



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: "CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE
DIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURAS, EN
CONCENTRACIÓN 5% - 10% - 15% - 20% - 30% PARA
DETERMINAR LOS PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS
DEL MOTOR"**

AUTORES: YESSENIA CAROLINA VILLACÍS OÑA

DAVID ALBERTO BURGOS VILLAFUERTE

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

LATACUNGA

2016



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURAS, EN CONCENTRACIÓN 5% - 10% - 15% - 20% - 30% PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS DEL MOTOR**” realizado por los señores **YESSENIA CAROLINA VILLACÍS OÑA** y **DAVID ALBERTO BURGOS VILLAFUERTE**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **YESSENIA CAROLINA VILLACÍS OÑA** y **DAVID ALBERTO BURGOS VILLAFUERTE** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 23 de noviembre del 2016

Washington Germán Erazo Laverde

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **YESSENIA CAROLINA VILLACÍS OÑA**, con cédula de identidad N°0503966020 y **DAVID ALBERTO BURGOS VILLAFUERTE** con cédula de identidad N°1721925350 declaro que este trabajo de titulación "**CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURAS, EN CONCENTRACIÓN 5% - 10% - 15% - 20% - 30% PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS DEL MOTOR**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 23 de noviembre del 2016

Yessenia Carolina Villacís Oña

C.C.: 0503966020

David Alberto Burgos Villafuerte

C.C.: 1721925350



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

AUTORIZACIÓN

Nosotros **YESSENIA CAROLINA VILLACÍS OÑA** y **DAVID ALBERTO BURGOS VILLAFUERTE**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio institucional el trabajo de titulación “**CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA COMBUSTIBLE DIESEL A PARTIR DE ACEITE DE FRITURAS, EN CONCENTRACIÓN 5% - 10% - 15% - 20% - 30% PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS TÉRMICOS Y MECÁNICOS DEL MOTOR**” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 23 de noviembre del 2016

Yesenia Carolina Villacís Oña
C.C.: 0503966020

David Alberto Burgos Villafuerte
C.C.: 1721925350

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño es esencial dedicar este trabajo a Dios y la Virgencita del Quinche por las bendiciones derramadas en el transcurso de toda mi vida estudiantil y permitirme llegar a cumplir unos de mis sueños tan anhelados.

A mis queridos y adorados padres Nelson Villacís y Fanny Oña por el apoyo brindado día con día, por el esfuerzo y sacrificio que conlleva guiar a un hijo a cumplir una meta, les agradezco queridos padres por su amor inalcanzable y por darme la mejor herencia, el estudio.

A mi hermano Israel le dedico mi trabajo, deseando que le sirva como ejemplo para que él logre sus sueños y anhelos de convertirse en un profesional.

Como olvidarme de David que con su amor, apoyo diario y sus palabras de aliento fueron de gran motivación para cumplir mi objetivo tan deseado.

“Los sueños y metas propuestos están solo en ti de cumplirlos, la lucha y la perseverancia son el camino para cumplirlos”.

Yessenia Carolina Villacís Oña

DEDICATORIA

Al Rey del Universo, por cuya bondad vivimos que me sustentó y me ha permitido llegar hasta la presente ocasión.

A mí amada madre y amiga Liliana por su confianza, fortaleza y amor a través de estos años que sea de gran alegría para tu vida.

A mi padre Pedro por la dedicación en su trabajo que ha sido ejemplo de esfuerzo y entrega.

David Burgos V.

AGRADECIMIENTO

Quiero dar las gracias a Dios y a la Virgencita del Quinche por darme la vida, salud, sabiduría y siempre guiar mi camino para tomar las mejores decisiones.

A mis adorados padres Nelson Villacís y Fanny Oña por brindarme su amor y dedicación por los valores impartidos que han servido para formarme como una gran mujer capaz de cumplir sus objetivos planteados, por su amor y palabras de aliento les agradezco de corazón por siempre buscar mi bienestar y felicidad.

A mi hermano Israel por los buenos y malos momentos que se vive entre hermanos pero siempre recordando que nos tenemos el uno al otro en todo momento.

A David por su amor y apoyo brindado, a mis abuelit@s, tí@s, prim@s por siempre estar pendiente de mí y brindarme su apoyo incondicional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga por la formación académica brindada a sus docentes por los conocimientos impartidos y en especial al Ing. Germán Erazo por brindarnos su colaboración y tiempo para el desarrollo de este proyecto.

Yessenia Carolina Villacís Oña

AGRADECIMIENTO

Agradecido eternamente con Aquel que concede la sabiduría al hombre Bendito sea su nombre.

A mis amados Padres por su apoyo constante en este camino con sus consejos y cuidados.

A mi hermano Andrés y a toda su familia por la alegría que me brindan la cual me ha motivado a llegar hasta el final.

A mi hermana Carolina por su preocupación y cariño.

Y a mis abuelos por lo que representan para todas las generaciones que se han beneficiado de su ejemplo y ternura.

David Burgos V.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxiii
CAPÍTULO I	
1. GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Descripción resumida de la investigación	3
1.4 Justificación e importancia	5
1.5 Objetivos.....	6
1.5.1 Objetivo general.....	6
1.5.2 Objetivos específicos	6
1.6 Metas	7

1.7	Hipótesis	7
1.8	Variables de investigación	7
1.9	Metodología de desarrollo del proyecto	9

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	14
2.1	Motor diesel	14
2.2	Diagrama del ciclo teórico del trabajo del MACI diesel 4T	14
2.3	Diesel o gasóleo	21
2.3.1	Especificaciones para el diesel	21
2.4	Métodos prácticos para la determinación de parámetros de rendimiento de un motor diesel	23
2.4.1	Pruebas para determinar torque, potencia, consumo de combustible	23
2.4.2	Pruebas de análisis de gases contaminantes	24
2.5	Biodiesel	24
2.5.1	Definición	24
2.6	Materias primas para la obtención del biodiesel	25
2.7	Obtención del biodiesel.....	26
2.7.1	Caracterización de la materia prima	26
2.7.2	Elementos que afectan a la producción de biodiesel a partir del aceite de frituras	28
2.7.3	Catalizador heterogéneo óxido de calcio	32
2.7.4	Mecanismo de reacción de transesterificación por catálisis heterogénea (CaO).....	32
2.7.5	Cálculos para la etapa de la reacción de transesterificación	35

2.7.6 Especificaciones para el biodiesel.....	37
2.7.7 Propiedades del biodiesel.....	39
2.8 Tipos de mezclas combustibles.....	40
2.8.1 B100.....	40
2.8.2 B5 y mezclas bajas.....	41
2.8.3 Mezclas B6 a B20.....	42

CAPÍTULO III

3. OBTENCIÓN DEL BIODIESEL.....	43
3.1 Pre-tratamiento de la materia prima.....	43
3.1.1 Tipificación de la materia prima (aceite de fritura usado y pre-tratado) ...	45
3.2 Cálculos para la etapa de la reacción de transesterificación.....	52
3.2.1 Peso molecular del aceite de fritura usado mediante uso del índice de saponificación:.....	52
3.2.2 Cálculo modelo de la masa necesaria de metanol en función de la relación molar.....	53
3.2.3 Cálculo modelo de la masa de catalizador óxido de calcio.....	54
3.3 Etapa de la reacción (transesterificación).....	54
3.3.1 Materiales y equipos.....	55
3.4 Procedimiento obtención del biodiesel.....	55
3.4.1 Lavado del biodiesel.....	63
3.4.2 Secado del biodiesel.....	65
3.5 Mezcla del biodiesel con diesel.....	66
3.6 Caracterización del biodiesel obtenido.....	67

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE PRUEBAS DINÁMICAS, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES.....	78
4.1	Equipos y procedimientos de pruebas	78
4.1.1	Mazda BT-50 4x2.....	78
4.1.2	Dinamómetro	79
4.1.3	Analizador de opacidad	85
4.1.4	Analizador de gases	92
4.2	Influencia del potencial energético del diesel y biodiesel en la camioneta Mazda BT-50.	96
4.3	Parámetros termodinámicos de desempeño con el uso de biocombustible	107
4.4	Prueba de opacidad.....	114
4.5	Prueba medición de gases.....	118

CAPÍTULO V

5.	MARCO ADMINISTRATIVO	124
5.1	Factibilidad de la investigación.....	124
5.1.1	Recursos materiales.....	124
5.1.2	Talento humano	125
5.1.3	Recursos financieros.....	125
5.2	Título de la propuesta	128
5.2.1	Estructura de la propuesta	128
5.2.2	Desarrollo de la propuesta	129
5.2.3	Influencia socio económico de la propuesta	129

CONCLUSIONES	132
RECOMENDACIONES	135
BIBLIOGRAFÍA	136
ANEXOS	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variable dependiente: parámetros térmicos y mecánicos del motor diesel.....	7
Tabla 2. Variable independiente: mezcla combustible a partir de aceite de frituras.....	8
Tabla 3. Metodología, instrumentación y laboratorios.....	11
Tabla 4. Norma NTE INEN 1489:2012 requisitos del diesel No. 1.....	21
Tabla 5. Norma NTE INEN 1489:2012 requisitos del diesel No. 2.....	22
Tabla 6. Norma NTE INEN 1489:2012 requisitos del diesel premium.....	23
Tabla 7. Diversos métodos utilizados para la producción de biodiesel a partir de residuos de aceite cocina.....	29
Tabla 8. Norma NTE INEN 2482-2009 requisitos biodiesel.....	38
Tabla 9. Masa de porción para análisis y la concentración de álcali.....	47
Tabla 10. Resultados fisicoquímicos de la tipificación del aceite usado de frituras.....	52
Tabla 11. Mezcla biodiesel.....	66
Tabla 12. Parámetros característicos de las distintas proporciones.....	68
Tabla 13. Ficha técnica Mazda BT-50.....	79
Tabla 14. Características del dinamómetro MAHA 3000 LPS.....	80
Tabla 15. Prueba N°1 de torque y potencia con diesel 100%.....	96
Tabla 16. Prueba N°1 de torque y potencia con biodiesel 5%.....	97
Tabla 17. Prueba N°2 de torque y potencia con diesel 100%.....	99
Tabla 18. Prueba N°2 de torque y potencia con biodiesel 5%.....	100
Tabla 19. Prueba N°3 de torque y potencia con diesel 100%.....	101
Tabla 20. Prueba N°3 de torque y potencia con biodiesel 5%.....	102
Tabla 21. Prueba N°4 de torque y potencia con diesel 100%.....	104
Tabla 22. Prueba N°4 de torque y potencia con diesel 100%.....	105
Tabla 23. Tabla estadística de valoración torque y potencia.....	106
Tabla 24. Datos técnicos del motor.....	111
Tabla 25. Resumen de parámetros característicos.....	112

Tabla 26. Mediciones de opacidad en la camioneta Mazda Bt-50.....	115
Tabla 27. Mediciones de opacidad con el analizador BARTEK.....	117
Tabla 28. Medición de gases a diferentes rpm	119
Tabla 29. Recursos materiales	124
Tabla 30. Talentos humanos.....	125
Tabla 31. Gastos obtención del biodiesel	126
Tabla 32. Gastos pruebas realizadas para la investigación.....	127
Tabla 33. Gastos materiales e insumos utilizados	127
Tabla 34. Costos para la producción de biodiesel	129
Tabla 35: Plan de costos y flujos de caja.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Diagrama causa y efecto	3
Figura 2.	Diagrama presión volumen de operación del ciclo diesel	15
Figura 3.	Reacción de transesterificación	28
Figura 4.	Reacción al utilizar metanol	28
Figura 5.	Moléculas del metanol en contacto con el catalizador	32
Figura 6.	Deprotonación del alcohol	33
Figura 7.	Atracción polarizada del nucleófilo generado	33
Figura 8.	Unión de los electrones con el carbono	34
Figura 9.	Formación de un metil-éster de un ácido graso	34
Figura 10.	Formación de un diglicérido	34
Figura 11.	Algoritmo para la elección del pre-tratamiento del aceite de fritura usado	44
Figura 12.	Diagrama de bloques para determinación del índice de acidez y el % de acidez	47
Figura 13.	Diagrama de bloques para la determinación del índice de saponificación	50
Figura 14.	Unidad experimental del reactor agitado para la etapa de la reacción de transesterificación	54
Figura 15.	Balón de tres bocas de 1000 ml	56
Figura 16.	Agitadores magnéticos	56
Figura 17.	Sistema de enfriamiento por reflujo	57
Figura 18.	Sistema de calefacción por baño maría	57
Figura 19.	Reactor agitado en funcionamiento	58
Figura 20.	Incorporación de aceite usado en el reactor	59
Figura 21.	Etanol grado analítico para preparación del metóxido	59
Figura 22.	Tasación del catalizador	60
Figura 23.	Agitación del metóxido	60
Figura 24.	Reactor agitado y refrigerado	61
Figura 25.	Separación de productos en un embudo de separación	62

Figura 26. Filtrado del catalizador.....	62
Figura 27. Lavado de biodiesel (agua-biodiesel)	63
Figura 28. Lavado por agitación.....	63
Figura 29. Almacenamiento de biodiesel lavado.....	64
Figura 30. Separación de productos	64
Figura 31. Separación de biodiesel del agua de lavado	65
Figura 32. Medición del pH del agua de lavado	65
Figura 33. Componentes para las mezclas diesel - biodiesel	66
Figura 34. Muestras de biodiesel 5, 10, 15, 20, 25% de concentración.....	67
Figura 35. Densidad API a 60 F del biodiesel en las distintas proporciones.....	69
Figura 36. Punto de inflamación del biodiesel en las distintas proporciones ...	70
Figura 37. Viscosidad cinemática del biodiesel en las distintas proporciones .	71
Figura 38. Índice de cetano calculado del biodiesel en las distintas proporciones	72
Figura 39. Punto de nube del biodiesel en las distintas proporciones	73
Figura 40. Azufre del biodiesel en las distintas proporciones	74
Figura 41. Poder calorífico del biodiesel en las distintas proporciones.....	75
Figura 42. Propiedades de las distintas mezclas de biodiesel.....	76
Figura 43. Preparación de la mezcla combustible	78
Figura 44. Vehículo en el dinamómetro	80
Figura 45. Colocación de la sonda de temperatura	82
Figura 46. Cajas de interface	82
Figura 47. Interface del dinamómetro	83
Figura 48. Datos de la prueba discreta	83
Figura 49. Mediciones del vehículo.....	84
Figura 50. Resultados preliminares de torque y potencia	85
Figura 51. Opacímetro Brain Bee	86
Figura 52. Interface del opacímetro	87
Figura 53. Test oficial de medición	88
Figura 54. Resultados obtenidos de la prueba de medición	88
Figura 55. Analizador de gases BARTEK	89

Figura 56. Interface del analizador.....	90
Figura 57. Conexión del equipo en los bornes de la batería.....	90
Figura 58. Colocación de la sonda.....	91
Figura 59. Test de inicio de la prueba.....	91
Figura 60. Analizador de gases	92
Figura 61. Conexión del equipo	93
Figura 62. Ingreso datos del vehículo	93
Figura 63. Conexión del Global Pro	94
Figura 64. Temperatura del aceite	94
Figura 65. Colocación de la sonda.....	95
Figura 66. Filtro del analizador de gases	95
Figura 67. Prueba N°1 de torque y potencia con diesel 100%.....	97
Figura 68. Prueba N°1 de torque y potencia con biodiesel 5%.....	98
Figura 69. Prueba N°2 de torque y potencia con diesel 100%.....	99
Figura 70. Prueba N°2 de torque y potencia con biodiesel 5%.....	100
Figura 71. Prueba N°3 de torque y potencia con diesel 100%.....	102
Figura 72. Prueba N°3 de torque y potencia con biodiesel 5%.....	103
Figura 73. Prueba N°4 de torque y potencia con diesel 100%.....	104
Figura 74. Prueba N°4 de torque y potencia con diesel 100%.....	105
Figura 75. Resumen estadístico de torque y potencia con diesel y biodiesel .	107
Figura 76. Diagrama presión volumen del ciclo diesel.....	108
Figura 77. Calor suministrado y extraído en la camioneta Mazda Bt-50 con los dos combustibles.....	113
Figura 78. Consumo de combustible en la camioneta Mazda BT-50 con los dos combustibles.	113
Figura 79. Interface del opacímetro	114
Figura 80. Plantilla de medición	114
Figura 81. Análisis de opacidad.....	116
Figura 82. Porcentaje de reducción de opacidad.....	117
Figura 83. Conexión del equipo	118
Figura 84. Medición análisis de gases	119

Figura 85. Análisis medición lambda	120
Figura 86. Análisis porcentaje en volumen monóxido de carbono	121
Figura 87. Análisis porcentaje en volumen de dióxido de carbono	121
Figura 88. Análisis partículas por millón de hidrocarburos.....	122
Figura 89. Análisis partículas por millón de óxidos de nitrógeno	123
Figura 90: Cálculo del VAN y TIR de la propuesta.....	131

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i>	<i>Calor suministrado</i>	17
<i>Ecuación 2</i>	<i>Calor extraído.....</i>	17
<i>Ecuación 3</i>	<i>Relación de compresión.....</i>	17
<i>Ecuación 4</i>	<i>Grado de expansión previa</i>	18
<i>Ecuación 5</i>	<i>Eficiencia térmica</i>	18
<i>Ecuación 6</i>	<i>Presión media del ciclo</i>	18
<i>Ecuación 7</i>	<i>Presión media del ciclo</i>	19
<i>Ecuación 8</i>	<i>Eficiencia térmica</i>	19
<i>Ecuación 9</i>	<i>Eficiencia térmica</i>	19
<i>Ecuación 10</i>	<i>Consumo másico de combustible.....</i>	19
<i>Ecuación 11</i>	<i>Consumo específico de combustible.....</i>	20
<i>Ecuación 12</i>	<i>Rendimiento mecánico.....</i>	20
<i>Ecuación 13</i>	<i>Rendimiento indicado.....</i>	20
<i>Ecuación 14</i>	<i>Relación estequiométrica entre los reactivos para la reacción de saponificación</i>	35
<i>Ecuación 15</i>	<i>Relación estequiométrica entre los reactivos para la reacción de saponificación</i>	35
<i>Ecuación 16</i>	<i>Peso molecular aproximado del aceite.....</i>	35
<i>Ecuación 17</i>	<i>Masa necesaria de metanol en función de la relación molar.....</i>	36
<i>Ecuación 18</i>	<i>Densidad</i>	36
<i>Ecuación 19</i>	<i>Masa de catalizador sólido óxido de calcio</i>	36
<i>Ecuación 20</i>	<i>Porcentaje en peso del catalizador óxido de calcio referido a la masa de aceite de fritura usado.....</i>	37
<i>Ecuación 21</i>	<i>Densidad relativa.....</i>	45
<i>Ecuación 22</i>	<i>Contenido de ácidos grasos libres</i>	48
<i>Ecuación 23</i>	<i>Índice de ácidos</i>	48
<i>Ecuación 24</i>	<i>Acidez o contenido de ácidos grasos libres</i>	49
<i>Ecuación 25</i>	<i>Índice de saponificación.....</i>	51
<i>Ecuación 26</i>	<i>Porcentaje de opacidad.....</i>	115

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Especificaciones del biodiesel	143
ANEXO B	Tipificación del aceite	145
ANEXO C	Caracterización de las mezclas combustibles	146
ANEXO D	Pruebas de torque y potencia	152
ANEXO E	Mediciones de opacidad con analizador de gases BRAIN BEE	172
ANEXO F	Mediciones de opacidad con analizador de gases CARTEK	176
ANEXO G	Medición de gases	178
ANEXO H	Equipo de investigación	192
ANEXO I	Miembros del grupo SAEM R&D	194

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la obtención de biodiesel a partir de aceite usado de frituras por medio de un proceso químico llamado transesterificación. El proceso de transesterificación fue optimizado al reutilizar el catalizador sólido no contaminante (óxido de calcio) por su característica física para ser recuperado fácilmente y finalmente desechado; en el proceso se determinó que para obtener 10 litros de biodiesel se requiere 20 litros de aceite de fritura, del cual se obtiene el 50% de la materia prima esto debido a pérdida por productos secundarios como la glicerina además de pérdidas en los procesos de lavado y secado. Siendo el rendimiento 2 a 1. Posteriormente a este proceso se realizó varias mezclas volumétricas del 5% - 10% - 15% - 20% - 30% con diésel para determinar a través de su caracterización físico-química la concentración óptima para ser utilizada en el vehículo. A través de la caracterización se determinó la mezcla del 5% como óptima para su utilización en el motor entre los parámetros más importantes se encontraron el punto de inflamación al contener el 65,2°C el cual se relaciona directamente con la condición de iniciar una combustión en arranque en frío; el poder calorífico que está directamente relacionado con el rendimiento del motor, esta proporción contiene una pequeña disminución en relación al diésel normal por lo que no afecta en el rendimiento del motor; la viscosidad cinemática en esta proporción nos permite evitar problemas de pulverización además de ser la proporción que menos cantidad de azufre contiene lo cual es positivo para el medio ambiente. Finalmente se realizaron pruebas de torque, potencia y análisis de gases con lo que se logró evidenciar que el biocombustible B5 presenta un buen desempeño de potencia además de disminuir emisiones contaminantes.

PALABRAS CLAVES

- **BIODIESEL**
- **TRANSESTERIFICACIÓN**
- **CATALIZADOR HETEROGÉNEO**

ABSTRACT

The present work describes the obtaining of biodiesel from secondhand oil of fritters by means of a chemical process called transesterification.

The process of transesterification was optimized through the re-use of the solid not pollutant catalyst (calcium oxide) by its physical characteristic to be easily recovered and finally discarded; in the process was determined that to obtain 10 liters of biodiesel there are needed 20 liters of oil of fritter from which 50% of the raw material is obtained this is due to loss by secondary products like the glycerin besides losses in the processes of wash and dried. Being the performance 2 to 1. Later to this process several volumetric mixtures were carried out of 5% - 10% - 15% - 20% - 30% with diesel to determine across its physicochemical characterization the ideal concentration to be used in the vehicle. Through the characterization it was decided the mixture of 5 % as ideal for the use in the engine between the most important parameters were found the flash point containing the 65,2°C which directly relates with the condition of initiating a combustion in cold starting; the heating power that is directly related to the performance of the engine, this proportion contains a small decrease in relation to the normal diesel for what it does not concern in the performance of the engine. The kinematic viscosity on this proportion allows us to avoid pulverization problems in addition to be the proportion that less quantity of sulphur contains which is positive to the environment. Finally there were conducted torque tests, power and gas analysis from what it was able to prove that the biofuel B5 presents a good power besides diminishing pollutant emission.

KEY WORDS

- **BIODIESEL**
- **TRANSESTERIFICATION**
- **HETEROGENEOUS CATALYST**

CAPÍTULO I

En este capítulo se detalla el antecedente y el problema de la investigación partiendo como base para establecer la justificación e importancia de la misma la cual nos permite plantear los objetivos a ser desarrollados a lo largo de la investigación, para lograr con éxito y tomar como alternativa el uso de un biocombustible a partir de aceite de frituras, aportando a la conservación de los recursos naturales del planeta.

1. GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Debido al aumento de la población, la producción industrial, así como la disminución de reservas de petróleo, se ha empezado a concientizar acerca de la contaminación ambiental producida por el uso de combustibles fósiles por lo cual se ha visto la necesidad de impulsar el desarrollo de energías alternativas basadas en recursos naturales renovables.

Como manifiesta Mantilla (2014), dentro de las energías renovables que involucran un gran desarrollo se encuentra el uso de biocombustibles, como lo es el biodiesel de diferentes fuentes de obtención; América en su conjunto lidera la producción mundial de biodiesel con EEUU en primer lugar, seguido por Argentina en segundo lugar y Brasil en el tercer puesto. (p.1)

La exportación del crudo ha sido para el Ecuador la más importante de sus fuentes económicas; sin embargo la explotación petrolera, mantiene un historial bastante nefasto para la degradación de los ecosistemas naturales.

Ecuador en el año 2013, el gobierno dispuso que en un plazo de ocho meses el diesel de origen fósil que se consume en el país tenga una mezcla de 5% de biodiesel y que se vaya incrementando hasta alcanzar el 10%. (Decreto ejecutivo 1303, 2012)

El Gobierno está convencido que la producción de biodiesel estimula la actividad agrícola además de generar beneficios ambientales.

El mercado de los biocombustibles en el Ecuador tiene una expectativa elevada de crecimiento para responder a la demanda de etanol y biodiesel que se ha planteado el gobierno como parte de su estrategia de transformación de la matriz productiva. (PRO ECUADOR, 2012, p. 1)

1.2. Planteamiento del problema

La investigación se origina debido a la problemática del mal uso de energías no renovables como son los combustibles derivados del petróleo las cuales han sido causantes de gran parte de la contaminación ambiental en la región en su gran mayoría por falta de planeación e implementación de nuevas formas de energía.

Los biocombustibles son una fuente de energía renovable que proviene de recursos forestales, agrícolas, pesqueros o desechos. El mercado de los biocombustibles en el país tiene una posibilidad elevada de crecimiento para responder a la demanda interna que se ha proyectado el gobierno en estos últimos años. Considerando que existen altos niveles de gases contaminantes el país tiene como finalidad cuidar, preservar el medio ambiente esto gracias al uso de biocombustibles y nuevas mejoras tecnológicas.

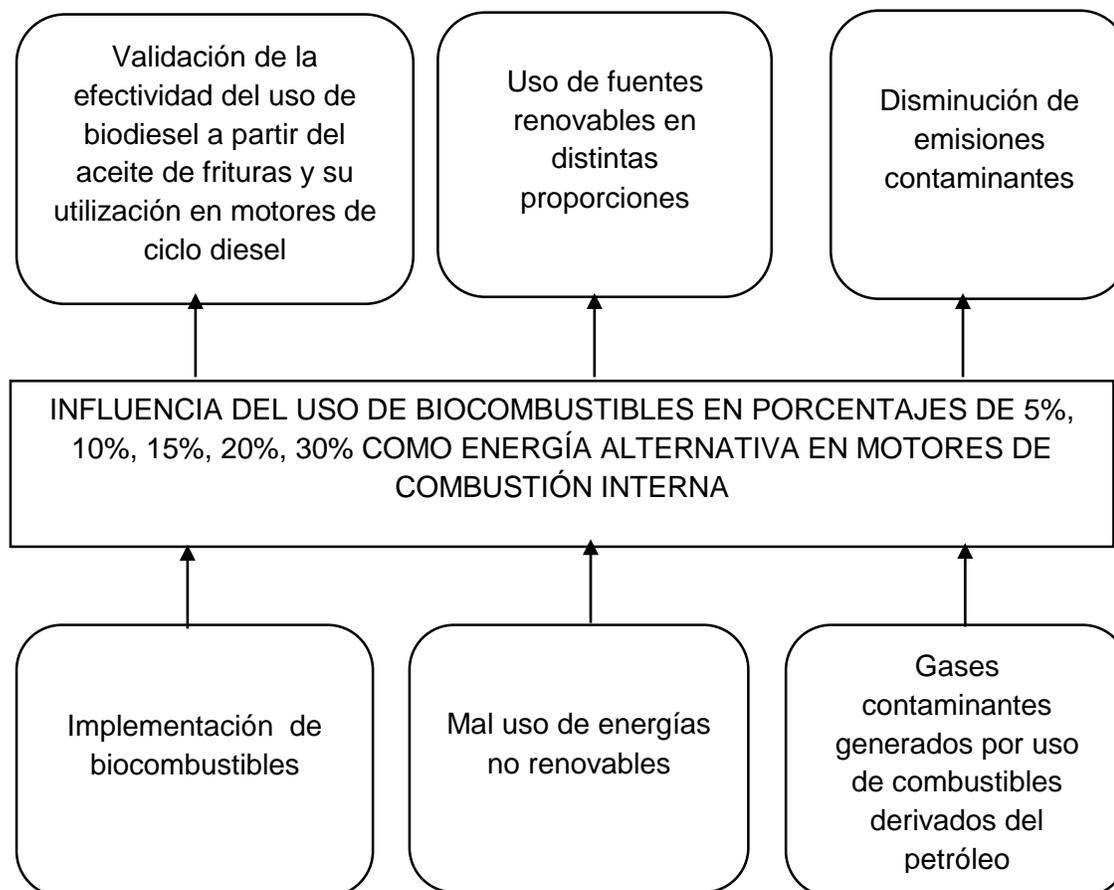


Figura 1. Diagrama causa y efecto

1.3. Descripción resumida de la investigación

En la investigación se desarrolló la caracterización de la mezcla combustible diesel a partir de aceite de frituras en concentración 5% - 10% - 15% - 20% - 30% para determinar los parámetros térmicos y mecánicos del motor de combustión interna diesel. Se recopiló información confiable que permitió obtener información relevante para el desarrollo de las actividades establecidas.

Se efectuó la recolección de la materia prima, se tipificó el aceite de frituras en el Laboratorio Químico y Microbiológico del Ecuador, para determinar su concentración de acidez y saponificación, elementos que influyen directamente en el proceso de obtención del biodiesel.

Posteriormente se elaboró un reactor de agitación a escala, en el Laboratorio de Química de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, para la obtención del biodiesel a partir de aceite de frituras mediante el proceso de transesterificación con catalizador sólido (óxido de calcio).

Se efectuó la mezcla volumétrica en proporciones de 5% - 10% - 15% - 20% - 30% del diesel regular con el biodiesel, se generó ensayos de caracterización físico-químicas en el Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación (DEPEC) de la Universidad Central del Ecuador, para realizar una comparación con el diesel estándar y seleccionar la mezcla ideal de combustible para ser utilizado en las pruebas de motor.

Con la camioneta Mazda BT-50 perteneciente a la Escuela de Conducción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga se desarrolló pruebas mecánicas de torque y potencia en el Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares CCICEV. Las pruebas de consumo de combustible y opacidad de gases combustionados se la realizo en laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga.

Mediante las pruebas antes mencionadas se analizó y comparo los resultados obtenidos de esta manera se puede validar la efectividad de la mezcla combustible en el motor de combustión interna diesel.

1.4. Justificación e importancia

La utilización de los combustibles fósiles ha sido de gran beneficio para el desarrollo a nivel mundial, pero de la misma manera ha contaminado el planeta con los desechos producidos por los mismos; al ser un tipo de energía no renovable, las reservas de petróleo se van agotando, por lo que se considera necesaria la exploración de nuevas alternativas, tales como los biocombustibles dentro de los cuales existen biodiesel de distintas fuentes como lo son los aceites reciclados.

Según la comisión económica para Latinoamérica y el Caribe los países como: Brasil, Argentina y Colombia lideran en la producción y uso del biodiesel por ser amigables con el ambiente y reducir el consumo de combustibles de fuentes de energía no renovables que cada vez escasean más.

Entre los objetivos del Plan del Buen Vivir se ha propuesto el impulsar la transformación de la matriz productiva con lo cual se determina la promoción de nuevos sectores con alta productividad, competitivos, sostenibles, sustentables y diversos; por lo cual en su inciso 10.9 considera la articulación de las acciones y metas de generación de energías limpias y eficiencia energética. (Plan Nacional Buen Vivir, 2015)

Según Paredes (2015), por decreto ejecutivo el diesel que es utilizado en el país será mezclado con biodiesel en proporciones del 5 hasta el 10% que ya se lo ha implementado hasta el año 2015 donde se ha introducido en la ciudad de Guayaquil con gran aceptación ya que representa el 50% de consumo de combustible en esta ciudad y un 8% a nivel país; el presente proyecto pretende aportar con base científica a los proyectos relacionados que se han ido desarrollando en el país, enfocándose en la producción de biodiesel incrementando su composición de biodiesel hasta un 50%.

La aplicación de este biocombustible en motores diesel dará como resultado una disminución en la emisión de gases, siendo estos la causa de contaminación al medio ambiente, la importancia de producir biodiesel a partir de aceite de frituras es disminuir la contaminación al arrojar el aceite en los drenajes, por lo cual se utiliza un catalizador heterogéneo que no emite contaminación alguna ya que proviene de la cal y el mismo puede ser reutilizado.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Caracterizar la mezcla combustible diesel a partir de aceite de frituras en concentración 5% - 10% - 15% - 20% - 30% para determinar los parámetros térmicos y mecánicos del motor.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar información pertinente para el desarrollo del estudio.
- Determinar las fuentes proveedoras de aceite de frituras para la obtención de la materia prima.
- Realizar la tipificación del aceite de frituras para verificar su utilidad.
- Construir un reactor de agitación a escala de laboratorio para la obtención de biodiesel.
- Calcular la cantidad de metanol y catalizador a ser utilizado en el proceso de transesterificación.
- Obtener el biodiesel a partir del aceite de frituras.
- Preparar mezclas de biodiesel en proporciones de 5% - 10% - 15% - 20% - 30%.
- Seleccionar la mezcla ideal en base a la caracterización realizada.

- Utilizar la mezcla combustible seleccionada en la camioneta Mazda BT-50 para realizar pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y opacidad de gases.
- Tabular los datos obtenidos y validar el uso de la mezcla combustible seleccionada.

1.6. Metas

- Utilizar reactivos no contaminantes en el proceso de obtención de la mezcla combustible.
- Reducir los niveles de contaminación 10% – 15%.
- Evitar la reducción de potencia en un 5%.
- Verificar si existe reducción de torque en un 5%.
- Realizar las pruebas de factibilidad del uso de combustible.

1.7. Hipótesis

¿El uso de biocombustible obtenido a partir de aceite de frituras como base del biodiesel sin la utilización de catalizadores de uso restringido, en proporciones adecuadas permitirá optimizar el desempeño mecánico y térmico de motores de combustión interna diesel?

1.8. Variables de investigación

Tabla 1

Variable dependiente: parámetros térmicos y mecánicos del motor diesel

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son las características	Potencial para producir trabajo y	Rendimiento térmico	%	Cálculo	

CONTINÚA 

térmicas y mecánicas que provee el aceite de frituras para producir trabajo y energía cuando se utiliza como biocombustible en motores diesel.	energía				Pruebas de Laboratorio Ecuaciones
		Poder calorífico	Calorías/gr	Medición	Prueba de Laboratorio
		Potencia	HP	Cálculo Medición	Pruebas de Laboratorio Cálculo
		Torque	<i>lbf.ft</i>	Cálculo Medición	Pruebas de Laboratorio Cálculo
	Parámetros característicos del motor de combustión	Velocidad	<i>RPM</i>	Medición	Pruebas de Laboratorio
		Consumo específico de combustible	<i>l/Km</i>	Cálculos	Pruebas de Laboratorio Ecuaciones
		Opacidad	Coefficiente absorción de luz	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio
		Opacidad	%	Medición Cálculo	Pruebas de Laboratorio

Tabla 2

Variable independiente: mezcla combustible a partir de aceite de frituras

Concepto	Categorías	Indicadores	Ítem	Técnica	Instrumentos
La mezcla combustible que se obtiene a través de la transesterificación del aceite de fritura para ser utilizado en motores de ciclo diesel	Volumen de aceite requerido en función del porcentaje	Volumen	m^3	Medición	Pruebas de Laboratorio
		Densidad	kg/m^3	Medición	Pruebas de Laboratorio
	Propiedades físicas y químicas	Punto de inflamación	$^{\circ}C$	Medición	Pruebas de Laboratorio
		Viscosidad cinemática.	cSt	Medición	Pruebas de Laboratorio
		Índice de Cetano	-----	Medición	Pruebas de Laboratorio

Punto de nube	°C	Medición	Pruebas de Laboratorio
Agua por destilación	%V	Medición	Pruebas de Laboratorio
Contenido de Azufre	<i>mg/kg</i>	Medición	Pruebas de Laboratorio
Poder calorífico neto	MJ/kg	Medición	Pruebas de Laboratorio
Sedimento Básico y agua	%V	Medición	Pruebas de Laboratorio

1.9. Metodología de desarrollo del proyecto

a) Método inductivo

Se empleó para el desarrollo de la investigación la camioneta Mazda BT-50 de la Escuela de Conducción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga un vehículo de servicio, representativo del sector de mayor consumo de diesel, logrando extender los resultados de la investigación a los vehículos que utilicen este tipo de combustible.

b) Método deductivo

Esta investigación es deductiva porque se analizó los resultados obtenidos de la caracterización de la mezcla combustible diesel obtenido de aceite de frituras lo cual determinó la mejor opción de combustible alternativo para motores de ciclo diesel.

c) Método de medición

Se empleó para contrastar los valores obtenidos, mediante la experimentación sobre emisiones contaminantes que se encuentren dentro de los valores permisibles contemplados en la norma NTE INEN 2207:2002 y NTE INEN 2202:2000; además según las normas ISO 1585 las pruebas de torque y potencia llevadas a cabo en el dinamómetro.

d) Método de síntesis

Al utilizar este método se logró esquematizar todas las generalidades del proceso de obtención, desarrollo y validación del biodiesel a partir de aceite de frituras para de esta manera justificar la aplicabilidad en nuestro medio y a su vez condensar las experiencias recopiladas a través del proceso de elaboración tanto del combustible como de su aplicación en vehículos de servicio y la obtención de resultados.

e) Método comparativo

En esta investigación el método comparativo nos permitió establecer variaciones positivas en cuanto a reducción de opacidad y emisiones de gases, basados en las mediciones realizadas al utilizar el diesel puro y la mezcla combustible seleccionada.

f) Método de análisis

Para llegar al objetivo de la investigación se requiere cumplir con cada uno de los lineamientos propuestos, examinando imparcialmente las causas y efectos que se tuvieron en la realización del estudio, así como determinar puntos altos y bajos en la investigación.

g) Método de matematización

Una vez representados los resultados de la investigación mediante números en cuanto al uso del catalizador, opacidad, rendimiento térmico y mecánico del motor, se utilizó este método para justificar las concentraciones utilizadas.

En la tabla 3 se puede visualizar un resumen de la metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevará a cabo la investigación.

Tabla 3.

Metodología, instrumentación y laboratorios.

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Inductivo	Se empleó para el desarrollo de la investigación la camioneta Mazda BT-50 de la Escuela de Conducción de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga un vehículo de servicio, representativo del sector de mayor consumo de diesel, pudiendo extender los resultados de la investigación a los vehículos que utilicen este tipo de combustible.	Dinamómetro de Rodillos Maschinenbau MAHA 3000LPS	Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares CCICEV
Deductivo	Esta investigación es deductiva porque se analizó los resultados obtenidos de la caracterización de la mezcla combustible diesel obtenido de aceite de frituras lo cual determinó la mejor opción de combustible alternativo para motores de ciclo diesel.	Unidad experimental del reactor agitado discontinuo	Laboratorio de Química Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

CONTINÚA 

De medición	<p>Se empleó para contrastar los valores obtenidos, mediante la experimentación sobre emisiones contaminantes que se encuentren dentro de los valores permisibles contemplados en la norma NTE INEN 2207:2002 y NTE INEN 2202:2000; además según las normas ISO 1585 las pruebas de torque y potencia llevadas a cabo en el dinamómetro.</p>	<p>Dinamómetro de Rodillos Maschinenbau MAHA 3000 LPS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analizador de gases CLIMA 7000 Brain Bee • Analizador de Gases CARTEK • Luxómetro 	<p>Centro de transferencia tecnológica para la capacitación e investigación en control de emisiones vehiculares CCICEV</p> <p>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga</p>
De síntesis	<p>Al utilizar este método se logró esquematizar todas las generalidades del proceso de obtención, desarrollo y validación del biodiesel a partir de aceite de frituras para de esta manera justificar la aplicabilidad en nuestro medio y a su vez condensar las experiencias recopiladas a través del proceso de elaboración tanto del combustible como de su aplicación en vehículos de servicio y la obtención de resultados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Computador Microsoft Office 	
Comparativo	<p>En esta investigación el método comparativo nos permitió establecer variaciones positivas en cuanto a reducción de opacidad y emisiones de gases, basados en las mediciones realizadas al utilizar el diesel puro y la mezcla combustible seleccionada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • Excell 	
Análisis	<p>Para llegar al objetivo de la investigación se requiere cumplir con cada uno de los lineamientos propuestos, examinando imparcialmente las causas y efectos que se tuvieron en la realización del estudio, así como determinar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Computador • MatLab • Excell 	

Matematización	<p>puntos altos y bajos en la investigación.</p> <p>Una vez representados los resultados de la investigación mediante números en cuanto al uso del catalizador, opacidad, rendimiento térmico y mecánico del motor, se utilizó este método para justificar las concentraciones utilizadas.</p>	<ul style="list-style-type: none">• Computador
----------------	--	--

Conclusiones del capítulo:

- Una vez seleccionado el antecedente y el problema de la investigación se estableció los puntos a ser investigados como objetivos, metas y desarrollo del proyecto de investigación.
- Para alcanzar el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto se utilizara una metodología que se enfoque en los procesos que se van a desarrollar para cumplir los objetivos establecidos.
- Se presenta la utilidad al realizar la investigación porque se justifica cada punto a ser desarrollado a lo largo de la misma.

CAPÍTULO II

En este capítulo se realiza la investigación bibliográfica de libros, bases digitales, artículos científicos, revistas de investigación, páginas web de fuentes certificadas, entre otros, para sustentar la obtención y el uso del biodiesel con un catalizador heterogéneo, siendo un combustible alternativo con características y particularidades de un combustible de segunda generación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Motor diesel

Según el apéndice cronológico de la revista científica (Elsevier Inc. Encyclopedia of energy, 2015), el motor diesel fue inventado en el año 1893 por Rudolf Diesel, se lo define a través de su ciclo teórico termodinámico, este proceso es a presión constante, en el cual el volumen de combustible inyectado aproximadamente a 175 bar de presión reacciona a través de un choque con la presión de compresión de 40 bar, esto ocasiona que el proceso de combustión sea suave y progresivo de esta manera se entrega el poder calorífico de combustible que ingresa Q_1 , luego de lo cual al cumplir con el ciclo de combustión y escape se obtendrá un calor aprovechado que dependerá de las características del combustible de prueba.

2.2. Diagrama del ciclo teórico del trabajo del MACI diesel 4T

(Ocaña, 2003, pág. 26) Representado en un sistema de ejes coordenados $P = f(V)$ en el funcionamiento teórico de los motores, el trabajo desarrollado en el ciclo queda determinado en el interior del diagrama (T_u).

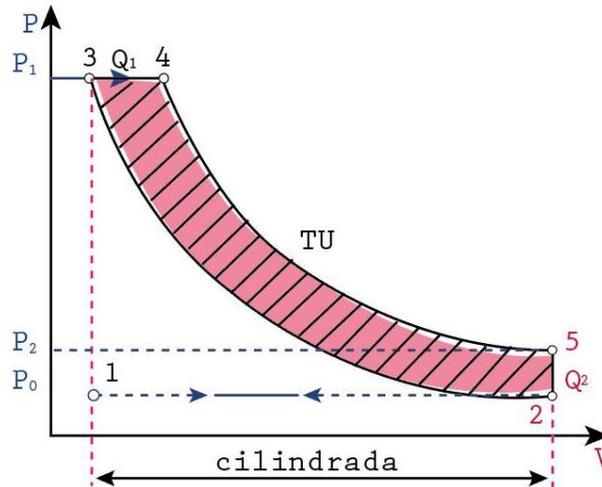


Figura 2. Diagrama presión volumen de operación del ciclo diesel

- **Admisión 1-2**

Durante el primer recorrido del pistón, el cilindro se llena totalmente de aire ocupando todo el volumen a presión atmosférica, que se mantiene constante por lo que este recorrido es isobárico $P=K$, constante.

- **Compresión 2-3**

El aire comprimido en la cámara de combustión que alcanza en un punto (3) presiones del orden de 35 a 50 Kp/cm².

Suponiendo ese recorrido adiabático la temperatura alcanzada al finalizar la compresión depende del trabajo aportado para comprimir el aire. El valor de la misma supera los 500 °C, temperatura adecuada para producirla inflamación del combustible.

- **Combustión - Expansión (3-4-5)**

Durante el tiempo que dura la inyección, el pistón inicia su descenso con un recorrido a presión constante 3-4, debido a que el combustible se quema progresivamente a medida que entra en el cilindro (retraso de combustión), compensando el aumento de volumen con la aportación de calor.

Terminada la inyección produce la expansión 4-5 lo que hace decrecer la presión interna a medida que el cilindro aumenta de volumen. Suponiendo este desplazamiento también adiabático, la diferencia de temperatura entre los puntos 4 y 5 se habrá transformado en trabajo mecánico.

- **Escape (5-2-1)**

En el punto 5 se abre la válvula de escape y los gases quemados salen rápidamente al exterior, bajando la presión interna teóricamente a la presión atmosférica (isocora 5-2).

El calor residual no transformado en trabajo es cedido a la atmósfera. El resto de los gases residuales es barrido del cilindro por el pistón durante su recorrido de escape 2-1 a la presión atmosférica (igual presión, isobara), llegando el mismo al PMS, donde se cierra la válvula de escape y se abre la admisión para iniciar un nuevo ciclo.

Debido a la combustión-expansión se inicia a presión constante (recta 3-4) a este ciclo también se le conoce como ciclo a presión constante, así como ciclo diesel.

De acuerdo al estudio realizado por (Erazo, 2013, pág. 35) el ciclo de trabajo de un motor diesel depende de los siguientes parámetros:

Calor suministrado:

$$Q_1 = C_p(Tb - Tc)$$

Ecuación 1

Q_1 = Calor suministrado

C_p = Calor específico a presión constante

Tb = Temperatura de combustión

Tc = Temperatura de compresión

Calor extraído:

$$Q_2 = C_v(Td - Ta)$$

Ecuación 2

Q_2 = Calor extraído

C_v = Calor específico a volumen constante

Td = Temperatura de escape

Ta = Temperatura de admisión

Relación de compresión:

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c}$$

Ecuación 3

ε = Relación de compresión

V_a = Volumen del cilindro

V_c = Volumen de la cámara de combustión

Grado de expansión previa:

$$\rho = \frac{P_z}{P_c} = \frac{T_z}{T_c}$$

Ecuación 4

ρ = Grado de expansión previa

P_z = Presión de combustión

P_c = Presión de compresión

T_z = Temperatura de combustión (K)

T_c = Temperatura de compresión (K)

Eficiencia térmica:

$$\eta_t = 1 - \frac{q_2}{q_1} = 1 - \frac{c_v(T_b - T_b)}{c_p(T_z - T_c)}$$

Ecuación 5

η_t = Eficiencia térmica

c_p = Calor específico a presión constante $\left(1,005 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}\right)$

c_v = Calor específico a volumen constante $\left(0,719 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ K}\right)$

Presión media del ciclo:

$$P_{mc} = \frac{P_a \varepsilon^k k (\rho - 1)}{(\varepsilon - 1)(k - 1)} \eta_t$$

Ecuación 6

$$P_{mc} = \frac{(T)}{(Vh)} * i$$

Ecuación 7

P_{mc} = Presión media del ciclo

P_a = Presión de admisión

T = Torque

i = Numero de cilindros

k = Coeficiente adiabático (1.41)

$$n_t = P_{mc} \frac{(\varepsilon - 1)(k - 1)}{P_a \varepsilon^k k (\rho - 1)}$$

Ecuación 8

$$n_t = \frac{\text{Potencia al freno}}{Q * mc} * 100\%$$

Ecuación 9

Consumo másico de combustible:

$$mc = \frac{\text{Potencia al freno}}{Q * n_t}$$

Ecuación 10

mc = Consumo másico de combustible

Q = Calor

n_t = Rendimiento térmico

Consumo específico de combustible:

$$CEC = \frac{mc}{Ne}$$

Ecuación 11

CEC = Consumo específico de combustible

Ne = Potencia efectiva

Rendimiento mecánico:

$$\eta_m = \frac{Ne}{Ni} = \frac{Ni - Nm}{Ni} = 1 - \frac{Nm}{Ni}$$

Ecuación 12

η_m = Rendimiento indicado

Ni = Potencia indicada

N_m = Potencia mecánica

Rendimiento indicado:

$$\eta_i = \frac{\eta_t}{\eta_m}$$

Ecuación 13

η_i = Rendimiento indicado

η_m = Rendimiento mecánico

2.3. Diesel o gasóleo

Se lo ha definido como producto líquido, mezcla de hidrocarburos que contienen de 13 a 25 átomos de carbono, que se saca del petróleo crudo por destilación fraccionada a una temperatura entre 288°C a 360°C según la norma NTE INEN 1489 de densidad sobre 832 kg/m³ (0,832 g/cm³). Su poder calorífico inferior es de 35,86 MJ/l (43,1 MJ/kg) que depende de su composición y que sirve como combustible de motores diesel. (EUCAR, 2010)

2.3.1. Especificaciones para el diesel

De acuerdo a la norma técnica emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), NTE INEN 1489:2012, que establece los requisitos que deben cumplir el diesel que se comercializa en el Ecuador, (ver tabla 4, tabla 5 y 6) se detallan los requisitos del diesel No.1, diesel No.2 y diesel Premium.

Tabla 4

Norma NTE INEN 1489:2012 requisitos del diesel No. 1

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	40	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
φ Contenidos de agua y sedimento	%	-	0.05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0.15	NTE INEN 1491
W Contenido de cenizas	%	-	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	288	NTE INEN 926

CONTINÚA 

Viscosidad cinemática a 37.8°C	cSt	1.3	3.0	NTE INEN 810
W Contenido de azufre	%	-	0.3	ASTM 4294
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No. 2	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	40	-	NTE INEN 1495

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012)

Tabla 5

Norma NTE INEN 1489:2012 requisitos del diesel No. 2

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
φ Contenidos de agua y sedimento	%	-	0.05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0.15	NTE INEN 1491
W Contenido de cenizas	%	-	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2.0	5.0	NTE INEN 810
W Contenido de azufre	%	-	0.7	ASTM D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel, φBiodiesel	%	Nota	5	EN 14078

NOTA: De no contener biodiesel no es necesario la realización de este ensayo.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012)

Tabla 6**Norma NTE INEN 1489:2012 requisitos del diesel premium**

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
φ Contenidos de agua y sedimento	%	-	0.05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0.15	NTE INEN 1491
W Contenido de cenizas	%	-	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	2.0	5.0	NTE INEN 810
W Contenido de azufre	%	-	0.5	ASTM D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiesel, φBiodiesel	%	Nota	5	EN 14078

NOTA: De no contener biodiesel no es necesario la realización de este ensayo.

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012)

2.4. Métodos prácticos para la determinación de parámetros de rendimiento de un motor diesel

2.4.1. Pruebas para determinar torque, potencia, consumo de combustible

Mediante la norma ISO 15550 esta norma internacional especifica las condiciones de referencia estándar y métodos de declaración de la potencia, consumo del combustible, consumo del aceite lubricante y métodos de ensayo para los motores de combustión interna de producción comercial usando combustibles líquidos o gaseosos.

2.4.2. Pruebas de análisis de gases contaminantes

a) Pruebas de opacidad de gases.

Mediante la norma NTE INEN 2202:2000. “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores a diésel mediante la prueba estática. Método de aceleración libre”. El ensayo consiste en la determinación del porcentaje de luz visible que se absorbe y refleja cuando un haz de ésta atraviesa la corriente de las emisiones provenientes del sistema de escape de un motor a diésel.

b) Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel.

Mediante la norma NTE INEN 2207:2002. “Gestión Ambiental. Aire. Vehículos automotores. Límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel”. Esta norma cuantifica de forma dinámica las emisiones contaminantes provocadas por toda fuente móvil (con motor a diésel), como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas.

2.5. Biodiésel

2.5.1. Definición

Los autores (Crespo, Martínez, & Aracil, 2001) definen al biodiésel mediante las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material Standard, asociación internacional de normativa de calidad) como ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como: aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión.

Sin embargo, los ésteres más utilizados, son los de metanol y etanol (obtenidos a partir de la transesterificación de cualquier tipo de aceites vegetales o grasas animales o de la esterificación de los ácidos grasos) debido a su bajo costo y sus ventajas químicas y físicas (págs. 135-145).

2.6. Materias primas para la obtención del biodiesel

Entre los principales aceites vegetales usados se encuentran los de colza, palma, soya, girasol, jatropha, semilla de algodón, canola, grasas animales y aceites usados. La investigación en materias primas es liderada principalmente por Estados Unidos, China, Japón, India, Alemania y Turquía, que trabajan primordialmente en soya, colza, girasol y palma. Se observa una estrecha relación entre la disponibilidad de materia prima y la publicación de artículos científicos ya que cada país investiga principalmente sobre la materia prima que tiene disponible. ((ARPEL), 2009, pág. 2).

(Cárdenas, 2014). Las grasas animales y los aceites de cocina usados son conocidas como “grasas amarillas” si el nivel de ácidos grasos libres es menor al 15% p/p, y “grasas oscuras o marrones” si el contenido de AGL es superior al 15% p/p.

Los aceites residuales de cocina usados son principalmente obtenidos de la industria de restaurantes o reciclados en sitios especiales. Puede no tener ningún costo o un 60% menos que los aceites refinados dependiendo de la fuente y la disponibilidad. Los aceites usados presentan un gran nivel de reutilización, y muestran una buena aptitud para su aprovechamiento como biocombustible. (p. 11).

(Avellaneda, 2010) Sin embargo, estos aceites tienen propiedades tanto del aceite crudo como del refinado. El calor y el agua aceleran la hidrólisis de los triglicéridos y aumenta el contenido de ácidos grasos libres en el aceite. El material insaponificable, la viscosidad y la densidad aumentan considerablemente debido a la formación de dímeros y polímeros, pero el índice de yodo y la masa molecular disminuyen.

2.7. Obtención del biodiesel

2.7.1. Caracterización de la materia prima

a) Densidad relativa

(INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2012) Para determinar la densidad del aceite se considera la norma INEN NTE 0035: "Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación de la densidad." Esta norma tiene por objeto establecer el método del picnómetro para determinar la densidad relativa a 25/25°C de las grasas y aceites vegetales o animales.

b) Índice de acidez y porcentaje de acidez

(INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) El procedimiento se encuentra detallado en la norma NTE INEN-ISO 660:2013 "Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de acidez y de la acidez".

El método se fundamenta en la neutralización de la acidez de la muestra de aceite de fritura usado, la muestra se disuelve en una mezcla adecuada de solventes y los ácidos presentes se titulan con una solución de hidróxido sódico o potásico en etanol o metanol.

El volumen gastado de la solución alcalina y la masa de aceite usada en el ensayo permiten calcular el índice de acidez y el porcentaje de acidez como ácido oleico mediante dos ecuaciones diferentes mencionadas en la sección de cálculos y resultados.

c) Índice de saponificación

(INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización , 2013) El procedimiento se detalla en la norma NTE INEN-ISO 3657:2013 “Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de saponificación.” La muestra para análisis se saponifica por ebullición en condiciones de reflujo con un exceso de hidróxido potásico etanólico, seguido de valoración del exceso de hidróxido potásico con una solución patrón de ácido clorhídrico.

d) Transesterificación

(Zhang, 2003). El proceso más utilizado para la producción de biodiesel es la transesterificación, la cual se refiere a la reacción entre un aceite o grasa y un alcohol en un medio catalizado, para producir ésteres alquílicos de ácidos grasos (biodiesel) y glicerol o glicerina.

El metanol y el etanol son los alcoholes usados con mayor frecuencia, especialmente el metanol debido a su bajo costo y a sus ventajas físicas y químicas (es polar y es un alcohol de cadena corta); además, el metanol reacciona rápidamente con los triacilglicéridos y se disuelve fácilmente en álcalis. Para realizar una transesterificación estequiométricamente completa es necesario mantener una relación molar de alcohol a triacilglicérido de 3:1.

Representación de la reacción de transesterificación:

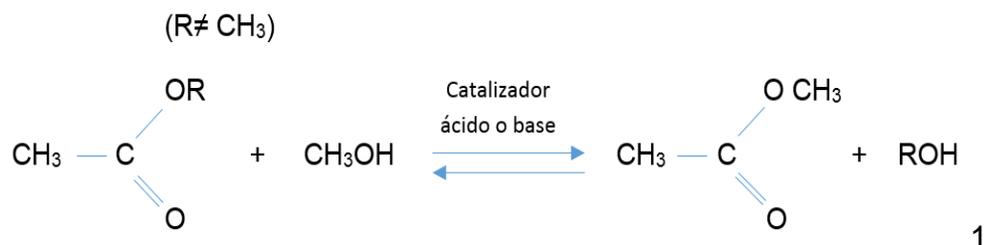


Figura 3. Reacción de transesterificación

La reacción al utilizar el metanol se expresa de la siguiente manera:

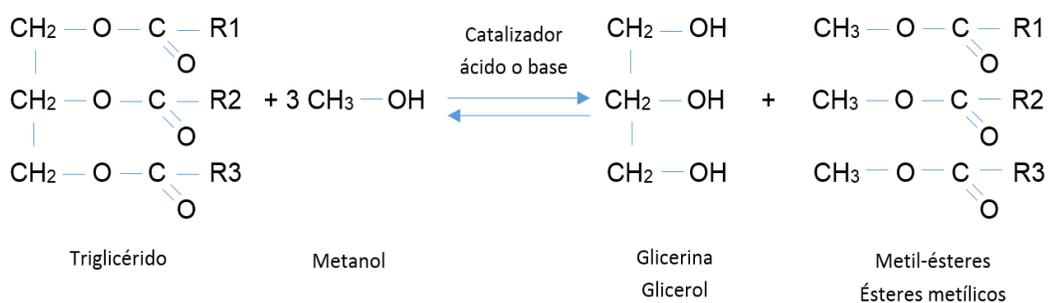


Figura 4. Reacción al utilizar metanol

2.7.2. Elementos que afectan a la producción de biodiesel a partir del aceite de frituras

a) Contenido de agua

(Arun et al, 2011). El contenido de agua en aceite de cocina usado es acelerar la reacción de hidrólisis y, simultáneamente, reducir la cantidad de formación de éster. El contenido de agua debe no siempre exceder de 0,5% para obtener un rendimiento del 90% de biodiesel y es más crítico para una reacción catalizada por ácido de base de reacción catalizada.

(Gnanaprakasam, 2013) En la mayoría de los casos el aceite de cocina usado se precalienta a 120°C para evaporar las moléculas de agua, se pueden eliminar mediante el uso de sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) o sulfato de magnesio anhidro. Algunas enzimas requieren cierta cantidad de agua a ser activo, que es menor que cantidad monocapa de moléculas de agua alrededor de la enzima moléculas; si el agua presente en la materia prima supera este límite, se reducirá la conversión mediante la desactivación de la lipasa.

b) Los ácidos grasos libres.

(Chhetri, Watts, & Islam, 2008). Los residuos de aceite de cocina contienen un alto contenido de ácidos grasos libres que los aceites de cocina fresca. Por lo tanto, se conoce que el mayor contenido de ácidos grasos libres conducirá a la formación de jabón y agua. Así mismo, si el contenido de ácidos grasos libres supera el 3%, transesterificación reacción no se llevará a cabo incluso con catalizador base homogénea.

Tabla 7

Diversos métodos utilizados para la producción de biodiesel a partir de residuos de aceite cocina

Métodos	Catalizadores	Ventajas	Desventajas
Catalizadores homogéneos de álcali	1) NaOH 2) KOH 3) Metóxido de Sodio 4) Metóxido de Potasio	1) Reacción más rápida 2) Mayor rendimiento 3) Reacción leve 4) Bajo costo	1) Formación de jabón 2) Difícil separarlo del producto final, el agua interfiere con la reacción
Catalizadores heterogéneos de álcali	CaO, CaTiO ₃ , CaZrO ₃ , CaO-CeO ₂ , CaMnO ₃ , Ca ₂ Fe ₂ O ₅ , Al ₂ O ₃ /KI, ETS-10 alúmina zeolita /silica-compatible K ₂ CO ₃	1) Separación de catalizador de producto es fácil. 2) Formación de jabón es evitado 3) Menos corrosivo, menor toxicidad, menos problema ambiental	1) Elevada proporción de aceite, el metanol es requerido para alcanzar el nivel más alto posible de conversión

Ácidos homogéneos	Concentrado de H ₂ SO ₄ , ácido sulfónico	<ol style="list-style-type: none"> 1) Adecuados para altas de ácido graso libre alimento stock 2) Alto rendimiento 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Reacción lenta 2) Necesitan condiciones extremas de presión y temperatura 3) Separación difícil 4) Más corrosivo
Ácidos heterogéneos	ZnO/l ₂ , ZrO ₂ =SO ₂ , Sr/ZrO ₂ TiO ₂ = SO ₂ , basada en el carbono catalizador ácido sólido, los hidratos de carbono derivadas de catalizador, fosfato, ácido niobic Vanadyl, sulfatadas, Amberlyst zirconio-15, Nafion-NR50	<ol style="list-style-type: none"> 1) Menos corrosivo 2) Menor toxicidad 3) Menos problemas ambientales 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Baja concentración de ácido 2) Alto costo 3) Limitación de difusión
Enzimas	Fracción B de lipasa Candida antártica, Rhizomucor lipasa mieher, E. aerogenes lipasa, la lipasa inmovilizada en hydrotalcite y zeolitas.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Por producto de proceso puede ser quitado fácilmente 2) Los ácidos grasos libres pueden ser completamente convertida en ésteres metílicos, regeneración y reutilización de catalizadores inmovilizados son posibles 	<ol style="list-style-type: none"> 1) Alto tiempo de reacción necesaria 2) Amplia, pérdida de actividad, aglomeración de enzima

Fuente: (A. Gnanaprakasam, 2013)

Según (Rojas, Girón, & Torres, 2009) otros elementos que afectan la transesterificación son:

c) "Temperatura

Si se incrementa la temperatura, el rendimiento de la reacción aumenta y el tiempo de reacción se reduce. Se recomienda trabajar a temperaturas no mayores al punto de ebullición del alcohol a emplear por razones económicas, de seguridad y técnicas para evitar la formación de burbujas que limiten la reacción en la interface alcohol / aceite / biodiesel.

d) Relación molar entre las materias primas

La reacción estequiométrica de transesterificación requiere de tres moles de alcohol y un mol de un triglicérido para producir 3 moles de ésteres (pudiendo ser diferentes compuestos). La transesterificación es una reacción química reversible, por lo tanto requiere de un exceso de alcohol para llevar la reacción al lado derecho hacia los productos.

e) Agitación

Dar agitación al sistema resulta de importancia dado que cuando se alimentan los reactivos al reactor se forma un sistema de dos fases líquidas inmiscibles entre el aceite y el alcohol. La transferencia de una fase a otra se facilita dotando intensidad de mezclado al reactor mediante sistemas mecánicos de agitación. La agitación debe ser fuerte y constante a lo largo de la reacción para sistemas donde se utilicen catalizadores sólidos, facilitando el ingreso de las fases a los poros del catalizador. Valores de agitación entre 350 a 600 RPM logran superar el valor mínimo del número de Reynolds, garantizando que la transferencia de masa de reactivos y productos no limite la velocidad de reacción.

f) Tiempo de reacción

El rendimiento de una reacción depende del equilibrio final alcanzado para unas determinadas condiciones de reacción. Para la reacción de la transesterificación, para alcanzar el equilibrio final se requiere menor tiempo de reacción cuando se emplean alcoholes simples como el metanol en lugar de alcoholes de cadena más larga como el etanol y el propanol. Es posible que a un tiempo de residencia t muy corto en el reactor, no se haya llegado al equilibrio final inclusive si en la reacción interviene un catalizador, en este caso la reacción se mantiene incompleta o en un nuevo equilibrio para las condiciones nuevas que adquiere al detener el reactor discontinuo. (págs. 17-20)”

2.7.3. Catalizador heterogéneo óxido de calcio

(Castellar, 2014) El CaO es el catalizador sólido básico más ampliamente estudiado, ya que presenta varias ventajas, entre las que se encuentran una larga vida útil, alta actividad catalítica y sólo requiere de condiciones moderadas de reacción. Por otro lado, el CaO ha atraído mucho la atención por sus diversas fuentes naturales a partir de desechos, como las cáscaras de huevo o conchas de moluscos; estos depósitos representan una fuente de CaCO₃ que, al ser calcinados, producen óxido de calcio.

2.7.4. Mecanismo de reacción de transesterificación por catálisis heterogénea (CaO).

(Salazar, 2014, págs. 19-20). A continuación se detalla el mecanismo catalítico para la reacción de la transesterificación:

Primero, las moléculas de metanol hacen contacto con el catalizador durante la agitación.

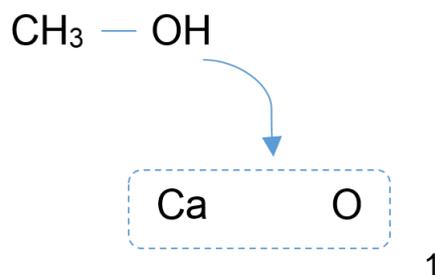


Figura 5. Moléculas del metanol en contacto con el catalizador

La deprotonación del alcohol se produce sobre la superficie del catalizador óxido de calcio al actuar como una base fuerte.

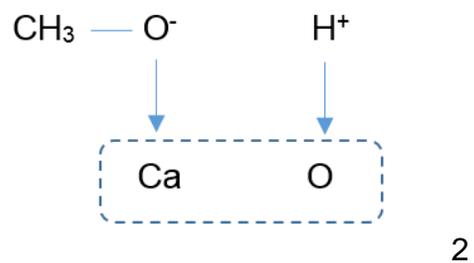


Figura 6. Deprotonación del alcohol

Luego se produce la atracción polarizada del nucleófilo generado.

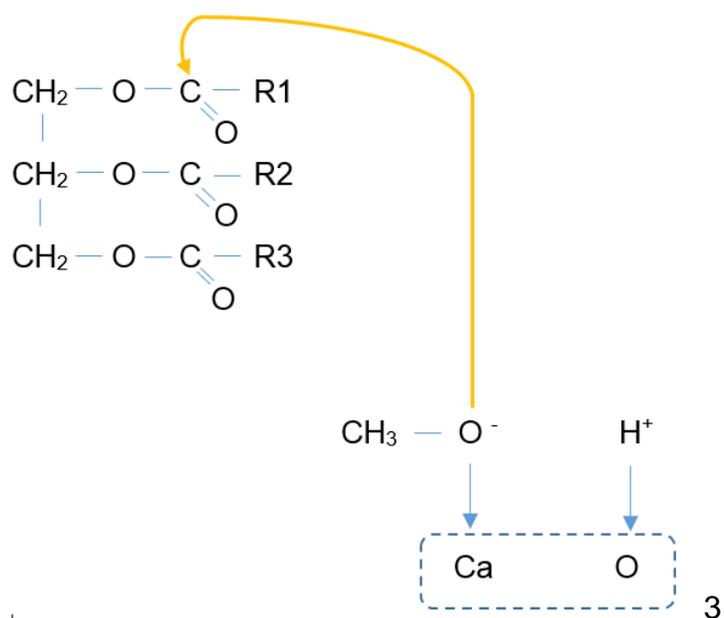
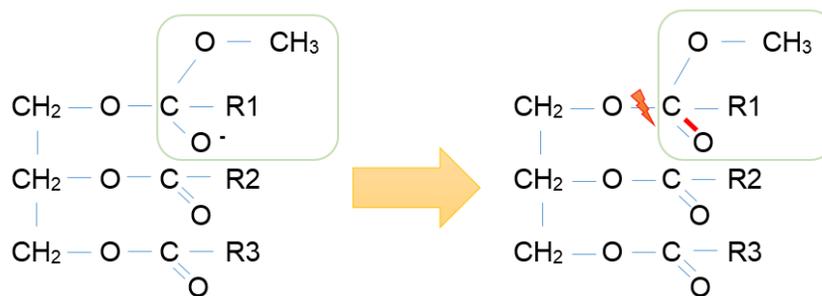


Figura 7. Atracción polarizada del nucleófilo generado

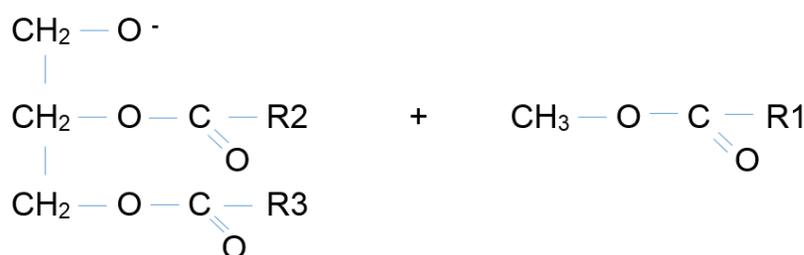
Se forma un intermedio momentáneo con una carga negativa en el antiguo grupo carbonilo, los electrones libres se vuelven a unir con el carbono y rompen el enlace de la molécula:



4

Figura 8. Unión de los electrones con el carbono

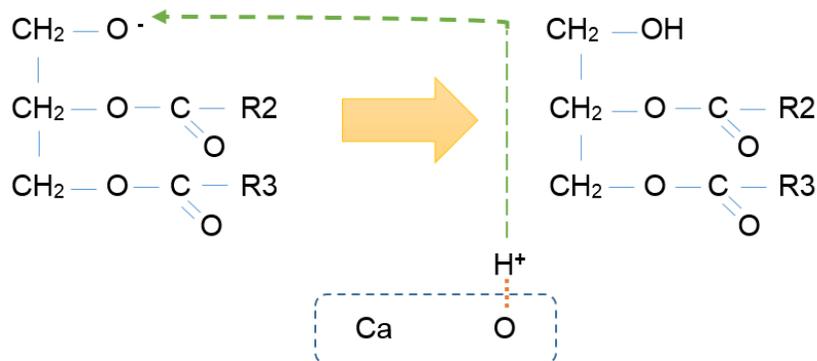
Se forma un metil-éster de un ácido graso o también llamado metil-éster.



5

Figura 9. Formación de un metil-éster de un ácido graso

El catión hidrógeno se une al oxígeno de la molécula formando un diglicérido que ya no se encuentra unido al catalizador, quedando libre la superficie del catalizador. (Haryadi, 2009)



6

Figura 10. Formación de un diglicérido

2.7.5. Cálculos para la etapa de la reacción de transesterificación

(Salazar Loor, 2014) Para la etapa de transesterificación se inicia con las ecuaciones del peso molecular del aceite de fritura usado mediante uso del índice de saponificación.

$$R.E.S. = \frac{3 \text{ mol KOH}}{1 \text{ mol tripalmítica}}$$

Ecuación 14

$$R.E.S. = \frac{168300 \text{ mg KOH}}{1 \text{ mol aceite}}$$

Ecuación 15

$$M_{\text{aceite}} = \frac{R.E.S.}{I.S.}$$

Ecuación 16

R.E.S. = Relación estequiométrica entre los reactivos para la reacción de saponificación.

M_{aceite} = Peso molecular aproximado del aceite [g/mol]

I.S. = Índice de saponificación de la muestra [mg KOH/g aceite]

a) Cálculo modelo de la masa necesaria de metanol en función de la relación molar

$$m_{metanol} = m_{aceite} \times MR \times \frac{M_{metanol}}{M_{aceite}}$$

Ecuación 17

$$\delta_{aceite} = \frac{m_{aceite}}{V_{aceite}}$$

Ecuación 18

m_{aceite} = Masa de aceite a utilizar para elaborar biodiesel [g].

$m_{metanol}$ = Masa necesaria de metanol en función de la relación molar [g].

MR = Relación molar expresada como número de moles de metanol por mol de aceite [mol].

$M_{metanol}$ = Peso molecular del metanol [g/mol].

M_{aceite} = Peso molecular del aceite calculado [g/mol].

b) Cálculo modelo de la masa de catalizador óxido de calcio

$$m_{CaO} = m_{aceite} \times \frac{\%p/p \text{ CaO}}{100 [g \text{ aceite}]}$$

Ecuación 19

m_{CaO} = Masa de catalizador sólido óxido de calcio [g]

$$\% \frac{p}{pCaO}$$

= *Porcentaje en peso del catalizador óxido de calcio referido a la masa de aceite de fritura usado.*

Ecuación 20

2.7.6. Especificaciones para el biodiesel.

(Jaya & Mancheno, 2009) Se deben realizar una serie de ensayos para comprobar la calidad del combustible y el nivel de impurezas remanentes en el proceso de producción del biodiesel, para ello existen normativas en el ámbito europeo (EN), americano (ASTM) y ecuatoriano (NTE INEN) basadas en las anteriores.

- **NORMA EN 14214:2008.**

Especificación para biodiesel. La Unión Europea define la composición y propiedades de los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME), denominados biodiesel. (Ver Anexo A).

- **NORMA ASTM D 6751:2012.**

Especificación estándar para mezclas de combustible biodiesel (B100) para los combustibles destilados medios. La ASTM (American Society of Testing and Materials) establece una norma de especificaciones relacionados con el biodiesel. (Ver Anexo B)

- **NORMA NTE INEN 2482:2009.**

Requisitos biodiesel. En Ecuador, de acuerdo a la norma técnica emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), se establecen los requisitos de la Tabla 8, que deben cumplir los esteres metílicos o etílicos de ácidos grasos que van a ser usados como combustibles para motores de ciclo diesel.

Tabla 8**Norma NTE INEN 2482-2009 requisitos biodiesel**

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	--	ASTM D 93
Punto de Turbidez	°C		Reportar ¹	
φ Agua y sedimento	%	---	0,05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad Cinemática a 40°C	mm ² /S	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	---	0,02	ASTM D 874
Contenido de Azufre	mg/kg	---	10	ASTM D 1552
W Carbón Residual ²	%	---	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W _{Glicerina libre}	%	--	0,02	ASTM D 6584
W _{Glicerina total}	%	--	0,25	ASTM D 6584
W _{Contenido de ésteres}	%	96,5	..	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100 g	---	120	EN 14111
W _{Contenido de metanol}	%	--	0,20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/kg	---	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg)	Contenido de metales alcalinos (Na + K)	---	5	prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,5	ASTM D 664

CONTINÚA 

¹El punto de turbidez del biodiesel generalmente es mayor que el diesel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla.

²Debe ser determinado en el 100% de la muestra

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2009)

2.7.7. Propiedades del biodiesel

Según Curró et al. (2007) las propiedades del biodiesel son las siguientes:

- Su producción es renovable.
- Su proceso de producción primaria y elaboración industrial determina un balance de carbono menos contaminante que los combustibles fósiles.
- Cumple con los requisitos de la Environmental Protection Agency (EPA) para los combustibles alternativos.
- Puede emplearse puro o combinado con los combustibles fósiles en cualquier proporción. No contiene azufre y por ende no genera emanaciones de este elemento, las cuales son responsables de las lluvias ácidas.
- Mejor combustión, que reduce el humo visible en el arranque en un 30%.
- Cualquiera de sus mezclas reduce en proporción equivalente a su contenido, las emanaciones de CO₂, CO, partículas e hidrocarburos aromáticos. Dichas reducciones están en el orden del 15% para los hidrocarburos, del 18% para las partículas en suspensión, del 10% para el óxido de carbono y del 45% para el dióxido de carbono. Estos indicadores se mejoran notablemente si se adiciona un catalizador.
- Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.
- Volcados al medio ambiente se degradan más rápidamente que los petro combustibles.
- Su combustión genera menos elementos nocivos que los combustibles tradicionales reduciendo las posibilidades de producir cáncer.

- Es menos irritante para la epidermis humana.
- Actúa como lubricante de los motores prolongando su vida útil.
- Su transporte y almacenamiento resulta más seguro que el de los petro derivados ya que posee un punto de ignición más elevado. El biodiesel puro posee un punto de ignición de 148°C contra los escasos 51°C del gasoil.

2.8. Tipos de mezclas combustibles

Según el laboratorio (National renewable energy, 2005). B2, B5, B20 y B100 son combustibles con una concentración de 2%, 5%, 20% y 100% de biodiesel, respectivamente. Actualmente existen cuatro concentraciones principales de biodiesel que se utilizan en el mercado de los combustibles: el total (B100), las mezclas (B20 a B30), el aditivo (B5) y el aditivo lubricante (B2). Las mezclas B5 y B20 son las más comunes.

La mezcla B20 es la más popular porque esta representa un excelente equilibrio en costos, emisiones, comportamiento al frío, compatibilidad de materiales y habilidad para actuar como un solvente. La mayoría del biodiesel involucra mezclas de B20 actualmente usadas en una variedad de aplicaciones. El precio y falta de incentivos ha limitado la experiencia con mezcla de nivel B50 y superiores.

2.8.1. B100

(National renewable energy, 2005) La especificación estandarizada para el biodiesel B100 es la ASTM D-6751, esta especificación se asegura la calidad del biodiesel para ser usado en mezclas del 20% e inferiores. Cualquier biodiesel utilizado en los Estados Unidos debe reunir la norma ASTM D-6751 la cual está basada en propiedades físicas y químicas necesarias para la seguridad y funcionamiento satisfactorio del motor diesel.

La norma ASTM D-6751 nos muestra las características estandarizadas del combustible B100, dentro de las cuales sobresalen en relación al diesel fósil, su mayor punto de inflamación que lo hace un combustible más seguro y de fácil manejo, su menor contenido de azufre, su mayor biodegradabilidad y su alto índice de cetano; en el Ecuador B100 no sería un combustible factible de aplicación ya que esto requeriría de mayores estudios. (p. 12.)

2.8.2. B5 y mezclas bajas

(National renewable energy, 2005) La norma para el diesel convencional es la ASTM D-975 la cual permite un 5% de volumen de biodiesel en mezcla. Este tipo de biodiesel debe reunir la norma ASTM D-6751 también, además las mezclas de biodiesel deben reunir todos los requerimientos numéricos especificados en la norma ASTM D-975 para combustible diesel, ninguno puede ser cambiado ni relajado para favorecer al biodiesel.

El método ASTM D-7371 es el método de prueba para la determinación de biodiesel (ácido metilesteres grasos). El volumen de aceite combustible usado se determina por medio de un espectroscopio infrarrojo (Método FTIR-ATR-PLS) esta norma debe usarse para determinar el porcentaje de mezcla del biodiesel. El biodiesel B5 se utiliza prácticamente como un aditivo para el diesel, el cual ayuda a disminuir los elementos contaminantes en un determinado porcentaje, además dentro de sus propiedades físico químicas presenta un número de cetano más elevado, además de ayudar a la lubricación del motor. (p.23.)

2.8.3. Mezclas B6 a B20

(National renewable energy, 2005) La especificación ASTM D-7467 la cual fue recientemente publicada para mezclas que contienen entre el 6% al 20% de volumen de biodiesel. El biodiesel debe reunir la norma D-6751, el requerimiento de esta nueva especificación está basado en la norma D-975 con algunas adiciones. El 90% de la temperatura de destilación se permite sobre los 5°C más alto que para D-975 la norma del combustible diesel, número de ácidos, volumen de biodiesel y estabilidad a la oxidación están incluidos.

Sin embargo si el combustible diesel no cumple con la norma D-975 (por ejemplo lubricación inadecuada, alto volumen de azufre y aromáticos) puede también ser usado con biodiesel en mezclas para cumplir con las propiedades de la norma. El B20 es un biodiesel que trae ventajas notablemente superiores a las del diesel puro como su mayor índice de cetano, mayor punto de inflamación entre otras, además de su considerable disminución de partículas contaminantes emanadas al ambiente. (p. 23-24.).

Conclusiones del capítulo:

- Se analizó y selecciono documentos, artículos y normas técnicas que sustenten la información bibliográfica acerca de la obtención de biodiesel y su comportamiento físico y mecánico en el motor.
- Se citó ecuaciones para determinar la cantidad de catalizador a ser utilizada.
- Se señaló una base de ecuaciones de motor con el fin de sustentar matemáticamente las pruebas que se efectuaran en los laboratorios.

CAPÍTULO III

En este capítulo se presenta la metodología para la obtención del biodiesel a través de los distintos procesos, desde el pre tratamiento de la materia prima hasta la caracterización de las diferentes proporciones, es así que se describe la parte experimental correspondiente a la elaboración de la mezcla combustible a partir aceite de frituras usado, en un reactor agitado con el uso de un catalizador sólido. Concluido esta etapa se procesa la información para determinar la mezcla óptima y su uso en el motor.

3. OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

3.1. Pre-tratamiento de la materia prima

El procedimiento para el pre-tratamiento del aceite se describe a continuación:

- Se recolectó aceite de fritura usado en lugares de expendio de comidas; el aceite utilizado fue una donación de la cadena de comida Kentucky Fried Chicken (KFC).
- El aceite de fritura usado debe ser previamente filtrado para eliminar los restos de alimentos formados durante el proceso de fritura.
- Posteriormente, el aceite fue almacenado de tal manera que el agua se decantó y los sedimentos remanentes que pasaron a través del filtro, precipiten.
- Se realizó el ensayo de porcentaje de acidez (A) al aceite, para determinar si su concentración de ácidos grasos libres, es baja ($A < 3\%$) o moderada ($A > 3\%$). Si el valor de acidez es mayor a 3% se requiere pre-tratamiento para neutralizar ácidos grasos libres.
- En un vaso de precipitación de 500 ml. y con ayuda de la balanza, se pesó 100 g de aceite de fritura usado que posea un bajo porcentaje de acidez.

- Para verificar si el aceite contiene agua se coloca el vaso de precipitación con el aceite sobre una cocineta o plancha, calentar hasta 50°C y observar si empieza a salpicar.
- Si salpica, se realiza un desecado físico que consiste en calentar a 120°C por 8-10 minutos o hasta observar que ya no se produce borboteo, luego dejar enfriar hasta 50°C aproximadamente.

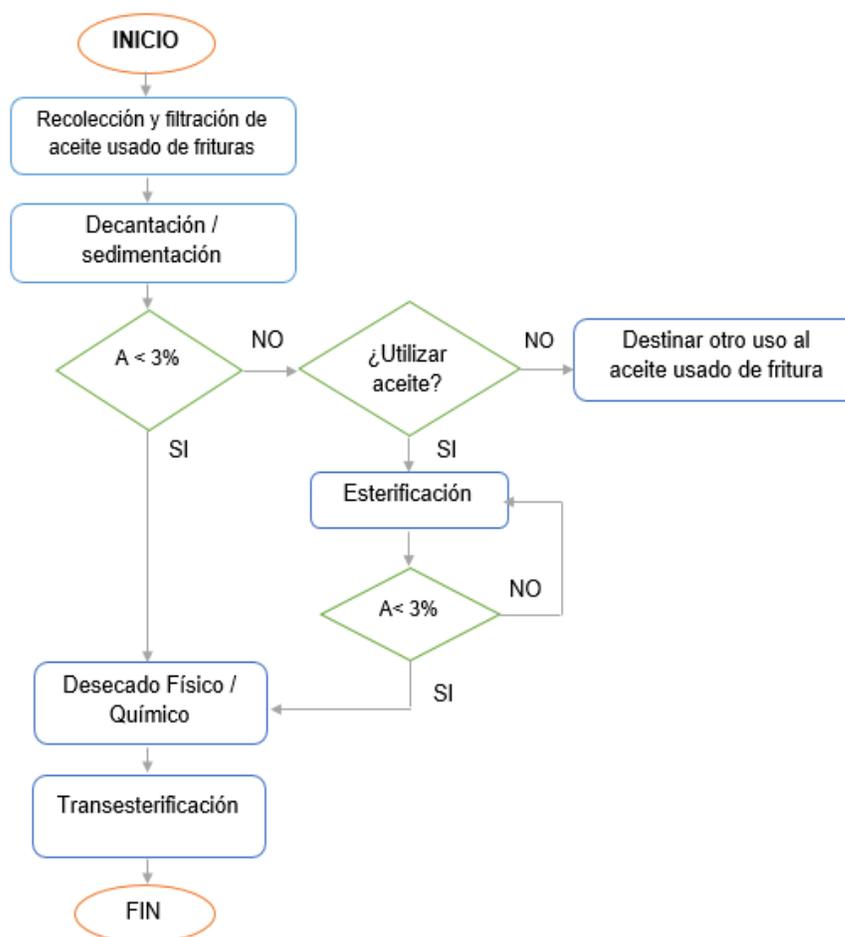


Figura 11. Algoritmo para la elección del pre-tratamiento del aceite de fritura usado

3.1.1. Tipificación de la materia prima (aceite de fritura usado y pre-tratado)

En el proceso de tipificación de la materia prima se prepara la muestra de aceite pre-tratado colocándola en una plancha a 50°C para minimizar la viscosidad y se filtra; de esta manera se entrega la muestra a un laboratorio especializado, debido al manejo de equipos y sustancias de orden analítico controlado por la Secretaría técnica de drogas.

Los indicadores que se realizaron son los siguientes:

- a) Medición de la densidad relativa
- b) Cálculo del Índice de acidez y porcentaje de acidez.
- c) Cálculo del Índice de saponificación

a) Densidad relativa

El procedimiento se encuentra detallado en la norma (INEN NTE 0035, 2012). Se define como la relación entre la masa de un volumen dado de sustancia a 25°C y la masa de un volumen idéntico de agua a (25°C). Se la calcula mediante la siguiente ecuación:

$$d_{25} = \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

Ecuación 21

d_{25} = Densidad relativa a 25/25 °C

m_0 = Masa en gramos, del picnómetro vacío

m_1 = Masa en gramos, del picnómetro lleno de agua

m_2 = Masa en gramos, del picnómetro lleno de muestra

La densidad relativa del aceite usado en el proyecto es:

$$d_{25} = 0,9178 \text{ g/ml}$$

b) Índice de acidez y porcentaje de acidez

De acuerdo con (INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013) el procedimiento es el siguiente; la muestra se disuelve en una mezcla adecuada de solventes y los ácidos presentes se titulan con una solución de hidróxido sódico o potásico en etanol o metanol. El método se describe a continuación:

- Dependiendo del valor esperado del índice de acidez, se escoge la masa de porción para análisis y la concentración de álcali a partir de la información de la tabla 3.1 extraído de la norma NTE INEN-ISO 660:2013.
- Conforme a la tabla 3.1 se pesó la porción para análisis en un matraz Erlenmeyer de 250 ml.
- Se añadió 50 ml de la mezcla de solvente neutralizado y se disolvió la porción para análisis.
- Tras la adición de un indicador (fenolftaleína), se tituló bajo agitación constante utilizando una solución patrón de hidróxido potásico. El punto de equivalencia de la titulación se alcanza cuando la adición de una sola gota de álcali produce un cambio de color ligero pero inequívoco que permanece durante 15s como mínimo.

Tabla 9

Masa de porción para análisis y la concentración de álcali

Grupo de producto (ejemplos)	Índice de acidez aproximado	Masa de las porciones para análisis (g)	Concentración de KOH (Mol/L)	Exactitud de la pesada de la porción para análisis
Aceites vegetales refinados Grasa animales	De 0 a 1	20	0,1	0,05
Aceites vegetales crudos Grasas animales de grado técnico	De 1 a 4	10	0,1	0,02
	De 4 a 15	2,5	0,1	0,01
Concentrados de ácidos grasos para jabones	De 15 a 75	0,5	0,1	0,001
		3,0	0,5	
Ácidos grasos técnicos	>75	0,2	0,1	0,001
		1,0	0,5	

Fuente: (INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)

El diagrama de bloques para la realización del ensayo se muestra a continuación:

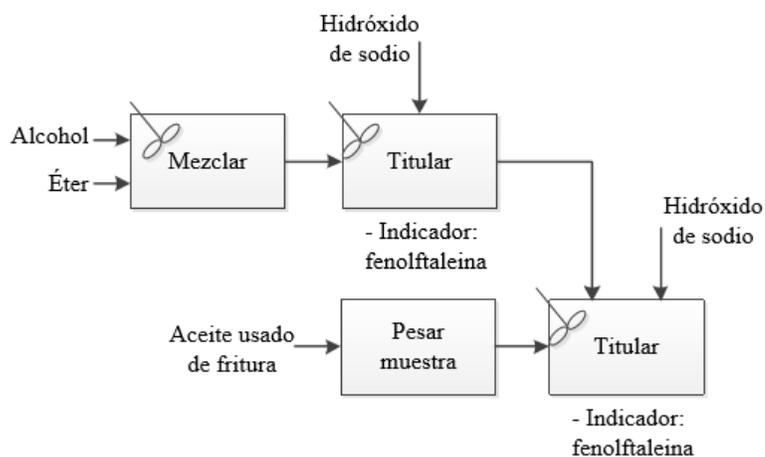


Figura 12. Diagrama de bloques para determinación del índice de acidez y el % de acidez

FUENTE: (Loor, 2014, p. 34)

Posterior a la titulación en el laboratorio se realiza los siguientes cálculos que determinan índice de acidez y el contenido de ácidos grasos libres.

El índice de acidez W_{ab} o el contenido de ácidos grasos libres, W_{ffa} se expresa de la siguiente forma:

$$W_{ffa} = 0,5 \times W_{ab}$$

Ecuación 22

El índice de acidez (W_{ab}) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$W_{ab} = \frac{56,1 \times c \times V}{m}$$

Ecuación 23

c = Concentración exacta de solución volumétrica patrón de hidróxido sódico o de hidróxido potásico utilizada, en moles por litro.

V = Volumen de la solución volumétrica patrón de hidróxido sódico o de hidróxido potásico utilizada, en mililitros.

m = Masa de porción para análisis en gramos

Según la ecuación 23:

$$W_{ab} = \frac{56,1 \times c \times V}{m}$$

$$W_{ab} = \frac{56,1 \times (0,1017)(3,8)ml}{10,1534g}$$

$$W_{ab} = 2,14mg/g$$

Acidez o contenido de ácidos grasos libres (*Wffa*):

$$Wffa = \frac{V \times c \times M \times 100}{1000 \times m}$$

Ecuación 24

M = Masa molar del ácido escogido para la expresión de los resultados conforme al tipo de grasa, en gramos por mol.

c = Concentración exacta de solución volumétrica patrón de hidróxido sódico o de hidróxido potásico utilizada, en moles por litro.

V = Volumen de la solución volumétrica patrón de hidróxido sódico o de hidróxido potásico utilizada, en mililitros.

m = Masa de porción para análisis en gramos

Según la ecuación 24:

$$Wffa = \frac{V \times c \times M \times 100}{1000 \times m}$$

$$Wffa = \frac{(0,1017)(3,8)ml(200)g/mol \times 100}{1000 \times 10,1534g}$$

$$Wffa = 1,07\%$$

c) Índice de saponificación

(NTE INEN- ISO 3657, 2013) El principio para determinar el índice de saponificación consiste en tomar la muestra para análisis, la cual se saponifica por ebullición en condiciones de reflujo con un exceso de hidróxido potásico etanólico, seguido de valoración del exceso de hidróxido potásico con una solución patrón de ácido clorhídrico.

El procedimiento se describe a continuación:

- Se pesa 2 gramos de la muestra para análisis (capítulo 8), con una aproximación de 5mg en un matraz Erlenmeyer.
- Utilizando una pipeta se añade 25 ml de solución etanólica de hidróxido de potasio a la porción para análisis con algunos núcleos de ebullición.
- Se conecta el condensador de reflujo al matraz, colocar el matraz en el sistema de calentamiento y someter a ebullición suave, agitando de cuando en cuando durante 60 min.
- Añade a la solución caliente entre 0,5 ml y 1 ml de fenolftaleína y se valora con el ácido clorhídrico justo hasta que desaparezca el color rosado del indicador. Si la solución presenta un color intenso.
- Se lleva a cabo un análisis del blanco siguiendo el mismo procedimiento descrito, utilizando nuevamente 25 ml de solución etanólica hidróxido de potasio, pero omitiendo la porción para análisis.

El diagrama de bloques para la realización del ensayo se muestra a continuación:

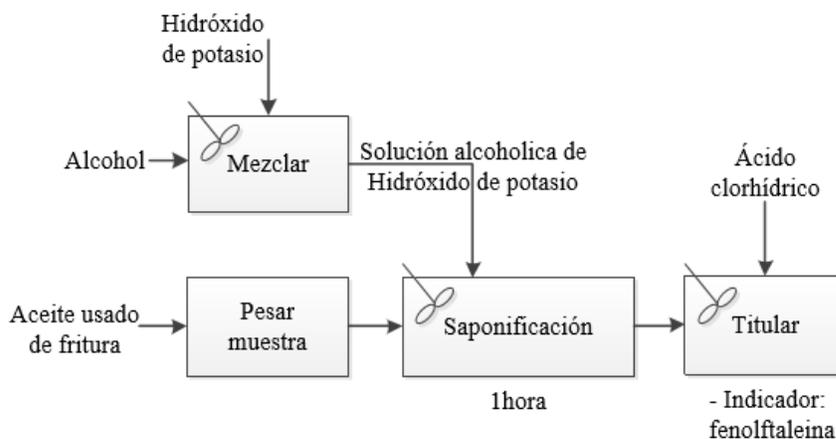


Figura 13. Diagrama de bloques para la determinación del índice de saponificación

Fuente: (Loor, 2014, p. 34)

El índice de saponificación viene dado por la fórmula:

$$Is = \frac{(V_0 - V_1) \times c \times 56,1}{m}$$

Ecuación 25

V_0 = Volumen de ácido clorhídrico utilizado en el análisis del blanco, en mililitros.

V_1 = Volumen de ácido clorhídrico utilizado en la determinación, en mililitros.

c = Concentración exacta de ácido clorhídrico, en moles por litro.

m = Masa de la porción para análisis en gramos.

Considerando la ecuación 25 se conoce el índice de saponificación.

$$Is = \frac{(V_0 - V_1) \times c \times 56,1}{m}$$

$$s = \frac{(31,5)ml - (14,1)ml \times 0,5 \times 56,1}{2,9152}$$

$$Is = 198,6mg/g$$

En la tabla 10 se compila los resultados fisicoquímicos mediante los procesos mencionados anteriormente:

Tabla 10**Resultados fisicoquímicos de la tipificación del aceite usado de frituras**

Parámetro	Resultado	Unidad	Método de análisis
Densidad relativa	0,9178	g/ml	PA-FQ-74/INEN 11
Índice de acidez	2,14	mg/g	PA-FQ-114
Acidez	1,07	%	PA-FQ-03/AOAC 947 05
Índice de saponificación	198,6	mg/g	PA-FQ -119

La materia prima “aceite de fritura usado libre de acidez y humedad”, se encuentra lista para introducirse al reactor. Este aceite pre tratado se adiciona al reactor, para transformarse, con el metanol previamente mezclado con el catalizador.

Se procede a calcular la cantidad a reaccionar de: materia prima, metanol y óxido de calcio para llegar a la etapa de elaboración de biodiesel.

3.2. Cálculos para la etapa de la reacción de transesterificación

3.2.1. Peso molecular del aceite de fritura usado mediante uso del índice de saponificación:

Según (Loor, 2014, p. 88) estequiométricamente se considera que una mol de triglicérido tri-palmitina (peso molecular: 860 g/mol) reacciona con tres moles de hidróxido de potasio (peso molecular: 56 g/mol) para producir una mol de glicerina y tres moles de jabones potásicos de palmitato.

Según la ecuación 15:

$$R.E.S. = \frac{168300 \text{ mg KOH}}{1 \text{ mol aceite}}$$

Reemplazo ecuación 15 en ecuación16:

$$M_{aceite} = \frac{R.E.S.}{I.S}$$

$$M_{aceite} = \frac{168300 \left[\frac{mg KOH}{mol aceite} \right]}{198.6 \left[\frac{mg KOH}{g aceite} \right]}$$

$$M_{aceite} = 847.432 \left[\frac{g aceite}{mol aceite} \right]$$

3.2.2. Cálculo modelo de la masa necesaria de metanol en función de la relación molar

Ecuación 18:

$$m_{aceite} = 0,9178 \frac{g}{ml} \times 500 ml$$

$$m_{aceite} = 458.9 g$$

Reemplazo ecuación 18 en 17:

$$m_{metanol} = 458.9 g \times \left[12 \frac{mol metanol}{mol aceite} \right] \times \frac{32 g metanol/mol metanol}{847.432 g aceite /mol aceite}$$

$$m_{metanol} = 207.943 g$$

$$V_{metanol} = \frac{m_{metanol}}{\rho_{metanol}}$$

$$V_{metanol} = \frac{207.943 g}{0,79 g/cm^3}$$

$$V_{metanol} = 263.21 cm^3$$

3.2.3. Cálculo modelo de la masa de catalizador óxido de calcio

Ecuación 19:

$$m_{CaO} = m_{aceite} \times \frac{\%p/p \text{ CaO}}{100 [g \text{ aceite}]}$$

$$m_{CaO} = 458.9 \text{ g aceite} \times \frac{\%p/p \text{ CaO}}{100 [g \text{ aceite}]}$$

$$m_{CaO} = 4.589 \text{ g CaO}$$

En conclusión: para formar una reacción de transesterificación a través de un catalizador sólido se requiere 500ml de aceite vegetal usado de frituras con un peso molecular de 458.9 g el cual demanda 4.589 g CaO y 207.943 g de metanol.

3.3. Etapa de la reacción (transesterificación)

Se armó el reactor de acuerdo al siguiente esquema:

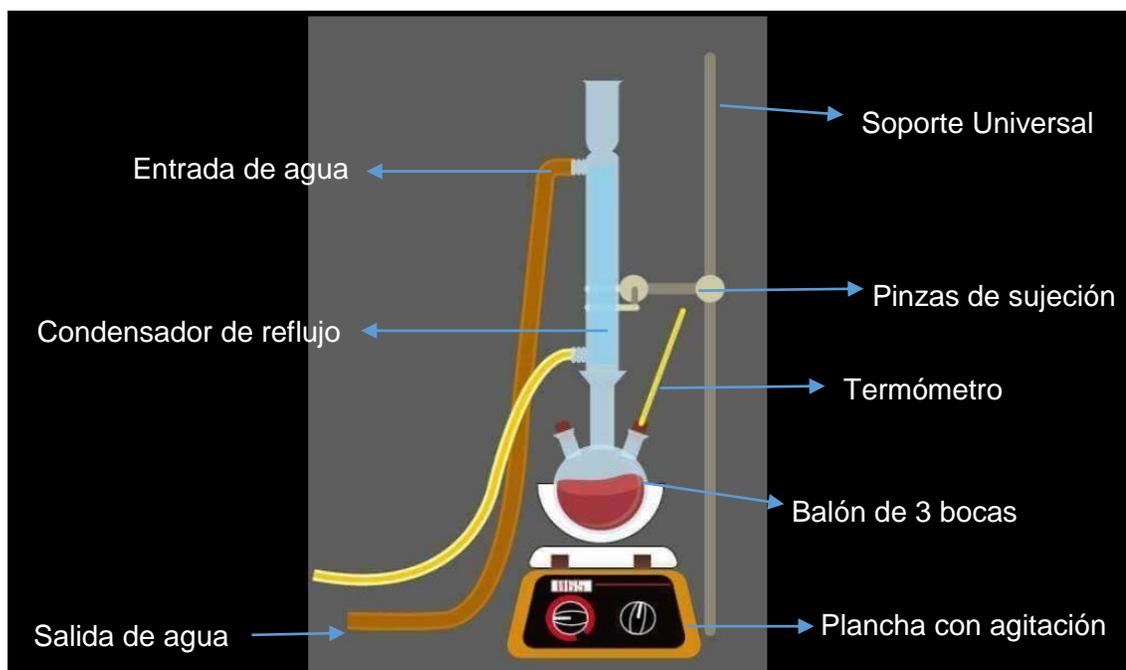


Figura 14. Unidad experimental del reactor agitado para la etapa de la reacción de transesterificación

3.3.1. Materiales y equipos

Materiales para la elaboración de biodiesel.

- Soporte universal
- Pinzas y nueces
- Mangueras
- Balón de vidrio de tres bocas de 1000 ml
- Condensador
- Agitador magnético con control de velocidad de agitación y calentamiento
- Barra magnética
- Termómetro
- Baño de maría

Equipos utilizados.

- Balanza analítica
- Estufa
- Mufla

Sustancias y reactivos empleados.

- Aceite de cocina usado (triglicéridos)
- Metanol grado analítico
- Catalizador: óxido de calcio

3.4. Procedimiento obtención del biodiesel

Utilizando los materiales y equipos se inicia el acople del reactor agitado como se presenta a continuación:

- Se utilizó un balón de tres bocas de 1000 ml como recipiente del reactor.



Figura 15. Balón de tres bocas de 1000 ml

- Se añadió al recipiente del reactor una barra magnética que junto con el agitador magnético doten de agitación y calefacción al sistema.



Figura 16. Agitadores magnéticos

- En la boca central del balón, se conectó un condensador de reflujo que a su vez está conectado a unas mangueras este condensador sirve para mantener el metanol en una fase líquida al igual que el aceite.



Figura 17. Sistema de enfriamiento por reflujo

- En la segunda boca se acopla un termómetro con ayuda de un porta-termómetro.
- El reactor reposa sobre un baño de maría que sirve a modo de chaqueta de calentamiento para el reactor. Todo el conjunto descansa sobre el agitador magnético.



Figura 18. Sistema de calefacción por baño maría

- Se fija el condensador en posición vertical mediante pinzas y nueces a un soporte universal, se conecta las mangueras de entrada (por la parte inferior) y salida (por la parte superior) de agua refrigerante.



Figura 19. Reactor agitado en funcionamiento

El procedimiento para efectuar la reacción química de transesterificación se detalla a continuación:

- Se colocó el aceite de fritura previamente tratado en el reactor con ayuda de un embudo colocado sobre la tercera boca del balón.



Figura 20. Incorporación de aceite usado en el reactor

- Se añadió metanol junto con el catalizador dentro del reactor previamente agitados.



Figura 21. Etanol grado analítico para preparación del metóxido



Figura 22. Tasación del catalizador



Figura 23. Agitación del metóxido

- Se encendió el agitador magnético, el calentador, y se abre el suministro de agua de refrigeración hasta que el termómetro indique 55°C en el reactor.



Figura 24. Reactor agitado y refrigerado

- Esperar a que concluya el tiempo de reacción (3 horas), revisando que la temperatura se mantenga lo más constante posible alrededor de los 55 °C mientras dura la reacción.

Al detener la agitación dentro del reactor, se observa al cabo de un par de minutos la formación de dos fases: biodiesel arriba y glicerina abajo, para separar estas fases se realiza lo siguiente:

- Detener la agitación y el calentamiento.
- Transvasar todo el contenido del reactor a un recipiente o un embudo de separación.



Figura 25. Separación de productos en un embudo de separación

- Filtrar el catalizador óxido de calcio (filtrar al momento de trasvasar).



Figura 26. Filtrado del catalizador

- Almacenar el biodiesel separado de la glicerina por dos días en un lugar fresco, seco, y evitar la exposición directa a la luz del sol.

3.4.1. Lavado del biodiesel

- Se añade un volumen de agua en proporción 1:1 respecto al volumen de biodiesel.



Figura 27. Lavado de biodiesel (agua-biodiesel)

- Agitar hasta observar que la mezcla biodiesel-agua esté homogénea.



Figura 28. Lavado por agitación

- Almacenar el recipiente por dos días en un lugar oscuro, seco y fresco.



Figura 29. Almacenamiento de biodiesel lavado

- Separar las fases claramente diferenciadas por escurrido de la fase inferior, si se utiliza un embudo de separación.



Figura 30. Separación de productos

- Repetir el procedimiento una o dos veces adicionales hasta observar que el agua en el fondo no presente turbidez.



Figura 31. Separación de biodiesel del agua de lavado

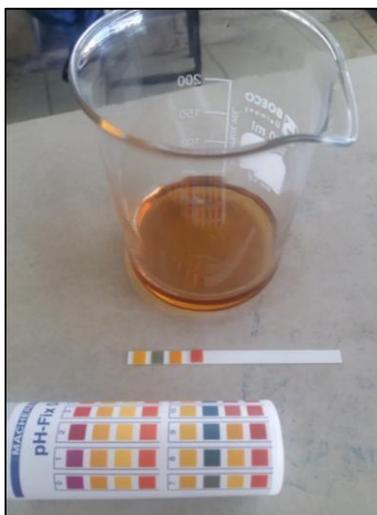


Figura 32. Medición del pH del agua de lavado

3.4.2. Secado del biodiesel

Separada el agua del último lavado, el biodiesel aún puede mostrar un aspecto turbio debido a la fracción de agua que se encuentra suspendida en el seno del combustible, por lo cual se debe secar el combustible de la siguiente manera:

- Almacenar el recipiente en un lugar caliente, con la tapa abierta para que el agua se pueda evaporar.
- El biodiesel se puede secar junto a un calefactor, dentro de una estufa o un horno.

3.5. Mezcla del biodiesel con diesel

Para concluir la etapa de elaboración de la mezcla biodiesel – diesel se procede a mezclar volumétricamente en proporciones del 5% - 10% - 15% - 20% - 25% para su posterior caracterización.



Figura 33. Componentes para las mezclas diesel - biodiesel

Para realizar un litro de cada concentración los volúmenes se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 11

Mezcla biodiesel

Mezcla	Volúmenes ml	
	Biodiesel	Diesel
%		
B5	50	950
B10	100	900
B15	150	850
B20	200	800
B25	250	750



Figura 34. Muestras de biodiesel 5, 10, 15, 20, 25% de concentración

3.6. Caracterización del biodiesel obtenido.

Se procede a realizar la caracterización de las mezclas combustibles biodiesel- diesel, en el laboratorio (DEPEC) dado que es un laboratorio certificado y que cuenta con los equipos necesarios para determinar los parámetros que están asociados a la conversión a Metil-ésteres, obtenida durante la etapa de reacción y a la purificación del biodiesel. Los ensayos realizados se enlistan a continuación:

- Densidad a 60 F (ASTM D 1298).
- Punto de inflamación (ASTM D 93).
- Viscosidad cinemática (ASTM D 445).
- Índice de cetano (ASTM D – 287)
- Punto de nube (ASTM D 2500).
- Contenido de agua por destilación (ASTM D 4006).
- Contenido de azufre (ASTM D- 4294).
- Poder calorífico neto (ASTM D 287).
- Sedimento básico y agua %BSW (ASTM D- 4007)

Para poder determinar la concentración óptima de biodiesel se extrae de la tabla matriz cada parámetro independientemente para todas las múltiples proporciones y de esta manera analizar las variaciones representativas que al ser comparadas con el diesel nos ayude a elevar la calidad del mismo.

En la figura 35 se puede observar la variación de la densidad API en este caso todas las mezclas son considerados crudo liviano o ligero, la mezcla B5 y B10 es la que más se asemeja al diesel, en nuestro caso la mezcla seleccionada es la mezcla B5, esto nos da un indicativo de la fluidez que tiene la muestra con respecto a la del agua.

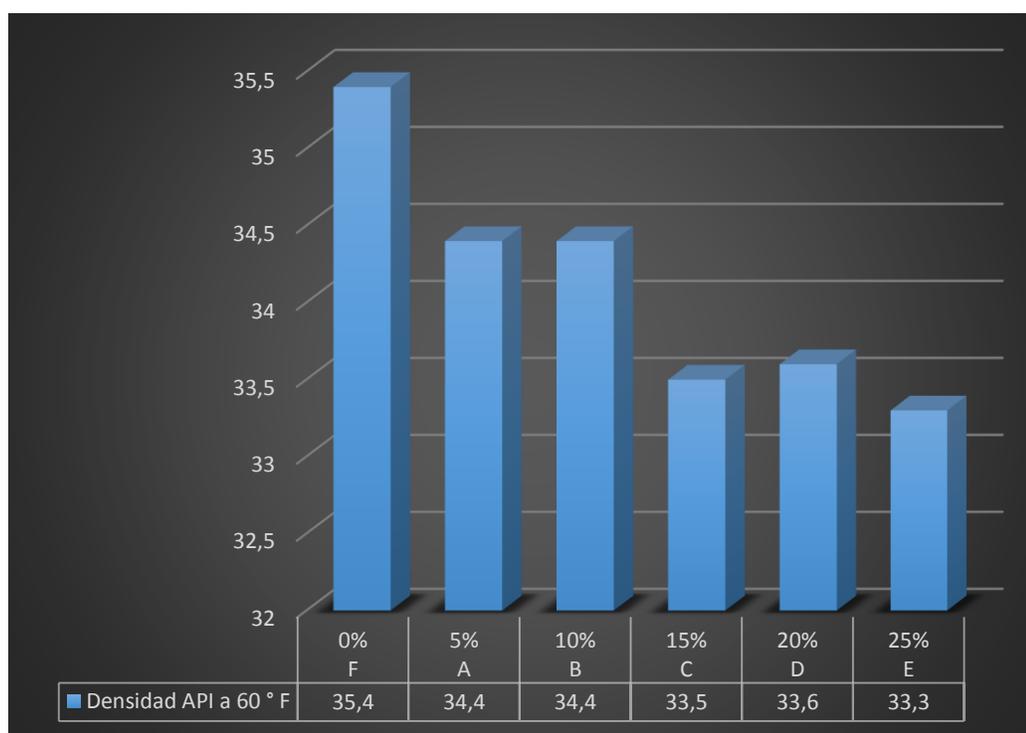


Figura 35. Densidad API a 60 F del biodiesel en las distintas proporciones

La figura 36 representa el punto de inflamación de cada mezcla, el cual se observa que su valor máximo está presente en la mezcla del 25%, sin embargo la mezcla del 5% presenta un valor significativo a la del diesel valor que es de gran importancia al ser esta característica la que determina el arranque en frío del motor, además de ser menos volátil y es más seguro al ser transportado.

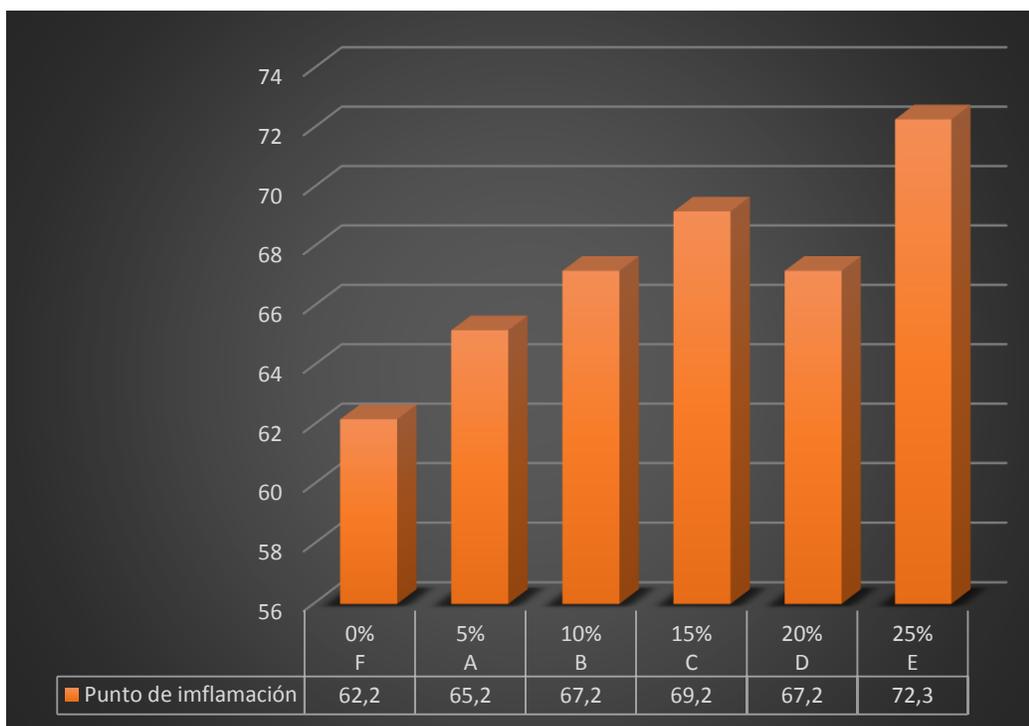


Figura 36. Punto de inflamación del biodiesel en las distintas proporciones

En la figura 37 se observa la variación de la viscosidad cinemática resultando directamente proporcional a la cantidad de aceite usado transesterificado; se presenta un pico en la proporción del 25% lo cual traería inconvenientes en valores tan elevados por lo que se escogerá proporciones como la del 5% o 10% que ayudan a evitar problemas de pulverización del combustible.

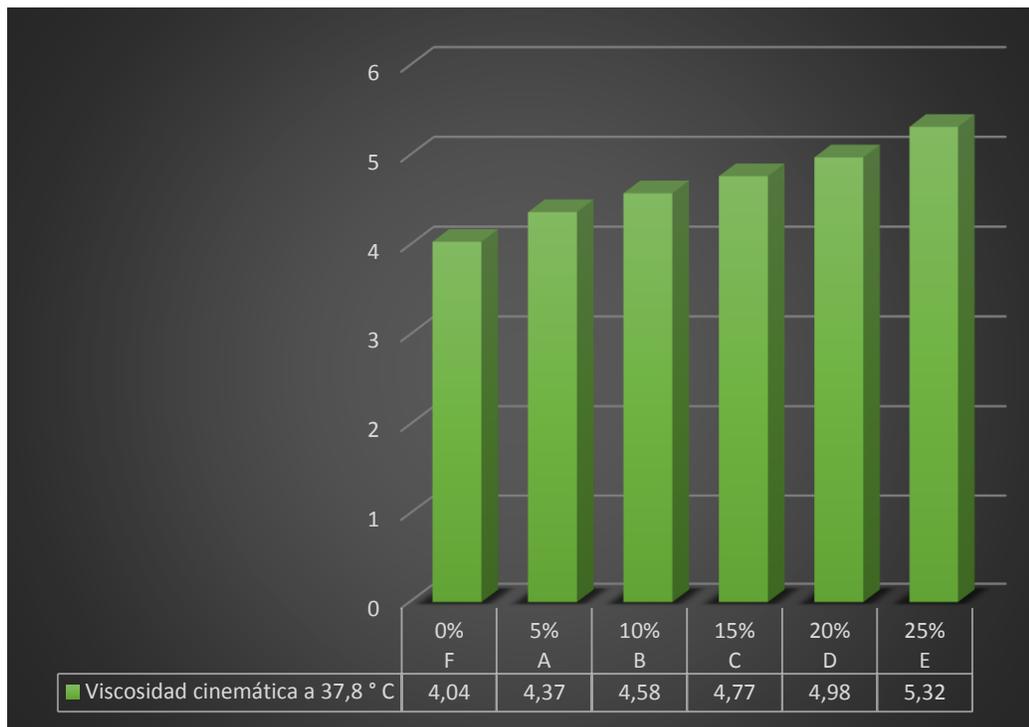


Figura 37. Viscosidad cinemática del biodiesel en las distintas proporciones

En la figura 38 se observa el índice de cetano este parámetro guarda relación directa en intervalo de tiempo que transcurre entre la inyección del combustible y el inicio de su combustión, ya que una combustión eficiente sucede cuando se produce una inflamación rápida seguida de un quemado total y uniforme del combustible; al tener un bajo índice de cetano presentará problemas en el arranque en frío por lo que es conveniente una proporción del 5% y 15% ya que se ve mejorada en relación al diesel pero no llega a los niveles más altos ya que un índice de cetano muy elevado provocaría auto inflamación previa en el cilindro lo que produciría un desequilibrio en el motor.

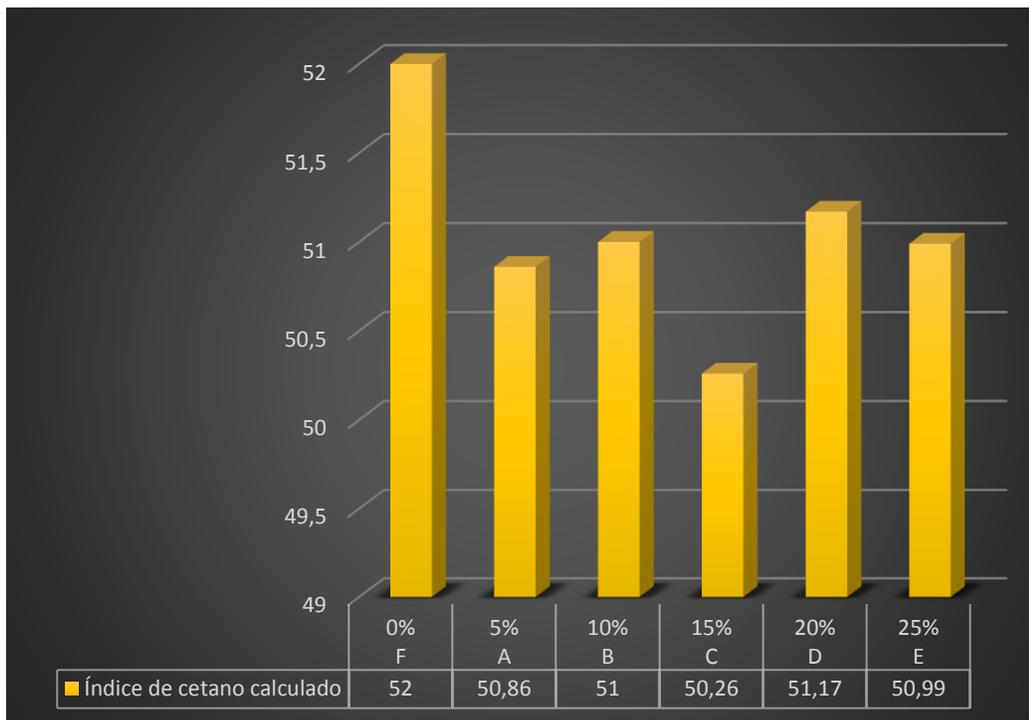


Figura 38. Índice de cetano calculado del biodiesel en las distintas proporciones

En la figura 39 se observa la variación del punto de nube es la temperatura a la cual el biodiesel forma una nube cuando es enfriado, y es una medida del punto de congelación, usualmente el biodiesel tiene un punto de nube más alto que el diesel en nuestro caso se mantiene constante algunas proporciones y la óptima a ser utilizada es la proporción del 5%.

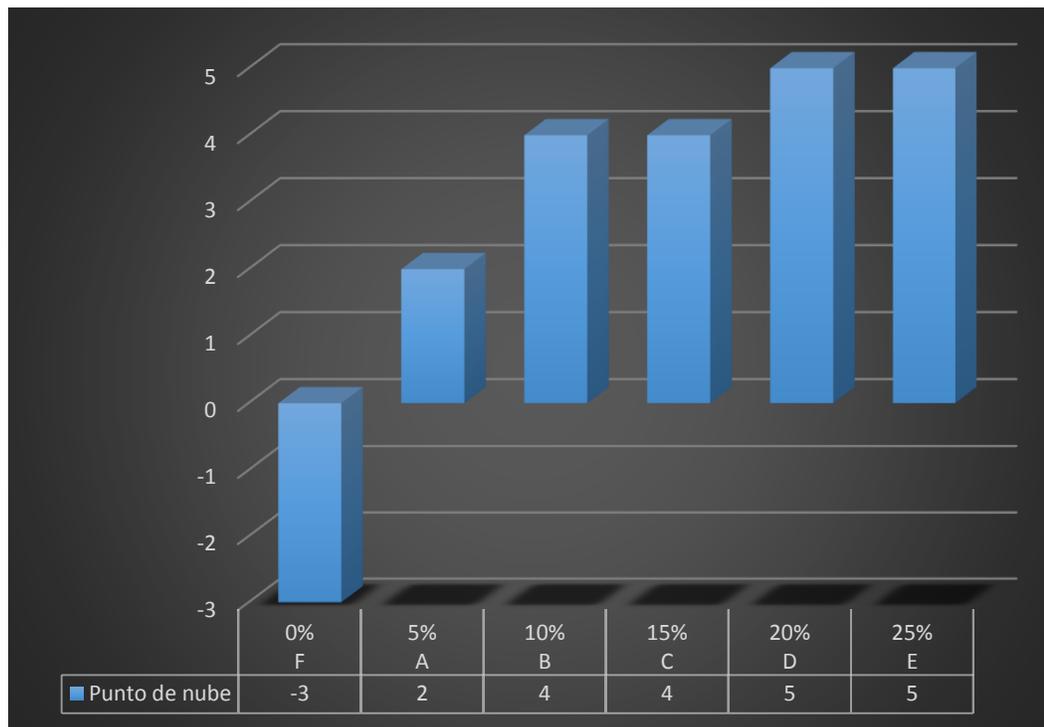


Figura 39. Punto de nube del biodiesel en las distintas proporciones

En la figura 40 se observa la variación de azufre en las distintas mezclas combustibles en este caso la cantidad de azufre en comparación a la del diesel va disminuyendo, el diesel al contener mayor cantidad de azufre provoca mayores emisiones de dióxido de azufre, por lo cual es recomendable el uso del biodiesel porque existe mayor protección del ambiente al disminuir las emisiones contaminantes.

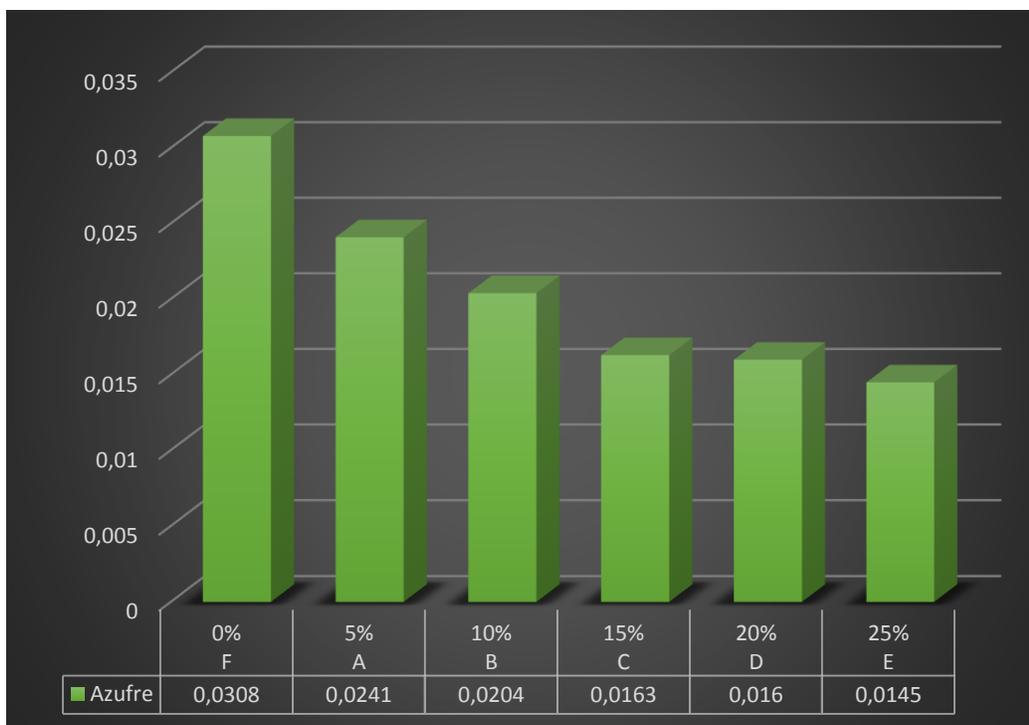


Figura 40. Azufre del biodiesel en las distintas proporciones

En la figura 41 la variación del poder calorífico es la propiedad más relevante ya que a partir de esta característica se determina el rendimiento del combustible en el motor, se observa una pequeña disminución en las proporciones en comparación al diesel esto es debido a la materia prima utilizada, sin embargo la diferencia no es tan grande por lo cual no se pierde el rendimiento del motor.

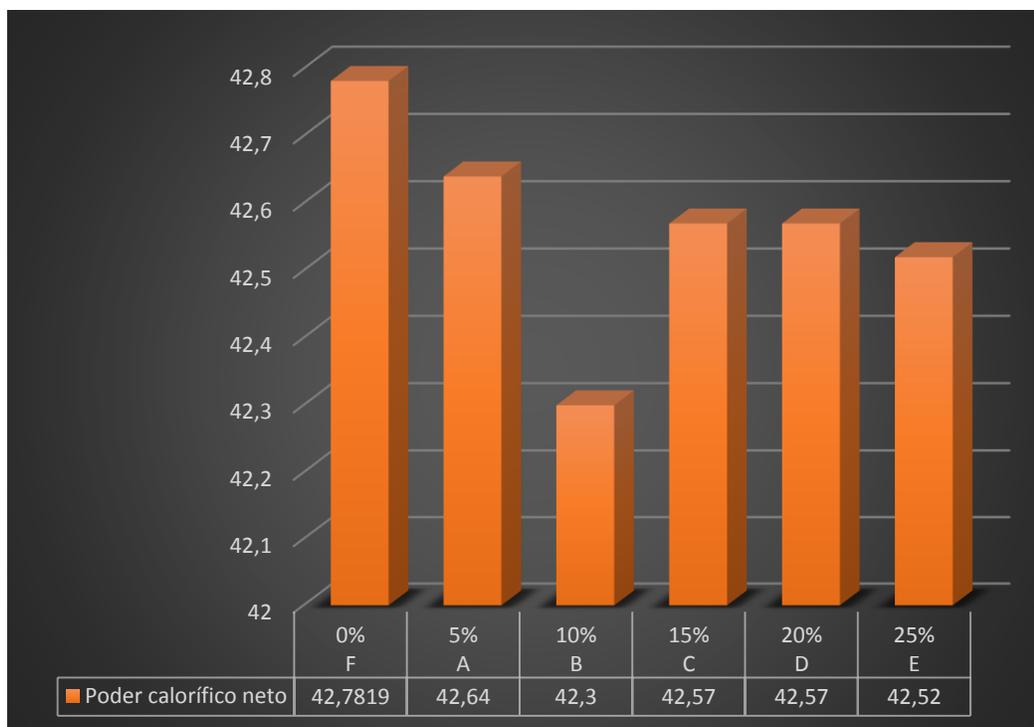


Figura 41. Poder calorífico del biodiesel en las distintas proporciones

Las características como agua por destilación y sedimentos básicos y agua se mantienen constantes por lo cual no se los ha representado para mayor explicación.

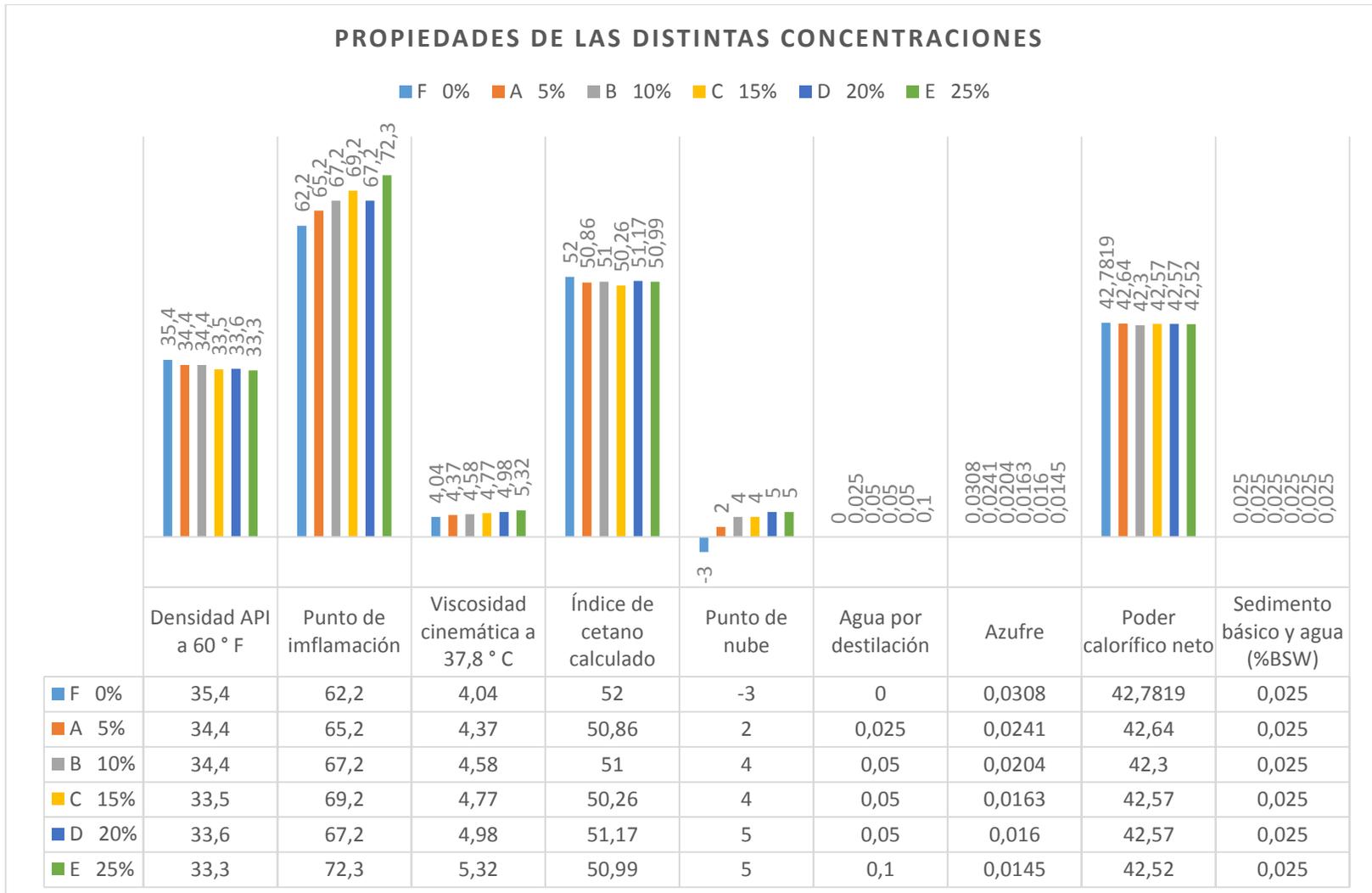


Figura 42. Propiedades de las distintas mezclas de biodiesel

A través de las características esenciales en el comportamiento de un combustible para motores diésel en este análisis se determinó la proporción del 5% como mezcla óptima ya que contiene un punto de inflamación del 65,2°C el cual se relaciona directamente con la condición de iniciar una combustión al aplicarle una fuente de calor, claramente en el arranque en frío; el poder calorífico que está directamente relacionado con el rendimiento del motor, esta proporción contiene una pequeña disminución en relación al diésel normal por lo que no afecta en el rendimiento del motor; la viscosidad cinemática en esta proporción nos permite evitar problemas de pulverización además de ser la proporción que contiene menor cantidad de azufre en relación al diesel por lo cual es recomendable el uso de la proporción de 5% porque existe mayor protección del ambiente al disminuir las emisiones contaminantes.

Conclusiones del capítulo:

- Para obtener 10 litros de biodiesel se necesita 20 litros de aceite de fritura, en la que se obtiene el 50% de la materia prima esto debido a pérdidas como en la glicerina, en el lavado y secado. Siendo el rendimiento 2 a 1.
- Se evidencio en la caracterización que la mezcla combustible B5 es la idónea para ser utilizada en las pruebas de motor.

CAPÍTULO IV

En este capítulo se detalla la infraestructura tecnológica utilizada para la investigación analizando y comparando las pruebas de desempeño con el uso del diesel puro y biodiesel en porcentaje al 5% como combustible en la camioneta Mazda BT-50.

4. ANÁLISIS DE PRUEBAS DINÁMICAS, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EMISIONES

4.1. Equipos y procedimientos de pruebas

Con la mezcla de combustible biodiesel a partir de aceite de frituras con la proporción B5 se efectuaron las pruebas de torque, potencia, consumo de combustible y emisiones.



Figura 43. Preparación de la mezcla combustible

4.1.1. Mazda BT-50 4x2

Para efectuar las pruebas se utilizó el vehículo de servicio Mazda BT-50 que presenta las siguientes características técnicas:

Tabla 13

Ficha técnica Mazda BT-50

Especificaciones modelos a diesel CRDI TSX	BT-50 2.5L CRDI TSX Cabina doble 2WD
Motor	
Tipo	4 Cilindros en línea, DOHC-16V
Cilindrada (cc)	2499cc
Potencia HP/RPM (SAE)	157,30 / 3500
Torque Nm/RPM (SAE)	363,00 / 1800
Alimentación de combustible	Inyección electrónica de diesel por riel común CRDI
Alimentación por aire	Turbo de geometría variable VBC con intercooler

Fuente: Mazda

4.1.2. Dinamómetro

Se utilizó el dinamómetro hidráulico de rodillos de origen Alemán Maschinenbau MAHA 3000 LPS que ofrece múltiples posibilidades de diagnóstico en la simulación de carga. El software que toma los datos del freno hidráulico y las exhibe en la pantalla simultáneamente nos permite determinar los siguientes parámetros:

- Medición de la potencia continua (dinámica) y discreta (estática).
- Simulación de carga con revoluciones, velocidad y fuerza de tracción constantes.
- Representación gráfica y numérica de la potencia por rueda, potencia perdida, potencia de motor y par del motor.
- Extrapolación de la potencia del motor según DIN 70020, CEE 80/1269, ISO 1585, JIS D 1001, SAE J 1349 (opción).
- Guardar y cargar diagramas de potencia.

La característica técnica del dinamómetro se presenta en la tabla 14.

Tabla 14

Características del dinamómetro MAHA 3000 LPS

	Juego de rodillos R200/1 no partido	Juego de rodillos R200/2 partido
Carga axial	15000 kg	15000 kg
Dimensiones juego de rodillos (Al x An x Pr)	4550 x 1100 x 625 mm	2260 x 1100 x 865 mm
Longitud de rodillos	900 mm	900 mm
Diámetro de rodillo	318 mm	318 mm
Distancia entre rodillos	565 mm	565 mm
Diámetro de rueda mín.	400 mm	400 mm
Velocidad de prueba máx.	200 km/h	200 km/h
Ancho de vía mín. /máx.	820 / 2620 mm	1000 / 2800 mm
Potencia de rueda máx. estándar / reforzada	300 / 660 kW	300 / 660 kW
Fuerza de tracción máx. estándar / reforzada	15000 / 25000 N	15000 / 25000 N
Precisión potencia de rueda +/-	2% del valor de medición	2% del valor de medición
Sistema de medición	DMS	DMS
Tensión de alimentación	400 V / 50 Hz / 63 A lento	400 V / 50 Hz / 63 A lento
Peso total	2350 kg	2500 kg
Dimensiones pupitre de comunicaciones (An x Al x Pr)	860 x 1420 x 420 mm	860 x 1420 x 420 mm

Fuente: (MAHA)



Figura 44. Vehículo en el dinamómetro

Previa a realizarse las pruebas se efectuó una inspección en el vehículo las cuales consistían en:

- Control visual de la estanqueidad de los conductos de aceite, agua y combustible.
- Control visual general y localización de los puntos adecuados para la fijación del vehículo.
- Comprobación del nivel de aceite y del agua refrigerante.
- Comprobación de daños en los neumáticos, cuerpos extraños en el perfil y del índice de velocidad. Controlar la fijación de los pernos de las ruedas y medir la presión del aire.

Una vez que se efectuó la inspección se procede a realizar los siguientes pasos:

- Ubicar el vehículo en el dinamómetro debidamente alineado según las indicaciones del fabricante.
- Colocar las amarras de seguridad en el vehículo.
- Para la prueba de torque y potencia hay que controlar ciertos parámetros con la ayuda de un control se puede tener una repetitividad de pruebas en este caso 3 para que las mismas se efectúan de igual manera.
- Controlar la temperatura, se coloca la sonda de temperatura en el lugar de la bayoneta de aceite.



Figura 45. Colocación de la sonda de temperatura

- Las cajas de interface cumplen dos funciones: una transforman la señal analógica del sensor a digital, conociendo que no solo se toma la señal de la temperatura del aceite también se puede tomar las revoluciones o hacer conexiones al OBD II del vehículo para obtener más datos y exactos. Además esta caja permite hacer un control censa factores medio ambientales: la altura, la humedad relativa del ambiente para poder hacer un cálculo en la altura que se encuentra, sin estas cajas no nos entregaría una potencia real.



Figura 46. Cajas de interface

- En la parte frontal del vehículo se coloca un ventilador de acuerdo al fabricante, el ventilador se ubica 1.5 a 2 metros para que alcance el flujo máximo de aire, para que al transcurso de la prueba el vehículo pueda ser refrigerado considerando que es un flujo constante y no se tiene variaciones en cuanto a la aceleración.
- Se procede a colocar los datos y características del vehículo en la interfaz del dinamómetro.



Figura 47. Interface del dinamómetro

- Se establecen los parámetros en el ciclo conducir en el cual la prueba dura 225 segundos aproximadamente.

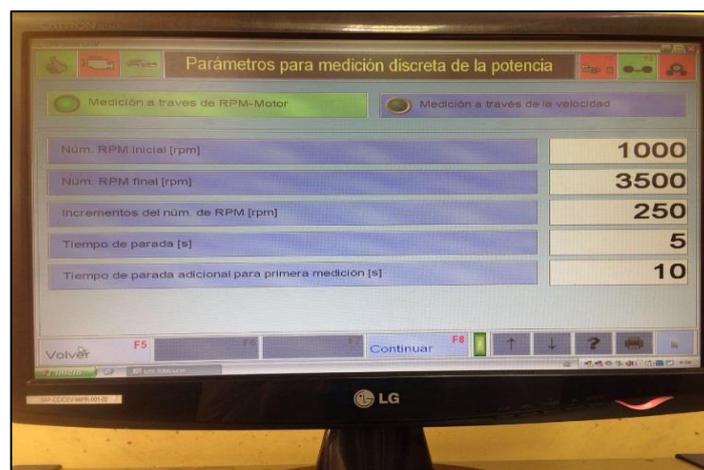


Figura 48. Datos de la prueba discreta

- En la prueba de torque y potencia se utiliza la medición discreta la misma que nos permite colocar los pasos de medición verificar con más precisión la potencia del motor.
- En la pantalla se mide a través de las revoluciones y velocidad, se considera que la curva en torque y potencia no empieza en cero, el motor es recíprocante por lo cual no puede girar a bajas revoluciones. El ralentí normal esta entre 850 a 900 rpm, para la prueba se inició en 1000 rpm para evitar que el dinamómetro se debilite y no tener irregularidades al tener el primer punto de la curva. Las revoluciones máximas es de 3500 rpm que nos designa la fábrica.
- Para visualizar la prueba de torque y potencia se trabajó con 10 pasos para apreciar la curva generada, el tiempo que se demoró el dinamómetro en estabilizar las revoluciones fue de 5 segundos para frenarlo y el tiempo inicial a cuanto a encontrar la revolución inicial y estabilizarlo fue de 10 segundos.



Figura 49. Mediciones del vehículo

- Realizar el registro de los datos obtenidos en el dinamómetro tanto con diesel y con biocombustible en la proporción de 5%.

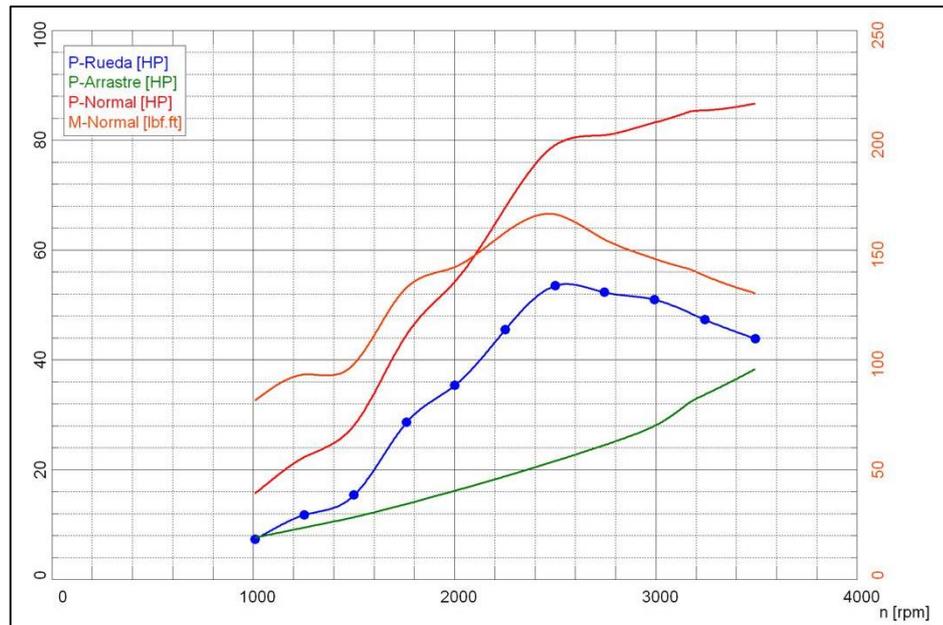


Figura 50. Resultados preliminares de torque y potencia

4.1.3. Analizador de opacidad

a) Analizador de opacidad Brain Bee

(Erazo, 2013) El opacímetro BRAIN BEE es un instrumento destinado a medir la opacidad y determinar el coeficiente de absorción luminosa de los gases de escape de los motores diesel. Coeficiente de absorción (k), opacidad (%), temperatura de aceite, RPM.

Las características técnicas del opacímetro son:

- Función automática de calibración a CERO.
- Tiempo de calentamiento menor a 10 minutos.
- Sistema de filtrado reforzado y con trampa de agua.
- Pruebas automáticas para medición de opacidad.
- Auto prueba y auto diagnóstico.
- Compensador de altura.

- Medición por RS232 de RPM y temperatura de aceite con el accesorio MGT-300/R (opcional).
- Software para PC de múltiples aplicaciones.
- Conexión 110Vac – 60 Hz.



Figura 51. Analizador de opacidad Brain Bee

El procedimiento de medición de opacidad es el siguiente:

- Se realiza la conexión del equipo a la toma de energía de 110Vac.
- Encender el computador e interface de medición del opacímetro.
- Ingresar al programa Brain Bee.
- Desde el menú principal seleccionar “ANÁLISIS OPACIDAD”.



Figura 52. Interface del opacómetro

- Insertar los datos del vehículo en prueba.
- Los parámetros a tomar en cuenta previa a realizar las pruebas son: temperatura del aceite del motor (75°C-80°C).
- Colocar la sonda en el tubo de escape.



Figura 4.1: Colocación de la sonda en el tubo de escape

- Esperar que el equipo establezca los pasos a realizarse como acelerar dentro de unos intervalos 800, 1000, 1500, 2000 y 3000 RPM.

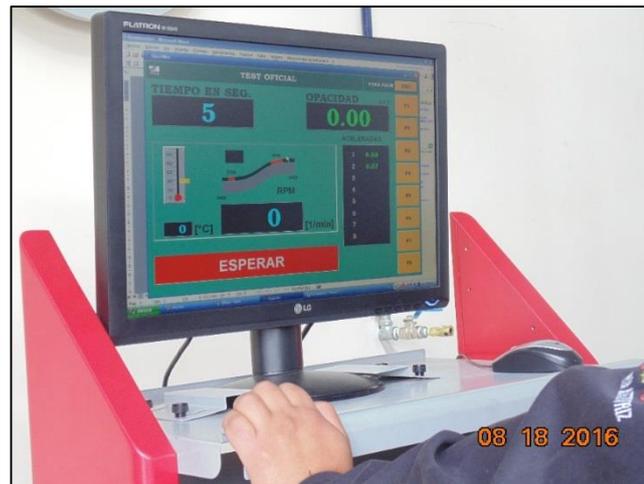


Figura 53. Test oficial de medición

- En cada intervalo de medición se irá generando el valor de opacidad.
- Se realiza tres mediciones para poder comparar los resultados con el diesel y el biodiesel de concentración B5.
- Al finalizar las pruebas el equipo nos detalla si la prueba realiza pasa o no de acuerdo a los parámetros ya establecidos.

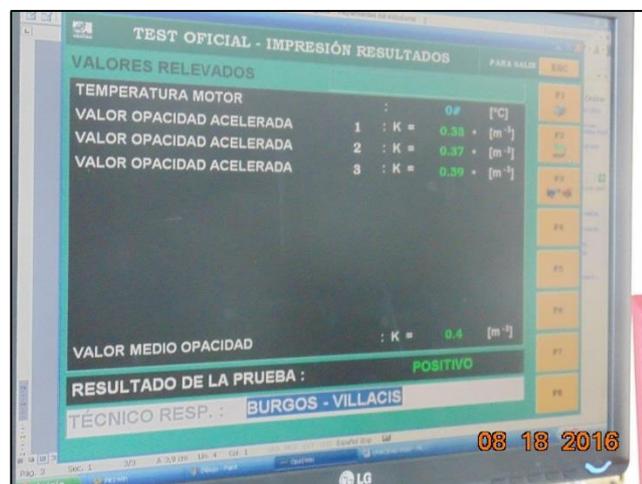


Figura 54. Resultados obtenidos de la prueba de medición

- Tabular los resultados y comparar.

b) Analizador de Gases - Opacómetro CARTEK

(Analizador de gases CARTEK) Es un equipo combinado, opacómetro y analizador de gases con el cual se realiza la prueba de opacidad para comparar los resultados obtenidos con el analizador de opacidad Brain Bee.

Las especificaciones técnicas del analizador son las siguientes:

- Configuración básica de análisis diesel
- PC basado en sistema Windows XP
- Medidor de humo (Opacómetro)
- Pantalla plana 17"
- Impresora opcional
- 110 / 220 Volts-50 / 60 HZ



Figura 55. Analizador de gases-opacómetro CARTEK

El procedimiento de medición de opacidad es el siguiente:

- Se realiza la conexión del equipo a la toma de energía de 110Vac.
- Encender el computador e interface de medición del opacímetro.
- Ingresar al programa y seleccionar prueba de opacidad.

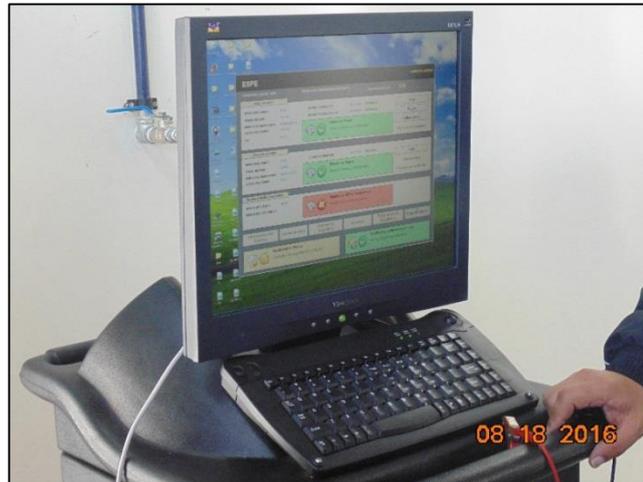


Figura 56. Interface del analizador

- Ingresar los datos del vehículo.
- Conectar en el borne positivo y negativo de la batería los cables del analizador y luego calibrar el equipo una vez calibrado esperar a que las revoluciones del motor estén estables.

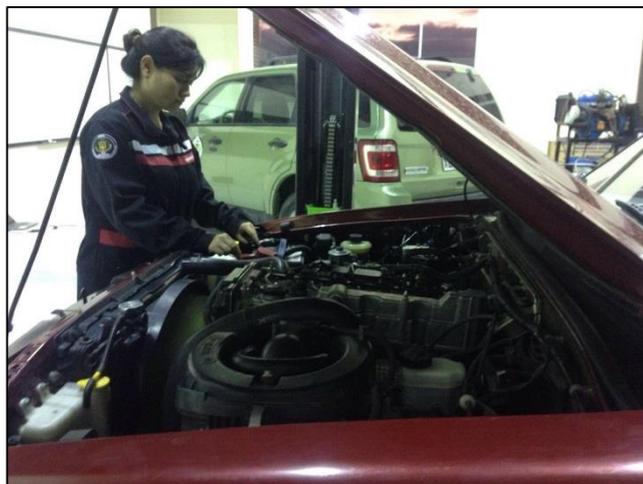


Figura 57. Conexión del equipo en los bornes de la batería

- Colocar la sonda en el tubo de escape verificando que el mismo este bien sujeto.



Figura 58. Colocación de la sonda

- Se procede a seguir las indicaciones del equipo para iniciar la prueba.



Figura 59. Test de inicio de la prueba

- Una vez culminada la medición tabular los resultados.

4.1.4. Analizador de gases

(AGS-688) Los analizadores de gases son instrumentos que se utilizan para la medición de gases contenidos en el escape como: CO, CO₂, NO_x y HC y de partículas de hollín suspendidas en el aire.

Las características técnicas del equipo son las siguientes:

- Aspiración gas de medición 4 l / min.
- Drenaje condensado automático y continuo.
- Prueba de estanqueidad semiautomática con cierre manual sonda extracción gas.
- Control de flujo automático.
- Control sensor O₂ acabado automático.
- Compensación automática de la presión ambiente de 85,0 a 1 kPa.
- Calibración automática (con bombona gas muestra).
- Autocero automático.



Figura 60. Analizador de gases

El procedimiento de medición es el siguiente:

- Se realiza la conexión del equipo a la toma de energía de 110Vac.
- Encender la pc y conectarla al analizador de gases.



Figura 61. Conexión del equipo

- Ingresar al programa y seleccionar prueba de opacidad.
- Ingresar los datos del vehículo.

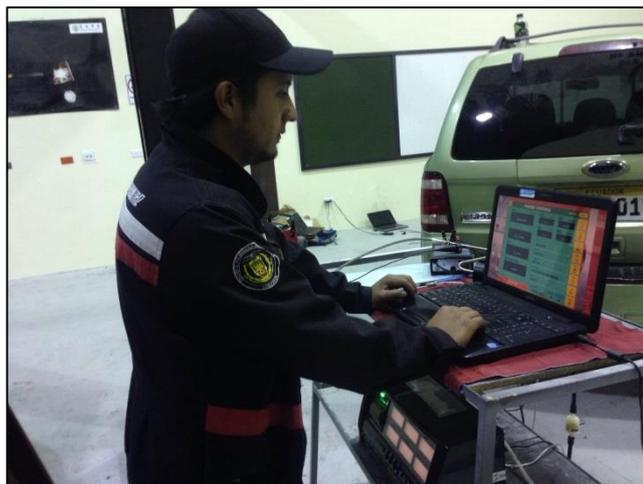


Figura 62. Ingreso datos del vehículo

- Conectar el global pro en el lugar de la bayoneta del aceite y en los bornes de la batería para medir la temperatura y el número de rpm.



Figura 63. Conexión del Global Pro

- Seleccionar prueba continua en la interface.
- Esperar que el equipo indique los pasos a realizarse como acelerar dentro de los intervalos como 750, 1000, 1500, 2000, 2500 y 3000 RPM.



Figura 64. Temperatura del aceite

- En cada intervalo de medición se irá generando el valor de los gases una vez que se completa cada intervalo hay que retirar la sonda y colocarla cuando se realice otro intervalo.



Figura 65. Colocación de la sonda

- Una vez terminada la medición en diesel se debe cambiar el filtro esto es recomendado por el fabricante para no tener averías con el equipo.



Figura 66. Filtro del analizador de gases

- Se realiza las mediciones con los dos combustibles y una vez finalizada la prueba se tabula los resultados.

4.2. Influencia del potencial energético del diesel y biodiesel en la camioneta Mazda BT-50.

De las pruebas realizadas en el dinamómetro del CCICEV se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a torque y potencia.

La prueba se realizó en la ciudad de Quito a 2800 metros sobre el nivel del mar con una presión atmosférica de 739,6 hPa. Los resultados obtenidos son los parámetros característicos del motor de la camioneta Mazda BT-50 con diesel puro y la mezcla biodiesel en proporción al 5%.

Tabla 15

Prueba N°1 de torque y potencia con diesel 100%

DIESEL 100%					
n [rpm]	V [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Motor} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lb.ft]
1010	21,8	7,3	14,8	15,6	81,4
1254	27,0	11,7	21,1	22,2	93,1
1502	32,4	15,3	26,6	28,0	98,0
1763	38,0	28,6	42,3	44,6	132,8
2002	43,1	35,3	51,4	54,2	142,1
2252	48,5	45,4	64,2	67,7	157,8
2502	53,9	53,4	75,0	79,1	166,0
2746	59,2	52,2	76,6	80,8	154,6
2994	64,5	50,9	78,8	83,1	145,8
3244	69,9	47,2	80,9	85,3	138,1
3494	75,3	43,8	82,1	86,6	130,1
	Valor mínimo			Valor máximo	

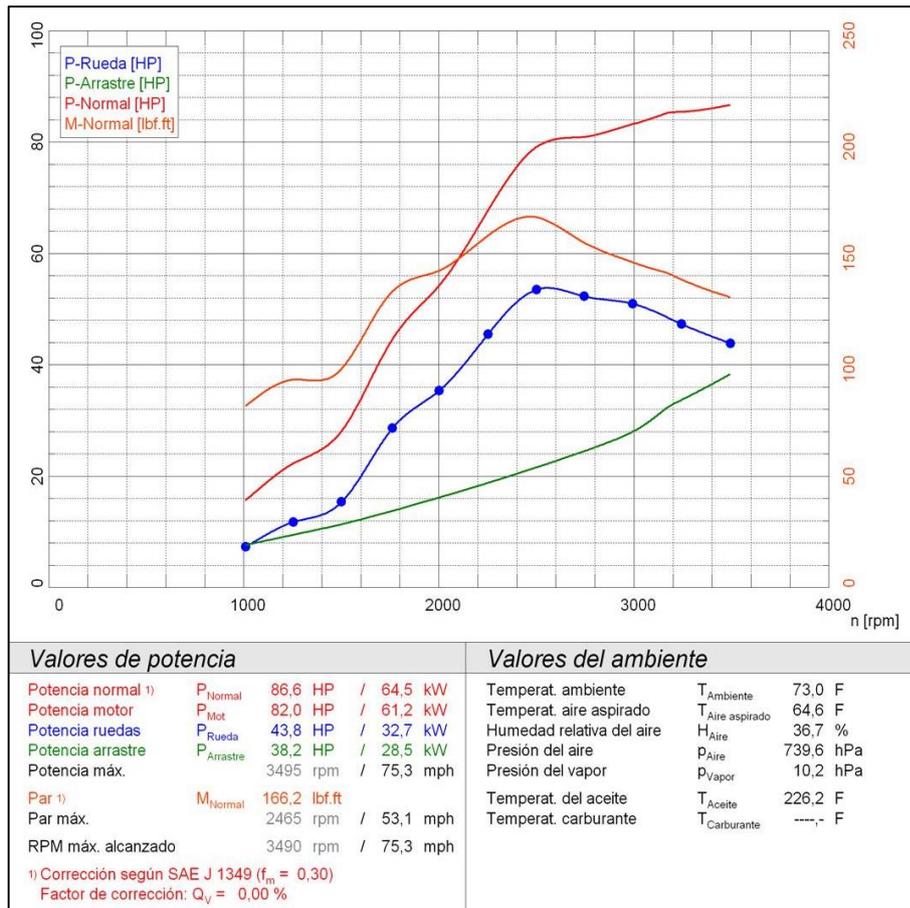


Figura 67. Prueba N°1 de torque y potencia con diesel 100%

Tabla 16

Prueba N°1 de torque y potencia con biodiesel 5%

BIODIESEL 5%					
n	v	P _{Rueda}	P _{Motor}	P _{Normal}	M _{Normal}
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
1008	21,7	4,7	12,3	13,1	68,0
1265	27,3	9,0	18,7	19,8	82,1
1523	32,8	12,4	24,0	25,4	87,7
1794	38,7	25,6	39,8	42,1	123,3
2043	44,0	32,2	49,0	51,9	133,4
2302	49,6	41,9	61,5	65,2	148,7
2562	55,2	50,6	73,1	77,4	158,7
2817	60,7	48,6	74,3	78,7	146,7
3073	66,2	45,1	74,5	78,9	134,8
3337	71,9	45,3	79,4	84,1	132,3
3592	77,4	37,1	75,7	80,2	117,3

Valor mínimo
Valor máximo

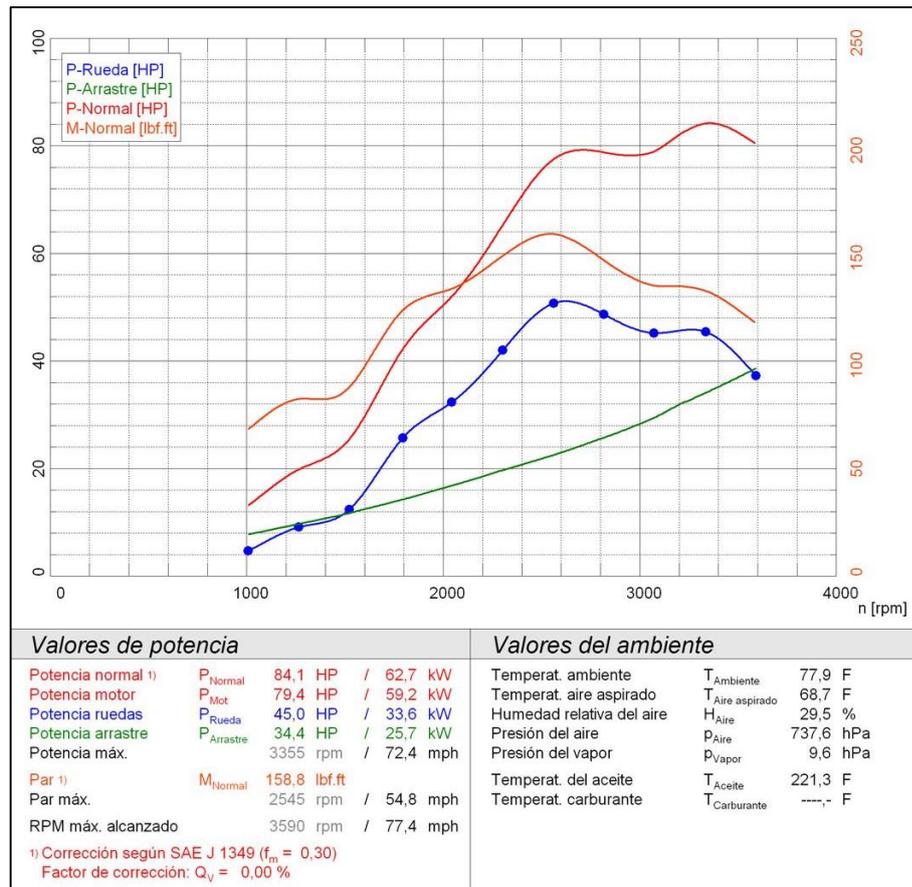


Figura 68. Prueba N°1 de torque y potencia con biodiesel 5%

En la tabla 15 como en la 16 se presentan los resultados de medición N°1 de torque y potencia efectuada en la camioneta Mazda BT-50 con diesel puro al 100% y la mezcla biodiesel al 5%, se observa que las curvas generadas en el diesel muestran una diferencia en su valor por lo cual se tiene como valores máximos en torque y potencia a la utilización de diesel al 100%.

Tabla 17

Prueba N°2 de torque y potencia con diesel 100%

DIESEL 100%					
n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Motor} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lbf.ft]
1010	21,8	7,6	14,6	15,4	80,2
1265	27,3	12,3	21,0	22,2	92,1
1522	32,8	16,2	26,8	28,3	97,6
1791	38,6	27,8	40,7	43,0	126,0
2043	44,0	35,6	50,8	53,6	137,9
2303	49,6	46,6	64,4	68,0	155,1
2559	55,2	52,7	73,1	77,2	158,4
2816	60,7	52,5	75,8	80,0	149,1
3072	66,2	47,9	74,0	78,2	133,6
3337	71,9	49,8	79,1	83,5	131,4
3592	77,4	41,9	74,9	79,0	115,5

Valor mínimo
Valor máximo

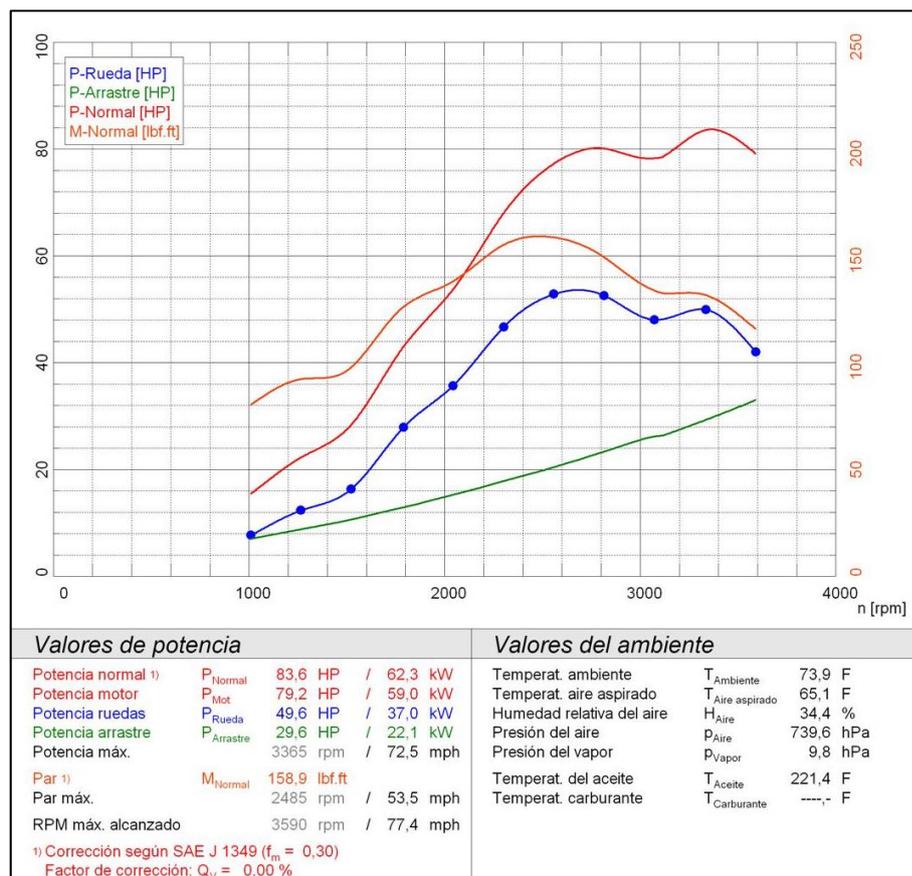


Figura 69. Prueba N°2 de torque y potencia con diesel 100%

Tabla 18

Prueba N°2 de torque y potencia con biodiesel 5%

BIODIESEL 5%					
n	v	P _{Rueda}	P _{Motor}	P _{Normal}	M _{Normal}
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
1010	21,8	7,4	14,2	15,1	78,5
1265	27,3	12,1	20,7	21,9	91,1
1522	32,8	15,7	26,2	27,8	95,8
1792	38,6	28,8	41,5	44,0	128,9
2042	44,0	36,0	51,0	54,1	139,0
2303	49,6	45,7	63,3	76,1	153,0
2561	55,2	53,7	74,0	78,4	160,7
2816	60,7	52,6	75,7	80,3	149,7
3073	66,2	49,4	76,1	80,6	137,8
3337	71,9	49,6	85,5	90,6	142,6
3592	77,4	42,0	83,3	88,2	129,0

Valor mínimo
Valor máximo

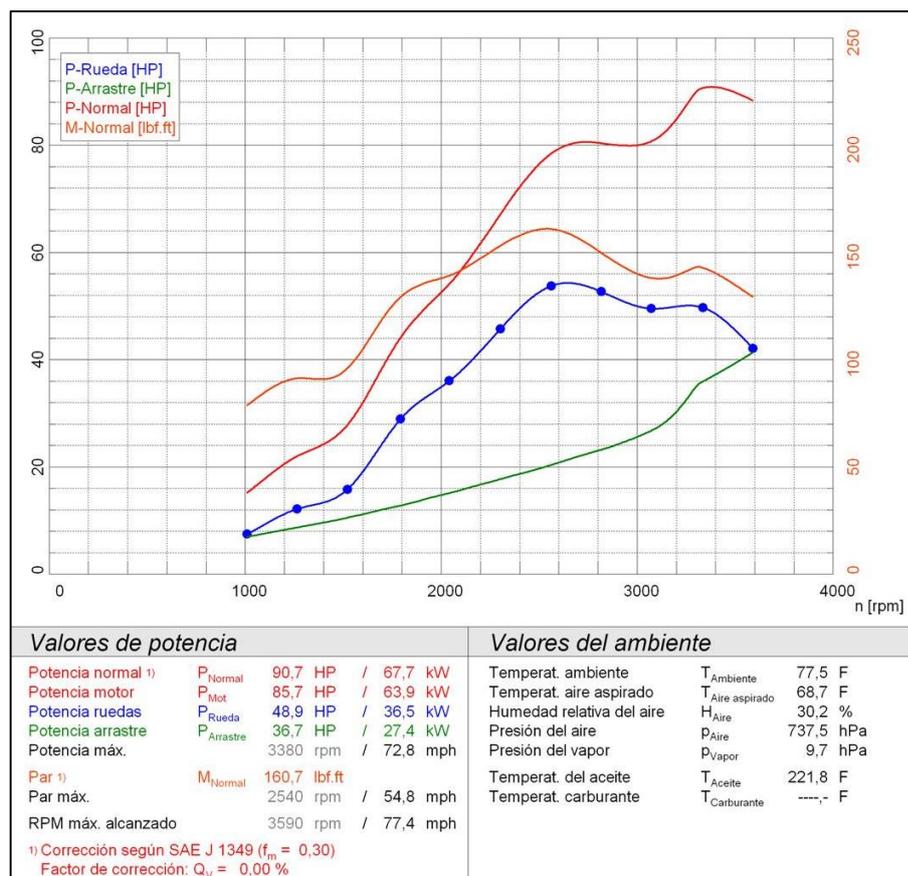


Figura 70. Prueba N°2 de torque y potencia con biodiesel 5%

En la tabla 17 como en la 18 se presentan los resultados de medición N°2 de torque y potencia efectuada en la camioneta Mazda BT-50 con diesel puro al 100% y la mezcla biodiesel al 5%, se observa que las curvas generadas con el biodiesel muestran una diferencia en sus valores obteniendo valores máximos en torque y potencia presentando una mejor desempeño a diferencia del diesel.

Tabla 19

Prueba N°3 de torque y potencia con diesel 100%

DIESEL 100%					
n	v	P_{Rueda}	P_{Motor}	P_{Normal}	M_{Normal}
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]
1010	21,8	8,1	14,9	15,8	82,0
1264	27,2	13,0	21,6	22,8	94,7
1522	32,8	16,9	27,3	28,8	99,4
1792	38,6	30,2	42,9	45,2	132,6
2042	44,0	37,3	52,3	55,1	141,8
2303	49,6	47,9	65,5	69,1	157,5
2561	55,2	55,7	75,8	80,0	164,1
2816	60,7	54,3	77,2	81,5	152,0
3072	66,2	50,6	76,6	80,8	138,2
3337	71,9	50,6	78,9	83,3	131,1
3592	77,4	42,9	74,7	78,8	115,2
	Valor mínimo			Valor máximo	

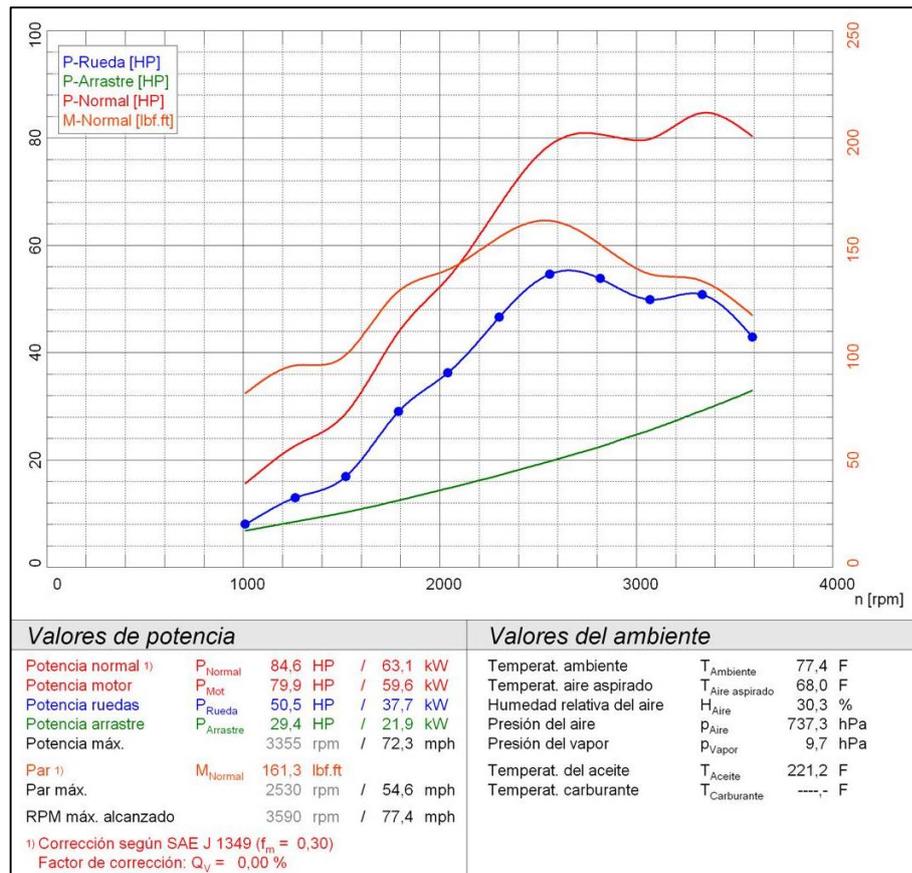


Figura 72. Prueba N°3 de torque y potencia con biodiesel 5%

En la tabla 19 y 20 se observa un valor máximo en la potencia con el uso de la mezcla combustible en cuanto al torque el valor máximo es con el uso de diesel al 100%. Se logra ver una homogeneidad en las pruebas realizadas con los dos combustibles.

Tabla 21

Prueba N°4 de torque y potencia con diesel 100%

DIESEL 100%					
n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Motor} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lbf.ft]
1010	21,8	8,2	14,8	15,6	81,4
1264	27,2	13,0	21,3	22,5	93,3
1522	32,8	16,9	26,9	28,4	98,0
1790	38,6	28,5	40,8	43,0	126,2
2043	44,0	36,4	50,8	53,7	138,0
2303	49,6	47,7	64,6	68,2	155,5
2560	55,2	54,4	73,8	77,9	159,8
2816	60,7	53,8	76,0	80,3	149,7
3072	66,2	49,5	74,8	79,0	135,0
3337	71,9	51,3	80,0	84,4	132,9
3592	77,4	43,3	75,8	80,0	117,0

Valor mínimo
Valor máximo

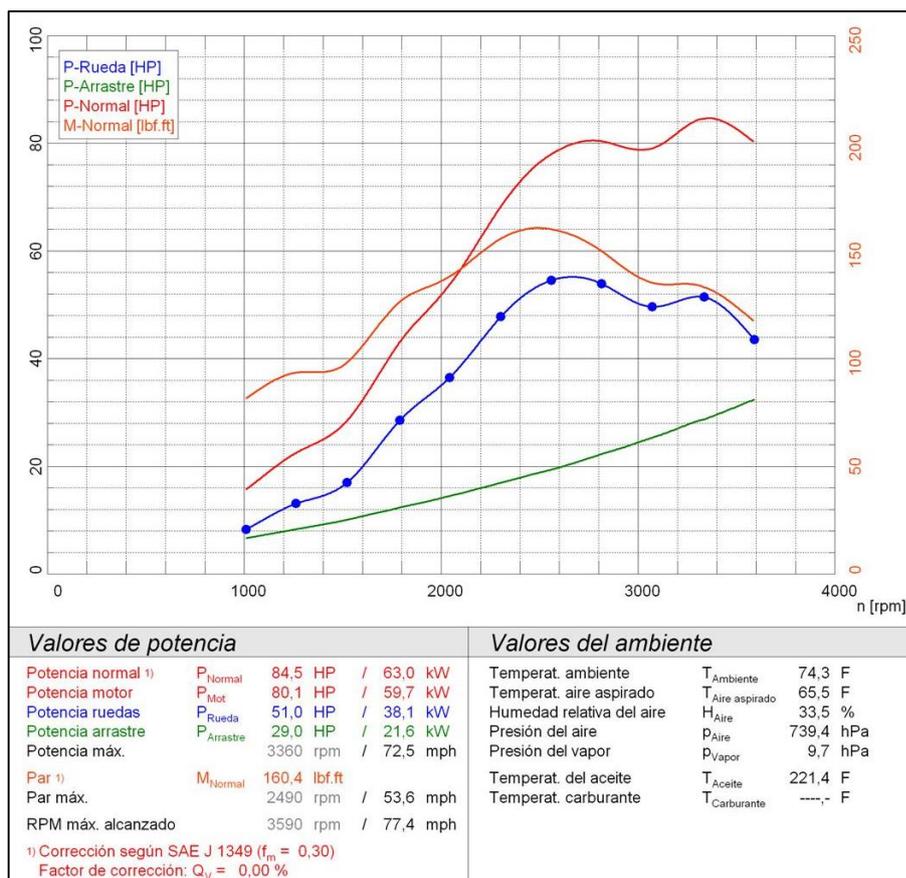


Figura 73. Prueba N°4 de torque y potencia con diesel 100%

Tabla 22

Prueba N°4 de torque y potencia con diesel 100%

BIODIESEL 5%					
n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Motor} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lbf.ft]
1010	21,8	8,3	15	15,8	82,3
1264	27,2	13,1	21,5	22,8	94,6
1521	32,8	16,7	26,8	28,4	98,0
1791	38,6	29,4	41,7	44,1	129,3
2043	44,0	36,9	51,5	54,5	140,2
2302	49,6	46,9	63,9	67,6	154,3
2561	55,2	55,3	75,0	79,3	162,7
2817	60,7	54,7	77,1	81,6	152,1
3072	66,2	50,9	76,2	80,7	137,9
3337	71,9	51,2	79,1	83,7	131,8
3592	77,4	43,3	74,7	79,0	115,5

Valor mínimo
Valor máximo

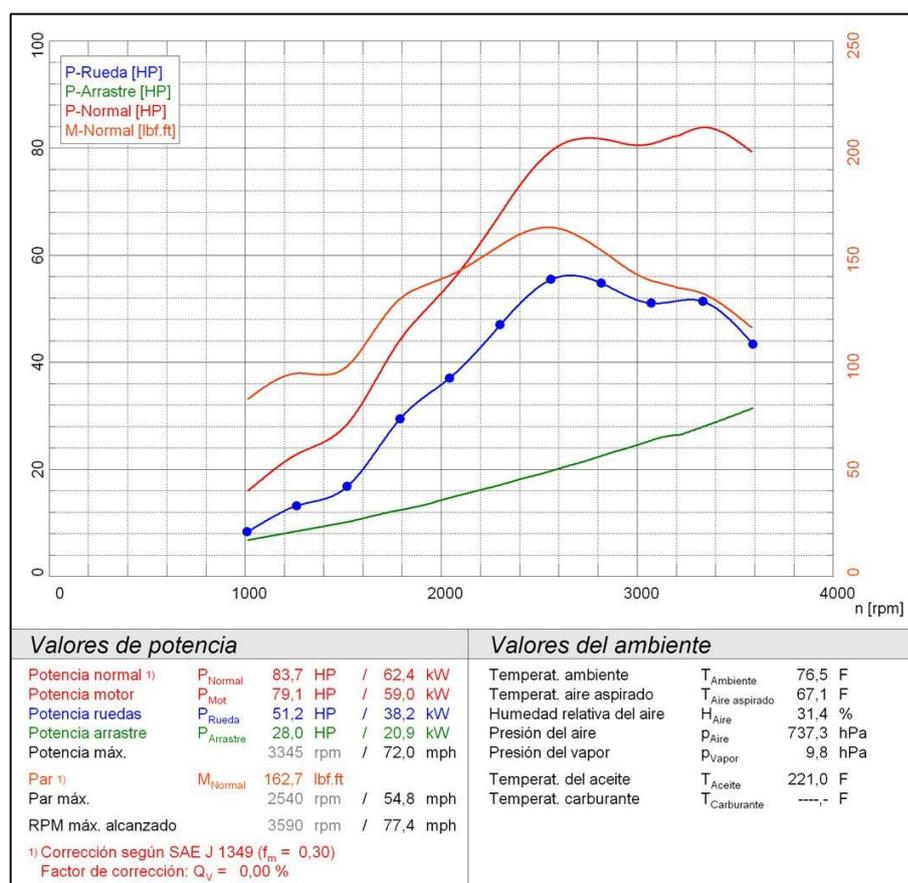


Figura 74. Prueba N°4 de torque y potencia con diesel 100%

En la tabla 21 y 22 se observa variaciones en cuanto a torque y potencia con el uso de los dos combustibles, observando un mejor desempeño con el uso de biodiesel B5.

Con las pruebas realizadas y los valores obtenidos se realizó una tabla estadística de comportamiento del motor de la camioneta Mazda BT-50 tomando los resultados promedios de torque y potencia, lo que nos permite desarrollar los cálculos pertinentes en cuanto al desempeño térmico del motor.

Tabla 23

Tabla estadística de valoración torque y potencia

Valores	Diesel		Biodiesel	
	P Mot (HP)	Mnormal (lbf.ft)	P Mot (HP)	Mnormal (lbf.ft)
Valor máximo 1	82,1	166	79,4	158,7
Valor máximo 2	79,1	158,4	85,5	160,7
Valor máximo 3	78,9	164,1	79,9	161,2
Valor máximo 4	80	159,8	79,1	162,7
Valor mínimo total	78,9	158,4	79,1	158,7
Valor máximo total	82,1	166	85,5	162,7
Media	80,18	162,12	81,42	160,78
Error típico	0,63	1,50	1,30	0,74
Mediana	79,55	161,95	79,65	160,95
Moda	82,10	166,00	85,50	158,70
Rango	3,2	7,6	6,4	4
Promedio	80,03	162,08	80,98	160,83
Porcentaje de variación en relación al diesel	--	--	4,14	-1,98

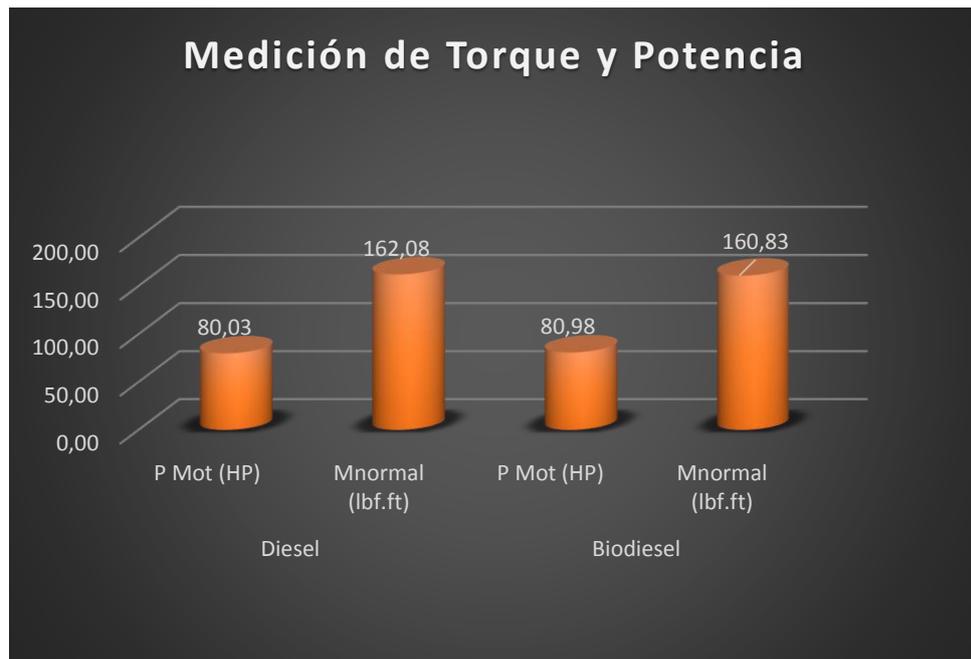


Figura 75. Resumen estadístico de torque y potencia con diesel y biodiesel

La figura 75 presenta el valor de trabajo que se generó en el motor de combustión interna diesel de la camioneta Mazda BT-50, con el biocombustible B5 se presenta un buen desempeño de potencia con un aumento de 4,14 % con respecto al diesel, en cuanto al torque se puede observar una disminución en porcentaje de 1,98% en relación al torque con diesel al 100%.

Se establece entonces que existe un buen desempeño de acuerdo a las mediciones realizadas cuando se trabaja con biocombustible al 5%.

4.3. Parámetros termodinámicos de desempeño con el uso de biocombustible

Se tiene como punto de referencia el diagrama de presión volumen del ciclo teórico diesel, para poder desarrollar los cálculos relacionados con el desempeño del motor en función de los datos obtenidos en las mediciones.

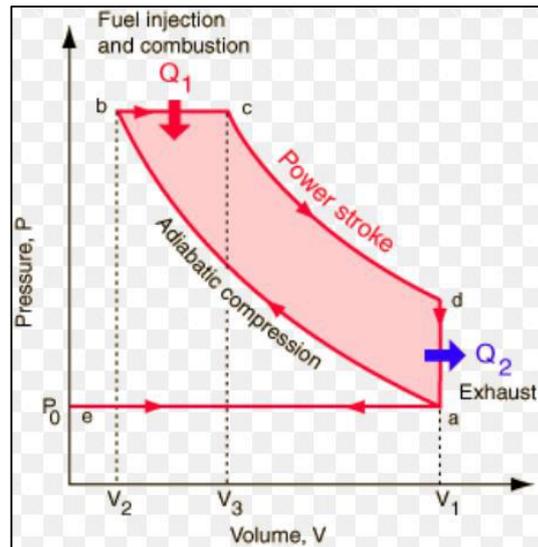


Figura 76. Diagrama presión volumen del ciclo diesel

Fuente: (Olmo & Nave)

Este proceso se genera los siguientes cálculos tanto para el biodiesel como diesel.

Cálculo Térmico

Coefficiente de exceso de aire

$$\alpha = 1.4$$

Composición del combustible

$$C = 0.848$$

$$H = 0.151$$

$$O_c = 0.001$$

$$l_o = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} C + 8.H - O_c \right)$$

$$l_o = 15.079 \text{ kg}$$

$$L_o = \frac{1}{0.209} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_c}{32} \right)$$

$$L_o = 0.519 \text{ kmol}$$

Cálculo de la cantidad total de aire.

$$M1 = \alpha \cdot L_o$$

$$M1 = 0.726 \frac{\text{kmol}}{\text{kg}}$$

Los productos de la combustión para $\alpha = 1$

$$M2_{\alpha_1} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0.79L_o$$

$$M2_{\alpha_1} = 0.56 \frac{\text{kmol}}{\text{kg}}$$

La cantidad excedente de aire fresco es:

$$\text{Excedente} = (\alpha - 1) \cdot L_o$$

$$\text{Excedente} = 0.2076 \frac{\text{kmol}}{\text{kg}}$$

La cantidad total de los productos de combustión es igual a:

$$M2 = M2_{\alpha_1} + \text{Excedente}$$

$$M2 = 0.768 \frac{\text{kmol}}{\text{kg}}$$

El coeficiente teórico de variación molecular

$$\mu_o = \frac{M2}{M1}$$

$$\mu_o = 1.057$$

Cálculos del Motor

- Cálculo de la presión media del ciclo

$$P_{mc} = \frac{T}{v_h} \times i \quad \text{Ecuación 7}$$

$$P_{mc} = \frac{218,08548 \text{ Nm}}{0,00062475 \text{ m}^3} \times 4$$

$$P_{mc} = 1396305,594 \text{ Pa} = 13,96 \text{ bar}$$

- Cálculo del rendimiento térmico

$$n_t = P_{mc} \frac{(\varepsilon-1)(k-1)}{P_a \varepsilon^k k(\rho-1)} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$n_t = 1396305,594 \text{ Pa} \frac{(19,8 - 1)(1,41 - 1)}{73960 \text{ Pa} \times 19,8^{1,41} \times 1,41 \times (4,1 - 1)}$$

$$n_t = 49,43 \%$$

- Calor del poder extraído

$$Q_2 = (1 - n_t)Q_1$$

$$Q_2 = (1 - 0,494)42,64 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}$$

$$Q_2 = 21,57584 \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}}$$

- Cálculo del consumo másico de combustible

$$mc = \frac{\text{Potencia al freno}}{Q \cdot n_t} \text{ Ecuación 10}$$

$$mc = \frac{60,386776 \text{ KJ/s}}{42640 \text{ KJ/Kg} \cdot 0,494}$$

$$mc = 0,00286 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

$$mc = 10,32 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

- Cálculo de consumo específico de combustible

$$CEC = \frac{mc}{\text{Potencia al freno}} \text{ Ecuación 11}$$

$$CEC = \frac{10,32 \text{ Kg/h}}{60,386776 \text{ KJ/s}}$$

$$CEC = 0,17 \frac{\text{Kg}}{\text{KW h}}$$

Tabla 24

Datos técnicos del motor

Cilindrada unitaria (m^3)	0,00062475	Relación de compresión	19,8
Presión atmosférica Quito (Pa)	73960	Coefficiente adiabático	1,41
Grado de expansión previa	4,1	Número de cilindros	4

Tabla 25

Resumen de parámetros característicos

Muestra	Biodiesel B5	Diesel
Torque (Nm)	218,085	219,780
Presión media del ciclo (Pa)	1396305,594	1407157,935
Rendimiento térmico (%)	49,43	49,82
Calor suministrado Q_1 (MJ/Kg)	42,64	42,7819
Calor extraído Q_2 (MJ/Kg)	21,576	21,468
Consumo másico de combustible (Kg/h)	10,32	10,07
Consumo específico de combustible (Kg/ KW h)	0,17	0,17
Presión media del ciclo (bar)	13,96	14,07
Consumo másico de combustible (Kg/min)	0,172	0,168

De los cálculos desarrollados se obtiene la tabla y las gráficas correspondientes que permiten realizar una interpretación de los resultados obtenidos.

En la figura 77 el aprovechamiento del calor que se genera con el diesel en proporción con el biodiesel es semejante ya que varía por valores decimales dando así un buen aprovechamiento de ambos combustibles.

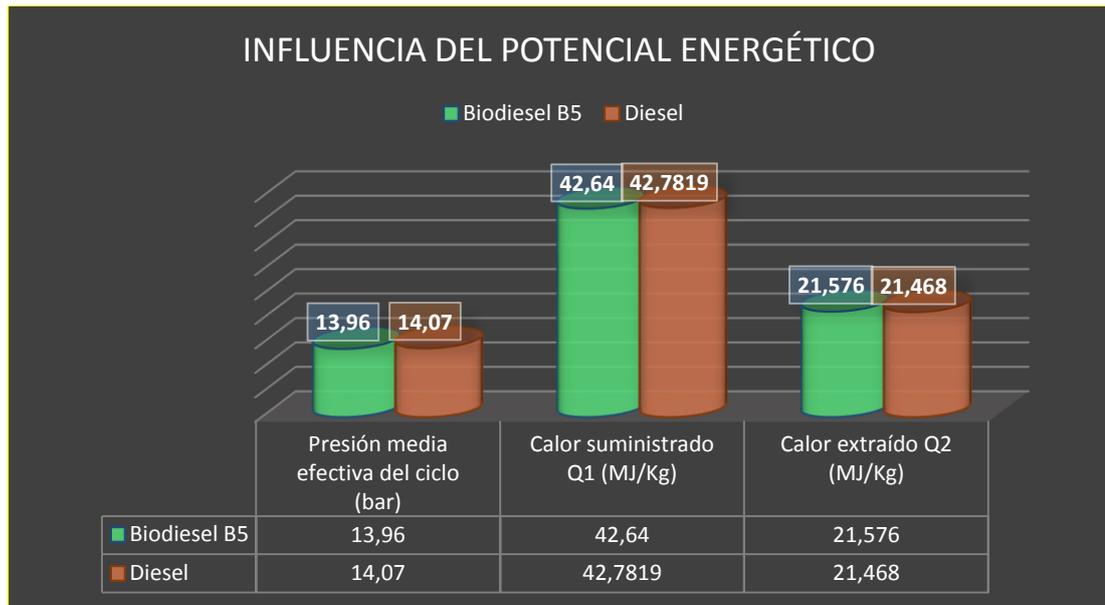


Figura 77. Calor suministrado y extraído en la camioneta Mazda Bt-50 con los dos combustibles.

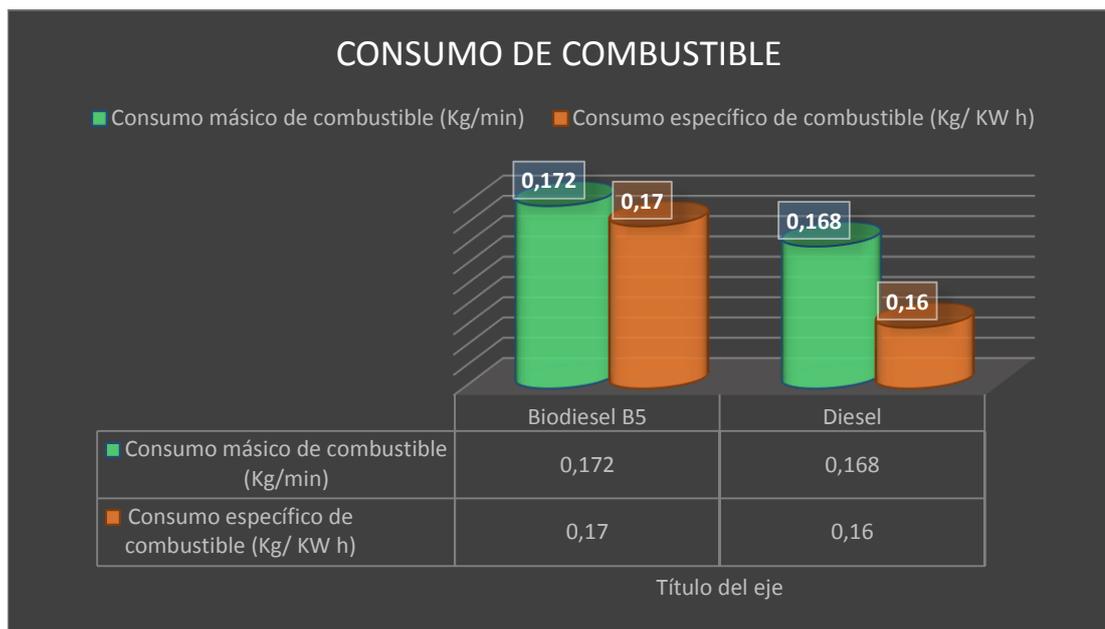


Figura 78. Consumo de combustible en la camioneta Mazda BT-50 con los dos combustibles.

En la figura 78 se establece que el motor diesel en la verificación del consumo de combustible se obtiene mejor economía porque rinde más potencia por hora de acuerdo a la masa de combustible que es consumido.

4.4. Prueba de opacidad

Uno de los parámetros importantes en la investigación es conocer las emisiones generadas con el biodiesel, hoy en día hay que aportar al medio ambiente utilizando combustibles alternativos.

Se inició la medición de la opacidad con el diesel comercial y el biodiesel considerando la temperatura inicial del motor de 80° C.

- Ingresar al programa Brain Bee e ingresar los datos del vehículo.



Figura 79. Interface del opacómetro

- Una vez que este ya establecido los datos del vehículo tomar en cuenta los parámetro antes mencionados para iniciar las mediciones.

VALORES RELEVADOS			
TEMPERATURA MOTOR	:	K =	0# [°C]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	1	: K =	0.63 + [m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	2	: K =	0.53 + [m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	3	: K =	0.56 + [m ⁻¹]
VALOR MEDIO OPACIDAD	:	K =	0.6 [m ⁻¹]
RESULTADO DE LA PRUEBA :			POSITIVO
TÉCNICO RESP. : BURGOS - VILLACIS			

Figura 80. Plantilla de medición

Cálculo para el porcentaje de opacidad

La relación entre la escala lineal de 0 a 100% de opacidad y el coeficiente "K" de absorción de la luz es dado por la fórmula:

$$N = (1 - e^{-KL}) \times 100$$

Ecuación 26

Donde:

N = Una lectura en la escala lineal.

K = Valor correspondiente del coeficiente de absorción de luz.

L = La longitud efectiva del paso de la luz a través de la muestra de gas.

$$N = 100 \times (1 - e^{-0,40 \times 0,4})$$

$$N = 0,10 \%$$

Tabla 26

Mediciones de opacidad en la camioneta Mazda Bt-50

MEDICIÓN DE OPACIDAD	Valor de opacidad acelerada (m ⁻¹)			Valor medio Opacidad (m ⁻¹)	Valor final medio Opacidad (m ⁻¹)	Porcentaje de opacidad	Reducción	
	K1	K2	K3	K	K	%	%	
Biodiesel 5%	Prueba 1	0,33	0,37	0,39	0,36			
	Prueba 2	0,37	0,39	0,42	0,39	0,40	14,78	-85,22
	Prueba 3	0,4	0,44	0,5	0,45			
Diesel Puro	Prueba 1	0,63	0,53	0,56	0,57			
	Prueba 2	0,58	0,67	0,72	0,66	0,62	21,96	0
	Prueba 3	0,58	0,62	0,66	0,62			

Los valores de opacidad para motores a diesel están regulados de la siguiente manera.

- Mayor a 4 m^{-1} la medición está fuera de rango y la opacidad es alta.
- De 3 a 3.8 m^{-1} la medición está en los límites.
- De 2 a 3 m^{-1} la medición esta normal.

En la tabla 26 se observa los valores de medición de opacidad y con el uso de biodiesel hay mayor reducción por lo cual se recomienda el uso del biocombustible.

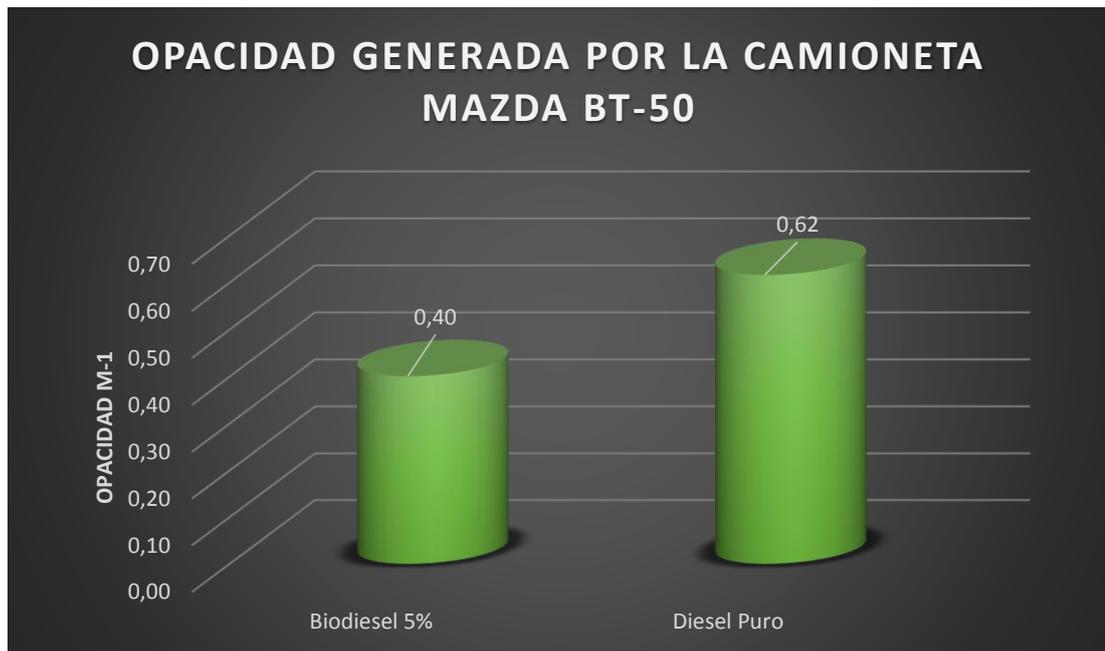


Figura 81. Análisis de opacidad

En la figura 81 se observa que el motor diesel convencional genera más contaminación a diferencia del biodiesel a medida que se aumenta el porcentaje disminuye la polución es decir a un valor $0,40 \text{ m}^{-1}$ corresponde a 14,78%, se puede sustentar con la figura 82 que existe una disminución de la contaminación del ambiente y reducción de la polución en un 85,22%.

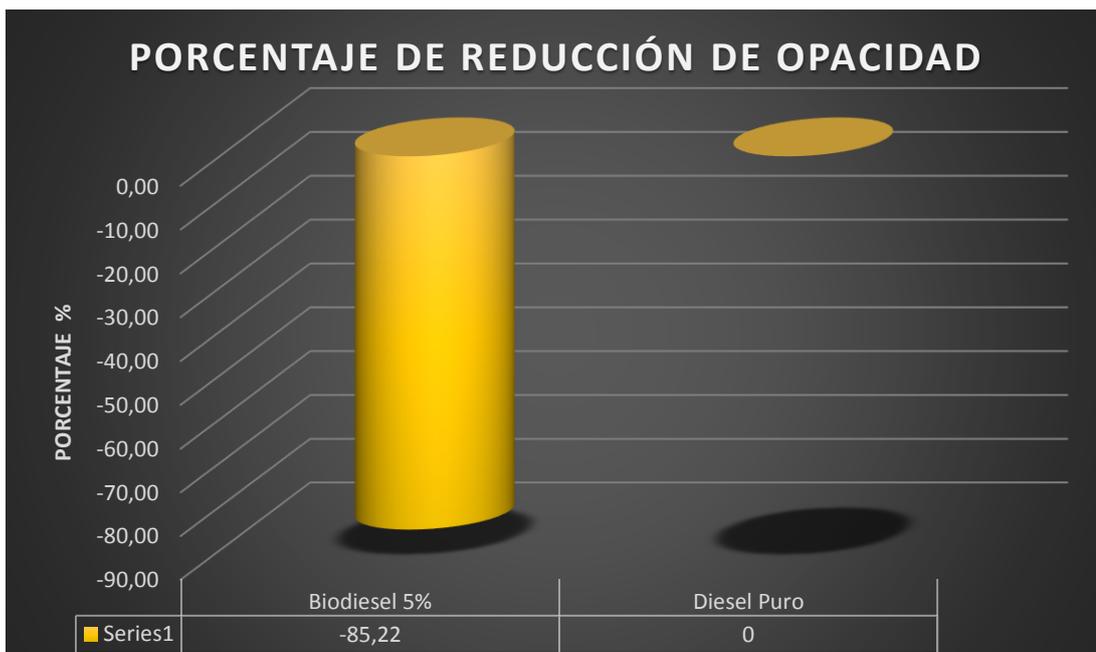


Figura 82. Porcentaje de reducción de opacidad

Se realizó una medición de opacidad con el analizador de gases BARTEK para el diesel como biodiesel constatando el valor de reducción de opacidad con el uso del biodiesel.

Tabla 27

Mediciones de opacidad con el analizador BARTEK

Medición de opacidad		Valor de opacidad %	Valor Promedio	Reducción
Biodiesel 5%	Prueba 1	9,21	10,12	-89,88
	Prueba 2	9,89		
	Prueba 3	11,27		
Diesel Puro	Prueba 1	13,17	13,36	0
	Prueba 2	13,52		
	Prueba 3	13,4		

4.5. Prueba medición de gases

Se efectuó la medición de gases con los dos combustibles para comparar cuál de los dos es menos contaminante en emisiones como saben los motores de combustión interna a diesel emiten productos gaseosos como son: dióxido de carbono (CO_2), oxígeno, nitrógeno, monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno (NO_x), los hidrocarburos entre otros.

Se inició la medición con el equipo AGS 688 antes mencionado, ingresar los datos del vehículo y realizar la prueba tomando en cuenta todos los parámetros del usuario.



Figura 83. Conexión del equipo

 ANÁLISIS GASES ESCAPE ANÁLISIS DE GASES BIODIESEL		
ANALIZADOR	AGS-688	CUENTARREVOLUCIONES
Número de serie	160513000054	Número de serie
ESPE		
LATA CUNGA	0987259461	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:		
Marca	: MAZDA	Modelo
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis
Combustible	: BIOSIESEL	Km recorridos
Valores relevados:		
Temp. Motor	[°C]	: 99
RPM	[1/min]	: 3560
COcorr	[%Vol]	: 0.56
Lambda	[-]	: 4.756
CO	[%Vol]	: 0.12
CO ₂	[%Vol]	: 3.1
HC	[ppmVol]	: 9
O ₂	[%Vol]	: 17.3
NO	[ppmVol]	: 241
Fecha y hora prueba	: 18/08/2016 17:03	
Sello		
Firma		

Figura 84. Medición análisis de gases

Tabla 28

Medición de gases a diferentes rpm

	RPM	Lambda	CO (% Vol)	CO ₂ (% Vol)	HC (ppm Vol)	O ₂ (% Vol)	NO _x (ppm Vol)
BIODIESEL	750		0,03	1,9	0	20,2	208
	1000		0,06	1,3	0	19,6	90
	1500		0,05	2,3	0	18,1	123
	2000		0,08	2,4	0	17,6	92
	2500		0,25	2,4	0	17,3	54
	3000		0,24	2,6	16	17,2	82
	3500	4.756	0,12	3,1	9	17,3	241

CONTINÚA 

Promedio	4.756	0,119	2,286	3,571	18,186	127,143
DIESEL	750	0,04	2,2	0	19	280
	1000	0,03	1,7	0	20,4	160
	1500	0,06	2,3	0	18,5	133
	2000	0,1	2,4	0	18,2	99
	2500	0,26	2,4	0	17,4	63
	3000	4,962	0,26	2,8	22	17,5
3500	4,737	0,28	2,9	24	27,1	95
Promedio	4,850	0,147	2,386	6,571	19,729	133,286

En la norma (INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2002) se establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes.

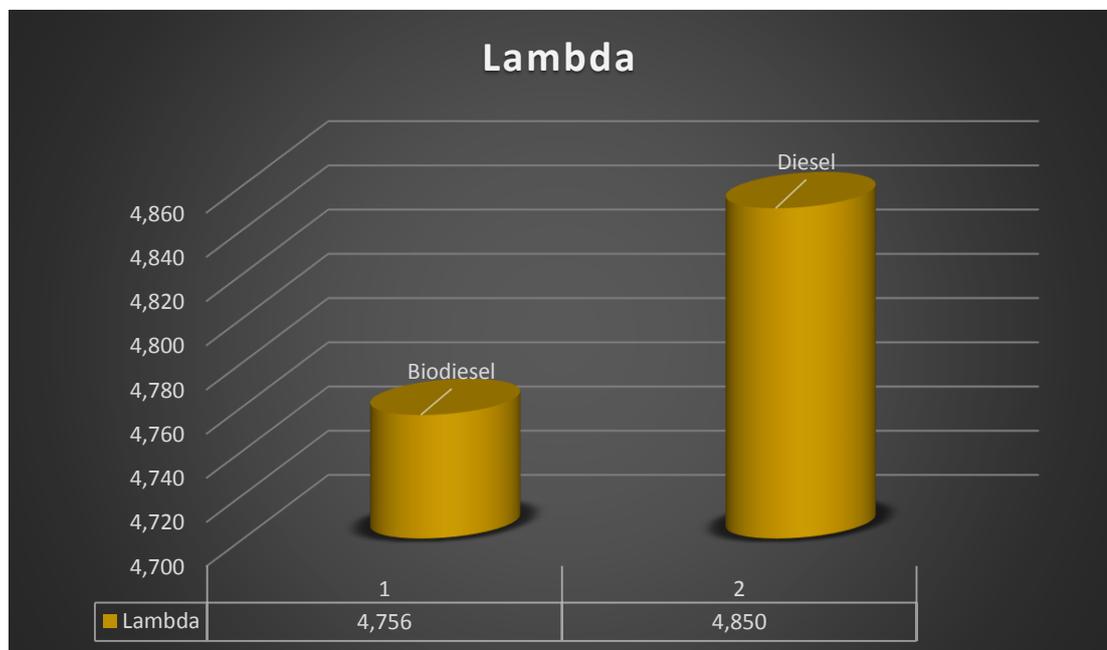


Figura 85. Análisis medición lambda

En la figura 85 se observa que el motor diesel convencional a 3000 y 3500 rpm con el uso de diesel aparece el valor de lambda, mientras que a 3500 rpm con el uso de biodiesel. Estos valores son mayores a 1 lo cual indican que la mezcla es pobre siendo un parámetro primordial para el control de la combustión y de la limpieza de los gases evacuados.

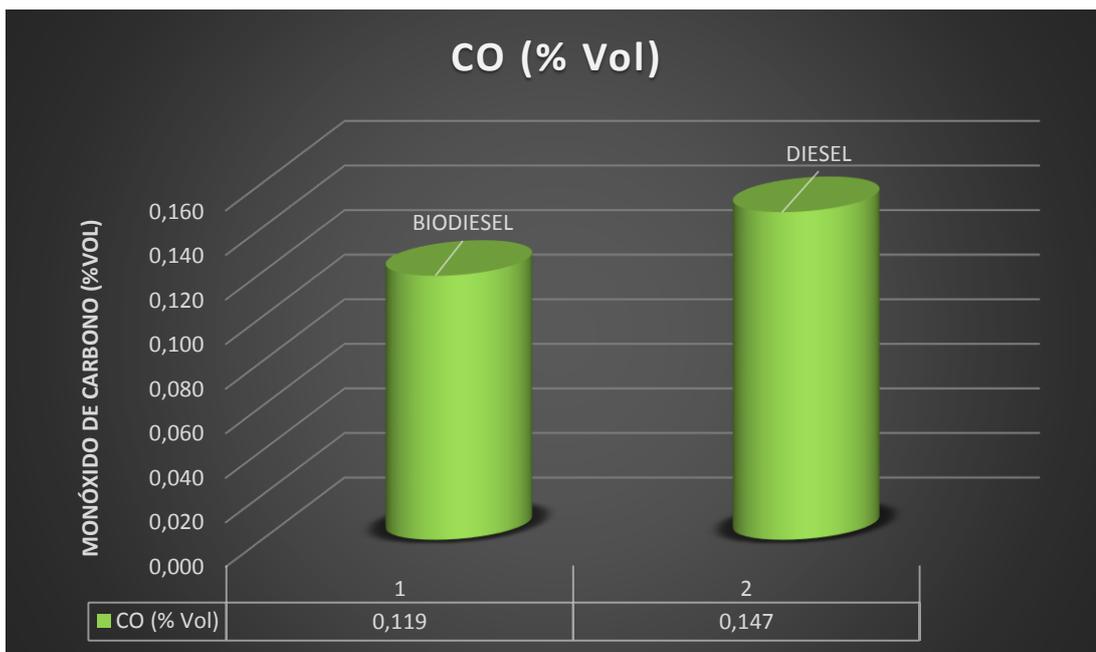


Figura 86. Análisis porcentaje en volumen monóxido de carbono

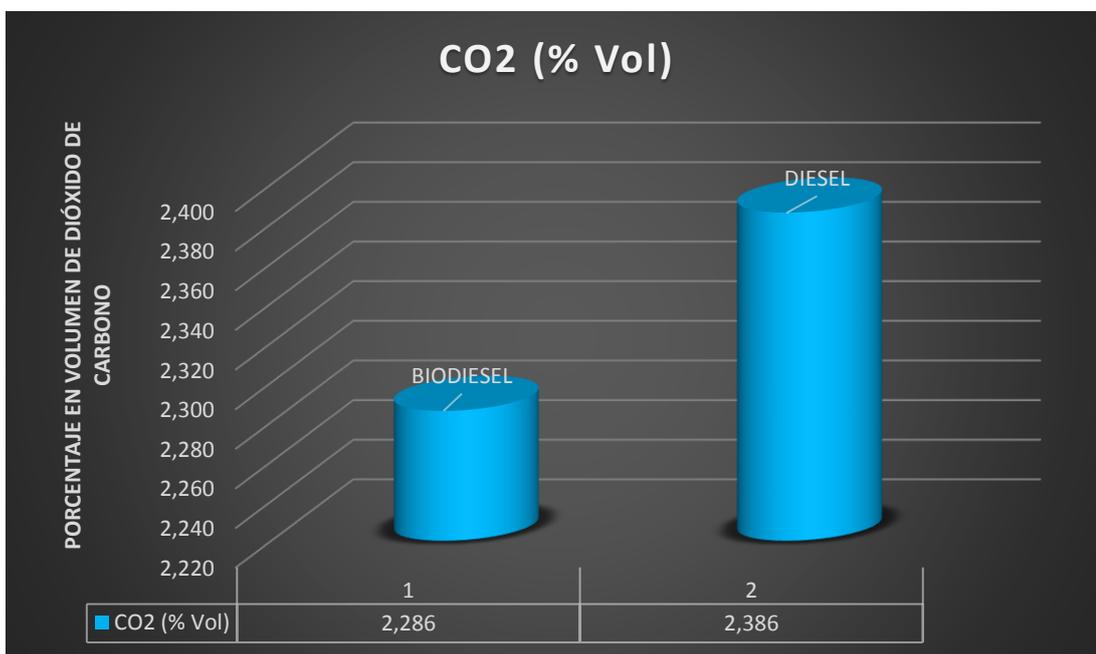


Figura 87. Análisis porcentaje en volumen de dióxido de carbono

En la figura 86 la emisión de monóxido de carbono es menor con el uso de biodiesel en un 0,0028 % volumen, en la figura 87 con el uso del biodiesel existe reducción en la emisión de dióxido de carbono en un 0,1% volumen. Estos valores son ventajosos ya que al disminuir la emisión de estos gases es un combustible viable y que aporta al medio ambiente.

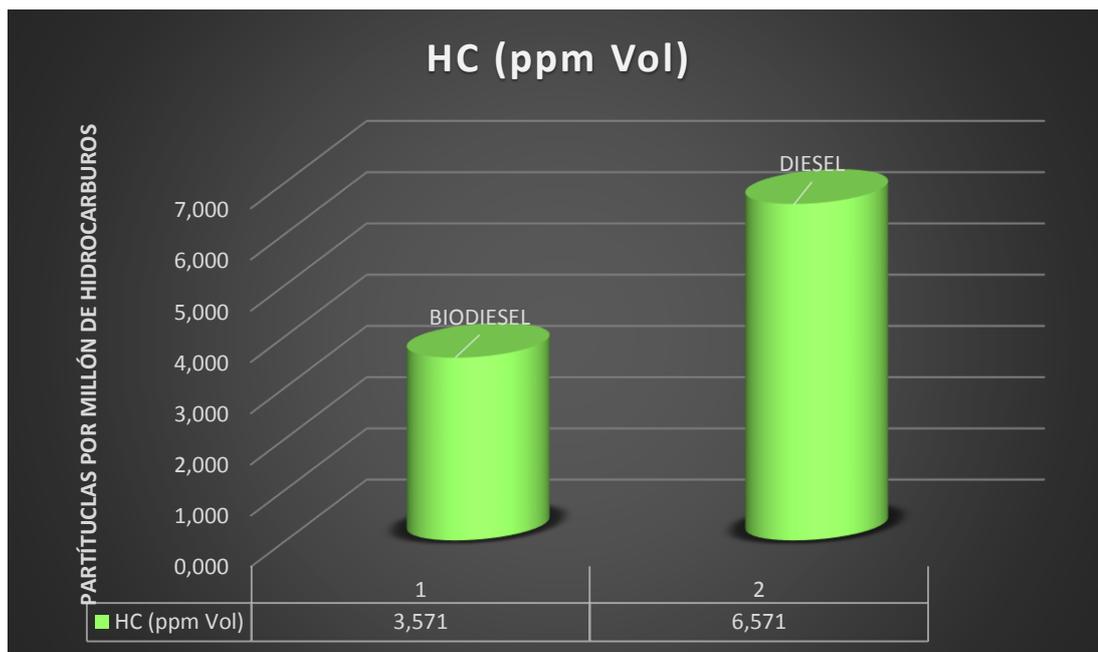


Figura 88. Análisis partículas por millón de hidrocarburos

En la figura 89 se observa una disminución de 3 ppm de hidrocarburos usando el biocombustible al igual que en la figura 89 observando una disminución de 6.143 ppm NOx (óxidos de nitrógeno). En los últimos años se ha mencionado que los motores de combustión interna diesel son mejores para el medio ambiente, dado que generan menor porcentaje de gases. Con el uso del biodiesel es más relevante la disminución de estos gases siendo un mayor aporte al medio ambiente y al cuidado de la salud de las personas.

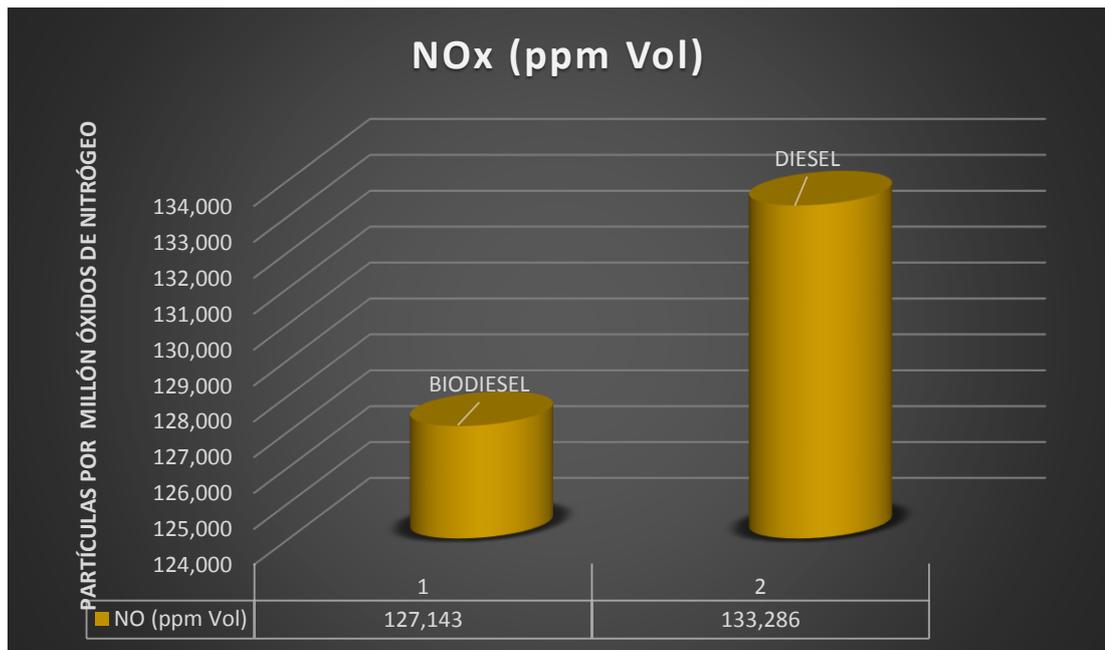


Figura 89. Análisis partículas por millón de óxidos de nitrógeno

Conclusiones del capítulo:

- Se efectuó inspecciones de los equipos previos a su utilización para obtener excelentes resultados de las pruebas realizadas.
- Se aplicaron procedimientos de uso regidos en el manual para la utilización de los equipos.
- Se tabularon los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el laboratorio con se genera las curvas de comportamiento del motor.
- Se logró evidenciar que existe un buen comportamiento del motor con el uso del biocombustible en proporción al 5%.
- Los valores de opacidad con el uso del biodiesel son menores en un 85,22% a diferencia del uso del diesel.
- Con los resultados expuestos en el capítulo se logró evidenciar y comparar la información obtenida con bibliografías relacionadas, aportando y dando realce a la presente investigación.

CAPÍTULO 5

5. MARCO ADMINISTRATIVO

Los aspectos administrativos y económicos del proyecto de investigación establecen los parámetros relacionados con la viabilidad de los recursos y la factibilidad del mismo.

5.1 Factibilidad de la investigación

Los recursos materiales y humanos son primordiales para la realización del proyecto para llegar a cumplir con éxito la misma siendo en un futuro un aporte que sea utilizado día con día. De tal forma es necesario, preparar el presupuesto tomando en cuenta estos parámetros.

5.1.1. Recursos materiales

Los recursos materiales son los elementos que fueron utilizados en la implementación del proyecto de investigación los mismos que se detallan a continuación:

Tabla 29

Recursos materiales

Orden	Ítem
1	Aceite de frituras
2	Metanol
3	Óxido de calcio
4	Diesel
5	Balón para ebullición
6	Frascos de polipropileno
7	Tubos de ensayo
8	Papel Ph
9	Mangueras
10	Abrazaderas

5.1.2. Talento humano

El personal de apoyo para la investigación está integrado por:

Tabla 30

Talentos humanos

Grupo de Talento de apoyo	Carolina Villacís	Investigadores
	David Burgos	Investigadores
	Germán Erazo	Director del Proyecto de Titulación Colaborador SAEM R&D
	Marcos Gutiérrez	Director SAEM R&D
	Caterine Donoso	Colaboradora SAEM R&D
	Leonidas Quiroz	Jefe de Laboratorio Mecánica de Patio (Medición Análisis de Gases)
	Miguel Villa	Jefe de Laboratorio de Química (Uso de instrumentación)
Luis Mena	Jefe de Laboratorio de Motores (Uso de instrumentación)	

5.1.3. Recursos financieros

El financiamiento del proyecto es de recursos propios, el costo total utilizado en el proyecto de investigación es de \$ 3678,09 el mismo que se detalla a continuación en las siguientes tablas que están divididas de acuerdo a la obtención del biodiesel, pruebas realizadas, materiales e insumos adicionales.

Tabla 31**Gastos obtención del biodiesel**

Gastos obtención biodiesel				
N°	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Aceite	20 lt	0	0,00
3	Metanol	15 lt	40,10	120,30
4	Óxido de calcio	200 g	5,60	11,20
5	Consumo eléctrica	energía 193,44 KW hora/ día	0,04	7,73
TOTAL				139,23

Producir 10 lt de biodiesel tiene un costo de \$ 139,23; es decir, producir un litro de biodiesel cuesta alrededor de \$13,92. En este punto es importante analizar que el galón de diesel tiene un precio de \$1.39 no sería rentable competir con el biodiesel a partir de aceite frituras. Esto es debido al costo de producción del biodiesel, la producción se realizó a escala con un reactor en el laboratorio de Química de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, sería de gran ayuda elaborar un reactor para destinado a este tipo de producción agilitando el tiempo y el costo. Este proyecto tendría gran aporte a que no tuviera elevados costos el metanol y el óxido de calcio en otros. El presente proyecto con los años y apoyo del país tendría gran acogida una vez que todos los puntos planteados sean mejorados por lo cual este caso se recomienda utilizarlo como aditivo en un 5% biodiesel el mismo que beneficia a nuestro medio ambiente.

Tabla 32

Gastos pruebas realizadas para la investigación

Gastos pruebas realizada				
N°	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Tipificación del aceite	1	28	28,00
2	Caracterización del diesel	1	212,80	212,80
3	Caracterización de las mezclas biodiesel	5	433,20	2166,00
4	Pruebas de torque y potencia CCICEV	2	67,50	135,00
5	Prueba emisiones de gases	14	20	280,00
TOTAL				2821,80

Tabla 33

Gastos materiales e insumos utilizados

Gastos materiales				
N°	Ítem	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Guaípe	1	1,00	1,00
2	Guantes	1	0,75	0,75
3	Estropajo	1	0,65	0,65
4	Guantes de nitrilo	1	1,96	1,96
5	Recipiente para el aceite	1	6,90	6,90
6	Lienzo para filtrar el aceite	2	1,70	3,40
7	Embudo	1	1,60	1,60
8	Catalina y cadena para el reactor	2	9,50	9,50
9	Sinte soldex, amarras, tinner		2,40	2,40
10	Teflón	4	1,60	1,60

CONTINÚA 

11	Tubos de ensayo, jeringas	7	0,48	3,36
12	Frascos de polipropileno	5	1,20	5,00
13	Diesel	1	1,00	17,00
14	Mangueras y abrazaderas	7	1,71	12,00
15	Peajes camioneta Mazda BT-50	2	1,00	2,00
16	Botonera	1	7,54	7,54
17	Filtro máquina AGS 688	1	45,00	45,00
18	Viáticos (pasajes, almuerzos) David Burgos	43	7,00	301,00
19	Viáticos (pasajes, almuerzos) Carolina Villacís	43	5,00	215,00
20	Pliego de papel filtro	5	1,00	5,00
21	Papel PH 0-14	1	13,00	13,00
22	Balón para ebullición	1	48,00	48,00
23	Etanol	1 lt	8,40	8,40
TOTAL				712,06

5.2. Título de la propuesta

Uso del aceite de frituras como biocombustible en proporción B5 en motores diesel para reducir la opacidad y los niveles de gases.

5.2.1. Estructura de la propuesta

La propuesta se encamina al uso del biocombustible a partir de aceite de frituras en concentración al 5% debido a la disminución de polución y emisión de gases aportando al medio ambiente y a la sociedad ya que al ser utilizado el aceite de frituras encaminamos hacia la recolección del mismo y a evitar a que el aceite sea arrojado, por lo cual se recomienda su que beneficia al sector automotor y al medio ambiente.

5.2.2. Desarrollo de la propuesta

La propuesta requiere del talento humano, recursos materiales, financieros y tecnológicos los cuales fueron presentados en la factibilidad de la investigación, en el cual existe una estimación de costo por la utilización del biocombustible.

El costo estimado de la investigación es de \$ 3162,09 en el cual no está incluido el recurso humano.

5.2.3. Influencia socio económico de la propuesta

Se presenta un análisis económico de factibilidad y de costos que tendría la producción de biodiesel a partir de aceite de frituras, en el cual se toma se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

La producción de biodiesel se estimó para 10 camionetas Mazda BT-50, cuya capacidad de combustible es de 16 galones tomando en cuenta estos puntos se realiza una tabla para conocer la cantidad de biocombustible que necesita ser producido.

Tabla 34

Costos para la producción de biodiesel

	Número de autos	Capacidad de llenado (gal)	Cantidad necesaria
	10	16	605,67
	Cantidad de aceite (l)	Cantidad de metanol (l)	Cantidad de óxido de calcio (g)
	1211,33	637,67	11.117,587
Cantidad		128	120
Gasto unitario \$		41,10	5
Gasto total \$		5260,8	672
TOTAL		5932,8	

Los costos de producción se han generado para 10 camionetas Mazda BT-50 teniendo un costo de 5932,80 dólares al producir 605,67 litros. En el cual se estima un valor de 9,80 dólares por litro, es un buen valor muy relevante esto es debido al costo del metanol ya que se necesita uno de alta pureza al encontrar un metanol de bajo costo sería muy rentable el uso de este biocombustible porque disminuye las emisiones de gases y existe un ligero aumento de potencia.

Tabla 35

Plan de costos y flujos de caja

Años	0	1	2	3	4	5
Inversión	5932,8					
Ingresos		1500	3000	4500	5225	6000
Egresos		750	950	1025	2000	2575
Flujos	(5932,8)	750	2050	3475	3225	3425

Se analiza una inversión inicial para 5 años cuando se trabaja con un precio de 9,80 dólares el litro de biocombustible obteniendo un VAN de 3075,84 dólares y un TIR de 26,3%, siendo un proyecto que debe ser aceptado porque el VAN es mayor que cero y el TIR presenta una rentabilidad para ser planteado el proyecto.

Se considera que el biodiesel B5 se utiliza como un aditivo para el diesel, entonces al conocer que 1 litro tendrá el valor de 9,80 dólares es un valor que está dentro de un campo de mercado. Porque los aditivos para diesel que se ofertan tienen un costo alrededor de 15 dólares pero la cantidad que contienen son 236 ml dependiendo del fabricante o en algunos casos se oferta en pastillas que presentan valores más elevados.

Proyecto A

Desembolso Inicial

Tasa de Actualización porcentual

Flujos de Caja

Añadir Flujo

1	750
2	2050
3	3475
4	3225
5	3425
6	
7	
8	
9	

Max: 50

Borrar Seleccionado

Resultado

VAN:	3075,84
TIR:	26,3%

Figura 90: Cálculo del VAN y TIR de la propuesta

Conclusiones del capítulo:

- Se presentó una propuesta para la producción de biodiesel para 10 camionetas con una capacidad de 16 galones de llenado.
- Para producir 605,67 litros tiene un costo de producción de 5932,80 dólares.
- Debido al impacto ambiental se puede recolectar el aceite de frituras y darle un buen uso en la producción de biodiesel.

CONCLUSIONES

- Se caracterizó la mezcla combustible diesel a partir de aceite de frituras en concentración 5% - 10% - 15% - 20% - 25% con lo cual se determinó los parámetros térmicos y mecánicos del motor de combustión interna de la camioneta Mazda bt-50, en este caso no se tomó en cuenta el 30% porque se requería apreciar de mejor forma los resultados obtenidos en la caracterización y al estar un rango de 5% se logró cumplir con las gráficas establecidas por la caracterización.
- Se recopiló información pertinente para el desarrollo del estudio el cual aportó en gran magnitud el uso de libros, artículos y fuentes bibliográficas.
- Se consideró el índice de acidez del aceite para ser utilizado ya que al pasar los días y al ser varias veces reutilizado no es factible su uso.
- Se efectuó la tipificación del aceite de frituras para verificar su utilidad y con la cual se desarrolló los cálculos que determinaron la cantidad de catalizador y metanol a ser utilizado en el proceso de transesterificación.
- El catalizador que fue utilizado en el proceso de transesterificación no es contaminante y no emite gases algunos por lo cual puede ser puesto en la tierra porque neutraliza los terrenos ácidos aportando a la agricultura.
- Se construyó un reactor de agitación a escala de laboratorio para la obtención de biodiesel el cual se desarrolló en el laboratorio de Química de la Universidad de las Fuerzas Armadas.
- En el proceso de obtención de biodiesel se puede recuperar el metanol, el cual puede ser reutilizado mediante el proceso de destilación.
- Se obtuvo el biodiesel a partir del aceite de frituras, se recolectaron 4 litros en aproximadamente un mes esto debido al proceso ya que son varios parámetros que se deben cumplir para lograr el mismo.

- Se prepararon las mezclas de biodiesel en proporciones de 5% - 10% - 15% - 20% - 25%, las mezclas fueron caracterizadas en los laboratorios de la Universidad Central determinando así los 10 parámetros requeridos para seleccionar la mezcla idónea.
- Se determinó la proporción del 5% como mezcla óptima ya que contiene un punto de inflamación del 65,2°C el cual se relaciona directamente con la condición de iniciar una combustión al aplicarle una fuente de calor, claramente en el arranque en frío; el poder calorífico que está directamente relacionado con el rendimiento del motor, esta proporción contiene una pequeña disminución en relación al diésel normal por lo que no afecta en el rendimiento del motor; la viscosidad cinemática en esta proporción nos permite evitar problemas de pulverización además de ser la proporción que contiene menor cantidad de azufre en relación al diesel por lo cual es recomendable el uso de la proporción de 5% porque existe mayor protección del ambiente al disminuir las emisiones contaminantes.
- Se utilizó la mezcla combustible B5 y diesel puro en la camioneta Mazda BT-50 con lo cual se realizó pruebas de torque, potencia, opacidad y medición de gases teniendo buenos resultados con el uso del biocombustible sustentando que el mismo aporta al medio ambiente.
- Se tabularon los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el laboratorio con lo cual se generaron las curvas de comportamiento del motor.
- Se logró evidenciar con el biocombustible B5 se presenta un buen desempeño de potencia con un aumento de 4,14 % con respecto al diesel, en cuanto al torque se puede observar una disminución en porcentaje de 1,98% en relación al torque con diesel al 100%, por lo cual se recomienda realizar pruebas en otros vehículos para hacer relaciones en cuanto al aumento o disminución de torque y potencia para hacer una relacionar del uso del biocombustible en varios vehículos.

- Se establece que el motor diesel en la verificación del consumo de combustible obtiene mejor economía porque rinde más potencia por hora de acuerdo a la masa de combustible que es consumido.
- Los valores de opacidad con el uso del biodiesel son menores a diferencia del uso del diesel, se constató con el uso de dos equipos con los cuales se obtuvieron buenos resultados y se observó que el motor diesel convencional genera más contaminación a diferencia del biodiesel a medida que se aumenta el porcentaje disminuye la polución es decir a un valor 0,40 m⁻¹ corresponde a 14,78%, se puede sustentar que existe una disminución de contaminación y reducción de la polución en un 85,22%.
- El motor diesel convencional a 3000 y 3500 rpm con el uso de diesel aparece el valor de lambda, mientras que a 3500 rpm con el uso de biodiesel. Estos valores son mayores a 1 lo cual indican que la mezcla es pobre siendo un parámetro primordial para el control de la combustión y de la limpieza de los gases evacuados.
- La emisión de monóxido de carbono es menor con el uso de biodiesel en un 0,0028 % volumen, además existe reducción en la emisión de dióxido de carbono en un 0,1% volumen. Estos valores son ventajosos ya que al disminuir la emisión de estos gases es un combustible viable porque emana menor cantidad de gases.
- Existe una disminución de 3 ppm de hidrocarburos usando el biocombustible al igual, una disminución de 6.143 ppm NO_x (óxidos de nitrógeno). Con el uso del biodiesel es más relevante la disminución de estos gases siendo un mayor aporte al medio ambiente y al cuidado de la salud de las personas.
- Producir 10 litros de biodiesel tiene un costo de \$ 139,23; es decir, producir un litro de biodiesel cuesta alrededor de \$13,92, pero se debe considerar que al ser B5 se utiliza como aditivo para el diesel. Los aditivos que se ofertan en el mercado tienen un costo de 15 dólares pero dependiendo del fabricante y la cantidad que contienen. Entonces es considerado rentable la producción de este biocombustible.

RECOMENDACIONES

- Aportar al medio ambiente recolectando el aceite de frituras el cual es utilizado como biocombustible y que continúen investigaciones que permitan el uso de biocombustibles de segunda generación.
- Se recomienda proyectos de investigación posteriores que desarrollen un reactor de agitación para obtención de biodiesel ahorrando tiempo y energía porque el reactor que se utilizó fue uno a escala siendo la producción muy pequeña necesitando gran cantidad de tiempo y energía.
- Realizar la calibración previa de los equipos para no tener errores en la obtención de datos.
- Utilizar equipos de seguridad como gafas, mascarillas, guantes, mandil en el proceso de obtención de biodiesel para evitar accidentes.
- Antes de utilizar el vehículo se debe verificar los niveles de aceite, refrigerante, agua para no tener problemas al iniciar las pruebas.
- Desarrollar investigaciones que abarque el uso de biocombustibles a partir de aceite de frituras con otro tipo de catalizadores para determinar que catalizadores pueden ser utilizados verificando las ventajas y desventajas de los mismos en el proceso de obtención de biodiesel.
- El analizador de Gases Brain Bee se encuentra en buen estado porque se constató los resultados obtenidos con el nuevo analizador de gases Cartek.
- Se recomienda el manejo adecuado de los equipos e instrumentos utilizados para evitar daños de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Gnanaprakasam, V. S. (22 de Abril de 2013). *Recent Strategy of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil and Process Influencing Parameters: A Review*. (S. V. Mohan, Ed.) *Hindawi Publishing Corporation*, 10.
- Agencia Andaluza de la Energía. (2009). *Manual Técnico de Uso de Biocarburante en Motores de Automoción*. Ediciones La Meseta. Sevilla, España: La Meseta.
- AGS-688. (s.f.). *Analizador de gases para motores de gasolina de 2 y 4 tiempos. Manual de uso*.
- Ahmad, Rashid, Khan, Zafar, Sultana, & Gulzar. (2010). *Base Catalyzed transesterification of sunflower oil biodiesel*.
- American Society of Testing and Materials (ASTM). (2012). Norma ASTM D6751-12. *Especificación estándar para mezclas de combustibles biodiesel (B100) para los combustibles destilados medios, 2*.
- (ARPEL), I. I. (Octubre de 2009). *Manual de biocombustibles, 2*. (A. IICA, Recopilador) San José, Costa Rica.
- Arun, Sampath, Siddharth, & Prasaanth. (2011). *Experimental Studies of base catalyzed transesterification of karania oil*. *En journal of energy and environment* (págs. 351-356).
- Avellaneda, F. (2010). *Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal*. Tarragona: Escola Tecnica Superior d'enginyeria Química.
- Ávila, C., & Tunalá, J. (2014). *Reciclaje de aceite vegetal de frituras para uso como biocombustible en motores diesel en diferentes proporciones*. Latacunga, Ecuador.
- Benítez, A., & Velástegui, S. (2015). *Análisis de los parámetros característicos de un motor de combustión interna con inyección directa de hidrógeno*.
- Benjumea, P., Agudelo, J., & Rios, L. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.

- Bosch. (1999). *Manual de la técnica del automóvil* (Tercera ed.). Barcelona, España: Reverté, S.A.
- Bosch, R. (1996). *Manual de la Técnica Del Automóvil*. Barcelona: Reverté.
- Bosch, R. (2000). *Sistemas de Encendido*. Barcelona: Reverté.
- Bosch, R. (2002). *Los sensores en el automóvil*. Barcelona: Reverté.
- Cárdenas, C. (2014). *Obtención de biodiesel a partir de aceite de frituras, utilizando un nuevo catalizador*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Castellar, G. (2014). *Transesterification vegetable oils using heterogeneous catalysts*. 12.
- Castro, M. (1989). *El motor de gasolina*. Barcelona: Ceac.
- Chhetri, Watts, & Islam. (2008). *Waste cooking oil as an alternate feedstock for biodiesel production*. 3-18.
- Crespo, V., Martínez, M., & Aracil, J. (2001). *Biodiesel: Una alternativa real al gasóleo mineral*. Madrid, España.
- Curró, C., Pozzolo, O., Bruno, J., & Ferrari, H. (Octubre de 2007). *Biodiésel. Oportunidades y ventajas de producción en el sudeste de entre ríos*. Convenio INTA – CRER Fundación del Sur.
- Domínguez, J., & Olivares, M. (Diciembre de 2013). *¿Son los biocombustibles normalmente aceptados en Guayaquil, Ecuador?* Guayaquil, Ecuador.
- Elsevier Inc. *Encyclopedia of energy*. (2015). Appendix Chronology. 672.
- Erazo, G. (15 de Diciembre de 2013). *Evaluación del potencial energético del aceite de piñón en el motor Isuzu serie DMax como fuente alternativa de energía en la ciudad de Latacunga. Utilización como biocombustible en motores diesel en proporción para reducir la polución*. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
- EUCAR. (2010). *Fuel properties and vehicle characteristics*. Madrid: European Comission.
- Gary, J. H., & Handwerk, G. E. (2003). *Refino de petróleo: tecnología y economía*. Barcelona, España: Reverté, S.A.
- Gonzáles, D. (2011). *Motores*. Madrid, España: Parafino.

- H. Crouse, W. (1993). *Mecánica del Automóvil* (Tercera ed.). Barcelona, España: Boixar.
- Haryadi. (2009). Preparation of biodiesel from palm oil catalyzed by calcium oxide as solid heterogeneous catalyst. *World congress on oils and fats*. Sydney.
- Jaya, E., & Mancheno, P. (2009). *Determinación de las características de funcionamiento y rendimiento de un motor encendido por compresión al utilizar mezclas de biodiesel*. Riobamba, Ecuador.
- Jones, J. (1997). *Termodinámica*. México,D.F.: Prentice-Hall.
- Jóval, M. (1982). *Motores de automóvil*. Moscou: MIR.
- Kates, E. J., & Luck, W. E. (1982). *Motores diesel y de gas de alta compresión* (Segunda ed.). Barcelona, España: Reverté, S.A.
- Kindler, H. (1986). *Matemática aplicada para la técnica del automóvil*. Barcelona: Reverté.
- Kumari, Mahapatra, Garlapati, & Banerjee. (2009). *Enzymatic transesterification of jatropa oil en biotechnology for biofuels*.
- Loor, A. I. (5 de Agosto de 2014). *Elaboracion artesanal de biodiesel en el reactor agitado mediante el uso de catalizadores solidos*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Mena, L. (2011). *Compilador de ejercicios de motores de combustión intera Diesel-Gasolina*. Quito: Nueva Aurora.
- Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. (2006). El Mercado Emergente de Biocombustibles. *Consecuencias, Normativas, Comerciales y de Desarrollo*, (págs. 9,15,21). Neva York y Ginebra.
- National renewable energy. (2005). Biodiesel handling and use guide. 23.
- Nissan. (2004). *Service and Rapair Manual*. Japon.
- Obert, E. (1996). *Motores de Combustión interna*. México: CECSA.
- Ocaña, A. (2003). *Tratado del Automovil*. Mexico,D.F.: DOSSAT-2000.
- Olivera, M. A. (s.f.). *Diseño de un Dinamómetro de Chasis*. México, 2013: UNAM.
- Paredes, V. (Julio de 2015). Estado de desarrollo de biocombustibles en el Ecuador. 6. Guayaquil, Ecuador.

- Pérez, M. Á. (2011). *Sistemas auxiliares del motor*. Madrid, España: Parafino.
- Retana, I. (2008). *Transferencia Tecnológica sobre las ventajas y desventajas de la utilización del biodiesel*. San José.
- Rojas, A., Girón, E., & Torres, H. (2009). *Variables de operación en el proceso de transesterificación de aceites vegetales: una revisión - catálisis química*. 17-20.
- Rolle, K. C. (2006). *Termodinámica* (Sexta ed.). Platteville, EEUU: Pearson.
- Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas*. México, D.F.: Grijalbo.
- Salazar, A. (5 de Agosto de 2014). *Elaboración artesanal de biodiesel en reactor agitado mediante uso de catalizadores sólidos*. 19-20. Quito, Ecuador.
- Sanz, S. (2011). *Motores*. Madrid: Editex.
- Schwoch, W. (1982). *Manual práctico del automóvil*. México: Reverté.
- Shah, Shamma, & Gupta. (2003). *Enzymatic transesterification for biodiesel production. en indian journal of biochemistry and biophysics* (págs. 392-399).
- Steinberg. (s.f.). Biodiesel. *Biocarburante líquido de origen biológico (vegetal o animal)*, 6. Argentina: Universidad de Palermo.
- Takeyuki, K., & Haruki, K. (4 de Septiembre de 1990). *Combustion processes in diesel engines*. Tokio, Japón.
- Vaughan, R. (1969). *Dielectric Properties and Molecular Behaviour*. Londres.
- Velástegui, S., & Jesús, C. (2015). *Análisis de los parámetros característicos de un motor de combustión interna con inyección directa de hidrógeno*.
- Zhang, Y. (2003). *Biodiesel production from waste cooking oil*. New York.

NETGRAFIA

- Analizador de gases CARTEK. (s.f.). Bogotá, Colombia. Recuperado el 24 de 08 de 2016 GN Representaciones LTDA. Obtenido de GN Representaciones LTDA: <http://panesa.com/index.php/Analizador-de-Gases/Analizador-de-gases-diesel-50-120-CARTEK.html>

- Conocimientos web.net. (12 de 01 de 2016). Recuperado el 02 de 05 de 2016
Conocimientos web.net. Obtenido de Ladivisa del nuevo Milenio:
<http://www.conocimientosweb.net/portal/article2785.html>
- Decreto ejecutivo 1303. (17 de Septiembre de 2012). Recuperado el 22 de 06 de 2016 *International Energy Agency*. Obtenido de International Energy Agency:
http://www.iea.org/media/pams/ecuador/PAMs_Ecuador_blendingmandate2012.pdf
- Encyclopedia Britannica. (01 de Enero de 2016). *Encyclopedia Britannica*. Recuperado el 15 de 06 de 2016, de Encyclopedia Britannica:
<http://www.britannica.com/technology/diesel-engine/images-videos>
- MAHA. (s.f.). Bancos de potencia, funciones y pruebas de gases. *Modelos: ASM • FPS • LPS • MSR • MZW*, 15. Recuperado el 20 de 08 de 2016, de
http://www.maha.de/cps/rde/xbcr/SID-10C19B72-0E78AFBD/maha_de/BRO_MAHA_alle_LPS_ES.pdf
- Mantilla, F. (1 de Mayo de 2014). *Biocombustibles inversión mundial*. Recuperado el 20 de 08 de 2016, de Econlink:
<http://www.econlink.com.ar/biocombustibles-inversion-mundial-biocombustibles>
- Moreno, F. O. (2011). *Ven a mi mundo*. Recuperado el 22 de 06 de 2016, de Ven a mi mundo:
<http://www.venamimundo.com/GrandesPersonajes/Diesel.html>
- Plan Nacional Buen Vivir. (Enero de 2015). Objetivo 10. *Impulsar la transformación de la matriz productiva*, 14. Ecuador. Recuperado el 8 de 08 de 2016, de <http://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/Plan-Nacional-para-el-Buen-Vivir-2013-2017-Objetivo-10.pdf>
- PRO ECUADOR. (23 de Junio de 2012). *Energías renovables (bioenergías y alternativas)*. Recuperado el 14 de 02 de 2016, de PRO ECUADOR:
<http://www.proecuador.gob.ec/sector5/>

NORMAS

- Comité Europeo de Normalización. (Noviembre de 2008). Norma EN 14214-08. Especificación para biodiesel, 2.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2002). NTE INEN 2 207:2002. Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites permitidos de emisiones por fuentes móviles terrestres de diesel., Primera. Quito, Ecuador.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). NTE INEN 0035 Grasas y aceites comestibles. Determinación de la densidad relativa. Quito, Ecuador.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). NTE INEN-ISO 660:2013 . Aceites y grasas de origen animal y vegetal. Determinación del índice de acidez y de la acidez. (IDT). Quito, Ecuador.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización (2012). NTE 0035. Aceites y grasa de origen animal y vegetal. Determinacion de la densidad relativa. Quito, Ecuador.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2009). NTE INEN 2482:2009. Biodiesel, 2. Quito, Ecuador.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). NTE INEN 1489:2012. Productos derivados del petróleo.Diesel, 1. Quito, Ecuador.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). NTE INEN 1489:2012. Productos derivados del petróleo. Diesel, 2. Quito, Ecuador.
- INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). NTE INEN-ISO 3657:2013 . Aceites y grasas de origen animal vegetal. Determinación del índice de saponificación. (IDT). Quito, Ecuador.

ANEXOS

ANEXO A

ESPECIFICACIONES DE BIODIESEL

TABLA A 1
Norma EN 14214-08. Especificación para biodiesel

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo
Contenido de éster	% (m/m)	96,5	-
Densidad a 15 °C	kg/m ³	860	900
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	3,5	5,0
Punto de inflamación	°C	>101	-
Contenido de azufre	mg/kg	-	10
Residuo carbonoso	% (m/m)	-	0,3
Índice de cetano	-	51,0	-
Contenido en cenizas de sulfatos	% (m/m)	-	0,02
Contenido de agua	mg/kg	-	500
Contaminación total	mg/kg	-	24
Corrosión en lámina de cobre	clasificación	Clase 1	Clase 1
Estabilidad a la oxidación, 110 °C	horas	6	-
Valor ácido	mg KOH/g	-	0,5
Índice de yodo	-	-	120
Metiléster linoléico	% (m/m)	-	12,0
Metiléster poliinsaturado	% (m/m)	-	1
Contenido en metanol	% (m/m)	-	0,20
Contenido en monoglicéridos	% (m/m)	-	0,80
Contenido en diglicéridos	% (m/m)	-	0,20
Contenido en triglicéridos	% (m/m)	-	0,20
Glicerina libre	% (m/m)	-	0,02
Glicerina total	% (m/m)	-	0,25
Metales grupo I (Na+K)	mg/kg	-	5,0
Metales grupo II (Ca+Mg)	mg/kg	-	5,0
Contenido en fósforo	mg/kg	-	10,0

Fuente: (Comité Europeo de Normalización, 2008)

TABLA A 2
Norma ASTM D6751-12. Especificación estándar para mezclas de combustible biodiesel (B100) para los combustibles destilados medios

Propiedad	Límites	Unidad
Punto de inflamación	130,0 mín.	°C
Agua y sedimentos	0,050 máx.	% vol
Viscosidad cinemática a 40 °C	1,9 – 6,0	mm ² /seg
Cenizas sulfatadas	0,020 máx.	% masa
Azufre (Grado S 15)	0,0015 máx.	ppm
Azufre (Grado S 500)	0,05 máx.	ppm
Corrosión en lámina de cobre	N° 3 máx.	-
Índice de cetano	47 mín.	-
Punto de enturbiamiento	A informar por cliente	°C
Residuo carbonoso	0,050 máx.	% masa
Acidez	0,80 máx.	mg KOH/g
Glicerina libre	0,020 máx.	% masa
Glicerina total	0,240 máx.	% masa
Contenido de fósforo	0,001 máx.	% masa
Temperatura de destilación, equivalente en temperatura atmosférica, 90% recuperado	360 máx.	°C

Fuente: (American Society of Testing and Materials (ASTM)., 2012)

ANEXO B

TIPIFICACIÓN DEL ACEITE

ECUACHEMLAB Cía. Ltda.
Laboratorio Químico y Microbiológico del Ecuador

CONTROL DE CALIDAD No. 0075

DATOS DEL CLIENTE

Cliente:	DAVID BURGOS
Dirección:	RIO USHIMANA OE776-OE774 FRENTE URBANIZACION USHIMAÑA
Teléfono:	0983516854

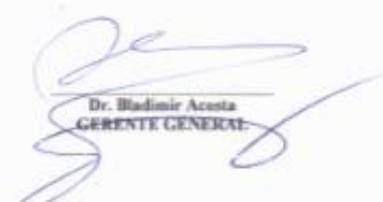
DATOS DE LA MUESTRA

Nombre de la muestra:	ACEITE DE FRITURA KFC	Lote:	---
Tipo de muestra:	ACEITE	Fecha Elaboración:	---
Muestreado por:	CLIENTE	Fecha Vencimiento:	---
Color:	CARACTERISTICO	Contenido declarado:	11
Olor:	CARACTERISTICO	Contenido encontrado:	11
Estado:	LIQUIDO	Fecha Análisis:	20-04-2016

RESULTADOS FISICOQUIMICOS

PARAMETRO	RESULTADO	UNIDAD	METODO DE ANALISIS
Densidad relativa	0,9178	g/ml	PA-FQ-74/INEN 11
Índice de Acidez	2,14	mg/g	PA-FQ-114
Acidez	1,07	%	PA-FQ-03/AOAC 947.05
Índice de Saponificación	198,6	mg/g	PA-FQ-119

Nota 1: El resultado se refiere únicamente a la muestra entregada al laboratorio.
Nota 2: Orden de trabajo 433


Dr. Vladimir Acosta
GERENTE GENERAL

Pasaje S/N N3-62 y Simón Bolívar, Puente 9, Urbanización Armenia 1
Valle de Los Chillos-Quito-Ecuador

ANEXO C

CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS COMBUSTIBLES



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



INFORME DE RESULTADOS
PETRÓLEO

Informe N° 16-06-04-P-5
Fecha 2016-07-05

Referencia: OT-16-06-04-P
Atención: Ing. David Burgos
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Río Ushimania y Pasaje 2
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: MEZCLA DIESEL Y BIODIESEL
Identificación de la muestra: DIESEL 95 % BIODIESEL (ACEITE FRITURA 5%)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2016-06-17
Código de muestra: OE-16-06-04-P-5
Fecha de realización de ensayos: 2016-06-17a 16-07-05

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Densidad API a 60°F*	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	34,4
Punto de Inflamación*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	65,2
Viscosidad Cinemática a 37,8 °C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,37
Índice de Cetano calculado*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	50,86
Punto de nube*	°C	ASTM D-2500	2,0
Agua por destilación*	%V	PNE/DPEC/P/ASTM D-4006	0,025
Azufre*	%P	PNE/DPEC/P/MIO4 Ref. ASTM D-4294	0,0241
Poder Calórico Neto*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,64
Sedimento Básico y Agua (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,025

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión 544,2 mmHg; Temperatura: 19,5 °C

Analizado por: VRT

Revisado Por:

x 
Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

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

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

rección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26

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



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



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe N° 16-06-04-P-4
 Fecha 2016-07-05

Referencia: OT-16-06-04-P
Atención: Ing. David Burgos
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Río Ushimania y Pasaje 2
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: MEZCLA DIESEL Y BIODIESEL
Identificación de la muestra: DIESEL 90% BIODIESEL (ACEITE FRITURA 10%)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2016-06-17
Código de muestra: OE-16-06-04-P-4
Fecha de realización de ensayos: 2016-06-17 a 16-07-06

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Densidad API a 60°F*	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	34,4
Punto de Inflamación*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	67,2
Viscosidad Cinemática a 37,8 °C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,58
Índice de Cetano calculado*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	51,00
Punto de nube*	°C	ASTM D-2500	4,0
Agua por destilación*	%V	PNE/DPEC/P/ASTM D-4006	0,050
Azufre*	%P	PNE/DPEC/P/MIO4 Ref. ASTM D-4294	0,0204
Poder Calórico Neto*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,3
Sedimento Básico y Agua (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,025

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión 544,2 mmHg; Temperatura: 19,5 °C

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 Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

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

MC2201-P01-6

Hoja 4 de 5



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



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe N° 16-06-04-P-3
 Fecha 2016-07-05

Referencia: OT-16-06-04-P
Atención: Ing. David Burgos
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Río Ushimania y Pasaje 2
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: MEZCLA DIESEL Y BIODIESEL
Identificación de la muestra: DIESEL 85% BIODIESEL (ACEITE FRITURA 15%)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2016-06-17
Código de muestra: OE-16-06-04-P-3
Fecha de realización de ensayos: 2016-06-17 a 16-07-06

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Densidad API a 60°F*	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	33,5
Punto de Inflamación*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	69,2
Viscosidad Cinemática a 37,8 °C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,77
Índice de Cetano calculado*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	50,26
Punto de nube*	°C	ASTM D-2500	4,0
Agua por destilación*	%V	PNE/DPEC/P/ASTM D-4006	0,050
Azufre*	%P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,0163
Poder Calórico Neto*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,57
Sedimento Básico y Agua (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,025

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión 544,2 mmHg; Temperatura: 19,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:


 Ing. Fernanda Toasa L.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:


 x 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 Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26

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



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



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe N° 16-06-04-P-2
 Fecha 2016-07-06

Referencia: OT-16-06-04-P
Atención: Ing. David Burgos
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Río Ushimania y Pasaje 2
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: MEZCLA DIESEL Y BIODIESEL
Identificación de la muestra: DIESEL 80% BIODIESEL (ACEITE FRITURA 20%)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2016-06-17
Código de muestra: OE-16-06-04-P-2
Fecha de realización de ensayos: 2016-06-17 a 16-07-06

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Densidad API a 60°F*	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	33,6
Punto de Inflamación*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	67,2
Viscosidad Cinemática a 37,8 °C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,98
Índice de Cetano calculado*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	51,17
Punto de nube*	°C	ASTM D-2500	5,0
Agua por destilación*	%V	PNE/DPEC/P/ASTM D-4006	0,050
Azufre*	%P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,0160
Poder Calórico Neto*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,57
Sedimento Básico y Agua (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,025

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión 544,2 mmHg; Temperatura: 19,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado Por:

X

Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

X

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: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-6

Hoja 2 de 5



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



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe N° 16-06-04-P-1
 Fecha 2016-07-06

Referencia: OT-16-06-04-P
Atención: Ing. David Burgos
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Río Ushimania y Pasaje 2
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: MEZCLA DIESEL Y BIODIESEL
Identificación de la muestra: DIESEL 75% BIODIESEL (ACEITE FRITURA 25%)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2016-06-17
Código de muestra: OE-16-06-04-P-1
Fecha de realización de ensayos: 2016-06-17 a 16-07-06

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Densidad API a 60°F*	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	33,3
Punto de Inflamación*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	72,3
Viscosidad Cinemática a 37,8 °C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	5,32
Índice de Cetano calculado*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	50,99
Punto de nube*	°C	ASTM D-2500	5,0
Agua por destilación*	%V	PNE/DPEC/P/ASTM D-4006	0,100
Azufre*	%P	PNE/DPEC/P/M104 Ref. ASTM D-4294	0,0145
Poder Calórico Neto*	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,52
Sedimento Básico y Agua (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,025

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

Condiciones Ambientales.- Presión 544,2 mmHg; Temperatura: 19,5 °C

Elaborado por: VRT

Revisado Por:

Ing. Fernanda Toasa L.
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

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

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

Ubicación: Enrique Ritter s/n y Bolívar

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

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

2201-P01-6

Hoja 1 de 5



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



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe N° 16-04-06-P-6
 Fecha 2016-05-18

Referencia: OT-16-04-06-P
Atención: Ing. Henry Gonzalo Pabón Quito
Empresa: PARTICULAR
Dirección: Ibarra
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: MEZCLA DIESEL ACEITE
Identificación de la muestra: MEZCLA F (06-04-2016)
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2016-04-14
Código de muestra: OE-16-04-06-P-6
Fecha de realización de ensayos: 2016-04-16 a 2016-05-18

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Densidad API a 60°F ⁽¹⁾	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	35,4
Punto de Inflamación ⁽²⁾	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-93	62,2
Viscosidad Cinemática a 37,8 °C ⁽³⁾	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,04
Índice de Cetano calculado*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	52
Punto de nube*	°C	ASTM D-2500	-3
Agua por destilación*	%V	PNE/DPEC/P/ASTM D-4006	<0,050
Azufre ⁽⁴⁾	%P	PNE/DPEC/P/M104 Ref. ASTM D-4294	0,0308
Poder Calórico Neto ⁽⁵⁾	MJ/kg	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	42,7819
Sedimento Básico y Agua (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,025

Nota.- Los ensayos marcados (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

- (1) Incertidumbre asociada a la medida de la Densidad API a 60°F, $U = \pm 4,0$ °API (K=2)
 (2) Incertidumbre asociada a la medida de Punto de Inflamación, $U = \pm 6$ °C (K=2)
 (3) Incertidumbre asociada a la medida de Viscosidad Cinemática a 37,8°C, $U = \pm 0,35$ cSt (K=2)
 (4) Incertidumbre asociada a la medida de Azufre, $U = \pm 0,0042$ %P (K=2)
 (5) Incertidumbre asociada a la medida de Poder Calórico Neto, $U = \pm 11,30$ % (K=2)

Condiciones Ambientales.- Presión 543,7 mmHg; Temperatura: 19,0 °C

Realizado por: VRT



Acreditación N° OAE LE 2C 06-010
 LABORATORIO DE ENSAYOS

Revisado Por:

Carlos Navarrete

Ing. Carlos Navarrete T.
 RESPONSABLE TÉCNICO (E)



Aprobado Por:

Ghem Carvajal

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 Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
 QUITO - ECUADOR

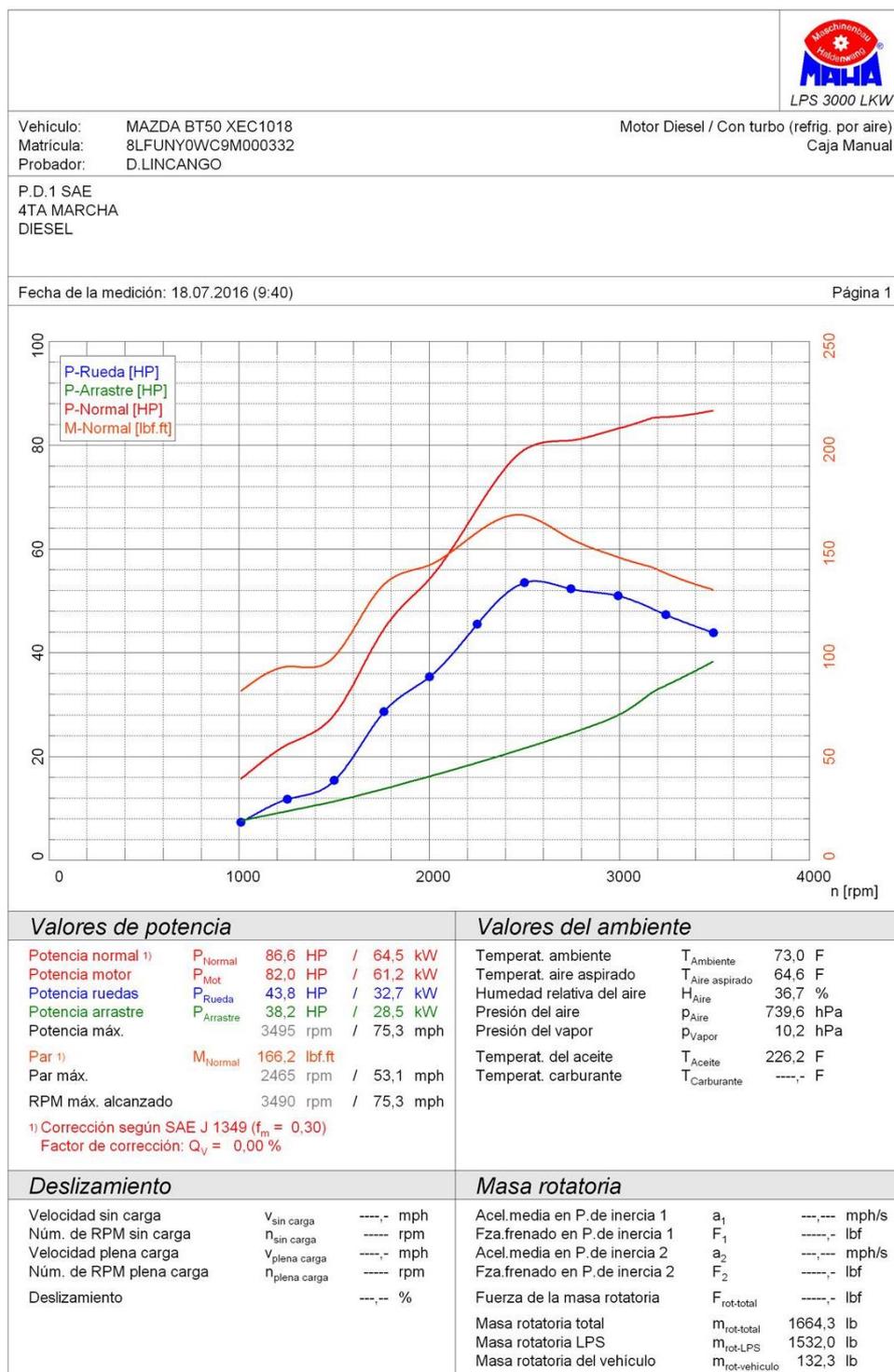
E-mail: fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec

MC2201-P01-6

Hoja 6 de 6

ANEXO D

PRUEBAS DE TORQUE Y POTENCIA DIESEL





LPS 3000 LKW

Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332
 Probador: D.LINCANGO

Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Caja Manual

P.D.1 SAE
 4TA MARCHA
 DIESEL

Fecha de la medición: 18.07.2016 (9:40)

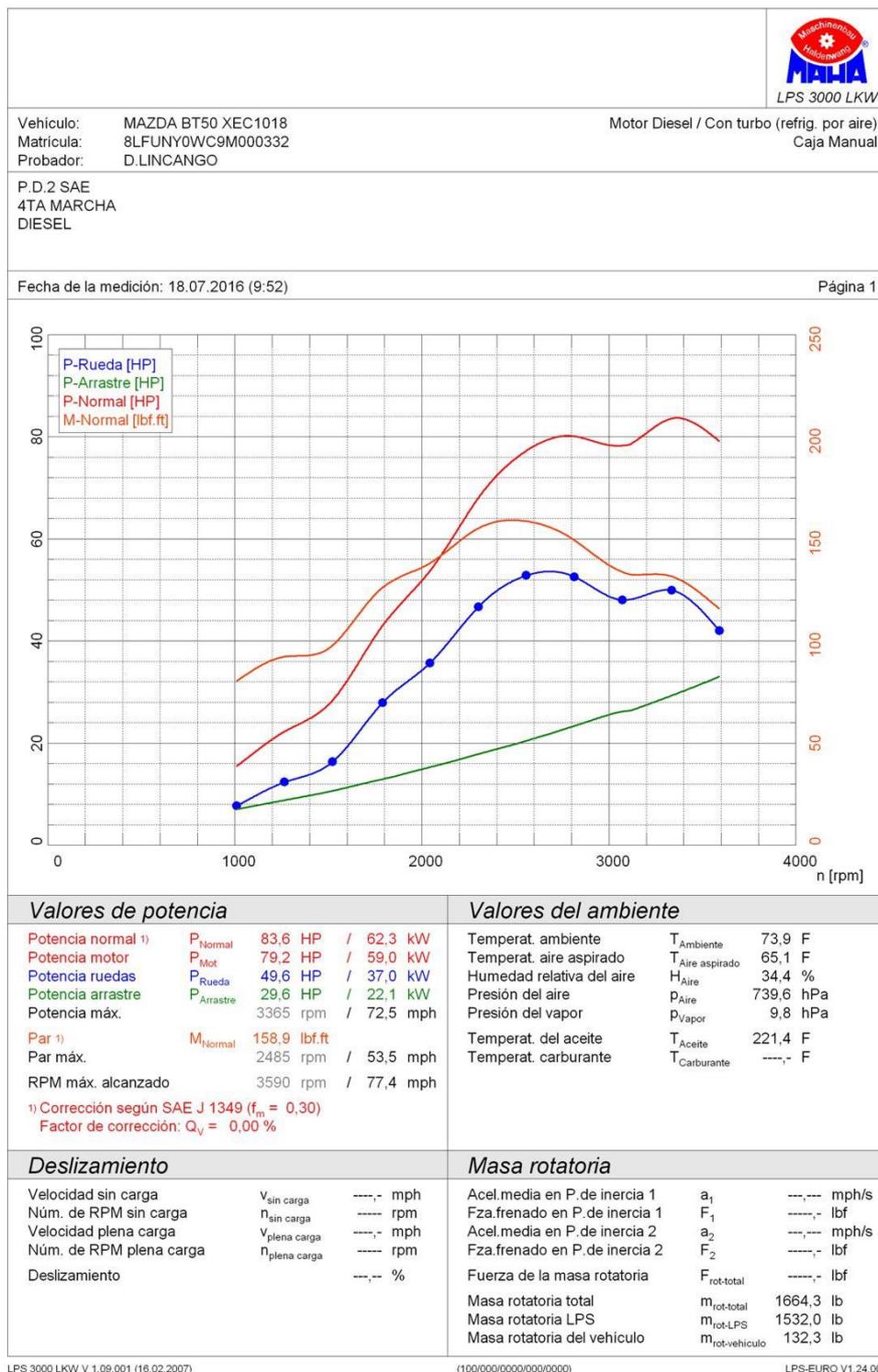
Página 2

Tabla de datos

n	v	P _{Rueda}	P _{Mot}	P _{Normal}	M _{Normal}	Consumo	Ve	P _{Tubo}	V _{Caud}	T _{Aire}	Consumo		
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lb.ft]	[g/kWh]	[mm ³]	[psi]	[gm/s]	[F]	[gal/h]		
1010	21,8	7,3	14,8	15,6	81,4	0,0	0,0	11,8	14,16	117	0,0		
1254	27,0	11,7	21,1	22,2	93,1	0,0	0,0	13,5	20,55	115	0,0		
1502	32,4	15,3	26,6	28,0	98,0	0,0	0,0	15,3	29,50	113	0,0		
1763	38,0	28,6	42,3	44,6	132,8	0,0	0,0	19,4	48,04	113	0,0		
2002	43,1	35,3	51,4	54,2	142,1	0,0	0,0	20,8	57,41	115	0,0		
2252	48,5	45,4	64,2	67,7	157,8	0,0	0,0	23,3	68,43	124	0,0		
2502	53,9	53,4	75,0	79,1	166,0	0,0	0,0	23,5	75,31	138	0,0		
2746	59,2	52,2	76,6	80,8	154,6	0,0	0,0	23,9	80,28	154	0,0		
2994	64,5	50,9	78,8	83,1	145,8	0,0	0,0	23,8	84,87	169	0,0		
3244	69,9	47,2	80,9	85,3	138,1	0,0	0,0	23,5	89,13	179	0,0		
3494	75,3	43,8	82,1	86,6	130,1	0,0	0,0	23,4	92,96	188	0,0		

Valor mínimo

Valor máximo





Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018 Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332 Caja Manual
 Probador: D.LINCANGO

P.D.2 SAE
 4TA MARCHA
 DIESEL

Fecha de la medición: 18.07.2016 (9:52)

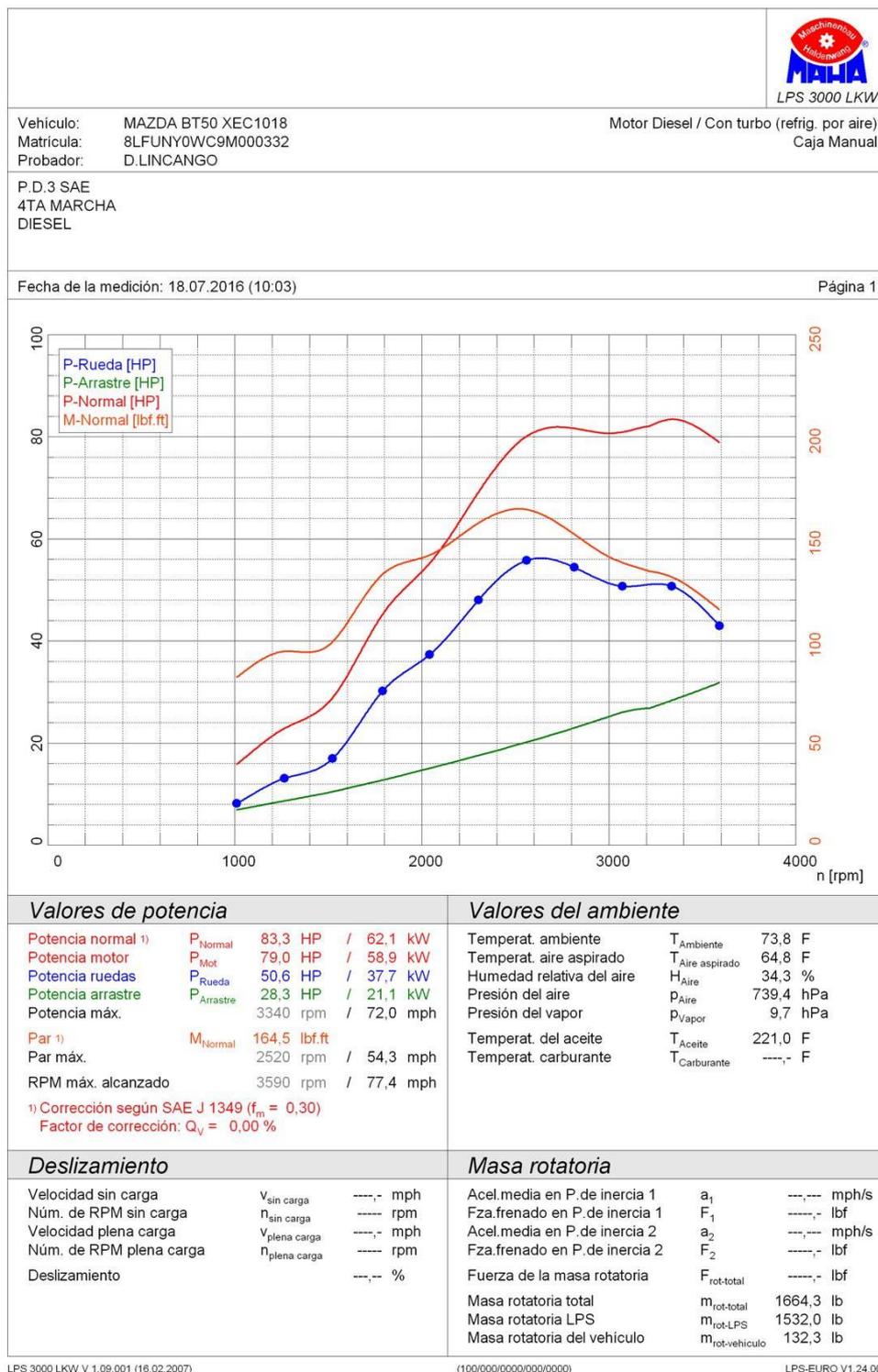
Página 2

Tabla de datos

n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Mot} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lb.ft]
1010	21,8	7,6	14,6	15,4	80,2
1265	27,3	12,3	21,0	22,2	92,1
1522	32,8	16,2	26,8	28,3	97,6
1791	38,6	27,8	40,7	43,0	126,0
2043	44,0	35,6	50,8	53,6	137,9
2303	49,6	46,6	64,4	68,0	155,1
2559	55,2	52,7	73,1	77,2	158,4
2816	60,7	52,5	75,8	80,0	149,1
3072	66,2	47,9	74,0	78,2	133,6
3337	71,9	49,8	79,1	83,5	131,4
3592	77,4	41,9	74,9	79,0	115,5

Valor mínimo

Valor máximo





Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018 Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332 Caja Manual
 Probador: D.LINCANGO

P.D.3 SAE
 4TA MARCHA
 DIESEL

Fecha de la medición: 18.07.2016 (10:03)

Página 2

Tabla de datos

n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Mot} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lb.ft]
1010	21,8	8,1	14,9	15,8	82,0
1264	27,2	13,0	21,6	22,8	94,7
1522	32,8	16,9	27,3	28,8	99,4
1792	38,6	30,2	42,9	45,2	132,6
2042	44,0	37,3	52,3	55,1	141,8
2303	49,6	47,9	65,5	69,1	157,5
2561	55,2	55,7	75,8	80,0	164,1
2816	60,7	54,3	77,2	81,5	152,0
3072	66,2	50,6	76,6	80,8	138,2
3337	71,9	50,6	78,9	83,3	131,1
3592	77,4	42,9	74,7	78,8	115,2

Valor mínimo

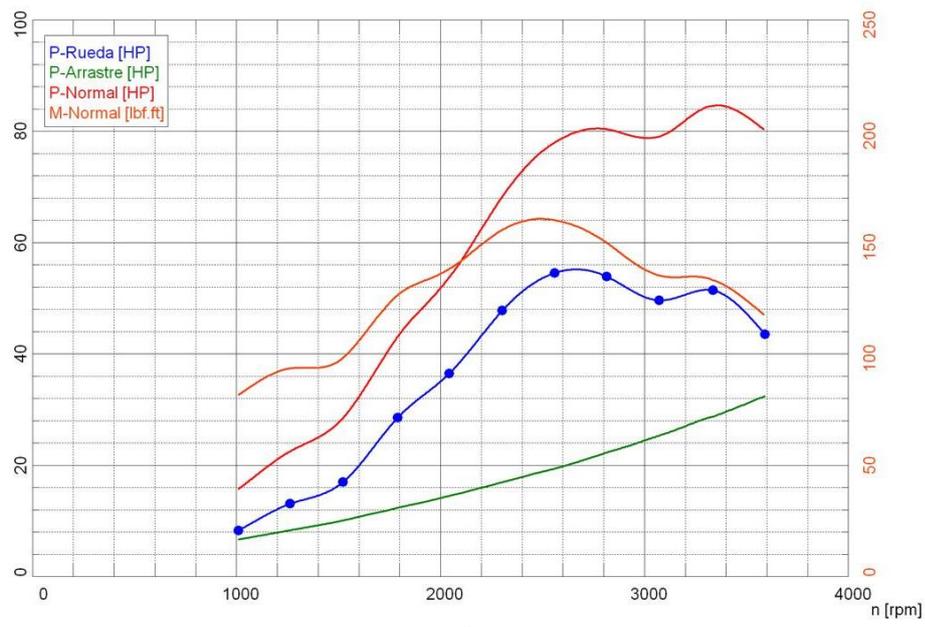
Valor máximo



Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018 Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332 Caja Manual
 Probador: D.LINCANGO

P.D.4 SAE
 4TA MARCHA
 DIESEL

Fecha de la medición: 18.07.2016 (10:15) Página 1



Valores de potencia		Valores del ambiente	
Potencia normal ¹⁾	P_{Normal} 84,5 HP / 63,0 kW	Temperat. ambiente	$T_{Ambiente}$ 74,3 F
Potencia motor	P_{Mot} 80,1 HP / 59,7 kW	Temperat. aire aspirado	$T_{Aire\ aspirado}$ 65,5 F
Potencia ruedas	P_{Rueda} 51,0 HP / 38,1 kW	Humedad relativa del aire	H_{Aire} 33,5 %
Potencia arrastre	$P_{Arrastre}$ 29,0 HP / 21,6 kW	Presión del aire	P_{Aire} 739,4 hPa
Potencia máx.	3360 rpm / 72,5 mph	Presión del vapor	P_{vapor} 9,7 hPa
Par ¹⁾	M_{Normal} 160,4 lbf.ft	Temperat. del aceite	T_{Aceite} 221,4 F
Par máx.	2490 rpm / 53,6 mph	Temperat. carburante	$T_{Carburante}$ ---,- F
RPM máx. alcanzado	3590 rpm / 77,4 mph		
¹⁾ Corrección según SAE J 1349 ($f_{m} = 0,30$) Factor de corrección: $Q_v = 0,00$ %			

Deslizamiento		Masa rotatoria	
Velocidad sin carga	$V_{sin\ carga}$ ---,- mph	Acel.media en P.de inercia 1	a_1 ---,-, mph/s
Núm. de RPM sin carga	$n_{sin\ carga}$ ---- rpm	Fza.frenado en P.de inercia 1	F_1 ----,- lbf
Velocidad plena carga	$V_{plena\ carga}$ ---,- mph	Acel.media en P.de inercia 2	a_2 ---,-, mph/s
Núm. de RPM plena carga	$n_{plena\ carga}$ ---- rpm	Fza.frenado en P.de inercia 2	F_2 ----,- lbf
Deslizamiento	---,- %	Fuerza de la masa rotatoria	$F_{rot-total}$ ----,- lbf
		Masa rotatoria total	$m_{rot-total}$ 1664,3 lb
		Masa rotatoria LPS	$m_{rot-LPS}$ 1532,0 lb
		Masa rotatoria del vehículo	$m_{rot-vehiculo}$ 132,3 lb



Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018 Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332 Caja Manual
 Probador: D.LINCANGO

P.D.4 SAE
 4TA MARCHA
 DIESEL

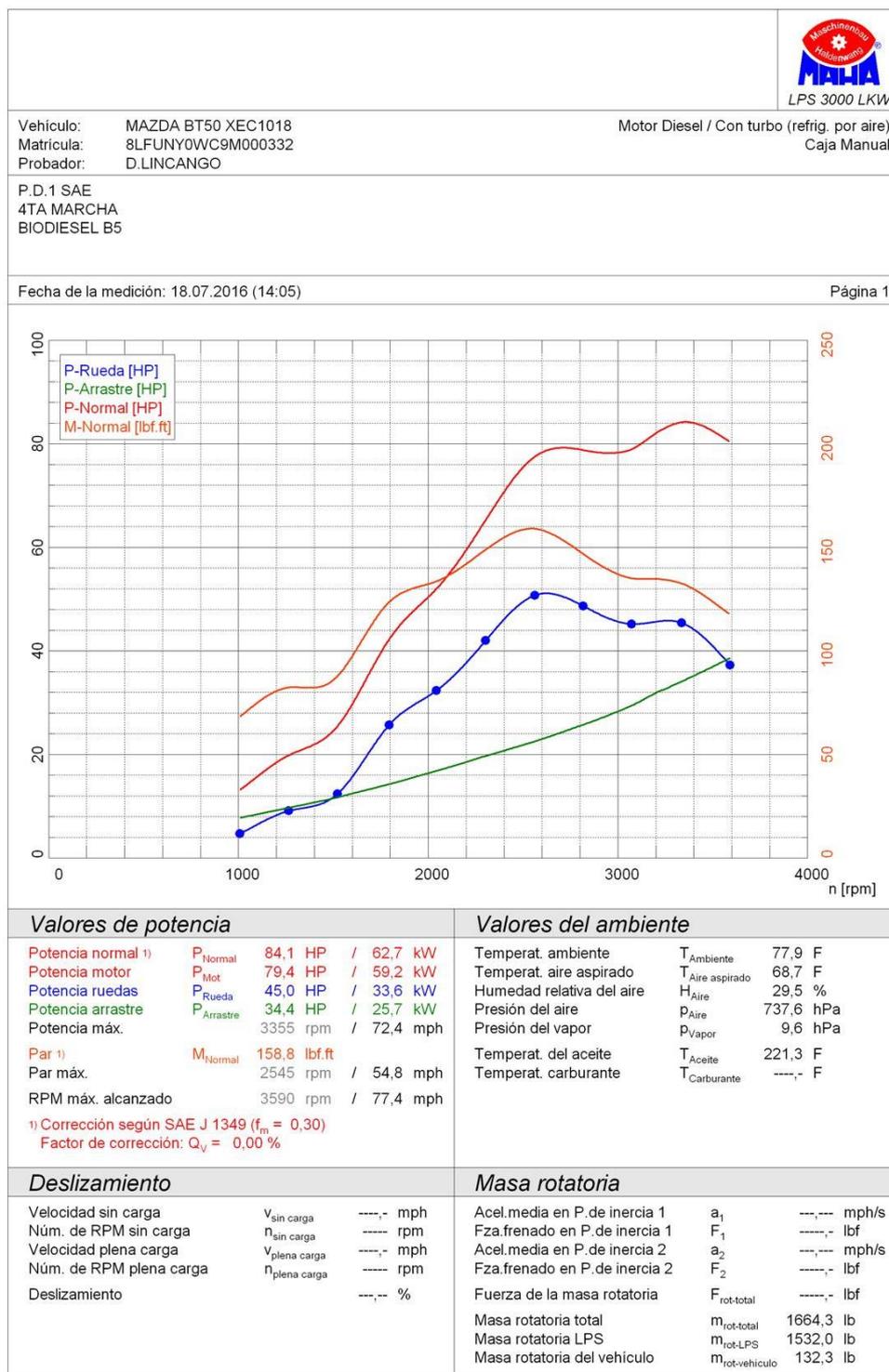
Fecha de la medición: 18.07.2016 (10:15) Página 2

Tabla de datos

n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Mot} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lb.ft]
1010	21,8	8,2	14,8	15,6	81,4
1264	27,2	13,0	21,3	22,5	93,3
1522	32,8	16,9	26,9	28,4	98,0
1790	38,6	28,5	40,8	43,0	126,2
2043	44,0	36,4	50,8	53,7	138,0
2303	49,6	47,7	64,6	68,2	155,5
2560	55,2	54,4	73,8	77,9	159,8
2816	60,7	53,8	76,0	80,3	149,7
3072	66,2	49,5	74,8	79,0	135,0
3337	71,9	51,3	80,0	84,4	132,9
3592	77,4	43,4	75,8	80,0	117,0

Valor mínimo Valor máximo

BIODIESEL





LPS 3000 LKW

Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332
 Probador: D.LINCANGO

Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Caja Manual

P.D.1 SAE
 4TA MARCHA
 BIODIESEL B5

Fecha de la medición: 18.07.2016 (14:05)

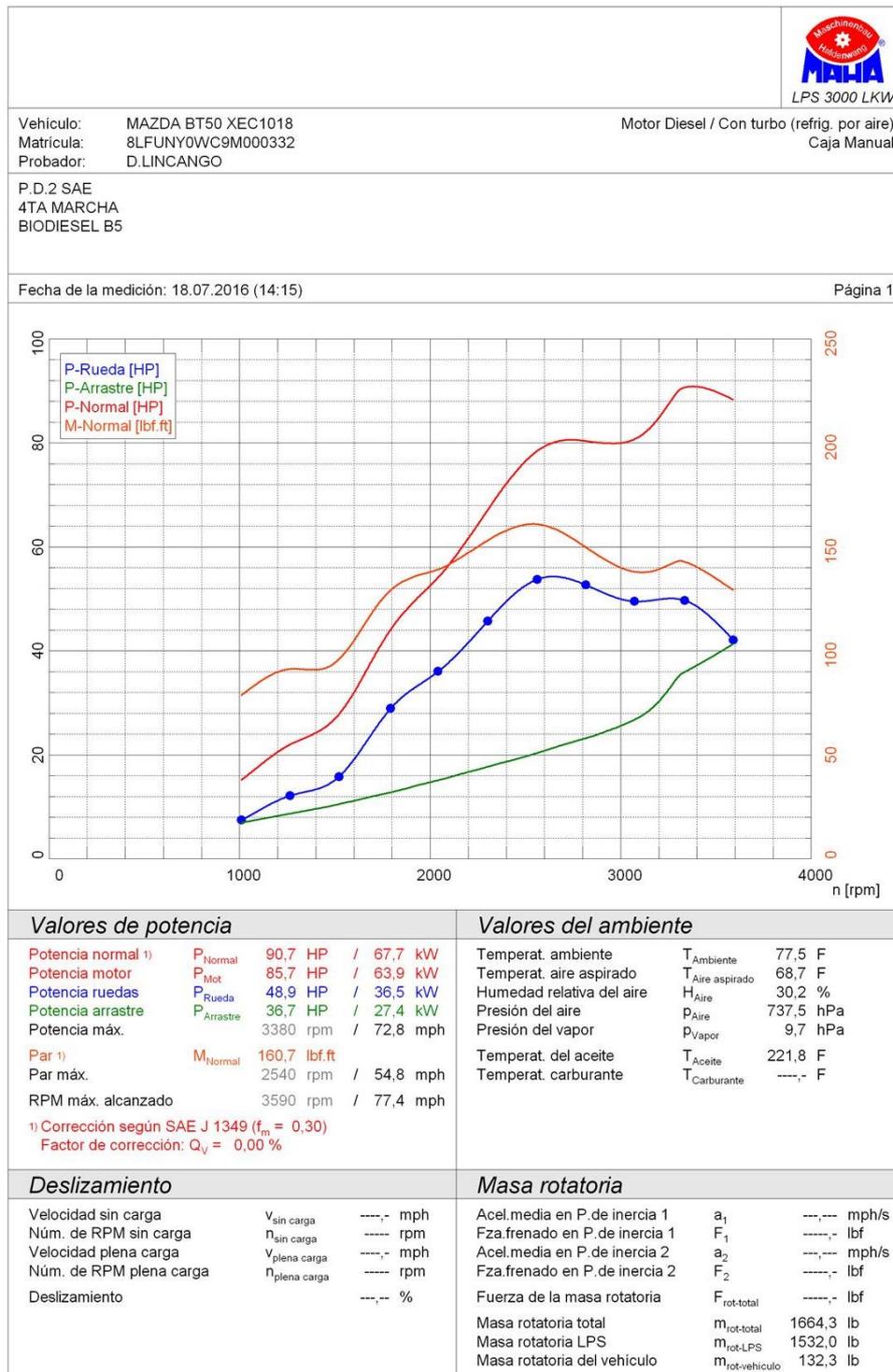
Página 2

Tabla de datos

n	v	P _{Rueda}	P _{Mot}	P _{Normal}	M _{Normal}															
[rpm]	[mph]	[HP]	[HP]	[HP]	[lbf.ft]															
1008	21,7	4,7	12,3	13,1	68,0															
1265	27,3	9,0	18,7	19,8	82,1															
1523	32,8	12,4	24,0	25,4	87,7															
1794	38,7	25,6	39,8	42,1	123,3															
2043	44,0	32,2	49,0	51,9	133,4															
2302	49,6	41,9	61,5	65,2	148,7															
2562	55,2	50,6	73,1	77,4	158,7															
2817	60,7	48,6	74,3	78,7	146,7															
3073	66,2	45,1	74,5	78,9	134,8															
3337	71,9	45,3	79,4	84,1	132,3															
3592	77,4	37,1	75,7	80,2	117,3															

Valor mínimo

Valor máximo





LPS 3000 LKW

Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332
 Probador: D.LINCANGO

Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Caja Manual

P.D.2 SAE
 4TA MARCHA
 BODIESEL B5

Fecha de la medición: 18.07.2016 (14:15)

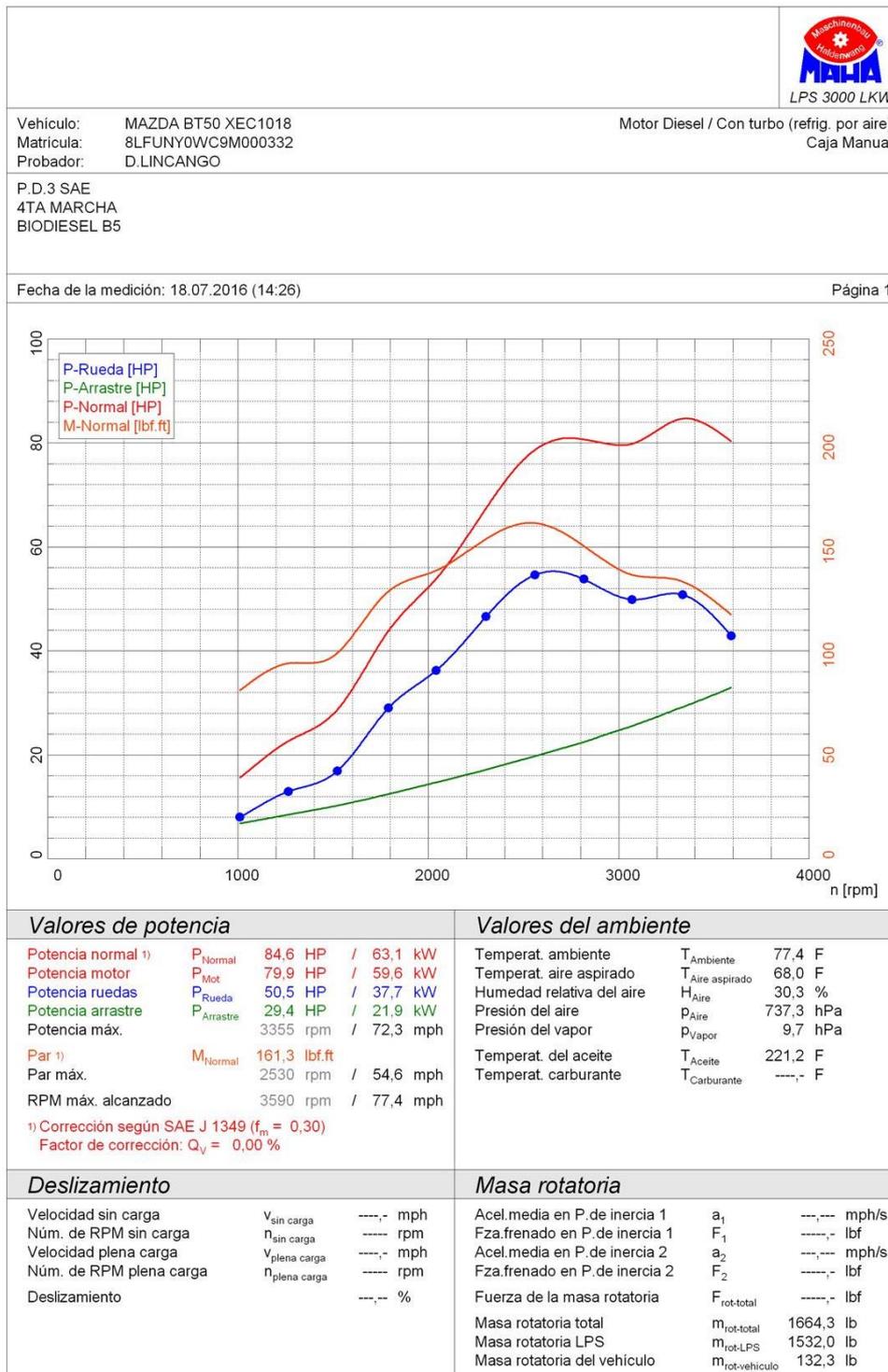
Página 2

Tabla de datos

n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Mot} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lb.ft]
1010	21,8	7,4	14,2	15,1	78,5
1265	27,3	12,1	20,7	21,9	91,1
1522	32,8	15,7	26,2	27,8	95,8
1792	38,6	28,8	41,5	44,0	128,9
2042	44,0	36,0	51,0	54,1	139,0
2303	49,6	45,7	63,3	67,1	153,0
2561	55,2	53,7	74,0	78,4	160,7
2816	60,7	52,6	75,7	80,3	149,7
3073	66,2	49,4	76,1	80,6	137,8
3337	71,9	49,6	85,5	90,6	142,6
3592	77,4	42,0	83,3	88,2	129,0

Valor mínimo

Valor máximo





LPS 3000 LKW

Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332
 Probador: D.LINCANGO

Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Caja Manual

P.D.3 SAE
 4TA MARCHA
 BIODIESEL B5

Fecha de la medición: 18.07.2016 (14:26)

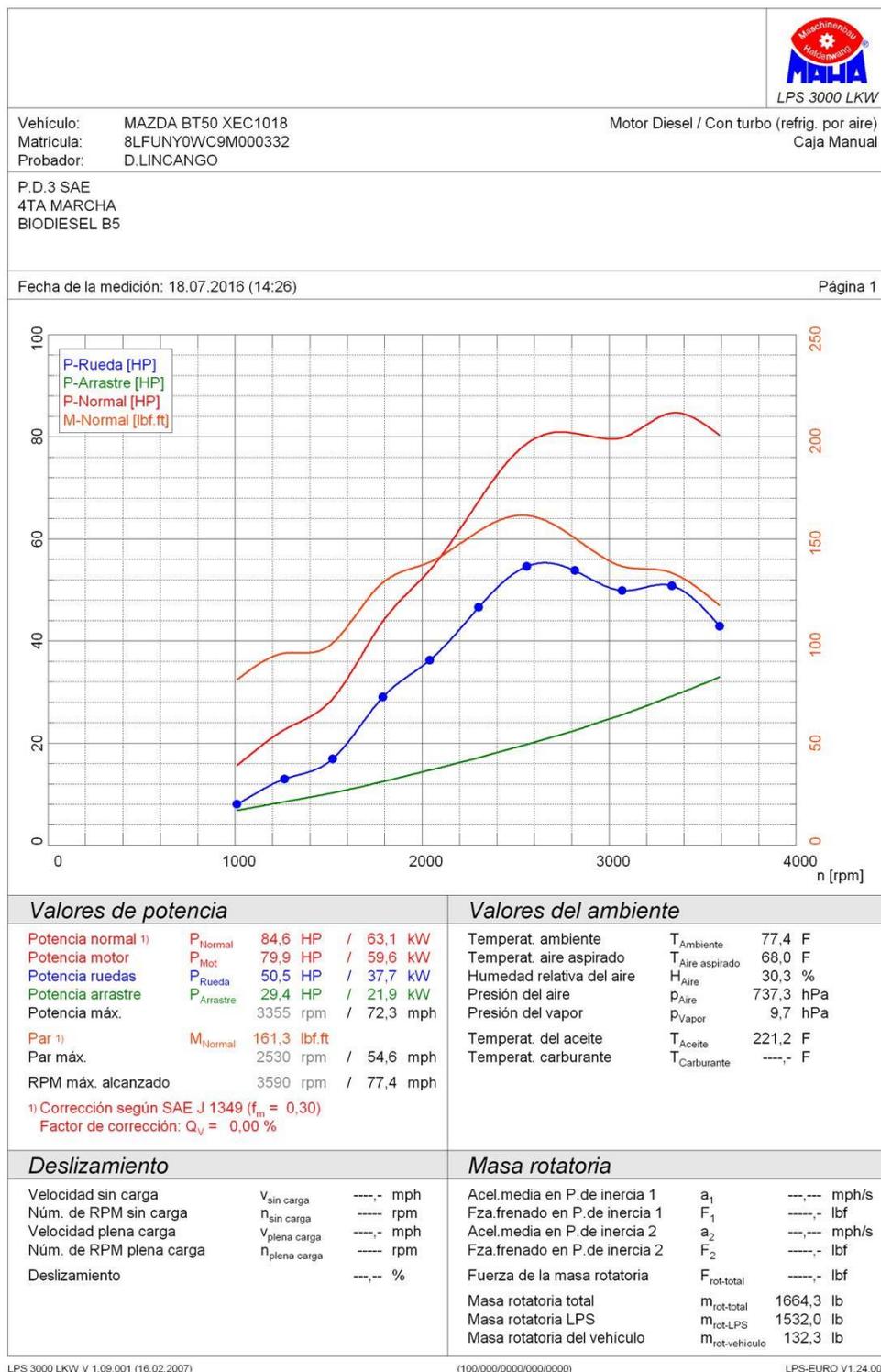
Página 2

Tabla de datos

n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Mot} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lb.ft]
1010	21,8	7,9	14,7	15,5	80,8
1265	27,3	12,9	21,3	22,6	93,8
1522	32,8	16,8	27,0	28,6	98,7
1790	38,6	28,9	41,3	43,7	128,4
2041	44,0	36,2	50,8	53,8	138,4
2304	49,7	46,5	63,6	67,4	153,6
2561	55,2	54,5	74,2	78,6	161,2
2816	60,7	53,7	76,1	80,6	150,2
3071	66,2	49,8	75,3	79,7	136,3
3337	71,9	50,7	79,9	84,6	133,1
3592	77,4	42,8	75,7	80,2	117,2

Valor mínimo

Valor máximo





Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018 Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332 Caja Manual
 Probador: D.LINCANGO

P.D.3 SAE
 4TA MARCHA
 BIODIESEL B5

Fecha de la medición: 18.07.2016 (14:26)

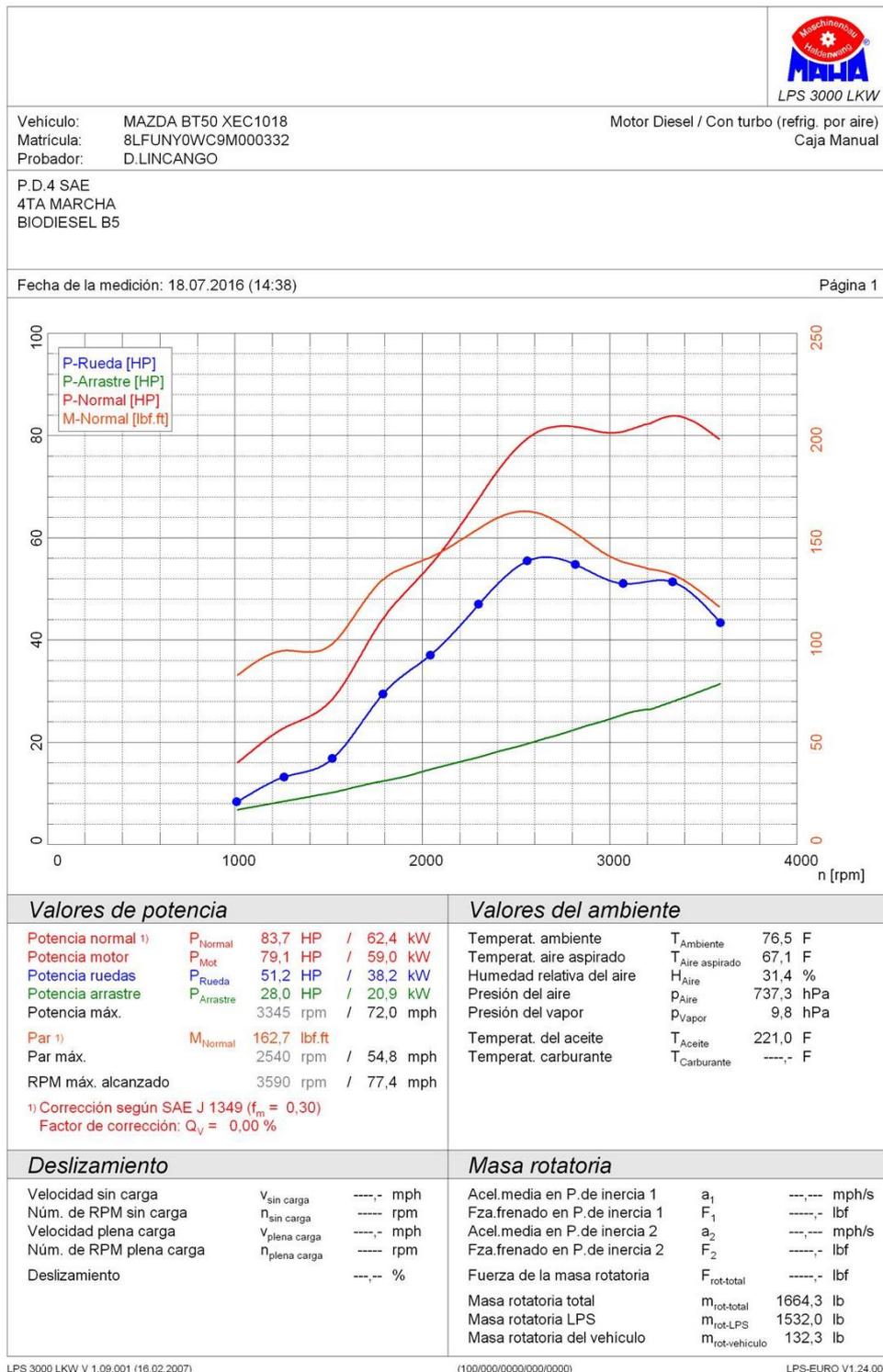
Página 2

Tabla de datos

n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Mot} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lb.ft]
1010	21,8	7,9	14,7	15,5	80,8
1265	27,3	12,9	21,3	22,6	93,8
1522	32,8	16,8	27,0	28,6	98,7
1790	38,6	28,9	41,3	43,7	128,4
2041	44,0	36,2	50,8	53,8	138,4
2304	49,7	46,5	63,6	67,4	153,6
2561	55,2	54,5	74,2	78,6	161,2
2816	60,7	53,7	76,1	80,6	150,2
3071	66,2	49,8	75,3	79,7	136,3
3337	71,9	50,7	79,9	84,6	133,1
3592	77,4	42,8	75,7	80,2	117,2

Valor mínimo

Valor máximo





Vehículo: MAZDA BT50 XEC1018 Motor Diesel / Con turbo (refrig. por aire)
 Matricula: 8LFUNY0WC9M000332 Caja Manual
 Probador: D.LINCANGO

P.D 4 SAE
 4TA MARCHA
 BIODIESEL B5

Fecha de la medición: 18.07.2016 (14:38)

Página 2

Tabla de datos

n [rpm]	v [mph]	P _{Rueda} [HP]	P _{Mot} [HP]	P _{Normal} [HP]	M _{Normal} [lb.ft]
1010	21,8	8,3	15,0	15,8	82,3
1264	27,2	13,1	21,5	22,8	94,6
1521	32,8	16,7	26,8	28,4	98,0
1791	38,6	29,4	41,7	44,1	129,3
2043	44,0	36,9	51,5	54,5	140,2
2302	49,6	46,9	63,9	67,6	154,3
2561	55,2	55,3	75,0	79,3	162,7
2817	60,7	54,7	77,1	81,6	152,1
3072	66,2	50,9	76,2	80,7	137,9
3337	71,9	51,2	79,1	83,7	131,8
3592	77,4	43,3	74,7	79,0	115,5

Valor mínimo

Valor máximo

	LABORATORIO DE PRUEBAS		Código:
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS TORQUE - POTENCIA		CCICEV/LP/PTPT
			Rev. 1/1
		Página 1 de 1	

Solicitud No.	
Fecha:	18-7-16

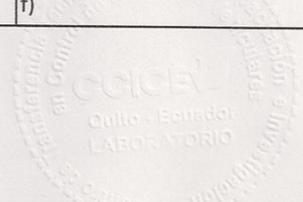
Nombre de Solicitante / Empresa	Carolina Villacís
Técnico Responsable CCICEV	Diego Lincango

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	Mazda	
MODELO	BT - 50	
Chasis (VIN) / PLACA N°	8LFUNY0WC9M000332	
Motor N°	---	
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Delantero longitudinal
	Cilindrada - N° Cilindros	2500
	Max. Potencia (HP/rpm)	157,30 HP @ 3500 rpm
	Max Torque (N.m/rpm)	363,00 Nm @ 1800 rpm
	Combustible	Biodiesel B5
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual (5+R)	
Kilometraje	29777	
Neumáticos (marca, denominación, presión)	---	

Hora inicio				Hora final		
PRUEBA DE TORQUE Y POTENCIA						
	Potencia			Torque		
	kW	hp	rpm	Nm	lbf.ft	rpm
Prueba 1	62,7	84,1	3355	215,3038902	158,8	2545
Prueba 2	63,1	84,6	3355	218,6934351	161,3	2530
Prueba 3	62,4	83,7	3345	220,5915802	162,7	2540
Norma de Corrección	SAE J1349					

Observaciones: _____

TECNICO 1		TECNICO 2		REV. JEFE LAB.	
Nombre:	Diego Lincango	Nombre:		Nombre:	<i>[Signature]</i>
f)	<i>[Signature]</i>	f)		f)	<i>[Signature]</i>



LABORATORIO DE PRUEBAS

	LABORATORIO DE PRUEBAS	Código: CCICEV/LP/PTPT
	REGISTRO DE DATOS DE PRUEBAS TORQUE - POTENCIA	Rev. 1/1
		Página 1 de 1

Solicitud No.	
Fecha:	18-7-16

Nombre de Solicitante / Empresa	Carolina Villacís
Técnico Responsable CCICEV	Diego Lincango

DATOS GENERALES DEL VEHÍCULO		
MARCA	Mazda	
MODELO	BT - 50	
Chasis (VIN) / PLACA N°	8LFUNY0WC9M000332	
Motor N°	---	
Motor (Datos del fabricante)	Posición	Delantero longitudinal
	Cilindrada - N° Cilindros	2500
	Max. Potencia (HP/rpm)	157,30 HP @ 3500 rpm
	Max Torque (N.m/rpm)	363,00 Nm @ 1800 rpm
	Combustible	Diesel
Transmisión (manual/automática) [N°]	Manual (5+R)	
Kilometraje	29777	
Neumáticos (marca, denominación, presión)	---	

Hora inicio				Hora final		
PRUEBA DE TORQUE Y POTENCIA						
	Potencia			Torque		
	kW	hp	rpm	Nm	lbf.ft	rpm
Prueba 1	62,3	83,6	3365	215,439472	158,9	2485
Prueba 2	62,1	83,3	3340	223,0320525	164,5	2520
Prueba 3	63	84,5	3360	217,4731989	160,4	2490
Norma de Corrección	SAE J1349					

Observaciones: _____

TECNICO 1		TECNICO 2		REV. JEFE LAB.	
Nombre:	Diego Lincango	Nombre:		Nombre:	Diego Lincango
f)		f)		f)	

CCICEV

LABORATORIO DE PRUEBAS

ANEXO E

MEDICIONES DE OPACIDAD CON ANALIZADOR DE GASES BRAIN
BEE

MEDICIÓN DE OPACIDAD DIESEL

Opa1Win

TEST OFICIAL - IMPRESIÓN RESULTADOS PARA SALIR **ESC**

VALORES RELEVADOS

TEMPERATURA MOTOR	:	0#	[°C]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	1 : K =	0.63 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	2 : K =	0.53 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	3 : K =	0.56 *	[m ⁻¹]

VALOR MEDIO OPACIDAD : K = **0.6** [m⁻¹]

RESULTADO DE LA PRUEBA : POSITIVO

TÉCNICO RESP. : BURGOS - VILLACIS

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

Opa1Win

TEST OFICIAL - IMPRESIÓN RESULTADOS PARA SALIR **ESC**

VALORES RELEVADOS

TEMPERATURA MOTOR	:	0#	[°C]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	1 : K =	0.58 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	2 : K =	0.67 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	3 : K =	0.72 *	[m ⁻¹]
VALOR MEDIO OPACIDAD	:	0.7	[m ⁻¹]

RESULTADO DE LA PRUEBA : **POSITIVO**

TÉCNICO RESP. : **BURGOS - VILLACIS**

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

Opa1Win

TEST OFICIAL - IMPRESIÓN RESULTADOS PARA SALIR **ESC**

VALORES RELEVADOS

TEMPERATURA MOTOR	:	0#	[°C]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	1 : K =	0.58 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	2 : K =	0.62 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	3 : K =	0.66 *	[m ⁻¹]
VALOR MEDIO OPACIDAD	:	0.6	[m ⁻¹]

RESULTADO DE LA PRUEBA : **POSITIVO**

TÉCNICO RESP. : **BURGOS - VILLACIS**

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

MEDICIONES DE OPACIDAD BODIESEL

Opa1Win

TEST OFICIAL - IMPRESIÓN RESULTADOS PARA SALIR **ESC**

VALORES RELEVADOS

TEMPERATURA MOTOR	:	0#	[°C]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	1 : K =	0.33 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	2 : K =	0.37 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	3 : K =	0.39 *	[m ⁻¹]

VALOR MEDIO OPACIDAD : K = **0.4** [m⁻¹]

RESULTADO DE LA PRUEBA : POSITIVO

TÉCNICO RESP. : **BURGOS - VILLACIS**

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

Opa1Win

TEST OFICIAL - IMPRESIÓN RESULTADOS PARA SALIR **ESC**

VALORES RELEVADOS

TEMPERATURA MOTOR	:	0#	[°C]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	1 : K =	0.37 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	2 : K =	0.39 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	3 : K =	0.42 *	[m ⁻¹]
VALOR MEDIO OPACIDAD	:	K = 0.4	[m ⁻¹]

RESULTADO DE LA PRUEBA : POSITIVO

TÉCNICO RESP. : **BURGOS - VILLACIS**

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7

ESET NOD32 Antivirus
Your system is exposed to risk. For more information, click on this notification

Opa1Win

TEST OFICIAL - IMPRESIÓN RESULTADOS PARA SALIR **ESC**

VALORES RELEVADOS

TEMPERATURA MOTOR	:	0#	[°C]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	1 : K =	0.40 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	2 : K =	0.44 *	[m ⁻¹]
VALOR OPACIDAD ACELERADA	3 : K =	0.50 *	[m ⁻¹]
VALOR MEDIO OPACIDAD	:	K = 0.4	[m ⁻¹]

RESULTADO DE LA PRUEBA : POSITIVO

TÉCNICO RESP. : **BURGOS - VILLACIS**

F1
F2
F3
F4
F5
F6
F7
F8

ANEXO F

MEDICIONES DE OPACIDAD CON ANALIZADOR DE GASES CARTEK

MEDICIÓN DE OPACIDAD DIESEL

		ESPE		Email:	
		LATACUNGA Tel: 0000000			
DATOS DEL CLIENTE			DATOS DEL VEHICULO		
NOMBRE:	CAROLINA	PLACA:	XEC1018	MODELO:	2009
APELLIDO:	VILACIS	MARCA:	MAZDA	LINEA:	BT 50
IDENTIFICACION:	ESPE	NUMERO DE MOTOR:			
		VIN:	WLTA102655	DIAM. EXHOSTO:	0.00
PRUEBA ENSAYO:	12.96 %	DISPOSITIVO DE MEDICION	8181		
PRUEBA 1:	13.17 %	RPM RALENTI	765 RPM		
PRUEBA 2:	13.52 %	RPM GOBERNADA	4536 RPM		
PRUEBA 3:	13.40 %	TEMPERATURA DE OPACIDAD	0 °		
OPACIDAD:	13.36 %	NORMA			
		OPACIDAD LIMITE:	28.00 %		
FECHA Y HORA DE LA PRUEBA		MOTIVO:			
8/18/2016 18:37:30					
			RESULTADO: APROBADA		

OPERARIO RESPONSABLE:

LEONIDAS QUIROZ

MEDICIÓN DE OPACIDAD BIODIESEL

	ESPE LATACUNGA Tel: 0000000	Email:
DATOS DEL CLIENTE NOMBRE: CAROLINA APELLIDO: VILLACIS IDENTIFICACION: ESPE		DATOS DEL VEHICULO PLACA: XEC1018 MODELO: 2009 MARCA: MAZDA LINEA: BT 50 NUMERO DE MOTOR: VIN: WLTA102655 DIAM. EXHOSTO: 0.00
PRUEBA ENSAYO: 7.74 % PRUEBA 1: 9.21 % PRUEBA 2: 9.89 % PRUEBA 3: 11.27 % OPACIDAD: 10.12 % FECHA Y HORA DE LA PRUEBA: 8/18/2016 17:22:08		DISPOSITIVO DE MEDICION 8181 RPM RALENTI 760 RPM RPM GOBERNADA 4472 RPM TEMPERATURA DE OPACIDAD: 0 ° NORMA OPACIDAD LIMITE: 28.00 % MOTIVO: RESULTADO: APROBADA

OPERARIO RESPONSABLE: _____

LEONIDAS QUIROZ

ANEXO G

MEDICIÓN DE GASES

DIESEL A 750 RPM

		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANÁLISIS DE GASES		BIODIESEL	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	160513000054	Número de serie	
LATA CUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259481 yovillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT 50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: DIESEL	Km recorridos	: 30372
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	91
RPM	[1/min]	:	760
COcorr	[%Vol]	:	0.27
Lambda	[-]	:	----
CO	[%Vol]	:	0.04
CO ₂	[%Vol]	:	2.2
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	19.0
NO	[ppmVol]	:	280
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016 18:52	
Sello			
Firma			

DIESEL A 1000 RPM

		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	180513000054	Número de serie	
ESPE			
LATA CUNGA		0987259461	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		yovillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT 50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: DIESEL	Km recorridos	: 30372
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	92
RPM	[1/min]	:	1020
COcorr	[%Vol]	:	0.26
Lambda	[-]	:	----
CO	[%Vol]	:	0.03
CO ₂	[%Vol]	:	1.7
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	20.4
NO	[ppmVol]	:	160
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016	18:53
Sello			
Firma			

DIESEL A 1500 RPM

		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	160513000054	Número de serie	
LATA CUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259461 yovillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT 50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: DIESEL	Km recorridos	: 30372
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	92
RPM	[1/min]	:	1500
COcorr	[%Vol]	:	0.38
Lambda	[-]	:	----
CO	[%Vol]	:	0.06
CO ₂	[%Vol]	:	2.3
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	18.5
NO	[ppmVol]	:	133
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016	18:54
Sello			
Firma			

DIESEL A 2000 RPM

		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	180513000054	Número de serie	
LATAACUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259461 ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT 50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: DIESEL	Km recorridos	: 30372
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	92
RPM	[1/min]	:	2030
COcorr	[%Vol]	:	0.60
Lambda	[-]	:	---
CO	[%Vol]	:	0.10
CO ₂	[%Vol]	:	2.4
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	18.2
NO	[ppmVol]	:	99
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016	18:55
Sello			
Firma			

DIESEL A 2500 RPM

		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANÁLISIS DE GASES		BIODIESEL	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	180513000054	Número de serie	
LATA CUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259461	
		yvcillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT 50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: DIESEL	Km recorridos	: 30372
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	94
RPM	[1/min]	:	2510
COcorr	[%Vol]	:	1.47
Lambda	[-]	:	---
CO	[%Vol]	:	0.26
CO ₂	[%Vol]	:	2.4
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	17.4
NO	[ppmVol]	:	63
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016	18:56
Sello			
Firma			

DIESEL A 3000 RPM

		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANÁLISIS DE GASES BIODIESEL			
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	180513000054	Número de serie	
LATACUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259461 ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT 50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: DIESEL	Km recorridos	: 30372
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	96
RPM	[1/min]	:	3040
COcorr	[%Vol]	:	1.27
Lambda	[-]	:	4.962
CO	[%Vol]	:	0.26
CO ₂	[%Vol]	:	2.8
HC	[ppmVol]	:	22
O ₂	[%Vol]	:	17.5
NO	[ppmVol]	:	103
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016	18:57
Sello			
Firma			

DIESEL A 3500 RPM

		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	160513000054	Número de serie	
ESPE			
LATACUNGA		0987259481	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT 50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: DIESEL	Km recorridos	: 30372
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	98
RPM	[1/min]	:	3540
COcorr	[%Vol]	:	1.32
Lambda	[-]	:	4.737
CO	[%Vol]	:	0.28
CO ₂	[%Vol]	:	2.9
HC	[ppmVol]	:	24
O ₂	[%Vol]	:	17.1
NO	[ppmVol]	:	95
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016	18:58
Sello			
Firma			

BIODIESEL A 750 RPM

ANÁLISIS DE GASES BIODIESEL		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTARREVOLUCIONES	
Número de serie	180513000054	Número de serie	
ESPE			
LATACUNGA		0987259461	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT-50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: BIODIESEL	Km recorridos	: 30371
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	91
RPM	[1/min]	:	740
COcorr	[%Vol]	:	0.23
Lambda	[-]	:	---
CO	[%Vol]	:	0.03
CO ₂	[%Vol]	:	1.9
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	20.2
NO	[ppmVol]	:	208
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016	16:53
Se l lo			
Firma			

BIODIESEL A 1000 RPM

 ANÁLISIS DE GASES BIODIESEL		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTARREVOLUCIONES	
Número de serie	180513000054	Número de serie	
LATA CUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259461 ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT-50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: BIODIESEL	Km recorridos	: 30371
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	90
RPM	[1/min]	:	1010
COcorr	[%Vol]	:	0.66
Lambda	[-]	:	----
CO	[%Vol]	:	0.06
CO ₂	[%Vol]	:	1.3
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	19.6
NO	[ppmVol]	:	90
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016 16:55	
Sello			
Firma			

BIODIESEL A 1500 RPM

		<h1 style="margin: 0;">ANÁLISIS GASES ESCAPE</h1>	
ANALIZADOR : AGS-888 Número de serie : 180513000054		CUENTA RREVOLUCIONES : Número de serie :	
LATA CUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN :		0987259461 ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT-50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: BIODIESEL	Km recorridos	: 30371
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	90
RPM	[1/min]	:	1500
COcorr	[%Vol]	:	0.32
Lambda	[-]	:	----
CO	[%Vol]	:	0.05
CO ₂	[%Vol]	:	2.3
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	18.1
NO	[ppmVol]	:	123
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016 16:56	
Sello			
Firma			

BIODIESEL A 2000 RPM

 ANÁLISIS DE GASES BIODIESEL		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	160513000054	Número de serie	
LATA CUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259461 ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT-50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: BIODIESEL	Km recorridos	: 30371
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	91
RPM	[1/min]	:	2020
COcorr	[%Vol]	:	0.48
Lambda	[-]	:	---
CO	[%Vol]	:	0.08
CO ₂	[%Vol]	:	2.4
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	17.6
NO	[ppmVol]	:	92
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016 16:57	
Sello			
Firma			

BIODIESEL A 2500 RPM

 ANÁLISIS DE GASES BIODIESEL		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR	AGS-688	CUENTA RREVOLUCIONES	
Número de serie	160513000054	Número de serie	
LATACUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259461 ycvillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT-50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: BIODIESEL	Km recorridos	: 30371
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	94
RPM	[1/min]	:	2460
COcorr	[%Vol]	:	1.42
Lambda	[-]	:	---
CO	[%Vol]	:	0.25
CO ₂	[%Vol]	:	2.4
HC	[ppmVol]	:	0
O ₂	[%Vol]	:	17.3
NO	[ppmVol]	:	54
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016 16:59	
Sello			
Firma			

BIODIESEL A 3000 RPM

 ANÁLISIS DE GASES BIODIESEL		ANÁLISIS GASES ESCAPE	
ANALIZADOR		AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES
Número de serie	:	180513000054	Número de serie
LATA CUNGA		ESPE	
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259481	
		yovillacis@espe.edu.ec	
Datos del vehículo:			
Marca	: MAZDA	Modelo	: BT-50
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis	: 8LFUNY0WC9M000332
Combustible	: BIODIESEL	Km recorridos	: 30371
Valores relevados:			
Temp. Motor	[°C]	:	95
RPM	[1/min]	:	3010
COcorr	[%Vol]	:	1.27
Lambda	[-]	:	----
CO	[%Vol]	:	0.24
CO ₂	[%Vol]	:	2.6
HC	[ppmVol]	:	16
O ₂	[%Vol]	:	17.2
NO	[ppmVol]	:	82
Fecha y hora prueba	:	18/08/2016 17:00	
Sello			
Firma			

BIODIESEL A 3500 RPM

		<h1 style="margin: 0;">ANÁLISIS GASES ESCAPE</h1>
ANALIZADOR	AGS-888	CUENTA RREVOLUCIONES
Número de serie	: 160513000054	Número de serie
LATA CUNGA		ESPE
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN		0987259461 ycvillacis@espe.edu.ec
Datos del vehículo:		
Marca	: MAZDA	Modelo
Matrícula	: XEC1018	No. Chasis
Combustible	: BIODIESEL	Km recorridos
		: BT-50 : 8LFUNY0WC9M000332 : 30371
Valores relevados:		
Temp. Motor	[°C]	: 99
RPM	[1/min]	: 3560
COcorr	[%Vol]	: 0.56
Lambda	[-]	: 4.756
CO	[%Vol]	: 0.12
CO ₂	[%Vol]	: 3.1
HC	[ppmVol]	: 9
O ₂	[%Vol]	: 17.3
NO	[ppmVol]	: 241
Fecha y hora prueba	: 18/08/2016	17:03
Sello		
Firma		

ANEXO H

EQUIPO DE

INVESTIGACIÓN

INVESTIGADORES

N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO/CARRERA	GRUPO
1	Carolina Villacís	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
2	David Burgos	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
3	Germán Erazo	Departamento de Energía y Mecánica	SAEM R&D
4	Marcos Gutiérrez	Departamento de Energía y Mecánica	SAEM R&D
5	Caterine Donoso	Departamento de Energía y Mecánica	SAEM R&D

ANEXO I

MIEMBROS DEL

GRUPO SAEM

R&D

Miembros Grupo SAEM R&D

N°	NOMBRE	DEPARTAMENTO/CARRERA	GRUPO
1	Carolina Villacís	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
2	David Burgos	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
3	Germán Erazo	Departamento de Energía y Mecánica	SAEM R&D
4	Marcos Gutiérrez	Departamento de Energía y Mecánica	SAEM R&D
5	Caterine Donoso	Departamento de Energía y Mecánica	SAEM R&D
6	Santiago Acuña	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
7	Santiago Morales	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
8	Henry Pabón	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
9	Alex Altamirano	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
10	Ricardo Analuisa	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D
11	Geovanni Viscaino	Ingeniería Automotriz	SAEM R&D



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores:
YESSENIA CAROLINA VILLACÍS OÑA Y DAVID ALBERTO BURGOS VILLAFUERTE.

En la ciudad de Latacunga, a los **Ejemplo: 23 días del mes de noviembre del 2016.**

Ing. Germán Erazo

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:

Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR DE CARRERA

Dr. Juan Carlos Díaz

SECRETARIO ACADÉMICO

