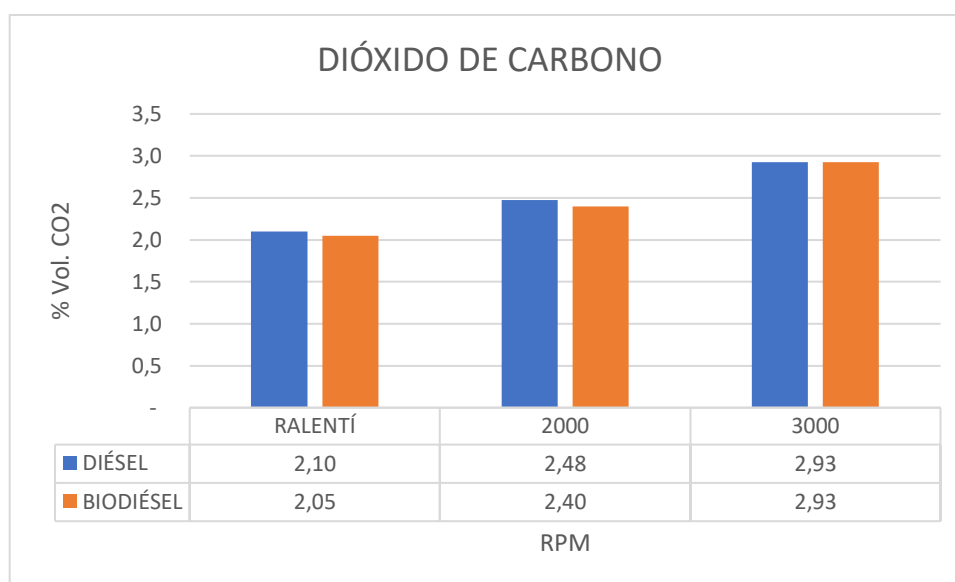


Figura 3. 2 Emisiones de Dióxido de Carbono

3.2.1.3. HIDROCARBUROS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la medición hidrocarburos en ralentí, 2000 rpm y 3000 rpm utilizando el analizador de gases en las pruebas realizadas al vehículo Luv D-max, empleando combustible diésel premium y la mezcla de biocombustible a base de aceite de cocina reciclado en proporción B10.

Tabla 3. 20 Comparación hidrocarburos

HIDROCARBUROS						
COMBUSTIBLE	RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PROMEDIO
DIÉSEL	RALENTÍ	22	26	29	32	27
	2000	107	110	94	102	103
	3000	35	41	40	38	39
BIODIÉSEL	RALENTÍ	15	18	18	23	18,5
	2000	48	42	42	62	48,5
	3000	23	20	21	33	24,3

Las emisiones a ralentí registraron un promedio 27 ppm% Vol. HC utilizando diésel premium, las que mismas que disminuyen a 18,5 ppm% Vol. HC cuando se realizaron las pruebas con el biocombustible, obteniendo 8,5 ppm% Vol HC menos a este régimen de motor.

En el régimen de 2000 rpm los resultados promedios en las emisiones de HC con diésel premium registraron disminución al utilizar biodiesel B10, disminuyendo de 103 ppm% Vol. HC a 48,5 ppm% Vol. HC con una disminución de 54.5 ppm% Vol. HC.

En la prueba a 3000 rpm los resultados promedios de las emisiones de HC con diésel premium registraron una disminución al utilizar biodiesel B10, disminuyendo de 39 ppm %Vol. HC a 24,3 ppm %Vol. HC que implica 14,7 ppm %Vol HC de reducción de emisiones.

En la figura 3.3 se observa la reducción de las emisiones de los hidrocarburos utilizando biodiesel en proporciones B10. Se analizaron las emisiones durante la fase de ralentí a 2000 rpm y 3000 rpm.

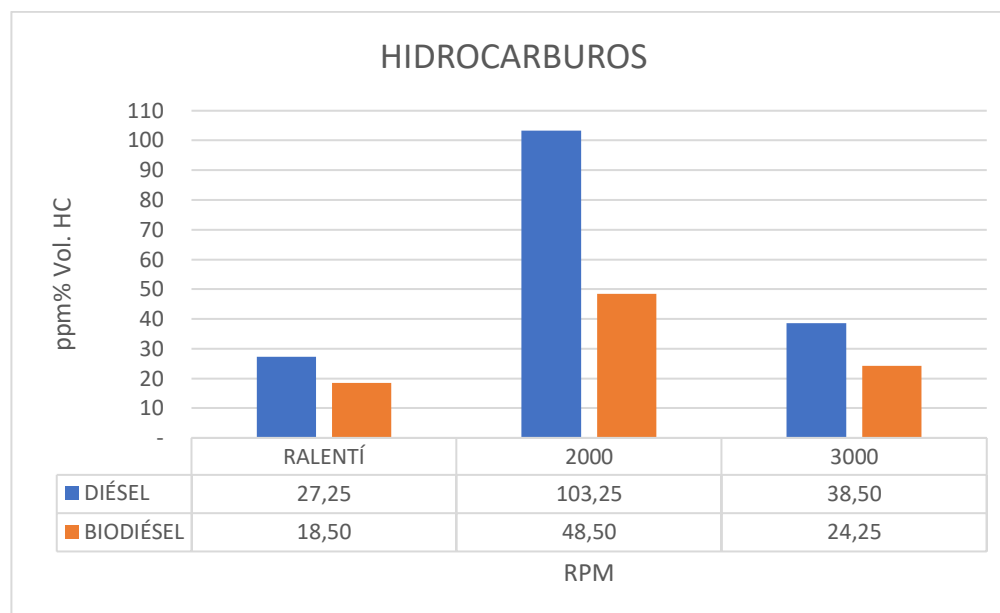


Figura 3. 3 Emisiones de Hidrocarburos

3.2.1.4. OXÍGENO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la medición de oxígeno en ralentí, 2000 rpm y 3000 rpm utilizando el analizador de gases en las pruebas realizadas al vehículo Luv D-max, empleando combustible diésel premium y la mezcla de biocombustible a base de aceite de cocina reciclado en proporción B10.

Tabla 3. 21 Comparación Oxígeno

OXÍGENO						
COMBUSTIBLE	RPM	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PROMEDIO
DIÉSEL	RALENTÍ	17,79	18,03	17,95	17,94	17,93
	2000	17,16	17,11	16,82	17,18	17,07
	3000	16,93	16,93	16,91	16,89	16,92
BIODIÉSEL	RALENTÍ	18,02	18	17,93	17,93	17,97
	2000	17,52	17,31	17,25	17,48	17,39
	3000	16,93	16,95	16,78	16,92	16,90

Las emisiones a ralentí registraron un promedio 17,93% Vol. O₂ utilizando diésel premium, las que mismas que aumentaron a 17,97% Vol. O₂ cuando se realizaron las pruebas con el biocombustible, obteniendo un aumento de 0,04 % Vol O₂.

En el régimen de 2000 rpm los resultados promedios en las emisiones de O₂ con diésel premium registraron un aumento al utilizar biodiésel B10, aumentando de 17,07 % Vol. O₂ a 17,39 % Vol. O₂ con un aumento de 0,32 % Vol. O₂.

En la prueba a 3000 rpm los resultados promedios de las emisiones de O₂ con diésel premium registraron una disminución al utilizar biodiésel B10, disminuyendo de 16,92 % Vol. O₂ a 16,90 % Vol. O₂ que implica 0,02 % Vol O₂ de reducción de emisiones.

En la figura 3.4 se observa la reducción de las emisiones en el oxígeno utilizando biodiésel en proporciones B10. Se analizaron las emisiones durante la fase de ralentí a 2000 rpm y 3000 rpm.

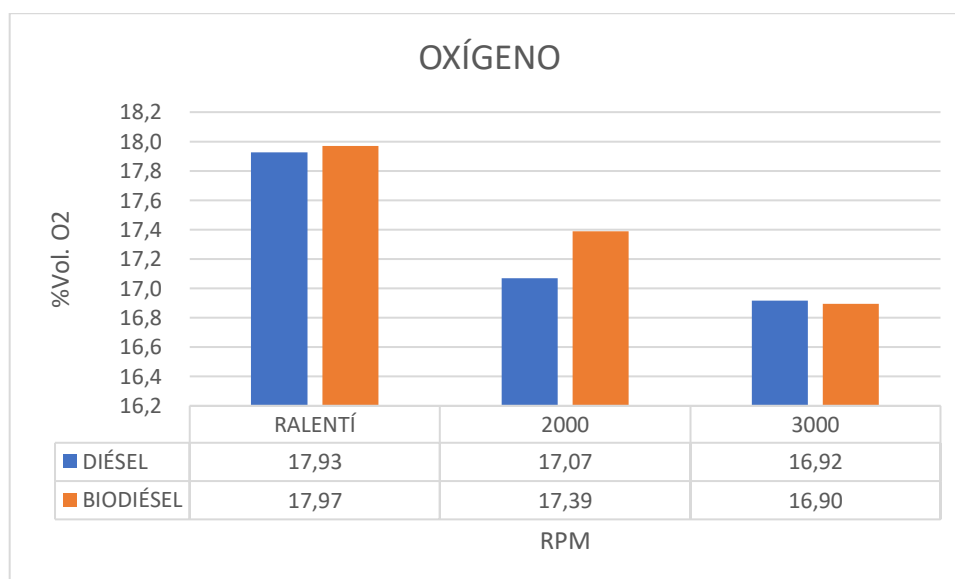


Figura 3. 4 Emisiones de Oxigeno

3.2.2. OPACIDAD

Los resultados de opacidad del vehículo Chevrolet Luv D-max en las pruebas realizadas utilizando el analizador de gases brain bee, se presentan a continuación.

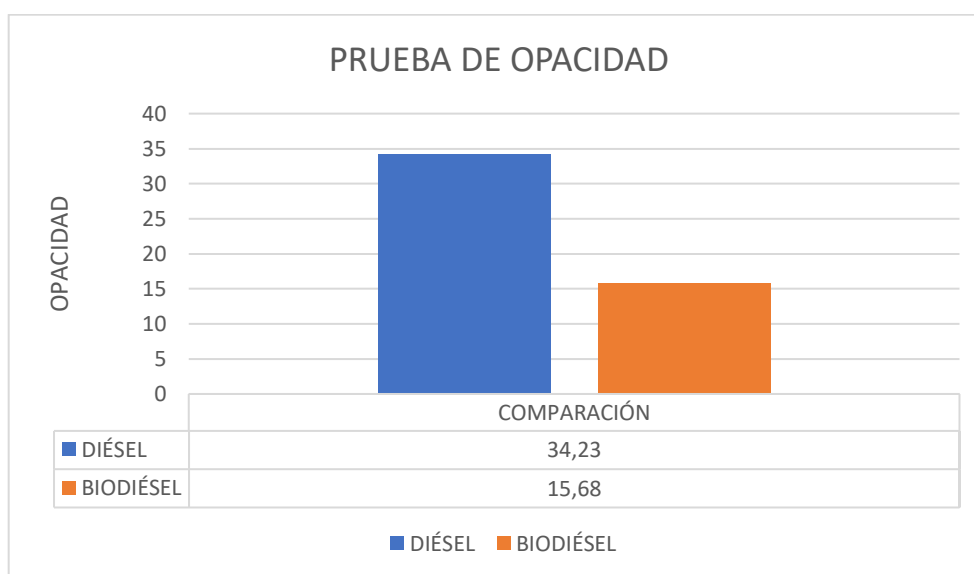
Tabla 3. 22 Resultados de opacidad

PRUEBA DE OPACIDAD		
NÚMERO DE PRUEBA	DIÉSEL	BIODIÉSEL
PRUEBA 1	32,1	18,4
PRUEBA 2	34,9	17,1
PRUEBA 3	33,1	14,3
PRUEBA 4	36,8	12,9
Promedio	34,23	15,68

En las pruebas realizadas se obtuvo una disminución del valor de opacidad, empleando el biocombustible B10 en comparación a los datos registrados en el analizador de gases utilizando diésel premium, en promedio se obtuvo 15,68 % con biodiesel B10 y 34,23% con diésel premium.

Tomando en cuenta el promedio obtenido de las pruebas de opacidad entre diésel y biodiesel, se obtuvo una reducción de la opacidad del 54.19%.

En la figura 3.5 se muestra la reducción de la opacidad entre el diésel y utilizando biodiesel en proporciones B10 a base de aceite de cocina reciclado.

**Figura 3. 5** Valores comparativos de opacidad

3.3. PRUEBAS DINAMOMÉTRICAS

3.3.1. TORQUE

3.3.1.1. TORQUE CON COMBUSTIBLE DIÉSEL

A continuación, se muestran los resultados del torque máximo del motor de la camioneta Luv D-max en las pruebas realizadas en el dinamómetro utilizando diésel premium, se clasifican según el régimen de giro (rpm), la velocidad del torque.

Tabla 3. 23 Resultados de torque diésel premium

PRUEBA N °	REVOLUCIONES (rpm)	VELOCIDAD (Km/h)	TORQUE DIÉSEL (Nm)
1	2365	75	165
2	1998	64	173
3	1939	62	169
4	1923	61	167
5	2385	76	164
PROM	2122	67,6	167,6

En las pruebas realizadas se concluye que este vehículo presenta un máximo torque de 173 Nm @ 1998 rpm y un mínimo torque de 164Nm @ 2385rpm, el torque promedio de las 5 pruebas se determinó en 167,6 Nm @ 2122 rpm a una velocidad de 67,6 km/h.

En la figura 3.6 se muestra una gráfica promedio de las cinco pruebas realizadas con diésel en el dinamómetro y el torque obtenido por el vehículo de pruebas en relación con la velocidad.

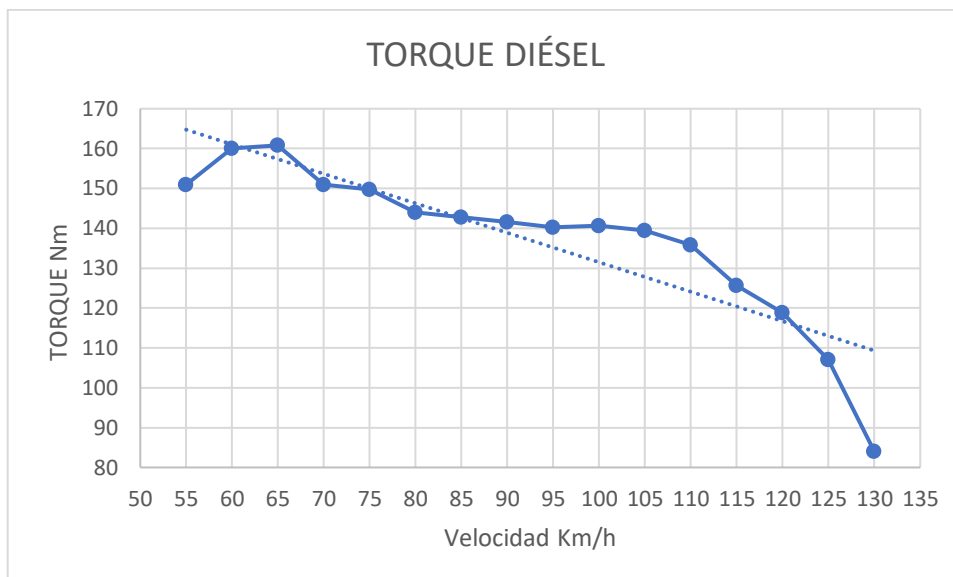


Figura 3. 6 Gráfica de torque con diésel

3.3.1.2. TORQUE CON COMBUSTIBLE BIODIÉSEL B10

A continuación, se muestran los resultados del torque máximo del motor de la camioneta Luv D-max en las pruebas realizadas en el dinamómetro utilizando biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado, se clasifican según el régimen de giro (rpm), la velocidad del torque.

Tabla 3. 24 Resultados de torque Biodiesel B10

PRUEBA N°	REVOLUCIONES (rpm)	VELOCIDAD (Km/h)	TORQUE B10 (Nm)
1	1942	62	172
2	2203	70	165
3	2248	72	166
4	1668	53	164
5	2314	74	168
PROM	1675	66,2	167

En las pruebas realizadas se concluye que este vehículo presenta un máximo torque de 172 Nm @ 1942 rpm y un mínimo torque de 164Nm @ 1668 rpm, el torque promedio de las 5 pruebas se determinó en 167Nm @ 1675rpm a una velocidad de 66,2 km/h.

En la figura 3.7 se muestra el torque promedio de las cinco pruebas realizadas en el vehículo de pruebas utilizando biodiesel B10 a base de aceite cocina reciclado en relación con la velocidad del vehículo.

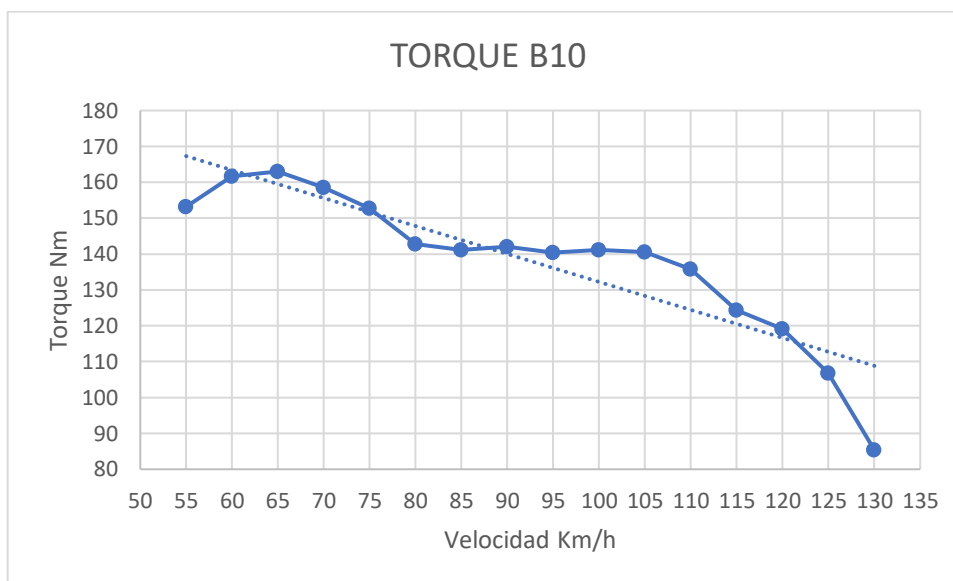


Figura 3. 7 Gráfica de torque con B10

3.3.1.3. COMPARACIÓN TORQUE DIÉSEL - BIODIÉSEL B10

Se compararon los resultados de las pruebas realizadas utilizando diésel premium y biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado para determinar que combustible presenta mejor desempeño del torque en la camioneta Luv D-max.

Tabla 3. 25 Resultados de la comparación entre Diésel y Biodiesel B10

COMBUSTIBLE	REVOLUCIONES (rpm)	VELOCIDAD (Km/h)	TORQUE
DIÉSEL	2122	67,6	167,6
B10	1675	66,2	167
VARIACIÓN	-447	-1,4	-0,6

Analizando los resultados se determinó que empleando biodiesel B10 a base de aceite de cocina el torque disminuye de 167,6 Nm @ 2122 rpm a 167 Nm @ 1675 rpm, esto representa una disminución relativamente baja de 0,6 Nm utilizando combustible B10, aunque el torque conseguido con biodiesel B10 es conseguido a 447 revoluciones menor.

A continuación, se presenta de manera gráfica los resultados de las pruebas realizadas en la medición del torque máximo, empleando los dos tipos de combustibles diésel premium y biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado, obteniendo como resultado una disminución

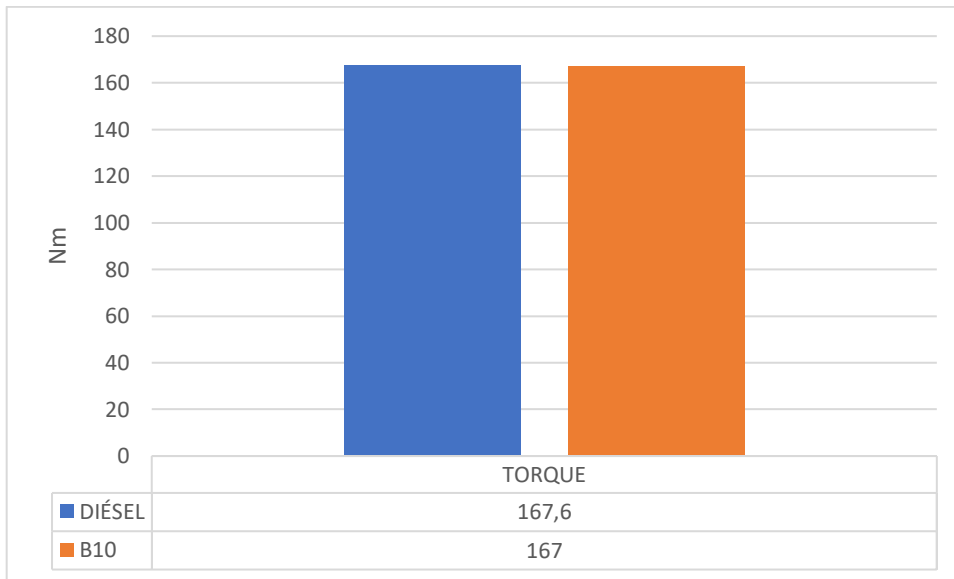


Figura 3. 8 Valores comparativos de Torque

En la figura 3.9 se muestra la gráfica comparativa de torque entre diésel y biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado en función de la velocidad del vehículo de pruebas.

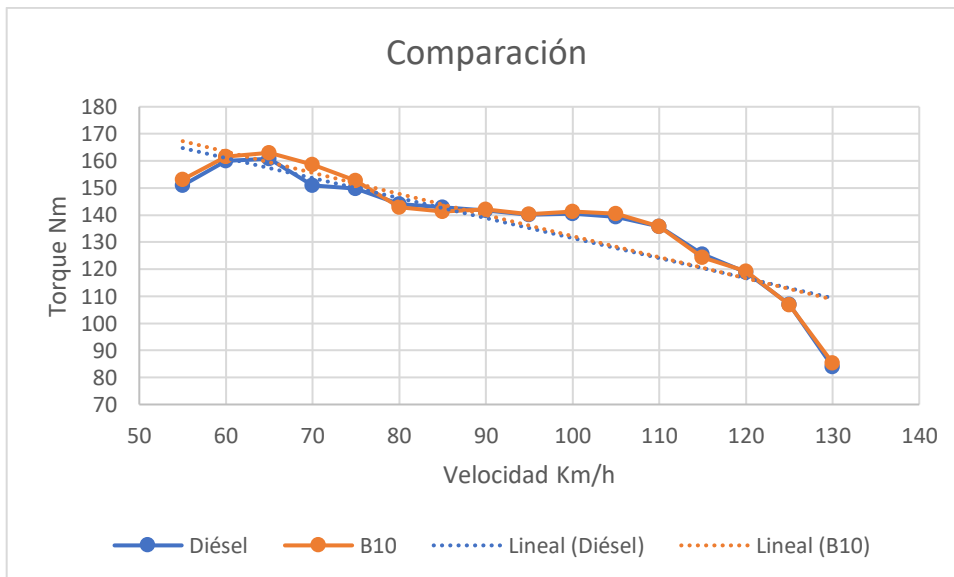


Figura 3. 9 Comparación de gráfica de torque Diésel – B10

3.3.2. POTENCIA

3.3.2.1. POTENCIA CON COMBUSTIBLE DIÉSEL

A continuación, se muestran los resultados de potencia máxima del motor de la camioneta Luv D-max en las pruebas realizadas en el dinamómetro utilizando diésel premium, se clasifican según el régimen de giro (rpm), la velocidad del torque.

Tabla 3. 26 Resultados de potencia diésel premium

PRUEBA N °	REVOLUCIONES (rpm)	VELOCIDAD (Km/h)	POTENCIA DIÉSEL (Hp)
1	3396	108	66,5
2	3427	109	67,6
3	3413	109	66,5
4	3437	110	61,6
5	3440	110	67
PROM	3422,6	109,2	65,84

En las pruebas realizadas se concluye que este vehículo presenta una máxima potencia de 67,6 Hp @ 3427 rpm y una mínima potencia de 61,6 Hp @ 3437 rpm, la potencia promedio de las 5 pruebas se determinó en 65,84 Hp @ 3422,6 rpm a una velocidad de 109,2 km/h.

En la figura 3.10 se muestra la gráfica de potencia promedio de las cinco pruebas realizadas con diésel en el vehículo, esta gráfica está en función con la velocidad.

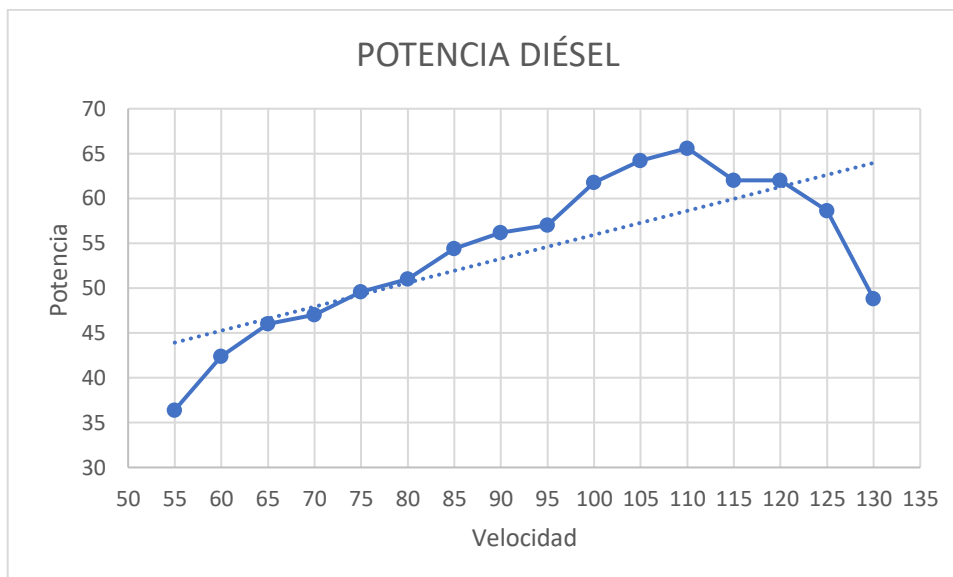


Figura 3. 10 Gráfica de potencia con diésel

3.3.2.2. POTENCIA CON COMBUSTIBLE BIODIÉSEL B10

A continuación, se muestran los resultados de la potencia máxima del motor de la camioneta Luv D-max en las pruebas realizadas en el dinamómetro utilizando biodiésel B10 a base de aceite de cocina reciclado, se clasifican según el régimen de giro (rpm), la velocidad del torque.

Tabla 3. 27 Resultados de potencia biodiésel B10

PRUEBA N°	REVOLUCIONES (rpm)	VELOCIDAD (Km/h)	POTENCIA B10 (Hp)
1	3376	108	66,9
2	3392	108	66,3
3	3418	109	66,2
4	3429	109	66
5	3456	110	65,7
PROM	3414,2	108,8	66,22

En las pruebas realizadas se concluye que este vehículo presenta una potencia máxima de 66,9 Hp @ 3376 rpm y una mínima potencia de 65,7 @ 3456 rpm, el promedio de las 5 pruebas se determinó en 66,22 Hp @ 3414,2 rpm a una velocidad de 108,8 km/h.

En la figura 3.11 se muestra la gráfica de potencia promedio de las cinco pruebas realizadas en el vehículo con biodiésel B10 a base de aceite de cocina reciclado.

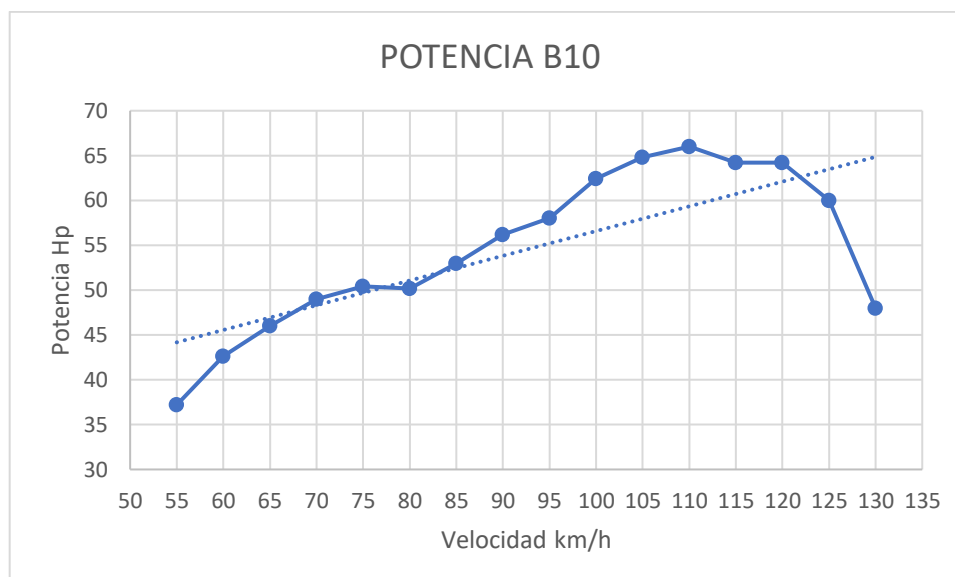


Figura 3. 11 Gráfica de potencia con B10

3.3.2.3. COMPARACIÓN POTENCIA DIÉSEL – BIODIÉSEL B10

Se compararon los resultados de las pruebas realizadas utilizando diésel premium y biodiésel B10 a base de aceite de cocina reciclado para determinar que combustible presenta mejor desempeño de la potencia en la camioneta Luv D-max.

Tabla 3. 28 Resultados de comparación entre diésel y biodiésel B10

COMBUSTIBLE	REVOLUCIONES (rpm)	VELOCIDAD (Km/h)	POTENCIA (Hp)
DIÉSEL	3422,6	109,2	65,84
B10	3414,2	108,8	66,22
VARIACIÓN	-8,4	-0,4	0,38

Analizando los resultados se determinó que empleando biodiésel B10 a base de aceite de cocina la potencia aumenta de 65,84 Hp @ 3422,6 rpm a 66,22 Hp @ 3414,2 rpm, esto representa un aumento de 0,38 Hp utilizando combustible B10.

A continuación, se presenta de manera gráfica los resultados de las pruebas realizadas en la medición de la potencia máxima, empleando los dos tipos de combustibles diésel premium y biodiésel B10 a base de aceite de cocina reciclado.

En la figura 3.12 se muestra la diferencia de potencia en el vehículo usando diésel y biodiésel en proporciones B10 a base de aceite de cocina reciclado. Para diésel se obtuvo una potencia de 65.84 Hp y para Biodiésel B10 una potencia de 66.22, obteniendo un aumento en la potencia de 0.38 Hp.

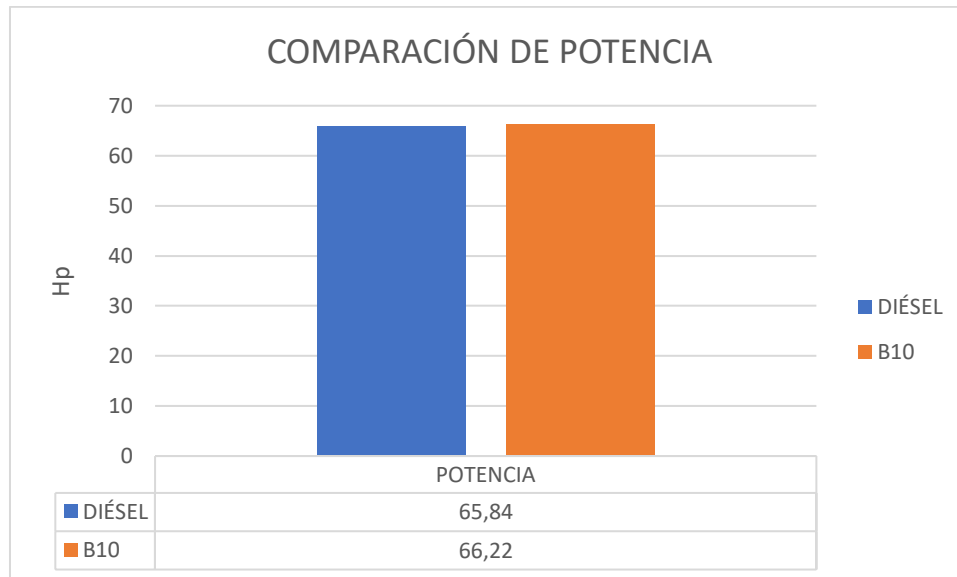


Figura 3. 12 Valores comparativos de potencia

En la figura 3.9 se muestra la gráfica comparativa de torque entre diésel y biodiésel B10 a base de aceite de cocina reciclado en función de la velocidad del vehículo de pruebas.

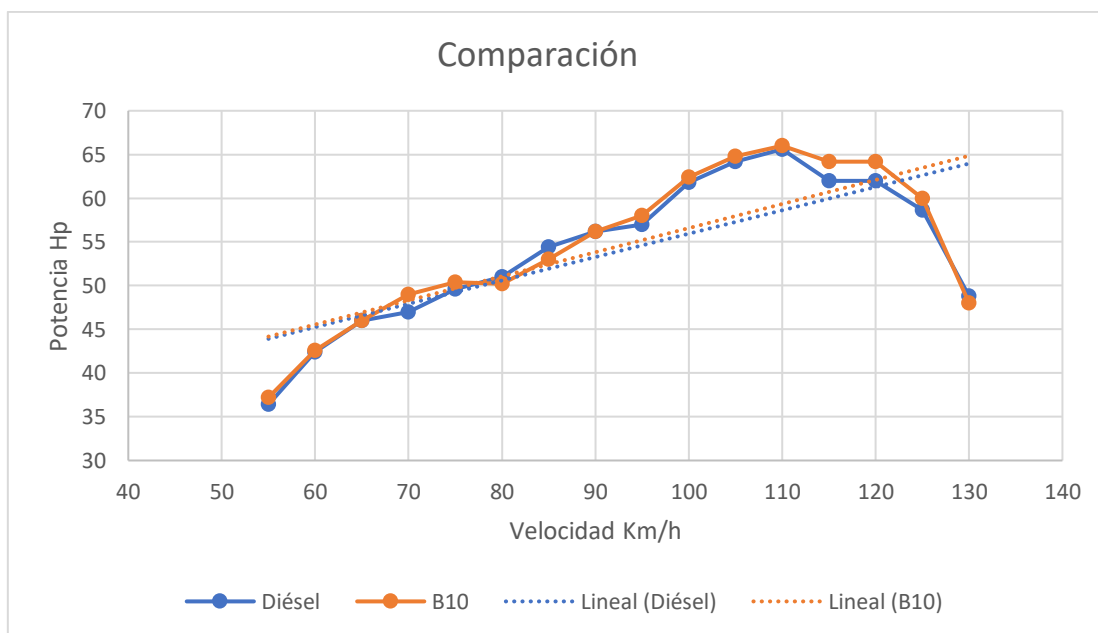


Figura 3. 13 Comparación de gráfica de potencia Diésel – B10

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

4.1. CONCLUSIONES

- Se utilizó el método de transterificación por catálisis básica, como hidróxido de sodio (NaOH) como agente catalizador y metanol. En un reactor discontinuo Batch para realizar el proceso. Al procesar 14 litros de aceite reciclado de cocina obtenido del Ministerio del Ambiente, se obtuvo un rendimiento final del 50% de biodiesel B100, este rendimiento se debe a que la materia prima tiene un índice de acidez alto.
- Al realizar la caracterización físico químicas del biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina, y al ser comparados con las normas ASTM, EN e INEN muestra ciertas propiedades que no cumplen con las normas como la Densidad a 15°C, punto de inflamación, calcio, potasio, magnesio y sodio.
- Al realizar las pruebas de gases se determinó una reducción en las emisiones contaminantes para el monóxido de carbono a ralenti se obtuvo una disminución de 18.75%, a 2000 rpm se redujo un 54.29% y 38.02% a 3000 rpm.
- Al realizar las pruebas de gases se determinó una reducción en las emisiones contaminantes del dióxido de carbono durante el régimen de ralenti las emisiones se redujeron un 2.38%, a 2000 rpm se redujo 3.22 % y las emisiones a 3000 rpm se mantuvieron.
- Al realizar las pruebas de gases se determinó una reducción en emisiones contaminantes de los hidrocarburos, a un régimen de ralenti las emisiones se redujeron un 31.48%, a 2000 rpm se redujo 52.91% y 37.69 a 3000 rpm.
- Al comparar las pruebas de opacidad realizadas en la camioneta Luv D max entre el diésel y el biodiesel B10 se determinó que la opacidad se redujo de 34.23 a 15.68, esto quiere decir una reducción del 54.20 % en la opacidad.

- En las pruebas dinamométricas de torque máximo con diésel premium obtuvo 167.6 Nm @ 2122 rpm y 167 Nm @ 1675 rpm empleando biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado, se ha obtenido una reducción del torque del 0.6 Nm, pero se ha conseguido un torque máximo a 447 rpm menor.
- En las pruebas dinamométricas de potencia máxima realizadas al vehículo se obtuvo con diésel premium 65.84 Hp @ 3422.6 rpm y 66.22 Hp @ 3414.2 rpm empleando biodiesel B10 a base de aceite de cocina reciclado, se obtuvo un incremento de 0.38 Hp usando biodiesel B10 a base de aceite reciclado de cocina, mejorando el rendimiento del motor.

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda una esterificación al utilizar aceite reciclado de cocina para reducir el índice de acidez y aumentar el rendimiento de producción del biodiesel.
- Para futuras investigaciones se recomienda el estudio de las emisiones, torque y potencia con diferentes mezclas como Biodiésel B5, B20, etc. Para lograr determinar cuál es la proporción adecuada en términos de reducción de emisiones y un aumento del torque y potencia del motor.
- Realizar estudios de desgaste en diferentes partes del motor al utilizar de manera prolongada el biodiesel a diferentes proporciones.
- Realizar un correcto almacenaje del biocombustible procesado para evitar la pérdida de propiedades y obtener una prolongación en la vida útil del biocombustible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Cortés Sánchez,, M. D., Gata Montero, E. M., Pipió Ternero, A., Rodríguez Rivas, Á., & Sánchez Santos, J. M. (2017). Biocombustibles: tipos y estrategias de producción. *Universidad Pablo de Olavide*, 1-6. Obtenido de <https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero35/Destacado-1.pdf>
2. Hoekman, S., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143–169.
3. Acosta, A. (2012). *Biocombustibles*. Buenos Aires: Academia Nacional de Ingeniería.
4. Al-Hamamre, Z., & Yamin, J. (2014). Parametric study of the alkali catalyzed transesterification of waste. *Energy Conversion and Management*, 246–254.
5. Angamarca, E. (2019). *Repositorio UTN*. Recuperado el 5 de Noviembre de 2020, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9580/2/04%20MAUT%20099%20TRA%20BAJO%20DE%20GRADO%20.pdf>
6. ASTM. (2003). Standart Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels.
7. ASTM. (2009). *Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20)*.
8. Ávila, C., Tunala, J., Erazo, G., Mena, L., & Rodríguez, R. (2014). Reciclaje de aceite vegetal de frituras para uso como biocombustible en motores diesel en diferentes proporciones. *Energía Mecánica Innovación y Futuro*.
9. Balat, M., & Balat, H. (2010). Progress in biodiesel processing. *Applied Energy*, 1815–1835.
10. Barón, M., Huertas, I., & Orjuela, J. (2013). Gestión de la cadena productiva del biodiésel: una revisión de la literatura. *Ingeniería*, 84-117.
11. Basha, S., Gopal, K., & Jebaraj, S. (2009). A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1628–1634.

12. Benjuema, P., Agudelo, J., & Rios, L. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Universidad de Antioquia.
13. Bolívar, G. (20 de Octubre de 2019). *lifeder.com*. Recuperado el 14 de Febrero de 2021, de lifeder.com/hidroxido-de-sodio/
14. Brain Bee. (18 de Febrero de 2021). <https://www.brainbee.mahle.com>. Obtenido de <https://www.brainbee.mahle.com/media/brainbee/product-lines/emission/opa-100/mahle-brain-bee-opa-100-es.pdf>
15. Brain Bee. (18 de Febrero de 2021). <https://www.brainbee.mahle.com/>. Obtenido de http://repuestoscda.com/wp-content/uploads/2018/11/AGS-688_ES.pdf
16. Cabello, C., Rincón, S., & Zepeda, A. (14 de Marzo de 2016). *Catalizadores heterogéneos utilizados para la obtención del biodiesel*. Obtenido de [raco.cat: https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320756/411247](https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320756/411247)
17. Cárdenas, C. (Mayo de 2014). *Repositorio Universidad Central del Ecuador*. Recuperado el 13 de Junio de 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2558/1/T-UC-0017-71.pdf>
18. Chevrolet. (2011). <https://www.auto-data.net/>. Recuperado el 15 de 03 de 2021, de <https://www.auto-data.net/es/chevrolet-luv-d-max-2.5d-79hp-14495>
19. Cordero-Ravelo, V., & Schallenberg-Rodriguez, J. (2018). Biodiesel production as a solution to waste cooking oil (WCO) disposal. *Journal of Environmental Management*, 117–129.
20. Derimbas, A. (2009). Progress and recent trends in biodiesel fuels. *Energy Conversion and Management*, 14-34.
21. DÍAZ CASTILLO, A. F., & VACA ANDRADE, J. A. (2017). *Repositorio UTN*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/7868/1/04%20MAUT%20036%20TRA%20BAJO%20DE%20GRADO.pdf>
22. Echeverría, J. (2018). *Repositorio UTN*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8042/1/04%20MAUT%20053%20TRA%20BAJO%20DE%20GRADO.pdf>
23. García-Díaz, M., Gandón-Hernández, J., & Maqueira-Tamayo, Y. (2012). Estudio de la obtención de biodiesel a partir de aceite comestible usado. *ISPJAE*.

24. Hoekman , k. S., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., & Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143-169.
25. INEC. (2016). *iNFORMACION AMBIENTAL EN HOGARES*.
26. INEN. (2002). *NTE INEN 2207: Gestión ambiental*. Recuperado el 17 de Enero de 2021, de <https://archive.org/details/ec.nte.2207.2002/page/n5/mode/2up>
27. INEN. (2009). Requisitos Biodiesel. *NTE INEN*, 2.
28. INEN. (2020). Obtenido de <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/1640.pdf>
29. INEN, N. (2009). *BIODIESEL*.
30. Kegl, B. (2008). Biodiesel usage at low temperature. *FUEL*, 1306–1317.
31. Knothe, G. (2010). Biodiesel fuel quality and the astm standard. *PALMAS*, 162-171.
32. Leung, D., & Wu, X. (2010). A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Applied Energy*, 13.
33. López Ramirez, N., De los Santos Reyes, I., Jiménez Díaz, A. J., & Palacios Silva, R. (2005). Biodiesel la historia detrás de la moda. *UNICACH*, 6-7.
34. Martín Algarra, R. (15 de Junio de 2010). *Universidad CEU Cardenal Herrera*. Obtenido de Epónimos científicos: http://www.uch.ceu.es/principal/eponimos_cientificos/
35. Martínez Rodríguez, M. (2006). Utilización de aceites vegetales usados para la obtención de Biodiesel. *Universidad Complutense de Madrid* .
36. Meng, X., Wang, Y., & Chen, G. (2008). Biodiesel production from waste cooking oil via alkali catalyst and its engine test. *Fuel Processing Technology*, 851-857.
37. Nelson, K. (2009). ASTM establece las normas para el biodiésel. *ASTM Standardization News*.
38. OCDE-FAO. (2019). *Perspectivas Agrícolas 2019/2028*. Food & Agriculture Org.
39. OMS. (2014). Calidad del aire (exterior) y salud. *Organizacion Mundial de la Salud*.
40. Organización Mundial de la Salud. (28 de Mayo de 2018). *World Health Organization*. Obtenido de World Health Organization: <https://www.who.int/>
41. OWS, (. W. (2014). Produccion Mundial de Biodiesel. *Oil Woeld Stadistic*.

42. Peiró, P. (2015). *Repositorio UPV*. Recuperado el 12 de Febrero de 2021, de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53678/TFG_CFD_1436256958297431374587787462666.pdf?sequence=3
43. Piloto Rodríguez, R. (2010). DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE BIODIÉSEL. *CENIC Ciencias Químicas*, 57-58.
44. Piloto Rodríguez, R. (2010). DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE BIODIÉSEL. *CENIC Ciencias Químicas*, 57-58.
45. *PLAN NACIONAL DE DESARROLLO*. (2017 - 2021).
46. R.T., C. S. (16 de Mayo de 2016). *Pichincha al día: El sitio que te informa*. Obtenido de pichinchaldia.gob.ec: www.pichinchaldia.gob.ec
47. Rincón, J., & Silva, E. (2015). *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*. José María Rincón Martínez, Electro Eduardo Silva Lora.
48. Sahar, S. S. (2018). Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel. *Sustainable Cities and Society*.
49. Sánchez, A. (2010). *CESVIMAP*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2020, de <http://www.appcesvimap.com/revista/revista72/pdfs/Electromecanica.pdf>
50. Saxenaa, P., Jawaleb, S., & Joshipurac, M. H. (2013). A review on prediction of properties of biodiesel and blends of biodiesel. *Procedia Engineering*, 395 – 402.
51. Scharlau. (20 de 11 de 2019). <https://www.scharlab.com/>. Obtenido de <https://www.scharlab.com/catalogo-productos-detalle-referencia.php?r=ME0302005P&dw=Metanol,-para-an%C3%A1lisis,-ExpertQC2%AE,-ACS,-ISO,-Reag-Ph-Eur>
52. Sharma, Y., & Singh, B. (2008). Development of biodiesel from karanja, a tree found in rural India. *ScienceDirect*, 1740-1742.
53. Sorgato, V. (10 de Junio de 2016). Seis urbes en Ecuador se exceden en contaminación ambiental, según OMS. *El Comercio*.
54. Vamag. (2017). Manual dinamómetro Vamag.
55. Veldez Rodriguez, O. A., & Palacios-Wassenaar, O. M. (2016). EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ACTUAL DE PLANTACIONES PARA BIOCOMBUSTIBLES: PERSPECTIVAS Y RETOS PARA MÉXICO. *AROPRODUCTIVIDAD*, 33-41.
56. Vinod, B. M., Madhu, M., & Amba Prasad, R. (2017). Butanol and pentanol: The promising biofuels for CI engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1068–1088.

ANEXOS

1. Resultados de la caracterización



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
PETRÓLEOS

Informe N° 21-032.1
 Fecha 2021-02-26

Referencia: 21-032
Empresa: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Atención: Sr. Diego Benavides
Dirección: Quito - 13 de Abril 6-68
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: BIODISÉSEL
Identificación de la muestra: BIODIÉSEL B10 EN BASE A ACEITE RECICLADO DE COCINA
Descripción de la muestra: Muestra en envase de vidrio, selladas
Muestra tomada por: El cliente
Fecha de ingreso de la muestra: 2021-02-05
Código de muestra: 21-032.1
Fecha de realización de ensayos: 2021-02-08 al 2021-02-24

DETERMINACIÓN	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE (k=2)
DENSIDAD A 15° C*	°C	MÉTODO INTERNO	0,8460	-
PUNTO DE INFLAMACIÓN*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	72,1	-
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)*	%V	ASTM D-1796	0,00	-
AGUA POR DESTILACIÓN*	%V	ASTM D-95	<0,05	-
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40° C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	3,58	-
CENIZAS SULFATADAS*	%P	ASTM D-482	0,0220	-
AZUFRE*	%P	PNE/DPEC/P/MIO4 Ref. ASTM D-4294	0,072	-
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE CU*	Unidad de Corrosión	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1a	-
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90% RECUPERADO*	°C	ASTM D-86	340,5	-
PUNTO DE ESCURRIMIENTO*	°C	ASTM D-97	-12	-
CALCIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	13,689	-
POTASIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	6,007	-
MAGNESIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	13,397	-
SODIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111 B	48,137	-

Nota: Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE
 Los resultados que constan en el presente informe solo están relacionados con la muestra entregada por el cliente al DPEC

Condiciones Ambientales. - Presión: 543,8 a 542,7 mm Hg; Temperatura: 19,1 a 19,4 °C

AN: DRA/ABO/FTL
 Realizado por: VRT

Revisado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Ghem Carvajal C.
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

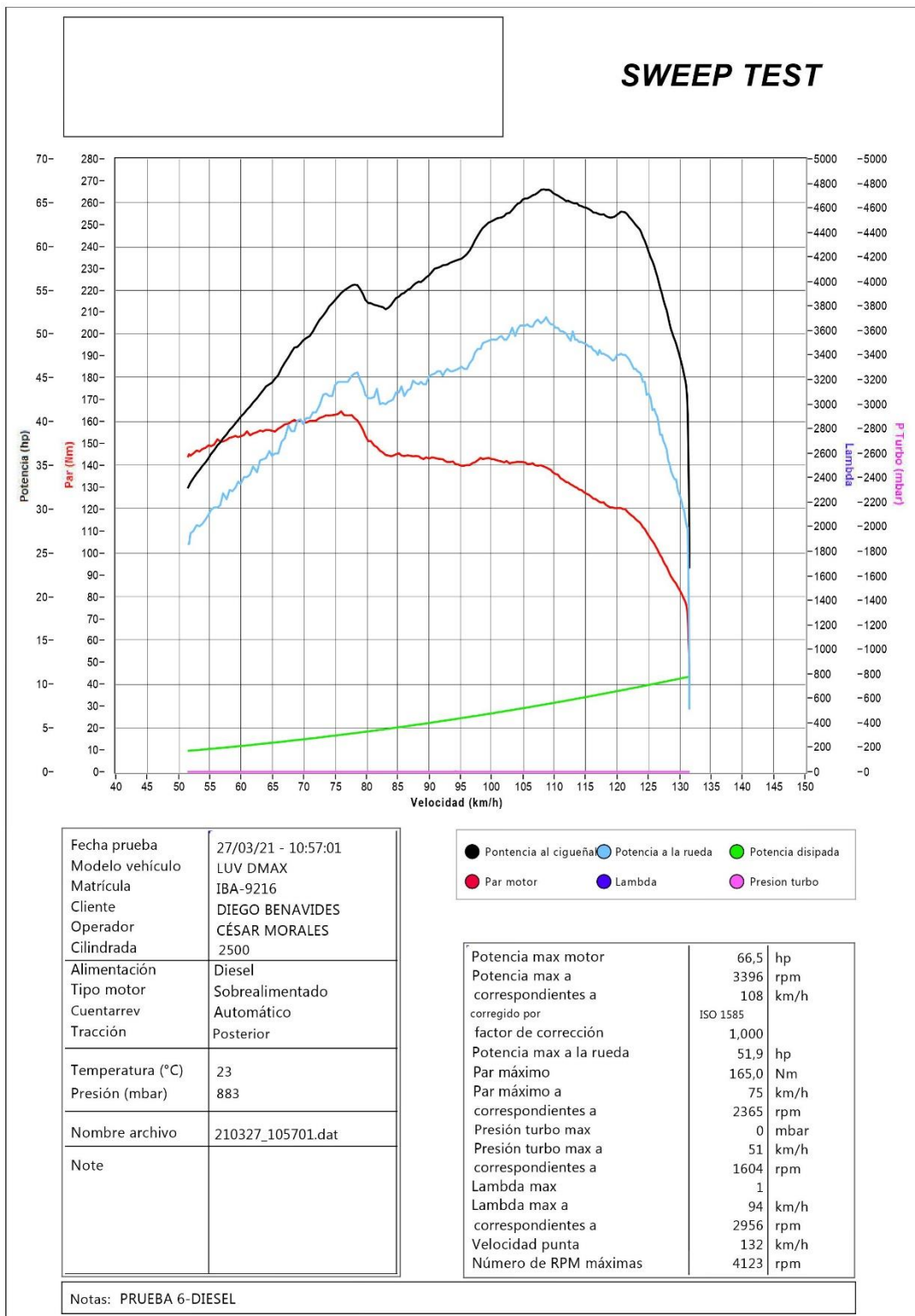
E-mail: fig.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-7

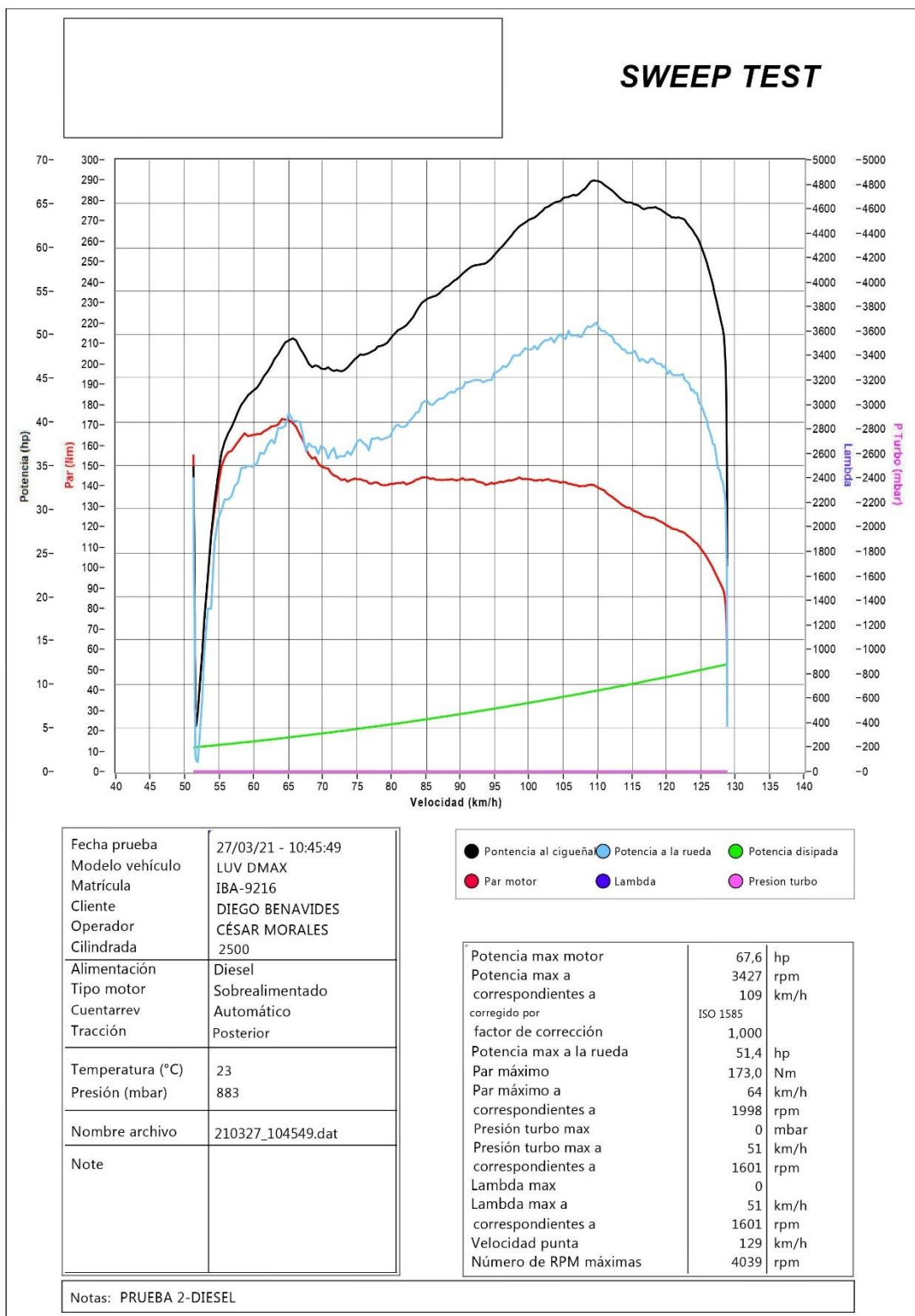
Hoja 1 de 1

2. Pruebas dinámicas – Diésel

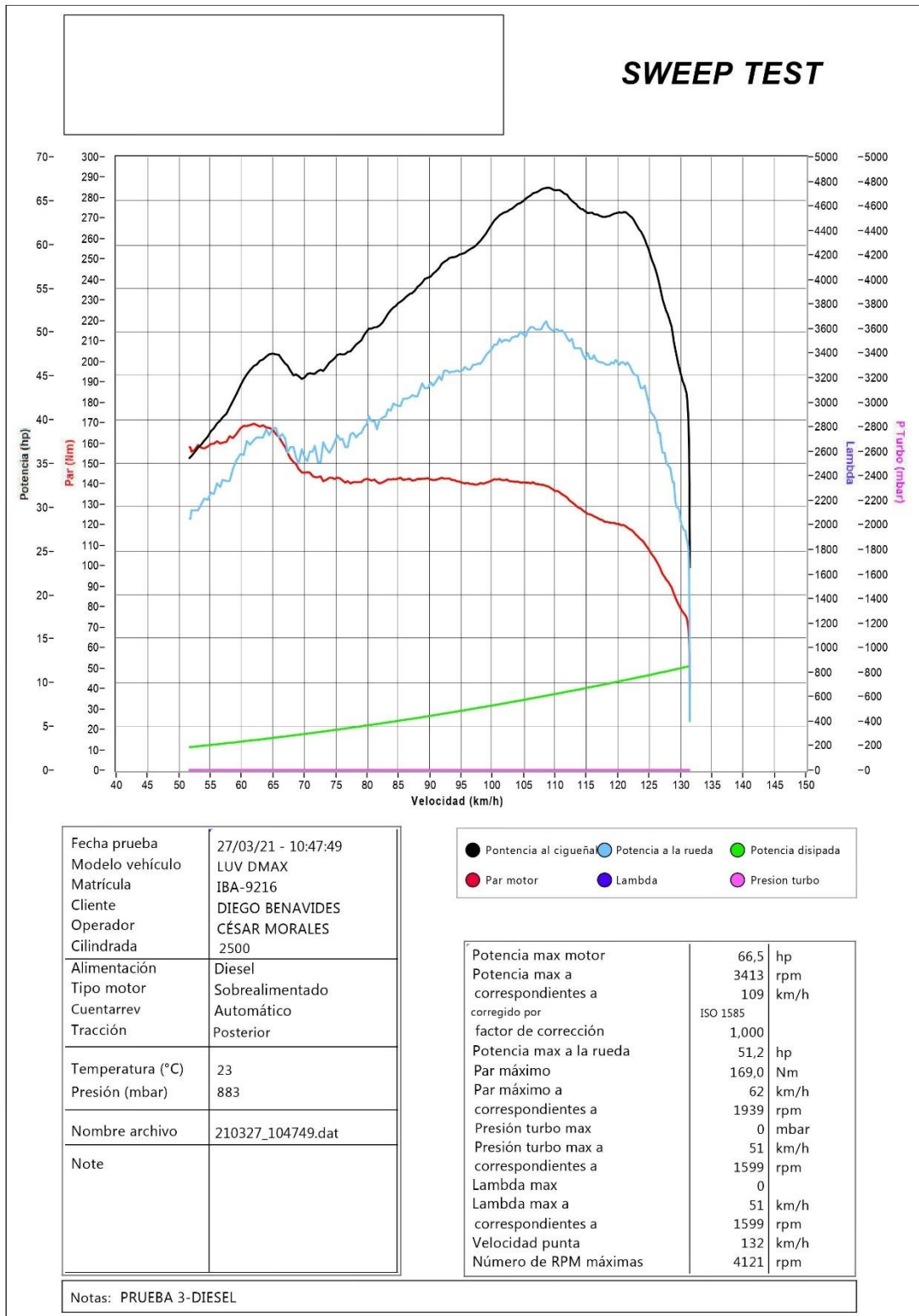
2.1. Prueba 1



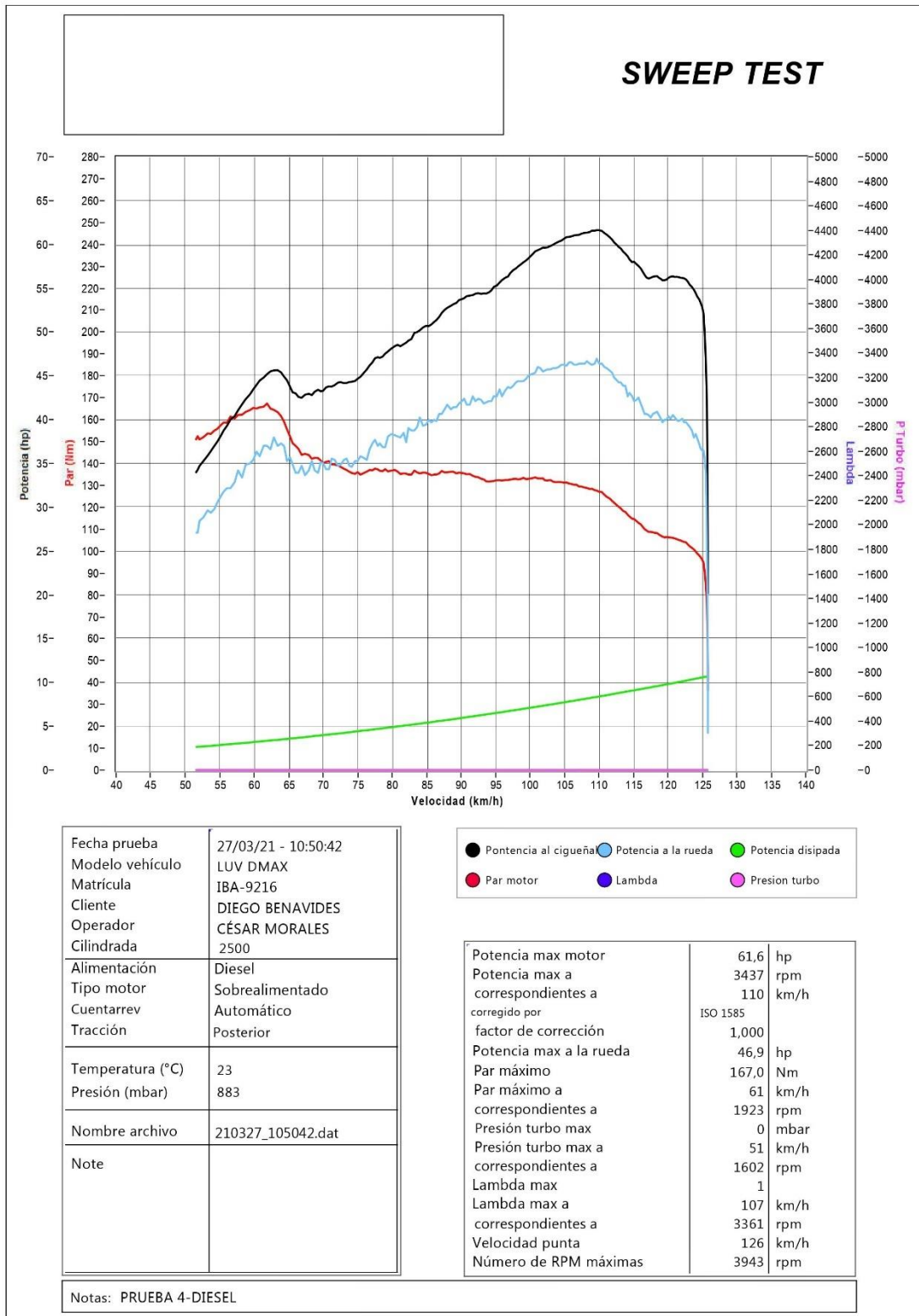
2.2. Prueba 2



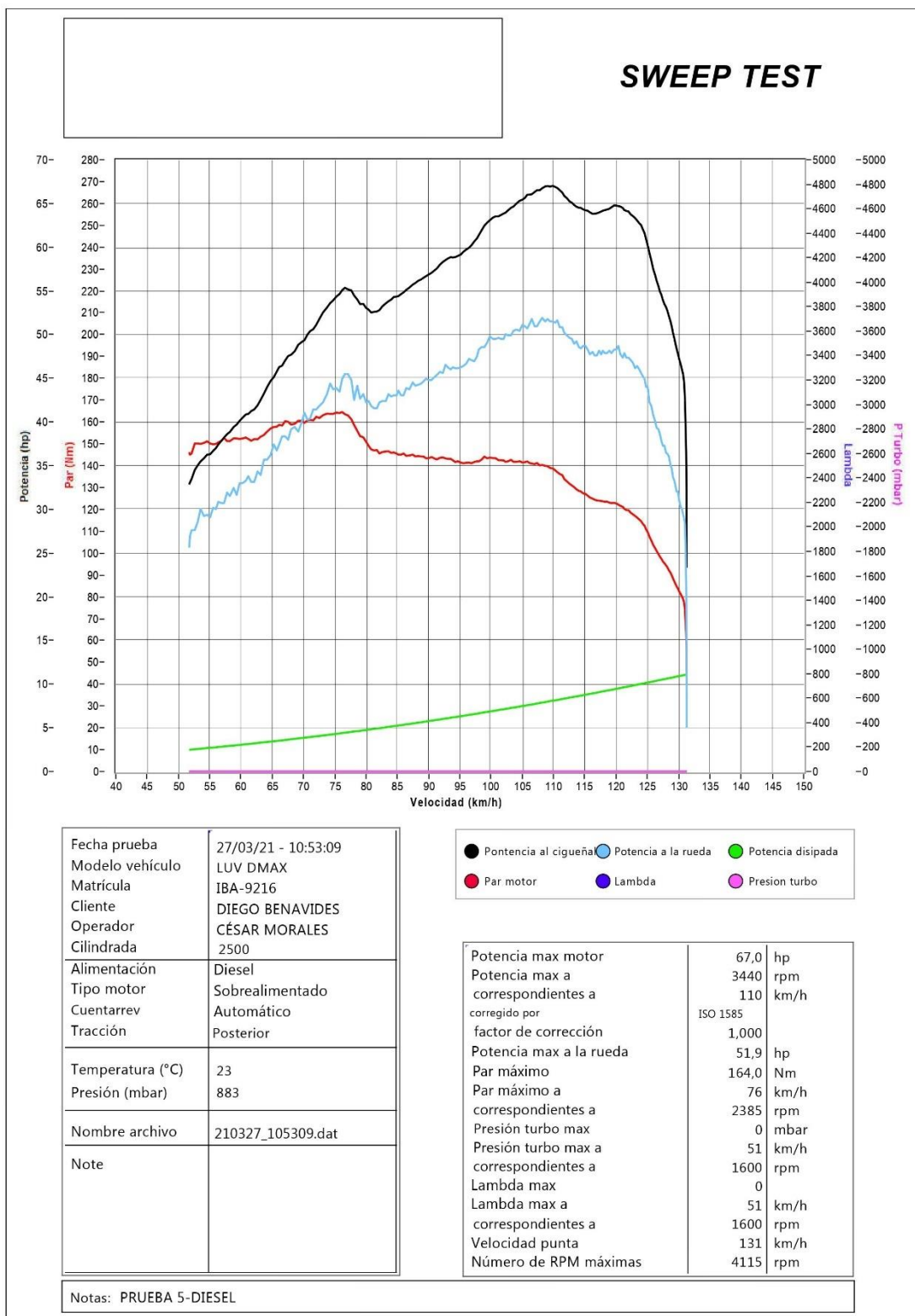
2.3. Prueba 3



2.4. Prueba 4

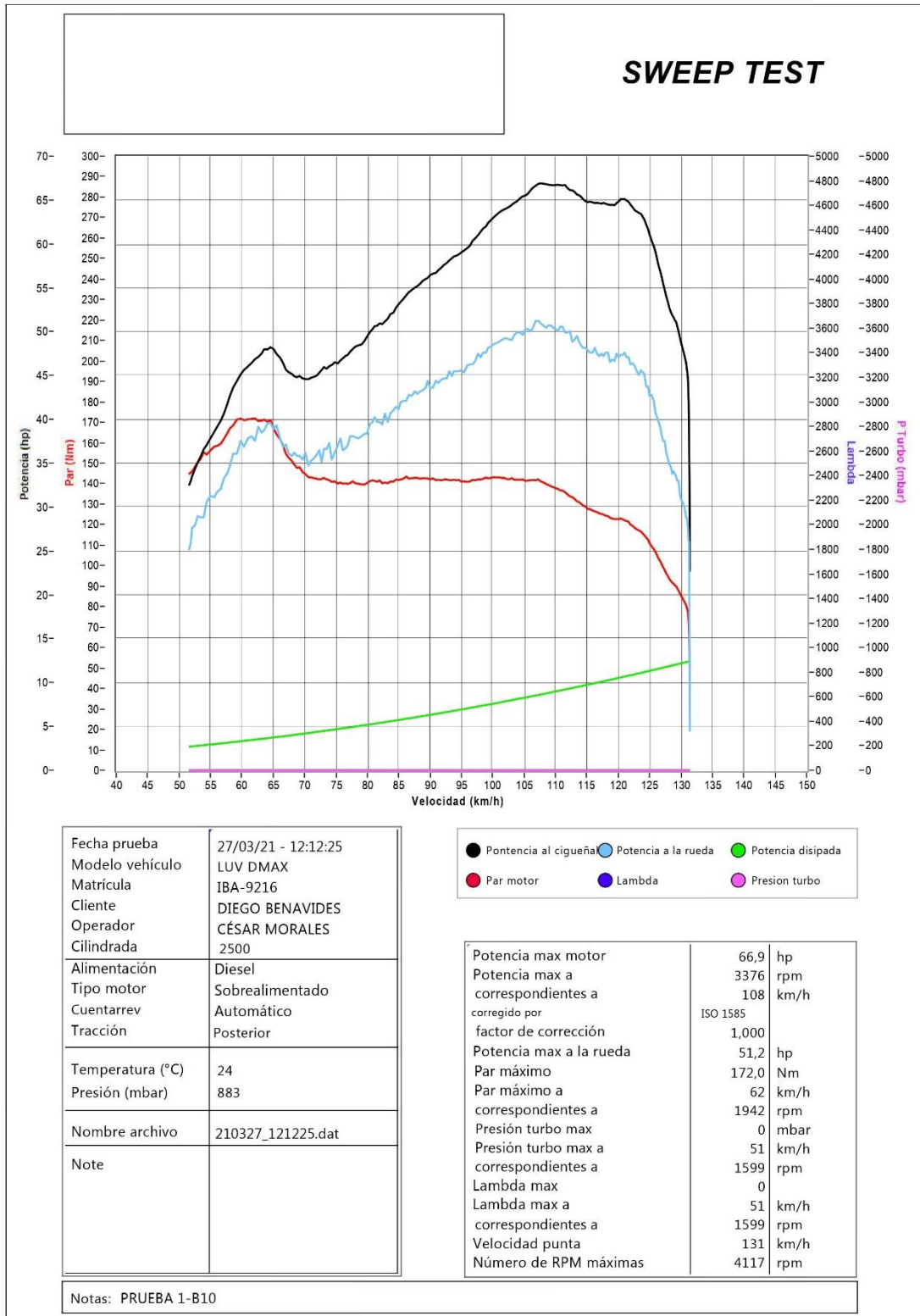


2.5. Prueba 5

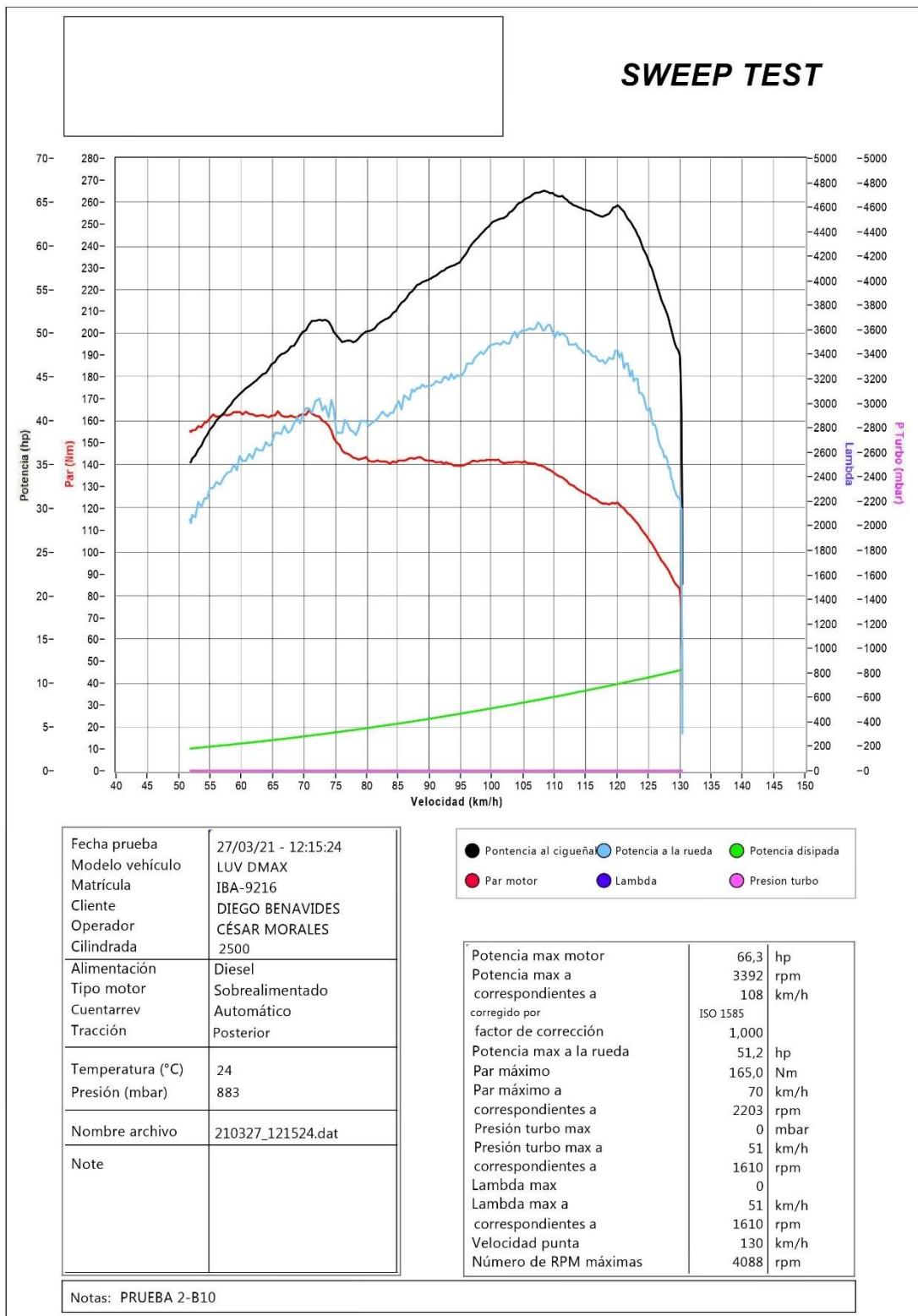


3. Pruebas dinamométricas – B10

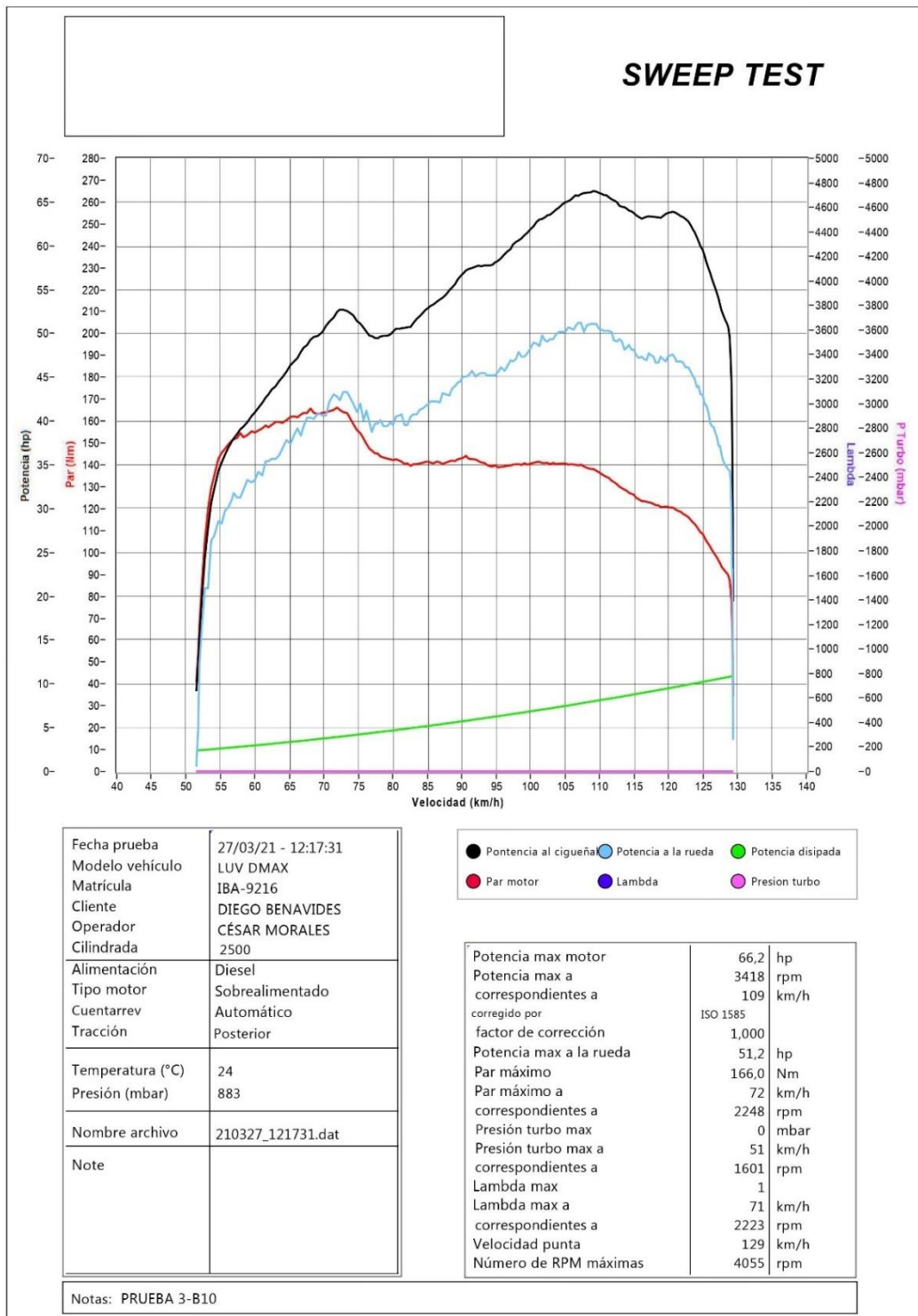
3.1. Prueba 1



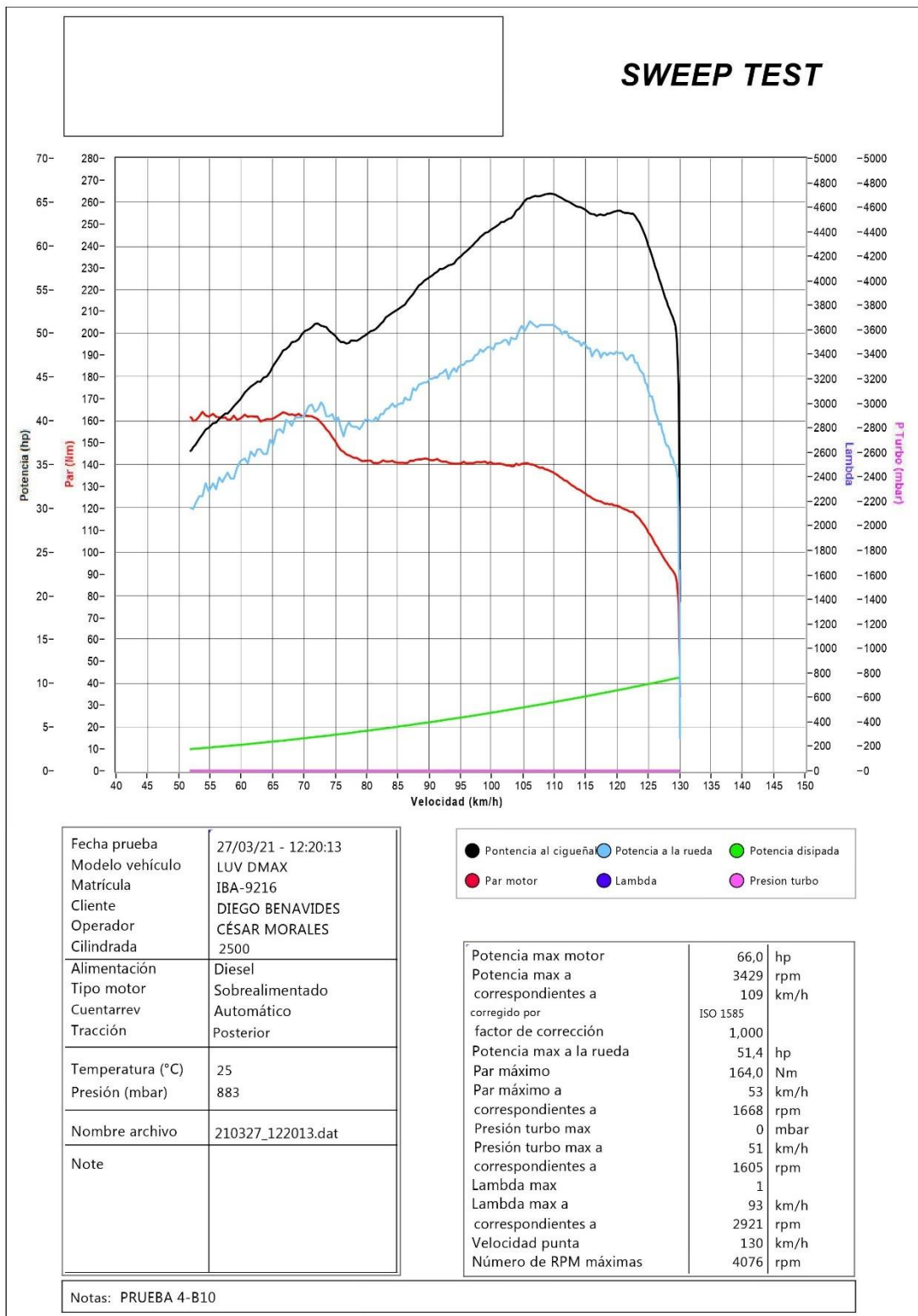
3.2. Prueba 2



3.3. Prueba 3



3.4. Prueba 4



3.5. Prueba 5

