

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniera Ambiental*

**TRABAJO EXPERIMENTAL:**  
**“ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LOS ACEITES USADOS DE  
PALMA Y LUBRICANTES PARA LA ELABORACIÓN DE  
COMBUSTIBLES”**

**AUTORAS:**

CATHERINNE YASMIN HERAS NARANJO  
DIANA JUDITH LOJANO CRIOLLO

**TUTOR:**

ING. JORGE BRAULIO AMAYA PINOS, PhD

CUENCA - ECUADOR

2020

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras, Catherine Yasmin Heras Naranjo con documento de identificación N° 0106156904 y Diana Judith Lojano Criollo con documento de identificación N° 0105825772, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autoras del trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LOS ACEITES USADOS DE PALMA Y LUBRICANTES PARA LA ELABORACIÓN DE COMBUSTIBLES”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a lo determinado por la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020



Catherine Yasmin Heras Naranjo

C.I. 0106156904



Diana Judith Lojano Criollo

C.I. 0105825772

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LOS ACEITES USADOS DE PALMA Y LUBRICANTES PARA LA ELABORACIÓN DE COMBUSTIBLES”**, realizado por Catherine Yasmin Heras Naranjo y Diana Judith Lojano Criollo, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020



Ing. Jorge Braulio Amaya Pinos, Ph.D

C.I. 0103444923

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, Catherine Yasmin Heras Naranjo con documento de identificación N° 0106156904 y Diana Judith Lojano Criollo con documento de identificación N° 0105825772, autoras del trabajo de titulación: **“ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DE LOS ACEITES USADOS DE PALMA Y LUBRICANTES PARA LA ELABORACIÓN DE COMBUSTIBLES”**, certificamos que el total contenido del *Trabajo Experimental*, es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2020



Catherine Yasmin Heras Naranjo

C.I. 0106156904



Diana Judith Lojano Criollo

C.I. 0105825772

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de titulación lo dedico primeramente a Dios, por haberme dado la sabiduría, la paciencia y sobre todo las fuerzas necesarias para atravesar este camino, obteniendo con ello una de mis metas más deseadas.*

*A mis padres en especial, por brindarme todo su apoyo y amor incondicional en toda esta travesía universitaria, gracias a ustedes puede decir que he llegado hasta aquí, convirtiéndome finalmente en una profesional.*

*A mis hermanos, por estar siempre pendientes de mí y haberme escuchado cuando más lo necesitaba, gracias por estar siempre presentes no puedo haber tenido mejores hermanos que ustedes.*

*A mi tío Abdón, sobre todo por haberme guiado en este camino y hacerme ver lo magnifico que fue esta carrera, gracias por haberme dado un voto de confianza.*

*A mi novio, por ser paciente, amoroso y haberme brindado su apoyo cuando más lo necesitaba sin pedir nada a cambio, gracias por ser mi cómplice favorito.*

*A mis amigos Antonela y Ricardo, por ser mis compañeros de trabajo en todo momento, me llevo de ustedes anécdotas, enseñanzas y sobre todo risas.*

*A mi compañera de tesis Diana, por haber sido colaboradora, trabajadora y sobre todo responsable.*

*Catherinne Yasmin*

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este proceso de titulación primero a DIOS que me concede todos los días la gran oportunidad de tener a mi familia unida y por guiarme siempre por el camino del bien y protegerme de cualquier peligro.*

*Como no dar las gracias infinitas a mis padres por que tuvieron fe en cada uno de mis pasos a pesar de mis caídas, triunfos ya que nunca me faltaron sus palabras de aliento que se convirtieron en mi fuerza para llegar a terminar uno de mis sueños anhelados no hay palabras que expresen lo feliz que me siento por tenerlos conmigo y de ser su hija. Ahora puedo decirles que su mayor objetivo se ha cumplido a pesar de muchos sacrificios por Uds. estoy aquí y gracias una vez más por ser mis mentores.*

*A mis hermanos lo único que les puedo decir es que sigan sus sueños jamás se den por vencidos las cosas más buenas toman su tiempo y dedicación. Gracias por ser parte de mi vida y mis mejores momentos juntos.*

*Las buenas experiencias tienen un toque mágico llamados Amigos una palabra tan corta, pero a la vez muy significativa porque son seres muy selectivos que nos acompañan en todas nuestras las aventuras, logros y diversión gracias por brindarme su amistad sobre todos a Catherine Heras mi compañera de tesis, a la vez amiga de muchas vivencias llevadas en nuestro proceso de titulación sin más que agregar son lo mejor que tengo en la vida (F, K, D, A, R, B, C, F, E, L, J, P).*

*Diana Judith*

## **AGRADECIMIENTO**

*Tras haber finalizado este trabajo queremos agradecer a Dios el cual nos ha sabido guiar correctamente, dándonos siempre su bendición. A nuestros padres que mediante su ejemplo de trabajo y perseverancia han sido un apoyo para nosotras en esta trayectoria.*

*Queremos agradecer a la Universal Politécnica Salesiana por habernos formado durante este periodo de tiempo como profesionales llenos de valores.*

*Agrademos a nuestro tutor de tesis, Ing. Jorge Amaya quien ha sabido guiarnos durante todo el proceso de titulación, brindándonos sus conocimientos y sobre todo su tiempo.*

*Catherinne y Diana*

## **RESUMEN**

El presente estudio se orienta al Estudio de la factibilidad de los aceites usados de palma y lubricantes para la elaboración de combustibles cuyos objetivos específicos se orientaron a la obtención del biodiesel por medio de la transesterificación, obtención del diésel a partir de los aceites usados de carros mediante la destilación atmosférica y filtración (silica gel). Para ello se caracterizaron a través de los métodos físico- químicos a los aceites usados y del aceite de palma en virtud de comprobar la capacidad calorífica del producto obtenido de forma que se pudieron comparar mediante pruebas termodinámicas las propiedades del biodiesel que posteriormente fueron analizadas estadísticamente. El procedimiento se realizó en el laboratorio donde se determinó que los aceites usados fueron favorablemente realizados mediante los procesos de transesterificación y destilación atmosférica. Entre las principales conclusiones destaca que la producción de biodiesel a partir de materias primas como el aceite usado de palma o los lubricantes usados representan un importante aporte al desarrollo de la sociedad, la conservación ambiental y la práctica de actividades productivas responsables. Asimismo, la mayoría de los parámetros obtenidos en cada uno de los procedimientos se enmarcan en los límites establecidos por las diferentes normas nacionales e internacionales lo que resulta favorable para el presente estudio y para futuras investigaciones y estudios asociados.

**Palabras claves:** Biocombustible, Gasoil, Aceites Usados, Lubricantes, Proceso de Transesterificación y Destilación Atmosférica.



## **ABSTRACT**

The present study is oriented to the Feasibility Study of used palm oils and lubricants for the production of fuels whose specific objectives were oriented to obtaining biodiesel through transesterification, obtaining diesel from used car oils. by filtration (silica gel). To do this, used oils and palm oil were characterized through physical-chemical methods by virtue of checking the heat capacity of the product obtained so that the properties of biodiesel could be compared by thermodynamic tests, which were subsequently statistically analyzed. The procedure was carried out in the laboratory where it was determined that the used oils were favorably carried out through the transesterification and atmospheric distillation processes. Among the main conclusions, it stands out that the production of biodiesel from raw materials such as used palm oil or used lubricants represent an important contribution to the development of society, environmental conservation and the practice of responsible productive activities. Likewise, most of the parameters obtained in each of the procedures are framed within the limits established by the different national and international regulations, which is favorable for this study and for future research and associated studies.

**Key words:** Biofuel, Diesel, Used Oils, Lubricants, Transesterification and Atmospheric Distillation Process.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. CAPITULO</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Antecedentes</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3. Justificación</b> .....	<b>7</b>
<b>2. CAPITULO: OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1. Objetivo General</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>8</b>
<b>3. CAPITULO: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1. Aceites usados</b> .....	<b>10</b>
<b>3.1.1. Funciones de los aceites usados</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1.2. Contaminación ambiental por aceite de motor</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1.3. Aceites de motor usados en Ecuador</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2. Lubricantes</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2.1. Clasificación de los Lubricantes</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2.2. Estimación de la generación de aceites lubricantes en Cuenca- Ecuador</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3. Combustibles Fósiles</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3.1. Propiedades de los combustibles</b> .....	<b>18</b>
<b>3.3.2. Impactos ambientales generados por los combustibles fósiles</b> .....	<b>19</b>
<b>3.4. Combustibles Alternativos</b> .....	<b>20</b>
<b>3.5. El Biodiesel</b> .....	<b>20</b>
<b>3.5.1. Extracción de aceites vegetales</b> .....	<b>21</b>
<b>3.5.2. Catalizadores</b> .....	<b>21</b>
<b>3.5.3. Presencia de ácidos grasos en el aceite vegetal</b> .....	<b>22</b>
<b>3.5.4. Producción de Biodiesel a partir de aceites usados</b> .....	<b>22</b>
<b>3.5.5. Métodos de obtención para el biodiesel</b> .....	<b>23</b>

3.6.	Gasoil (Diesel#2).....	24
3.6.1.	Métodos de obtención del Gasoil a partir de aceites usados de carros.....	25
3.7.	Propiedades Fisicoquímicas del Biodiesel y el Gasoil.....	26
3.7.1.	Azufre .....	26
3.7.2.	Viscosidad cinemática .....	26
3.7.3.	Gravedad API (°API) .....	26
3.7.4.	Punto de Inflamación .....	27
3.7.5.	Destilación-Punto Inicial de Ebullición (P.IE) .....	27
3.7.6.	Corrosión a la lámina de cobre .....	28
3.7.7.	Cantidad de Agua .....	28
3.7.8.	Color .....	28
3.8.	Bases Legales .....	29
4.	CAPÍTULO: MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
4.1.	Características Físico-químicas del Aceite de Palma.....	31
4.1.1.	Densidad .....	31
4.1.2.	Viscosidad Cinemática .....	32
4.1.3.	Color .....	34
4.1.4.	Punto de Inflamación .....	35
4.1.5.	Porcentaje de Humedad.....	36
4.1.6.	Índice de Saponificación .....	38
4.1.7.	Índice de Acidez .....	40
4.2.	Propiedades físico-químicas del Aceite usado de carros .....	41
4.2.1.	Densidad .....	41
4.2.2.	Viscosidad cinemática .....	42
4.2.3.	Contenido de agua y sedimentos .....	43
4.2.4.	Gravedad API o peso específico a 15.6 °C .....	43

4.2.5.	Contenido de metales.....	44
4.3.	Metodología para la elaboración del Biodiesel.....	46
4.3.1.	Materia prima y reactivos.....	46
4.3.2.	Etapa de filtración .....	46
4.3.3.	Preparación del Etóxido de sodio .....	47
4.3.4.	Reacción de transesterificación .....	48
4.3.5.	Fase de Sedimentación .....	49
4.3.6.	Lavado del biodiesel .....	49
4.3.7.	Secado del Biodiesel.....	50
4.4.	Metodología para la elaboración del Diésel Sintético # 2 (Gasoil) .....	51
4.4.1.	Proceso de conversión del aceite usado.....	51
4.4.2.	Proceso de Craqueo Térmico.....	51
4.4.3.	Proceso de destilación atmosférica.....	52
4.4.4.	Rectificación .....	53
4.4.5.	Proceso de Filtración.....	53
4.5.	Análisis de Rendimiento del Biodiesel y Gasoil.....	53
4.6.	Características Físico-Químicas del Biodiesel.....	54
4.6.1.	Densidad .....	54
4.6.2.	Cenizas Sulfatadas .....	54
4.6.3.	Corrosión a la lámina de cobre .....	55
4.6.4.	Punto de Inflamación .....	56
4.6.5.	Viscosidad Cinemática a 40 <sup>a</sup> C .....	56
4.6.6.	Peso específico.....	58
4.6.7.	Índice de Refracción.....	58
4.6.8.	Porcentaje de Humedad.....	59
4.6.9.	Carbón residual .....	60
4.6.10.	Poder calorífico .....	61

4.6.11. Punto Nube .....	63
4.6.12. Índice de Acidez .....	64
4.7. Características Físico Químicas del Gasoil.....	64
4.7.1. Residuos Carbonoso al 10% .....	64
4.7.2. Contenido de Azufre.....	65
4.7.3. Índice de Cetano .....	66
4.7.4. Temperatura de destilación al 90% .....	66
4.7.5. Contenido de Cenizas .....	67
4.8. Cromatografía GC –MS .....	68
4.8.1. Cromatografía GC –MS del Biodiesel.....	68
4.8.2. Cromatografía GC –MS del Gasoil.....	69
4.9. Análisis instrumental por espectrofotometría infrarroja (FTIR) .....	69
Trasnmitancia.....	70
Absorbancia .....	70
4.10. Comprobación de la funcionalidad de los combustibles en un motor a diésel .....	71
4.10.1. A.V.S .....	72
4.10.2. Doble arnés .....	72
4.10.3. Sistema de arranque fácil.....	72
4.10.4. Baja emisión de gases .....	72
5. CAPITULO V: RESULTADOS .....	73
5.1. Resultados de la caracterización físico-químico del aceite de palma usado .....	73
5.1.1. Análisis del porcentaje de humedad .....	74
5.1.2. Análisis del número de saponificación.....	74
5.1.3. Análisis de la densidad .....	75
5.1.4. Análisis del índice de acidez.....	75
5.2. Análisis del resultado en el rendimiento del Biodiesel.....	76

5.2.1.	Resultados Estadísticos del rendimiento del biodiesel .....	76
5.3.	Resultados de la caracterización Físico Química del Biodiesel.....	80
5.3.1.	Análisis de la humedad y material volátil .....	81
5.3.2.	Análisis de las cenizas sulfatadas .....	82
5.3.3.	Análisis de la corrosión a la lámina de cobre .....	82
5.3.4.	Análisis de la densidad .....	83
5.3.5.	Análisis del punto de inflamación .....	83
5.3.6.	Análisis del poder calorífico.....	84
5.3.7.	Análisis de la viscosidad cinemática a 40°C .....	84
5.3.8.	Análisis del índice de acidez.....	85
5.3.9.	Análisis del índice de cetano .....	85
5.3.10.	Análisis del Índice de refracción .....	86
5.4.	Resultados de la Caracterización del Lubricante usado de carros .....	86
5.4.1.	Análisis de la densidad .....	87
5.4.2.	Análisis del índice de viscosidad.....	87
5.4.3.	Análisis del punto de inflamación .....	88
5.4.4.	Análisis del contenido de agua y sedimentos.....	88
5.4.5.	Análisis de la gravedad API.....	88
5.4.6.	Contenido de Metales .....	89
5.5.	Análisis de los resultados de la prueba del Gasoil.....	89
5.5.1.	Análisis Estadístico del rendimiento del Gasoil .....	89
5.6.	Resultados de la Caracterización físico química del Diésel sintético #2 (Gasoil) .....	91
5.6.1.	Análisis del agua y sedimentos .....	92
5.6.2.	Análisis del residuo carbonoso al 10% .....	93
5.6.3.	Análisis de la densidad .....	93
5.6.4.	Análisis de la gravedad API.....	94

5.6.5.	Análisis del punto de inflamación .....	94
5.6.6.	Análisis del contenido de cenizas.....	95
5.6.7.	Análisis de la viscosidad cinemática a 40°C .....	95
5.6.8.	Análisis de la temperatura de destilación al 90%.....	96
5.6.9.	Análisis del índice de cetano calculado .....	97
5.6.10.	Análisis del contenido de azufre .....	98
5.6.11.	Análisis del poder calorífico.....	98
5.7.	Comparación de los resultados de los tres combustibles (Biodiésel, Gasoil y Diésel) .....	99
5.8.	Interpretación de los Espectro IR.....	103
5.8.1.	Análisis IR del resultado del Biodiesel.....	103
5.8.2.	Análisis IR del resultado de la Glicerina .....	104
5.8.3.	Análisis IR del resultado del Gasoil .....	105
5.8.4.	Análisis IR del resultado de los Hidrocarburos Livianos .....	106
5.8.5.	Análisis IR del resultado de los Hidrocarburos Pesados .....	107
5.8.6.	Análisis IR del Diésel.....	107
5.9.	Resultados del análisis de cromatografía GC – MS.....	109
5.9.1.	Análisis del hidrocarburo liviano .....	109
5.9.2.	Análisis del cromatograma del Biodiesel.....	109
5.9.3.	Análisis del hidrocarburo mediano .....	110
5.9.4.	Análisis del hidrocarburo pesados .....	111
6.	CAPITULO: DISCUSIÓN .....	113
7.	CAPITULO: CONCLUSIONES .....	117
8.	CAPITULO: RECOMENDACIONES .....	118
	BIBLIOGRAFÍA .....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Características del lubricante .....	18
<b>Tabla 2</b> Lubricantes sintéticos, clasificación y características .....	12
<b>Tabla 3</b> Estimación de la generación de aceites lubricantes usados en Cuenca .....	14
<b>Tabla 4</b> Propiedades del combustible .....	18
<b>Tabla 5</b> Porcentajes de destilados .....	28
<b>Tabla 6:</b> Guías para diluciones en diferentes proporciones .....	35
<b>Tabla 7:</b> Dosificación experimental para la preparación del Metóxido de sodio .....	47
<b>Tabla 8</b> Fracciones de hidrocarburos utilizados .....	52
<b>Tabla 9:</b> Condiciones de trabajo para el análisis por cromatografía GC - MS .....	69
<b>Tabla 10</b> Especificaciones técnicas del motor .....	71
<b>Tabla 11</b> Resultados de la Caracterización físico - química del aceite de palma usado.	73
<b>Tabla 12</b> Análisis de los resultados obtenidos de la caracterización físico-química del aceite de palma usado .....	73
<b>Tabla 13</b> Factores del proceso de transesterificación .....	76
<b>Tabla 14</b> Concentración de catalizador en la prueba del biodiesel.....	77
<b>Tabla 15</b> Porcentaje de etanol en la prueba del biodiésel .....	77
<b>Tabla 16</b> Tiempo en la prueba del biodiésel .....	78
<b>Tabla 17</b> Tabla cruzada Concentración Na (OH)*Rendimiento.....	78
<b>Tabla 18</b> Tabla cruzada Porcentaje de etanol*Rendimiento.....	79
<b>Tabla 19</b> Resultados de la caracterización físico-química del Biodiesel.....	80
<b>Tabla 20</b> Índice de refracción .....	86
<b>Tabla 21</b> Caracterización del lubricante de carro usado .....	86
<b>Tabla 22</b> Rendimiento del Gasoil .....	90
<b>Tabla 23</b> Resultados de propiedades Físicoquímicas del Diésel sintético #2 (Gasoil)...	91
<b>Tabla 24</b> Temperatura de Destilación al 90%.....	96
<b>Tabla 25</b> Comparación de resultados de los tres combustibles .....	101
<b>Tabla 26</b> Interpretación de resultados IR del Biodiesel.....	103
<b>Tabla 27</b> Interpretación de resultados IR de la Glicerina .....	104
<b>Tabla 28</b> Interpretación de resultados IR del Diésel sintético #2. ....	105
<b>Tabla 29</b> Interpretación de resultados IR de los Hidrocarburos livianos.....	106



<b>Tabla 30</b> Interpretación de resultados IR de los Hidrocarburos Pesados .....	107
<b>Tabla 31.</b> Interpretación de resultados IR del Diésel.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Tipos de Combustibles Fósiles. ....	15
<b>Figura 2</b> Reacción de transesterificación de un triglicérido para producir biodiésel .....	21
<b>Figura 3</b> Procedimiento para la determinar la densidad . ....	33
<b>Figura 4</b> Procedimiento para determinar la Viscosidad (mm <sup>2</sup> /s).....	35
<b>Figura 5</b> Procedimiento para determinar el color.....	36
<b>Figura 6</b> Procedimiento para determinar el punto de inflamación. ....	38
<b>Figura 7</b> Diagrama de flujo de porcentaje de Humedad.. ....	39
<b>Figura 8</b> Procedimiento del Índice de saponificación del aceite de palma usado. ....	41
<b>Figura 9</b> Procedimiento para determinar el Índice de acidez. ....	41
<b>Figura 10</b> Procedimiento para determinar el Índice de Viscosidad.....	42
<b>Figura 11</b> Procedimiento para determinar el Contenido de agua y sedimentos .....	43
<b>Figura 12</b> Proceso para determinar la Gravedad API .....	45
<b>Figura 13</b> Proceso para determinar el contenido de metales. ....	46
<b>Figura 14</b> Diagrama de bloques del proceso de obtención del biodiesel. ....	47
<b>Figura 15</b> Etapa de Filtración.. ....	49
<b>Figura 16</b> Proceso de Sedimentación .....	50
<b>Figura 17</b> Lavado de Biodiesel.....	50
<b>Figura 18</b> Diagrama de bloques de conversión de aceite usado . ....	51
<b>Figura 19</b> Proceso de Craqueo del aceite lubricante usado. ....	51
<b>Figura 20</b> Procedimiento para determinar las cenizas Sulfatadas. ....	58
<b>Figura 21</b> Procedimiento para determinar Corrosión a la lamina de cobre. ....	58
<b>Figura 22</b> Procedimiento para determinar la Viscosidad. ....	59
<b>Figura 23</b> Procedimiento para determinar el Peso específico . ....	60
<b>Figura 24</b> Procedimiento para determinar el Índice de refracción . ....	60
<b>Figura 25</b> Proceso para determinar el Porcentaje de Humedad.....	61
<b>Figura 26</b> Procedimiento para determinar el Carbón Residual. ....	62
<b>Figura 27</b> Proceso para determinar el Poder calorífico.. ....	63
<b>Figura 28</b> Procedimiento para determinar el punto nube en el laboratorio. ....	68
<b>Figura 29</b> Proceso para determinar el residuo carbonoso.....	65
<b>Figura 30</b> Método de contenido de cenizas .....	69

<b>Figura 31</b> Espectro IR del Biodiesel.....	105
<b>Figura 32</b> Espectro IR de la Glicerina .....	106
<b>Figura 33</b> Resultado IR del Diesel sintético #2 .....	107
<b>Figura 34</b> Resultado IR Hidrocarburos Livianos .....	108
<b>Figura 35</b> Resultado IR Hidrocarburos Pesados .....	108
<b>Figura 36</b> Espectro IR del Diésel.....	108
<b>Figura 37</b> Cromotograma <i>GS- MS</i> de los Hidrocarburos livianos.....	108
<b>Figura 38</b> Ester metilico del ácido linoleico.....	10809
<b>Figura 39</b> Ester metilico del ácido palmítico.....	108
<b>Figura 40</b> Cromatograma de los Hidrocarburos madianos .....	10810
<b>Figura 41</b> Cromatograma del Ester metilico del ácido laurico.....	1081
<b>Figura 42</b> Cromatograma del Ester metilico del ácido esteárico.....	108
<b>Figura 43</b> Cromatograma de los hidrocarburos pesados obtenidos del aceite de motor .....	108
<b>Figura 44</b> Cromatograma del ácido adipico .....	108
<b>Figura 45</b> Cromatograma del ácido sebácico .....	108

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> Resultados del porcentaje de humedad.....	75
<b>Gráfico 2</b> Resultados del número de saponificación .....	75
<b>Gráfico 3</b> Resultados de la densidad.....	76
<b>Gráfico 4</b> Resultados del índice de acidez.....	76
<b>Gráfico 5</b> Concentración de Catalizador.....	78
<b>Gráfico 6</b> Porcentaje de etanol.....	78
<b>Gráfico 7</b> Tiempo en la prueba de diésel .....	78
<b>Gráfico 8</b> Tabla cruzada entre Na(OH) & Rendimiento .....	80
<b>Gráfico 9</b> Tabla cruzada entre porcentaje de etanol y rendimiento .....	81
<b>Gráfico 10</b> Resultados de la humedad y material volátil .....	82
<b>Gráfico 11</b> Resultados de las cenizas sulfatadas.....	83
<b>Gráfico 12</b> Resultados de la corrosión a la lámina de cobre.....	83
<b>Gráfico 13</b> Resultados de la densidad.....	84
<b>Gráfico 14</b> Resultados del punto de inflamación.....	81
<b>Gráfico 15</b> Resultados del poder calorífico .....	82
<b>Gráfico 16</b> Resultados de la viscosidad cinemática a 40°C .....	82
<b>Gráfico 17</b> Resultados del Índice de acidez.....	83
<b>Gráfico 18</b> Resultados del Índice de cetano .....	83
<b>Gráfico 19</b> Índice de Refracción.....	84
<b>Gráfico 20</b> Resultados de la densidad (Lubricante de carro usado) .....	84
<b>Gráfico 21</b> Resultados del índice de viscosidad (Lubricante de carro usado) .....	85
<b>Gráfico 22</b> Resultados del Punto de inflamacion (Lubricante de carro usado) .....	85
<b>Gráfico 23</b> Resultados del contenido de agua y sedimentos (Lubricante usado) .....	86
<b>Gráfico 24</b> Resultados de la gravedad API (Lubricante de carro usado).....	87
<b>Gráfico 25</b> Redimiento del Gasoil .....	91
<b>Gráfico 26</b> Resultados de agua y sedimentos del (Gasoil) .....	92
<b>Gráfico 27</b> Resultados del residuo carbonoso al 10% .....	93
<b>Gráfico 28</b> Resultados de la densidad (Gasoil).....	93
<b>Gráfico 29</b> Resultados de la gravedad API (Gasoil).....	90
<b>Gráfico 30</b> Resultados del punto de inflamación (Gasoil).....	94

<b>Gráfico 31</b> Resultados del contenido de cenizas (Gasoil) .....	95
<b>Gráfico 32</b> Resultados de la viscosidad cinemática a 40°C (Gasoil) .....	95
<b>Gráfico 33</b> Resultados de la temperatura de destilación al 90% (Gasoil) .....	92
<b>Gráfico 34</b> Volumen vs Temperatura .....	93
<b>Gráfico 35</b> Resultados del Índice de cetano calculado (Gasoil) .....	93
<b>Gráfico 36</b> Resultados del contenido de azufre (Gasoil) .....	94
<b>Gráfico 37</b> Resultados del poder calorífico (Gasoil) .....	94
<b>Gráfico 38</b> Comparación de los tres combustibles (Biodiesel, Gasoil, Diésel) .....	102

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1</b> Medición de la densidad con el picnómetro .....	32
<b>Imagen 2</b> Viscosímetro Rotacional .....	33
<b>Imagen 3</b> Colorímetro .....	34
<b>Imagen 4</b> Copa Cleveland .....	36
<b>Imagen 5</b> Porcentaje de humedad .....	37
<b>Imagen 6</b> Índice de saponificación en el aceite de palma .....	38
<b>Imagen 7</b> Matraz Erlenmeyer en un agitador magnético .....	40
<b>Imagen 8</b> Equipo para determinar la densidad del aceite lubricante usado. ....	41
<b>Imagen 9</b> Termohigrómetro Precisión API .....	44
<b>Imagen 10</b> Espectrofotómetro de absorción atómica .....	45
<b>Imagen 11</b> Filtrado del aceite de palma usado .....	47
<b>Imagen 12</b> Agitador Magnético .....	48
<b>Imagen 13</b> Reacción de Transesterificación .....	48
<b>Imagen 14</b> Fase de Sedimentación .....	49
<b>Imagen 15</b> Fase del Lavado .....	50
<b>Imagen 16</b> Fase Secado .....	50
<b>Imagen 17</b> Proceso de craqueo del aceite lubricante usado .....	52
<b>Imagen 18</b> Almacenamiento y Etiquetado de los hidrocarburos. ....	52
<b>Imagen 19</b> Proceso de rectificación del lubricante usado .....	53
<b>Imagen 20</b> Proceso de filtración .....	53

<b>Imagen 21</b> Determinación de Cenizas sulfatadas .....	55
<b>Imagen 22</b> Equipo para determinar corrosión a la lámina de cobre .....	56
<b>Imagen 23</b> Viscosímetro de Oswald.....	57
<b>Imagen 24</b> Refractómetro .....	59
<b>Imagen 25</b> Mufla.....	61
<b>Imagen 26</b> Calorímetro .....	62
<b>Imagen 27</b> Punto Nube en el Laboratorio.....	64
<b>Imagen 27</b> Mufla Memmer 800C .....	68
<b>Imagen 28</b> Residuo carbonoso en el fondo del crisol.....	71
<b>Imagen 29</b> Temperatura de destilación al 90%.....	68
<b>Imagen 30</b> Mufla Memmert. ....	68
<b>Imagen 31</b> Desmalezadora STIGASB 520. ....	72

# 1. CAPITULO

## 1.1.Introducción

Históricamente se ha evidenciado el uso de biocombustibles desde la antigüedad como una forma de energía alternativa que no es agresiva al medio ambiente. Desde el uso de madera para mantener la calidez en las casas hasta el uso de grasas y aceites vegetales durante el siglo XVIII para iluminar las principales ciudades de América y Europa, dan muestra del uso de este tipo de biocombustible que fue sustituido años más tarde por los combustibles fósiles que durante años han generado un profundo impacto ambiental cuyas consecuencias producen daños significativos y hasta irreversibles.

La idea de usar aceites vegetales como combustible para motores de combustión interna se remonta a principios del siglo XX cuando Rudolf Diésel decidió usar aceite de maní en su motor de compresión para impulsar como una de sus creaciones en la exposición de París el prototipo de ese motor. No obstante, con la llegada de los hidrocarburos fósiles, que presentaron notable ventaja ante los biocombustibles como mejor resultado para el funcionamiento de los motores y menor costo, éstos pasaron a ser la principal fuente de energía no sólo para los automóviles sino también para las grandes industrias que emergían en ese momento.

Sin embargo, a partir de la década de los años 70 los diferentes conflictos bélicos que se presentaban en ese momento en los territorios petroleros, crearon una crisis en ese mercado que permitió a los biocombustibles tener una presencia importante a nivel mundial (Ramos, Díaz y Villar, 2016). Es así como en 1988 se produce comercialmente por primera vez en Austria un tipo de biodiesel a partir de aceite de canola pues el creciente interés por su uso permite indagar en un mercado prometedor que años más tarde constituirá una de las principales alternativas para combatir el cambio climático en virtud de disminuir los recursos fósiles como una medida orientada a la sostenibilidad energética.

A finales del siglo XX, los biocombustibles se convirtieron en tema principal de diversas convenciones y encuentros ambientales debido a la alternativa que estos representaban en un momento histórico crucial para el impulso concreto de su producción. Es así, como se han creado una serie de políticas, instrumentos normativos y planes en materia de biocombustibles en el marco internacional y local de cada país a fin de crear las condiciones que permitan su producción de manera sostenible para hacer frente a los desafíos que esto supone (Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, 2013).

No obstante, si bien los biocombustibles han representado una importante alternativa a los combustibles fósiles altamente contaminantes para reducir los daños ambientales, existen riesgos que representan uno de los principales desafíos para los investigadores, organizaciones y demás personas cuya preocupación principal es el medio ambiente. Se trata de la ocupación de áreas naturales para ampliar las áreas de cultivo de las materias primas que pueden generar importantes efectos negativos en la biodiversidad lo que supone a la voz del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) una preocupación que expresan cuando afirman que “necesitamos asegurarnos de que no estamos creando más problemas de los que resolvemos”, haciendo alusión al incremento del uso de los biocombustibles (SGS Group, 2011).

Asimismo, otras de las sustancias que han tenido fuertes repercusiones en la degradación del medio ambiente, han sido los lubricantes que, bien sea minerales o sintéticos, generan fuertes impactos al convertirse en residuos, pues muchas veces son insolubles y producen una fuerte contaminación en la naturaleza. Al igual que el uso de combustibles fósiles, los lubricantes han desencadenado una serie de consecuencias negativas para el ambiente; sin embargo, su uso ha resultado indispensable para el desarrollo de las actividades en diversas áreas debido al papel que cumplen para el funcionamiento de máquinas y equipos tanto de industrias como en el sector automotriz.

De acuerdo a un estudio presentado por Gutiérrez y Otros (2012), los sectores que más lubricantes consumen son en el área automotriz (47%), industriales (32%), marinos y aviación (9.4%) y de procesos (11.3%). En este sentido, su uso se ha convertido en necesario pero su impacto ambiental sobre todo en temas residuos ha generado importantes consideraciones en los diferentes organismos internacionales y demás grupos que se han interesado por la preservación ambiental, a un punto en que actualmente, muchas empresas productoras de lubricantes han optado por crear procesos de reutilización de los aceites usados para generar biolubricantes.

Por tal motivo, el presente estudio está orientado a los biocombustibles que se pueden crear a partir de la reutilización de recursos como los aceites de palma y lubricantes de carros para la elaboración de combustibles de manera que representen una alternativa sostenible que reduzca los daños de los combustibles Fósiles al tiempo que disminuyan los riesgos que conllevan la producción de biocombustibles.

En este sentido, se presenta un estudio que permita determinar la factibilidad de esta propuesta a partir del desarrollo de tres fases que se presentarán por capítulos. De esta manera el Capítulo III presenta los antecedentes del estudio enmarcado, así como el

marco contextual y referencial que parte de una fundamentación teórica que aborda las principales variables de estudio, así como las composiciones físico-químicas de las sustancias que se evalúan en el desarrollo técnico-práctico de la Investigación, con la finalidad de crear un marco referencial y contextual que denote la importancia de este tipo de trabajos investigativos.

Posteriormente, el Capítulo IV desarrolla el estudio metodológico que se realizó para caracterizar los aceites usados y el aceite de palma identificando los materiales y métodos como el de transesterificación para obtener el biodiesel, la filtración, pruebas termodinámicas y los métodos físico-químicos que permiten la comprobación de la capacidad calorífica del producto obtenido y sus propiedades.

En cuanto al Capítulo V, presenta el análisis estadístico de los resultados obtenidos en el laboratorio de manera que puedan ser interpretados con el propósito de generar las respectivas conclusiones y recomendaciones del estudio.



## 1.2. Antecedentes

El uso de biocombustibles ha generado un importante incremento en la investigación, de esta materia que resulta cada vez más dinámico debido al desarrollo tecnológico e innovación que intervienen de manera relevante en estos procesos, y que contribuyen eficazmente en la generación potencial de conocimiento en materia energética sostenible. Este tipo de investigaciones se están desarrollando con la intervención multidisciplinaria e integrada donde convergen áreas de conocimiento como la botánica, la ingeniería agrícola, genética, biotecnología, biología sintética, ciencia o tecnología industrial cuyo proceso resulta en directas implicaciones respecto al tipo de materia prima a utilizar en la producción de biocombustibles (Ganduglia, 2009).

Los progresos en la investigación corroboran las ventajas del biodiesel sobre todo en la reducción de emisiones contaminantes y disminución en el desgaste de motores, comprobado por millones de pruebas en carretera que validan este tipo de biocombustible. En este sentido, estudios como el presentado por Veses y García (2016) permiten evidenciar la importancia de la transformación de aceites usados en biocombustibles, pues representan una alternativa sostenible que minimiza el posible impacto ambiental que causa la producción de este tipo de sustancias.

En dicho estudio se presenta una visión orientada a la mejora de los bioaceites obtenidos a partir de pirólisis de biomasa de origen lignocelulósico para la producción de biocombustibles de segunda generación. En consecuencia, los investigadores sostienen que, con este tipo de combustibles de carácter sostenible, obtenidos a partir del reúso de los residuos agrícolas o forestales, se genera una solución sostenible al atender un proceso adecuado que permita convertir la biomasa de forma sostenible y eficiente (Veses y García, 2016). En consecuencia, concluyen que el proceso de craqueo catalítico del bioaceite se presenta como una posible solución al problema medioambiental asociado con el uso de los combustibles fósiles, y como un método sostenible de producción de nuevos combustibles en fase líquida complementarios a dichos combustibles.

En este contexto, un estudio realizado en la Universidad Central del Ecuador titulado: *Formulación de un biocombustible a partir de los residuos de la industria extractora de aceite*, evidencia que los residuos de la fibra de la palma africana denominados como desechos de la industria agroalimentaria, tienen un elevado poder calórico que produce energía y que permite la elaboración de biocombustibles (Velasco, 2017). En este caso su estudio experimental consideró como materia prima del

biocombustible propuesto los residuos de la palma africana, tomando como muestra la raquis, la cascarilla de la nuez y la fibra de la nuez, para el respectivo proceso de caracterización cuyos resultados estadísticos fueron presentados de manera que evidenciaron la factibilidad de este biocombustible a partir de los residuos provenientes de la planta africana cuyos componentes poseen un poder calórico idóneo.

Por su parte, el estudio presentado por Torres y Antolínez (2016) dan cuenta de la importancia que tiene la disposición final de los residuos de aceites que resultan contaminantes y abrasivos al medio ambiente. De ahí, su interés por la generación de, entre otras cosas, biocombustible a partir de aceite de motor usado como una alternativa sostenible a la producción de biocombustibles en base a recursos naturales, pues se considera que las propiedades de estos aceites usados dependen de las bases lubricantes de los aditivos utilizados para mejorar su resistencia a altas temperaturas; en este contextos, el elevado poder calórico de estos aceites usados, resultan ser un potencial importante para ser utilizado como combustible.

Además de la justificación físico-química de la elaboración de biocombustible a partir de la reutilización de aceites usados, la investigación arrojó información relevante respecto a las políticas y normativas que permiten la factibilidad de este tipo de iniciativas para su comercialización, generando no sólo una alternativa sostenible desde el punto de vista ambiental, sino que resultan viables en materia comercial y de políticas ambientales que pueden apoyar este tipo de iniciativas.

En Ecuador, esta es una tendencia que ha ganado espacios significativos debido al interés de Ecuador en la producción de energías alternativas a pesar de ser el petróleo una de las principales fuentes de ingresos del país. No obstante, el Estado ecuatoriano ha hecho notable su preocupación por el medio ambiente con acciones como la incorporación de la naturaleza como sujeta de derecho a partir de la reforma constitucional del 2008, en la que hace referencia en el Artículo 413 a la promoción de la eficiencia energética por parte del Estado con el desarrollo y uso de energías renovables de bajo impacto que reduzcan el riesgo de “la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas y el derecho al agua” (Constitución de la República, 2008, p.182).

En este orden de ideas, existen múltiples estudios que se han orientado a la creación de biolubricantes a partir del uso de lubricantes residuales como base. Tal es el caso, de la investigación realizada por Rivea y Tello (2018) cuyo objetivo fue obtener un biolubricante a partir de una grasa residual de la industria avícola, para ello se realizó una

evaluación de sus propiedades, así como múltiples pruebas para obtener un biodiesel aviar con un bajo índice de acidez, evaluando para ello la densidad, viscosidad, acidez, % FAME y color.

Entre las conclusiones de este estudio destaca el bajo costo del aceite residual aviar como materia prima, asimismo se constató que el trimetilolpropano fue un reactivo óptimo para la producción de este tipo de biolubricante por tener mayores valores de viscosidad que le hace más resistente a la degradación de las grasas con el aumento de temperatura.

Por su parte, Ballesteros y Escandón (2018), presentaron el trabajo titulado: Síntesis y caracterización de una base biolubricante a partir de aceite de ricino y trimetilolpropano, el objetivo de este trabajo se basó en el aprovechamiento de los residuos de aceites lubricantes de origen mineral debido al problema que éste ha generado como uno de los principales contaminantes de afluentes y del suelo. En este contexto, se propone la creación de un biolubricante elaborado con un montaje experimental para la producción de biodiesel, una reacción por transesterificación del biodiesel de ricino con trimetilolpropano.

En consecuencia, cada uno de estos estudios así como la presencia normativa de las energías renovables en el marco legal del país, dan cuenta de la necesidad de realizar este tipo de investigaciones que permitan generar propuestas factibles para un área de interés nacional e internacional con importantes repercusiones en el medio ambiente y en la economía, pues representan las nuevas prácticas ambientales que contribuyen con el desarrollo sostenible que constituye una de las metas del milenio y la agenda 2030 que son el marco referencial internacional sobre los que se configuran los planes locales.

### **1.3. Justificación**

Actualmente a nivel mundial se está viviendo una crisis energética, puesto que los recursos naturales no renovables se están agotando continuamente, especialmente las reservas de petróleo y Ecuador no es la excepción, por tal motivo se realizó un plan piloto en el año 2010 con el fin de tener gasolina mezclada al 5% con Etanol y desde el 2013 se dispuso que el diésel de origen fósil contenga una mezcla de 10% de biodiesel (Lee et al., 2012), esto se ha llevado a cabo con la finalidad de mejorar la actividad agrícola y ambiental, considerando un crecimiento en el mercado de biocombustibles en el Ecuador (Alejandra & Cabrera, 2018).

La producción de palma ocasiona problemas ambientales, debido a que por sus extensas plantaciones generan deforestación y erosión al suelo, además de usar indiscriminadamente los pesticidas. Por otro lado, el aceite usado de palma representa una amenaza para los cuerpos de agua, en vista que, tanto las industrias alimentarias como los negocios de comida, lo desechan directamente al alcantarillado sin un tratamiento previo (Bessou & Pardon, 2016).

La mala gestión de los aceites usados es un grave problema que afecta al medio ambiente; por contener características tóxicas, baja biodegradabilidad, tienden a bioacumularse, y cada vez es más su volumen de producción. Estos suelen ser liberados a los cuerpos de agua, suelo o inclusive quemados hacia la atmósfera sin un tratamiento previo, lo que produce efectos nocivos en la salud humana y en ecosistemas (Peñafile Chiriboga, 2017).

De acuerdo a (Castillo, 2013) en el Ecuador se consumen al año unos 25 millones de galones de aceites lubricantes, los cuales son desechados una vez que han sido utilizados. Regenerándose una mínima cantidad de estos aceites de manera artesanal en microempresas.

Determinar la factibilidad de los aceites usados de palma y de lubricantes para la elaboración de combustibles, se ajusta a las tendencias que existen actualmente en materia de preservación ambiental y minimización del impacto que generan los combustibles fósiles. Al tiempo que se ajusta a las diferentes políticas internacionales, nacionales y locales en cuanto a la creación de energías alternativas como propuestas sostenibles para hacer frente a la degradación del ambiente.

En este contexto, la elaboración de esta investigación brinda una alternativa eficiente que se desprende de la práctica tanto académica como profesional al considerar

una problemática como base para generar soluciones. Es decir, se parte de una situación actual, se aplican los conocimientos teóricos y técnicos para transformar las sustancias contaminantes y residuales en nuevas sustancias energéticas.

Los beneficios que se desprenden de este trabajo investigativo repercuten social y ambientalmente, pues constituye una base para el desarrollo de energías alternativas que no sólo constituyen un paso para la sostenibilidad ambiental, sino que además puede contribuir con la mejora en la calidad de vida de las personas que se encuentran expuestas a la contaminación ambiental, del agua o del suelo.

## **2. CAPITULO: OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **2.1.Objetivo General**

Estudio de la factibilidad de los aceites usados de palma y lubricantes para la elaboración de combustibles

### **2.2.Objetivos Específicos**

- Obtener biodiesel por medio de la transesterificación
- Obtener diésel a partir de los aceites usados de carros mediante filtración
- Caracterización mediante métodos físicos químicos de los aceites usados y el aceite de palma
- Comprobar la capacidad calorífica del producto obtenido
- Comprobar mediante pruebas termodinámicas las propiedades del biodiesel
- Analizar estadísticamente los resultados obtenidos

### 3. CAPITULO: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Como se indicó inicialmente, el uso de biocombustibles se remonta a épocas ancestrales, no obstante, su comercialización e incidencia en el desarrollo económico mundial se da a partir de los beneficios que estos reportan como alternativa a los combustibles fósiles que generan cada vez mayor daño al ambiente y fuertes repercusiones en los mercados globales en una época donde el cambio climático ha supuesto una enorme preocupación en la comunidad internacional.

Las cifras en cuanto al uso de combustibles fósiles permiten ver la necesidad de buscar alternativas más favorables para el ambiente, pues en países desarrollados como Estados Unidos se consumen un total de 7,6 millones de toneladas de lubricantes al año, en Japón 2,2 millones de toneladas, en la Unión Europea 4,7 millones y en España 560.000 toneladas de aceite. A nivel mundial, se obtiene como resultado un aproximado de 40 millones de toneladas anuales de aceites usados para carros. De esta cantidad mencionada posiblemente se recicla la mitad, mientras que la otra mitad termina contaminando; el agua, el aire y el suelo (Barrera y Velecela, 2015).

El panorama mundial en la producción de biocombustible, ubica a América del Sur como el segundo mayor productor a nivel global con acciones como la de Brasil y su importante producción de bioetanol y biodiesel, por su parte Estados Unidos se considera el principal productor de biocombustible (Furtado, 2018).

En los últimos 15 años se han logrado grandes avances al ampliarse la variedad de aceites disponibles en el mercado. En 1988, en Austria, empezó a operar una planta de producción de biodiesel de aproximadamente 500 toneladas métricas (TM) por año. En los años siguientes se pusieron en operación nuevas plantas, hasta que, en 1991, en Austria, inició la primera planta a escala industrial, con una capacidad de 10,000 TM/año (Badillo-Corona, 2012).

Sin embargo, la creciente producción de biocombustible como principal alternativa al uso de hidrocarburos fósiles ha supuesto importantes riesgos ambientales sobre todo en la obtención de su materia prima que, al ser de origen natural y agrícola en su mayoría, exige un mayor uso de tierras para su producción, poniendo en peligro los ecosistemas y la biodiversidad de esas zonas (IICA, 2010).

Por tanto, los organismos internacionales han considerado estos riesgos como parte de los desafíos de utilizar esta alternativa energética, pues indican que las políticas tanto de seguridad alimentaria como biocombustibles se vinculan y exigen un tratamiento

conjunto. En consecuencia, se han realizado diversos proyectos sobre bioenergía y seguridad alimentaria a través de un conjunto de instrumentos detallados para realizar un análisis exhaustivo que permita evaluar el impacto de este tipo de programas (FAO, 2013).

Actualmente, existen diversas formas de producir biocombustibles como producto de los avances científicos e investigaciones que han propuesto vías como la bioquímica o la termoquímica como accesos a la generación de combustibles de segunda generación que son aquellos derivados de productos agrícolas y forestales y cuyas propiedades y componentes se aprovechan como recurso energético (FAO, 2008).

Para la obtención de biodiesel se aplican varios métodos y procedimientos que exigen técnicas específicas como la de transesterificación en aceites vegetales que consiste en un proceso donde se extrae el aceite de plantas oleaginosas y se realiza una reacción de conversión u alcoholísis en un solo paso y se caracteriza por ser un proceso que “elimina la etapa de extracción con solventes y evita los procesos de refinación del aceite incrementando el rendimiento de ésteres” (Benjumea, Agudelo y Ríos, 2009).

En este orden de ideas, el aceite de palma usado se ha convertido en un residuo ideal para la producción de biodiesel dado que es una materia prima de bajo costo porque no exige un tratamiento profundo como otros residuos debido a su bajo nivel de reutilización. Ecuador, es un país que reporta 240.000 toneladas de consumo de aceite de palma, de ahí que la recogida del aceite usado sea considerada por las autoridades como una práctica que permita la elaboración de biocombustibles en el país (Punina, 2018). Mientras que, los residuos de los aceites usados de carros también resultan factibles para la elaboración de Gasoil, en vista que el sector automotriz se encuentra creciendo cada vez más, por el aumento del número vehículos en las carreteras y esto provoca en consecuencia una alta demanda de lubricantes dependiendo de factores como; cambio de aceite a 5.000 Km o a casi 6.000 u 7.000 Km, tipo de motor, el clima, las condiciones del camino, el área donde se conduce el vehículo, etc. (Wladimir, 2018).

### **3.1. Aceites usados**

El aceite usado es proveniente de petróleo crudo o sintético que haya sido utilizado en sus diversas formas. Es una sustancia que se utiliza para lubricar motores de combustión interna, el cual tiene como propósito lubricar partes móviles del motor y reducir la fricción de estas (Jones, 2007). Además, la Agencia para Sustancias Tóxicas y para el Registro de Enfermedades (ATSDR), define a los aceites usados como un líquido

aceitoso, pardo negro, que es removido de un motor, ya sea de un automóvil o maquinaria cuando se cambia de aceite. Este producto resultante contiene químicos adicionales a causa de su uso como lubricante de motor, estos productos químicos del lubricante usado provienen de hidrocarburos, destilados del petróleo crudo y de aditivos usados para mejorar el rendimiento del aceite. La composición del aceite usado depende de tipo de lubricante empleado de la gasolina o diésel utilizado en el motor y la frecuencia del cambio de aceite (Peñañiel Chiriboga, 2017).

La velocidad de degradación del aceite es la rapidez con la que el aceite pierde sus propiedades físico-químicas iniciales, dependiendo básicamente del estado y mantenimiento del motor, de la calidad de partida de aceite, del tipo de combustible empleado, y del tipo de servicio al que está destinado el motor. Por lo que, la velocidad de degradación del aceite aumenta cuando se producen fallos o condiciones en el motor que introducen contaminante o deterioran los componentes propios del aceite (Giovanni, & Bonilla, 2011).

### **3.1.1. Funciones de los aceites usados**

Además de reducir el rozamiento entre las piezas tiene otras utilidades que aseguran el funcionamiento adecuado de la maquinaria como son: Eliminar impurezas, refrigerante, sellante, trasmisor de energía, anticorrosivo y anti desgastante (Llanos Correa, 2013).

Por otro lado, los aceites utilizados como lubricantes, líquidos hidráulicos, fluidos para la transferencia de calor, medios de flotación y entre otros propósitos similares se consideran como aceites usados (CAR/PL, 2001).

### **3.1.2. Contaminación ambiental por aceite de motor**

Las causas principales, según Payril y Desantez (2005), para que se produzca la contaminación del aceite en un motor puede ser: contaminación externa a través de los añadidos del aceite fresco que se realiza, por la admisión, por la ventilación del cárter; por desgaste de los componentes mecánicos, fugas internas y la degradación propia del lubricante; por los propios procesos de fabricación y o mantenimiento donde pueden quedar sustancias utilizadas para la limpieza de las piezas, residuos del mecanizado, ocasionando que el motor tenga un menor funcionamiento y por lo tanto exija el cambio de aceite con mayor frecuencia.



Entre los elementos del aceite automotriz, responsables de la contaminación ambiental, se encuentran: elementos metálicos de desgaste propio de las piezas, impurezas y polvos atmosféricos, productos carbonosos, productos de la degradación del aceite (lacas o barnices), agua, glicol, combustible y ácidos (Viteri y Jaramillo, 2011). Dado que, este tipo de aceites al ser vertidos o derramados tienen un efecto peligroso tanto para el ambiente como para la salud del ser humano, por ejemplo, si son expuesto a la luz solar y al aire son capaces de emanar compuestos tóxicos como Pb, Zn y Cr, mientras que al entrar en contacto con el suelo provocan la infertilidad del mismo (Barrera & Velecela, 2015).

### **3.1.3. Aceites de motor usados en Ecuador**

El parque automotriz del Ecuador al 2012 era de 1952163 vehículos. De acuerdo con varias consultas en el Ecuador se consumen al año unos 25 millones de galones de aceites lubricantes, los cuales son desechados una vez que han sido utilizados. El 60% corresponde exclusivamente al área automotriz, es decir que, 15 millones de galones se utilizan en los automotores por año (Pérez, 2015).

### **3.2.Lubricantes**

Los lubricantes son grasas derivadas de los combustibles fósiles y que se componen de aceites bases, espesantes y aditivos que, si bien mejoran la calidad de los procesos mecánicos, representan un riesgo ambiental en cuanto se convierten en residuo, debido a la cantidad de propiedades químicas que resultan perjudiciales a la naturaleza (Dietsche, 2005).

En este sentido, los lubricantes pueden ser minerales o sintéticos; en el primer caso, se obtienen tanto de la destilación atmosférica (se realiza a una presión cercana a la atmosférica) como de la destilación al vacío (genera un vacío parcial dentro del habitáculo para destilar sustancias por debajo de su punto normal de ebullición) a partir de la refinación del petróleo (Rivas, 2017).

En la tabla 1 básicamente se puede apreciar algunas de las propiedades de los lubricantes que deben cumplir con estándares a la hora de ser comercializados, los cuales dependen de un aceite base y ciertos tipos de aditivos empleados.

**Tabla 1** Características del lubricante

---

<b>Detergencia</b>	Acción que puede ejercer un lubricante sobre formaciones de lodo y carbón en las superficies al mantenerlos suspendidos en el aceite.
<b>Dispersancia</b>	Acción que puede ejercer un lubricante sobre las partículas de lodo y carbón para distribuir las en el aceite.
<b>Disolvencia</b>	Propiedad del lubricante de disolver las partículas de lodo y carbón o cualquier otro contaminante.
<b>Untuosidad</b>	Capacidad que tienen los fluidos de adherirse a la superficie por la que circulan.
<b>Viscosidad</b>	Característica fundamental que se relaciona con el espesor del aceite y que se determina de acuerdo a la oposición del líquido de fluir por un orificio.
<b>Inhibidor de espuma</b>	Reductor de espuma en el cárter para evitar la oxidación del aceite.
<b>Estabilidad Química</b>	Evita que el lubricante se degrade y forme compuestos químicos agresivos, resulta ser de las características más importantes de los lubricantes.
<b>Punto de congelación o de inflamación</b>	Puntos de temperatura que representan el límite para que los lubricantes cambien su estado o bien para congelarse o para alcanzar la inflamación.

---

Fuente: Rivas, 2017.

### 3.2.1. Clasificación de los Lubricantes

Según el trabajo realizado por Rivas (2017) los lubricantes minerales se pueden clasificar de acuerdo con su composición química y a su procedencia en: Aceites básicos parafínicos en los que predominan los hidrocarburos con bases de muy alto índice de viscosidad, mayores de 105cp o entre 85cp a 105cp; y los aceites básicos nafténicos, donde predominan los hidrocarburos con anillos saturados y cadenas ramificadas y cuyos índices de viscosidad son medio entre 40cp y 85cp o menores de 40cp.

Por otra parte, los lubricantes sintéticos se tratan de aquellos que tienen una base artificial que poseen mejores propiedades relacionadas con la estabilidad térmica, resistencia a la oxidación y viscosidad. No obstante, su uso es menor debido al elevado costo que tiene producirlos, pues al ser sintéticos, se crean en laboratorios y con procedimientos más exigentes y demandantes (Barrera & Velecela, 2015).

Aunque existen una gran variedad de lubricantes sintéticos, éstos han sido clasificados en 4 grupos principales como se puede observar en la tabla 2, que poseen características específicas que los hacen aptos para los equipos y aplicaciones para los que se determinen (CONUEE, 2018).

**Tabla 2** Lubricantes sintéticos, clasificación y características

<b>Grupo</b>	<b>Tipo de Lubricante</b>	<b>Característica</b>
<b>Hidrocarburos Sintetizados</b>	<i>Polialfaolefinas (PAO)</i>	De procedencia orgánica, son estructuras de hidrocarburos sin azufre, fósforo, metales ni ceras que proporcionan una excelente estabilidad térmica, gran fluides a baja temperatura, elevado índice de viscosidad, baja volatidad y buena resistencia a la oxidación.
	<i>Alquil bencenos</i>	Resultado de la reacción entre la olefina y un grupo benceno y otros componentes aromáticos, poseen buenas propiedades a baja temperatura como solubilidad, estabilidad térmica pero con un bajo índice de viscosidad.
	<i>Polisobutilenos (PIB)</i>	Base creada a partir de la polimerización de butenos e isobutilenos.
	<i>Ésteres</i>	Base sintética que deriva de la reacción de un ácido graso con un alcohol y resulta de muy difícil producción (2 de cada 5).
<b>Ésteres</b>	<i>Diésteres</i>	Proporcionan buena lubricidad, detergencia y dispersancia. Poseen buena estabilidad térmica, baja volatilidad y alta solvencia para aditivos con un índice de viscosidad de 140cp.
	<i>Ésteres de poliol</i>	Tienen mayor estabilidad a altas temperaturas que los diésteres y operan a baja temperatura con un elevado índice de viscosidad y una baja volatilidad; tienen una elevada detergencia y dispersancia con mayor biodegradabilidad y estabilidad de oxidación que los diésteres.

<b>Polialquile n Glicoles (PAG)</b>	<i>Ésteres de fosfato</i>	Base sintética que se obtiene con la reacción del oxiclorigo de fósforo con alcoholes o fenoles. Poseen excelente resistencia al fuego y punto de autoignición, así como excelente lubricidad y adhesividad, baja volatilidad y una moderada estabilidad térmica.
	Se obtienen por la polimerización de una mezcla en mayor o menor proporción de óxidos de etileno y de propileno. Tienen alta capacidad de antidesgaste y de baja fricción, buena estabilidad química y térmica con un índice de viscosidad elevado y bajos puntos de fluidez, biodegradables pero también insolubles e incompatibles con otros lubricantes.	
<b>Siliconas</b>	<i>Silicatos</i>	Compuestos orgánicos formados por moléculas de silicio y oxígeno, poseen elevados niveles de viscosidad, bajos puntos de fluidez, buena estabilidad térmica y de oxidación. Resistentes al fuego e impermeables. Su baja tensión interfacial les impide formar una lubricación efectiva.
	<i>Siloxanos</i>	Poseen buenas propiedades de viscosidad y estabilidad térmica ante la oxidación, son altamente solubles en agua y tienen un amplio rango de temperaturas para trabajar. Excelente estabilidad térmica que les permite trabajar a elevadas temperaturas, ofrecen gran resistencia a la oxidación y a la radiación pero su viscosidad les impide trabajar a bajas temperaturas.

**Fuente:** Rivas, 2017.

La selección de los lubricantes responden básicamente a la aplicación que se les vaya a dar, las condiciones de operación y sus costos, pues de ahí dependerá la viscosidad que se requiera, los aditivos adecuados, la procedencia necesaria (mineral o sintético) y sus costos.

### 3.2.2. Estimación de la generación de aceites lubricantes en Cuenca-Ecuador.

Según la base de datos de la EMOV 2012, en Cuenca se encuentran funcionando con el permiso respectivo los siguientes sectores del parque automotor.

En la tabla 3 de acuerdo con la información recopilada a mecánicas en la ciudad, se puede armar un listado para determinar en promedio la producción de aceites lubricantes usados en el sector automotriz; como son los taxis legales 3615 unidades, buses interprovinciales 71 unidades, buses Urbanos 830 unidades, camiones carga pesada 360 unidades, camiones carga liviana 591 unidades y busetas 676 unidades. De estos se tendrían un total de 6089 unidades móviles por lo que el total de autos particulares serían de 78911 en el cantón Cuenca (Viteri y Jaramillo, 2011).

**Tabla 3** Estimación de la generación de aceites lubricantes usados en Cuenca

<b>Tipo Automotor</b>	<b>Total de Automotores</b>	<b>Consumo Automotores Medio mensual (galones de tipo aceite por tipo de motor)</b>	<b>Consumo Total mensual de Aceites Lubricantes usados (galones)</b>
Sector Privado	78911	1	78911
Taxis	3615	1	3615
Buses	901	5	4505
Carga Pesada	305	5	1525
Carga Liviana	591	2	1182
Buseta			
Escolares	676	1,5	1014
Total	85000	-	90752

**Fuente:** Viteri y Jaramillo, 2011.

El consumo mensual es 90752 galones por parque automotor de Cuenca al año se estaría manejando un volumen de 1'089024 galones. De esta manera la generación de aceites lubricantes para Cuenca en el año 2011 fue 871219.2 galones. Según datos de la Empresa ETAPA EP que recolección en el año 2011 fue de 431325 galones, por lo que el programa manejado por la empresa municipal recolecta tan solo 49,51% (Vázquez Guillén, 2013).

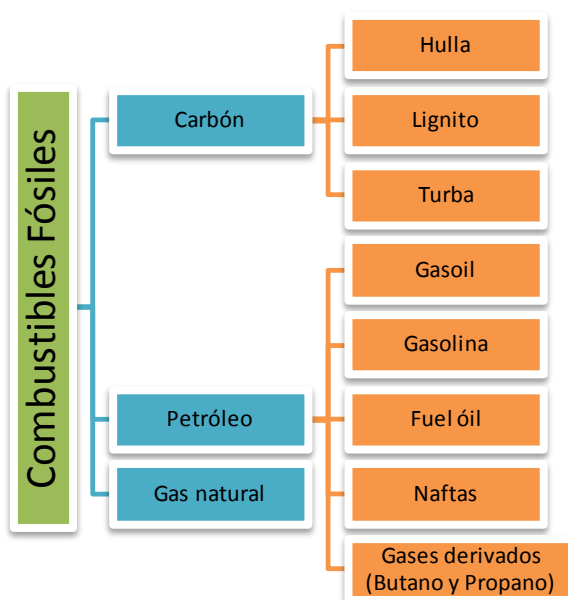
### 3.3. Combustibles Fósiles

El origen de estos combustibles se remonta al menos a unos 10 mil siglos atrás, pues son el resultado de largos y complejos procesos geológicos que se han desarrollado en el interior de la tierra donde gran cantidad de residuos de antiguos microorganismos,

animales y plantas que en algún momento existieron se han acumulado y mezclado con sedimentos y elementos químicos (Rice, 2017).

En relación con los combustibles fósiles, si bien generaron una vía fundamental para el desarrollo energético debido a los beneficios que reportaron a la industria y a la sociedad en general, las consecuencias que se han desprendido en materia medioambiental y de sostenibilidad debido a los efectos adversos de sus propiedades han generado una crisis global que ha decidido atender a las alternativas que se pueden generar a los combustibles fósiles. Es preciso entender, que el uso de este tipo de combustible ha generado efectos negativos y hasta irreversibles debido a las propiedades que lo caracterizan y que configuran una información determinante tanto para el estudio del impacto de este tipo de combustibles como para la creación de alternativas sostenibles (Morillo, 2013).

Los tipos de combustibles fósiles son sustancias como el petróleo, el carbón y el gas natural (Véase figura 1) que tienen una alta densidad energética, lo cual ha permitido que estos se extraigan, manejen y transporten desde siglos pasado, pues han sido determinantes en el desarrollo de la civilización sobre todo a partir de la revolución industrial (Peláez, 2015).



**Figura 1** Tipos de Combustibles Fósiles.

**Fuente:** Peláez, 2015.

Cada uno de los tipos de combustibles fósiles descritos en la figura 1 han sido representativos en el desarrollo económico, político y social; esto debido a que su uso responde a los avances que se han originado con el pasar de los años en busca de una

mejor calidad de vida. No obstante, la comercialización de cada uno de ellos ha supuesto importantes procesos que conllevan una cantidad de alteraciones ambientales con profundos impactos en detrimento de la naturaleza, ya que son sustancias que exigen una extracción, procesamiento y transporte que, si bien ha generado sustanciales beneficios comerciales y económicos, también ha sido motivo de confrontaciones y guerras entre los poderes que dominan el escenario global en territorios donde yacen estos recursos (ACOSTA et al., 2009).

### 3.3.1. Propiedades de los combustibles

En este particular es necesario considerar que existen propiedades que se relacionan con la composición del combustible que resultan de gran importancia al momento de exponerlos a los diferentes procesos. De esta manera, en la tabla 4 se detallan las propiedades de los combustibles donde las más relevantes son la humedad, volatilidad, viscosidad, punto de cristalización etc. (Muñoz y Rovira, 2014).

**Tabla 4** Propiedades del combustible

<b>Propiedades del combustible</b>	<b>Incidenia</b>
<i>Humedad</i>	De acuerdo al grado de humedad que el combustible tiene, se determina la composición de agua en peso que éste contiene. El agua en el combustible resta poder calorífico y es una de las principales características de los combustibles sólidos.
<i>Contenido en volátiles</i>	Indica la composición en peso de los componentes más volátiles del combustible, fundamentales para facilitar la ignición.
<b>Propiedades relacionadas con la composición</b>	
<i>Contenido en azufre</i>	No es deseable debido al impacto ambiental de su combustión que origina SO <sub>2</sub> . Por tanto, debe reducirse, mas no eliminarse completamente debido a la lubricidad que aporta el azufre a los combustibles líquidos.
<i>Contenido en oxígeno</i>	Debido a que el oxígeno es un comburente, mientras mayor sea su composición en el combustible, menor es el poder calorífico y mayor el dosado estequiométrico.

---

<b>Propiedades Físicas</b>	<i>Volatilidad</i>	Cuando una sustancia líquida tiende a vaporizarse en determinadas condiciones de temperatura y presión. Se mide por la presión de vapor ya que mientras ésta aumente, mayor será la tendencia del combustible a evaporarse.
	<i>Calor latente de vaporización</i>	Se trata del calor que debe ser absorbido por el combustible del entorno con la finalidad que pase de un estado líquido a gaseoso.
	<i>Viscosidad</i>	Se relaciona directamente con los combustibles líquidos y su poder lubricante, generalmente considerada de forma determinante en el diseño de sistemas de alimentación.
	<i>Punto de cristalización</i>	Se trata de la temperatura que comienza a aparecer en los primeros cristales sólidos al someter al combustible a bajas temperaturas.
	<i>Estabilidad térmica</i>	La estabilidad térmica mide la resistencia de un combustible a degradarse a alta temperatura.

---

**Fuente:** Muñoz y Rovira, 2014.

### **3.3.2. Impactos ambientales generados por los combustibles fósiles**

La gran demanda a nivel mundial de los combustibles como la gasolina en el sector automotriz generan impactos ambientales como: la lluvia ácida, el hollín, la desertificación del suelo, la contaminación del agua y el aire, el desgaste de la capa de ozono y la contaminación del aire (Albarrán & Amateco, 2015), este último en especial generado por la quema de combustibles fósiles en plantas de energía y humos industriales, siendo el responsable de la muerte de medio millón de personas en el mundo. Llevando consigo consecuencias sociales, como pérdida de bienestar, pobreza alimentaria entre otras (Ferrís i Tortajada et al., 2001)

Con el problema de contaminación se encuentra el fenómeno del calentamiento global produciéndose tales cambios a diversas escalas de tiempo y sobre todo los parámetros climáticos, como temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. La principal causa de este fenómeno son los gases de efecto invernadero sobre todo dióxido de carbono, pero también metano y óxidos de nitrógeno, que se producen al quemar carbón, petróleo o gas (ACOSTA et al., 2009).

El desecho de residuos tóxicos como las variedades de aceites, son altamente contaminantes, un litro de aceite usado contamina un millón de litros de agua, siendo los



principales problemas que enfrenta la población es la mala gestión de estos aceites por lo que han mermado la calidad vida. Se calcula que todavía dos de cada tres litros de aceite usado con fines culinarios acaban en el alcantarillado (Andrade, Arteaga, & Segura, 2017).

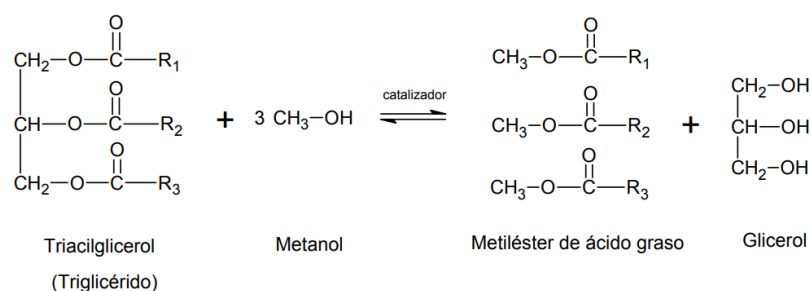
### **3.4. Combustibles Alternativos**

Se tratan de las diferentes alternativas energéticas que se presentan al uso de los combustibles fósiles que también son reconocidos como no convencionales o biocombustible, los cuales, se refieren a cualquier tipo de carburante que se derive de la biomasa (plantas y sus derivados) y pueden ser de primera generación cuando provienen directamente de materias primas que tienen usos alimenticios y surgen a partir de la aplicación de tecnologías sencillas como la fermentación y transesterificación y los de segunda generación que abarca aquellos producidos con tecnologías convencionales utilizando como materia prima especies arbustivas o residuos alternativos (Ganduglia, 2009).

Los biocombustibles como bioetanol y biodiesel, no sólo representan una alternativa ambiental, sino que además su producción genera importantes beneficios sociales a partir del desarrollo económico rural que proporcionan, pues constituyen un impacto positivo en el empleo agrícola, crea nuevas oportunidades para los pequeños agricultores (Serna, Barrera, & Montiel, 2011).

### **3.5. El Biodiesel**

El biodiesel es definido como un combustible alternativo a los hidrocarburos fósiles, conformado por monoalquilésteres de ácidos grasos de cadena larga, derivados de aceites vegetales o grasas animales. El método más extendido para producirlo es la transesterificación, que consiste en hacer reaccionar los triglicéridos de las grasas y aceites naturales con un alcohol para producir ésteres (Ortiz et al., 2016.) obteniendo como subproducto la glicerina. La figura 2 muestra la reacción que transforma las moléculas de triglicéridos, grandes y ramificadas, en moléculas de ésteres alquílicos, lineales, no ramificadas, de menor tamaño y muy similares a las del petrodiesel (Zapata, Henao, Martínez, y Arenas, 2007).



**Figura 2** Reacción de transesterificación de un triglicérido para producir biodiésel  
**Fuente:** Zapata, Henao, Martínez, y Arenas, 2007

Las variables con mayor incidencia para la obtención de biodiesel son: los porcentajes de catalizador y alcohol en relación al aceite utilizado y la temperatura. La concentración del catalizador puede variar de entre 0.25% hasta el 6% en peso con respecto al aceite (Ortiz et al., 2016), mientras que las temperaturas encontradas en su mayoría se fijan en 60°C, pero los intervalos están entre 37°C a 75°C (Pedro, John, & Gabriel, 2004).

Entre las ventajas medioambientales más significativas, del biodiesel respecto al diésel se considera la reducción de emisiones de compuestos de azufre hasta en un 20 % respecto al combustible diésel, 10% de monóxido de carbono (CO), 14% de hidrocarburos (HC) y 26% de partículas sólidas (Antonio & Álvarez, 2013).

### 3.5.1. Extracción de aceites vegetales

Primero se recolecta los frutos de palma, luego se lavan a fondo para eliminar las impurezas y los insectos en caso de haberlos. Las frutas más finas seleccionadas se secan en un horno a 100°C durante 2 horas. Los frutos secos se cortan en cuatro trozos a lo largo y la pulpa se separó de las semillas. Para extraer el aceite de la pulpa se utiliza el solvente hexano durante 12 horas. Los volátiles se eliminan al vacío durante la noche, dando el aceite de palma en forma de un líquido amarillo anaranjado que se cristaliza parcialmente al dejarlo a temperatura ambiente (Velayuthan, 1980).

### 3.5.2. Catalizadores

Pueden clasificarse como homogéneos o heterogéneos. Los catalizadores homogéneos son disoluciones como el hidróxido de sodio o potasio; y los heterogéneos son suspensiones o dispersiones como algunos óxidos metálicos o polímeros (Anal, 2015).

Los catalizadores pueden ser; ácidos (ácido sulfúrico, ácidos sulfónicos, ácido clorhídrico) este tipo de catálisis generan un alto rendimiento en la producción de esteres

de alquilo, pero el proceso es muy lento y la glicerina es difícil de recuperar; los básicos (hidróxido sodio, hidróxido potasio, y carbonatos) se originan altos rendimientos de hasta un 95% en tiempos relativamente cortos además de recuperar la glicerina y finalmente los enzimáticos (lipasas) que está a comparación de las dos anteriores no suelen ser muy utilizada debido a que la reacción tiene un rendimiento menor (Zapata, Henao Uribe, Martínez, & Arenas Castiblanco, 2007).

### **3.5.3. Presencia de ácidos grasos en el aceite vegetal**

Los triglicéridos, se compone de diferentes composiciones de ácidos grasos que influyen en las propiedades físicas y químicas de los aceites vegetales y grasas animales (khalizani, Khalid, Khalisanni, 2011). Existiendo por tanto dos tipos fundamentales de ácidos grasos que son: los ácidos grasos saturados que contienen enlace simple carbono-carbono y ácidos grasos insaturados que incluye uno o más dobles enlaces carbono-carbono. Los ácidos grasos comunes que se encuentran en las materias primas lipídicas son el ácido palmítico. La presencia de ácidos grasos como fosfolípidos, carotenos, tocoferoles, compuestos de azufre y agua también podrían estar presentes en aceites vegetales (Avhad & Marchetti, 2015).

### **3.5.4. Producción de Biodiesel a partir de aceites usados**

Si bien pueden emplearse distintos tipos de materia prima en la producción del biodiesel, entre ellos destacan; los de primera generación (aceites o grasas comestibles), los de segunda generación (materias primas no comestibles o residuos de alimentos) y los de tercera generación (tecnologías nuevas, como por ejemplo algas) (Antonio & Álvarez, 2013). En la práctica, el biodiesel se puede producir a partir del aceite de cualquier oleaginosa; sin embargo, los aceites más empleados en las plantas productoras del biocombustible son el aceite de soja, palma y colza. Cabe mencionar que las grasas animales son altamente viscosas y en su mayoría sólidas a temperatura ambiente, debido a su alto contenido de ácidos grasos saturados, por lo que su uso como combustibles puede conducir a mala atomización del mismo, y en consecuencia de una combustión incompleta (Tovar, Tejada, Ortiz, & Rodríguez, 2013), dando como rendimiento en un 85%, para la grasa de cerdo a una temperatura de 60°C; mientras que la grasa vacuna que es sometida a un proceso de pirolisis a una temperatura que oscila entre los 100°C y 180°C da como rendimiento un 90% (Tejada, Tejada, Villanoba, & Monroy, 2013).

El coste de la materia prima figura aproximadamente el 70% del coste total de producción de biodiesel, por lo cual será necesario partir de materias primas cuyos

cultivos tengan las mayores productividades por hectárea o aceites de bajo coste como, los aceites usados que son en su mayoría desechados directamente al desagüe sin tratamiento previo (Agrarias, Sarand, & Naturales, 2007).

En estudios previamente realizados han empleado como materia prima el aceite de cocina usado se ha evaluado el uso de catalizadores sólidos, reactores de membrana, tiempos y temperaturas durante la reacción; además, dichos estudios concluyen que el rendimiento al emplear aceite vegetal usado es similar al obtenido con aceite virgen (superior al 90 %), pero con reducción de costos entre 60 y 90 %, y con pureza cercana al 99,8 % al usar fluidos supercríticos (Malag & Tom, 2016). Por otro lado, poseen valores elevados de ácidos grasos libres (0.7% - 41.8%) y agua (0.01% - 55.38%), aunque estas variables reducen significativamente la eficiencia de transesterificación en convertir la materia prima en biodiesel (Canakci, 2005). Además de presentar la menor vida de almacenamiento por efecto de la autooxidación, esto es provocado por la destrucción de antioxidantes producto del calor del freído del aceite comparado con el biodiesel producido a partir de aceites refinados los cuales presentan una mayor estabilidad de almacenamiento (Mis & Kevin, 2008).

Lo esperado del uso mundial del biodiesel es que se incremente (4.8 mil millones de galones) se prevé que el uso en Indonesia llegará a 3.9 mil millones de galones en 2026. Se estima que, en Brasil, Argentina aumentará para 2026 a 5.4 mil millones de galones. La mayoría de los países parten de niveles muy bajos de consumo y su cuota de biodiesel en combustible tipo diésel en términos de volumen se mantendrá entre 1% y 3%. En la Unión Europea se proyecta un consumo de 33.6 mil millones de galones en 2016 a su nivel más alto de 14.6 mil millones de galones en 2020, Alemania es uno de los países que usa el biodiesel al 100% B100 (FAO, 2016).

### **3.5.5. Métodos de obtención para el biodiesel**

- Transesterificación: se refiere a la reacción entre un aceite o grasa, la cual transforma las moléculas de triglicéridos, en ésteres. Las principales variables que influyen en su rendimiento, conversión y cinética son la calidad de la materia prima, el tipo y cantidad de catalizador, el tipo de alcohol, la relación molar alcohol/aceite y las condiciones de reacción como temperatura, presión y agitación (Pisarello, 2010).
- Pirolisis: En este método la biomasa se calienta rápidamente en ausencia de oxígeno, dando como resultado la descomposición en gases y estos a su vez son

condensados para obtener un líquido denominado bio-oil, utilizado como combustible para vehículos de transporte, mediante el tratamiento de algunas propiedades negativas como la acidez, el alto contenido de oxígeno, la viscosidad y el bajo poder calorífico (Arteaga, Arenas, López, Sánchez, 2012).

- Microemulsión: son dispersiones (de aceite, agua, tensioactivos y a menudo, una pequeña molécula, llamada co-tensioactivo) isotrópicas, transparentes y termodinámicamente estables. A través de este proceso se puede obtener un combustible de baja viscosidad, pero la inyección de este combustible en un motor no resulta eficiente y da lugar a una combustión incompleta (López, Gabriel, & Fernández, 2011).

### **3.6. Gasoil (Diesel#2)**

Es un producto que se obtiene a partir de la destilación y la purificación del petróleo crudo, este combustible se emplea en los motores diésel de combustión interna, en los cuales, por la elevada temperatura que registra el aire comprimido en su cilindro, el combustible se auto inflama cuando es inyectado en la cámara. No obstante, entre sus aditivos (hidrocarburos, isoalcanos, nitrato de etilhexil y queroseno) se encuentran sustancias que ayudan a disminuir el consumo, bajar las emisiones contaminantes y proteger el sistema de inyección por ende ayudan a mejorar las condiciones y prestaciones de los motores (Bastidas y Bolaños, 2014).

El consumo de los gasóleos como combustible se inició en 1910 cuando se sustituye el carbón por el gasóleo debido a la superioridad calorífica de este con relación al carbón mineral, ya que el gasóleo genera aproximadamente 10500 cal/kg, mientras que un buen carbón sólo proporciona 7000 cal/kg. De ahí en adelante, este tipo de alternativas han ganado espacios importantes en cuanto a la energía renovable a pesar de ver en su camino barreras que se han presentado con la aparición de los combustibles fósiles que, si bien en su momento la desplazaron, hoy día son el motivo por el que se consideran la mejor opción en materia energética (Morales & Hernández Guzmán, 2014).

La industria europea de biolubricantes se considera la más avanzada del mundo, lo que se estima que Europa cuenta con un adelanto de 10 años en materia de ventas y aceptación de biolubricantes en comparación con Estados Unidos de América. Los biolubricantes representan alrededor de 20% de total del mercado de lubricantes en Europa. Existen más de 1.700 fabricantes de lubricantes a nivel mundial, de los cuales se calcula que existen de 80 fabricantes enfocados únicamente a biolubricantes, ninguno de

ellos se encuentra en Ecuador, estos fabricantes independientes cubren el 80% del mercado. El otro 20% lo tienen las multinacionales como Shell, Total y M6vil ya que son capaces de proveer de biocombustible al mercado, pero no lo han hecho debido, a que no representan una rama de negocios significativa (Luzuriaga, 2010).

### **3.6.1. M6todos de obtenci3n del Gasoil a partir de aceites usados de carros**

#### **3.6.1.1. Craqueo T6rmico**

Considerado como la degradaci3n de cadenas de hidrocarburos pesados en livianos, usando altas temperaturas y sin usar catalizador, en este tipo de procesos se emplean temperaturas que van desde 329 °C a 371 °C a presi3n atmosf6rica, obteniendo un combustible que se encuentra constituido por hidrocarburos de cadenas que van de doce a veinte carbonos (Ortega, 2010).

El proceso de la patente de Wansbrough para obtener gasoil consiste en: precalentar la materia prima a temperaturas comprendidas entre 329°C y 371°C en un reactor de craqueo, luego el producto craqueado se dirige hacia una columna de destilaci3n fraccionada, obteni6ndose hidrocarburos livianos los cuales son usados como combustible para el reactor t6rmico y los hidrocarburos medianos (gasoil) que pasan posteriormente por un proceso de filtraci3n, que consiste en una serie de finas matrices que atrapan part6culas de tama1os peque1os. Finalmente se culmina con el almacenamiento del combustible y para que no se torne oscuro se a1ade en algunos de los casos un estabilizador de olefinas llamado Stabil-AD 5300 (Wansbrought, Robert, 1999).

#### **3.6.1.2. Hidro-craqueo catal6tico de aceite usado para producir combustibles l6quidos**

Consiste en el craqueo del aceite usado, con la ayuda de un catalizador s3lido (zirconia sulfatada) en presencia de hidr3geno. Seg6n el estudio realizado por Permsubscul explica una serie de pasos, entre ellos: filtraci3n del aceite para remover las part6culas s3lidas; evaporaci3n para eliminar el agua excedente; extracci3n de contaminantes como aditivos, impurezas y part6culas carbonosas; reacci3n en un micro reactor cil6ndrico de acero inoxidable, donde reacciona con el hidr3geno suministrado con la ayuda de zirconia sulfatada y finalmente la filtraci3n al vac6o para separar el l6quido de productos s3lidos (Ortega, 2010).

### **3.7. Propiedades Físicoquímicas del Biodiesel y el Gasoil**

#### **3.7.1. Azufre**

Según la ASTM D4294, es el método de prueba estándar para determinación de azufre en petróleo mediante espectrofluorimetría de rayos X por dispersión de energía. Es una técnica de muestreo versátil, rápida y no destructiva, que reconoce un gran número de elementos químicos y presenta los resultados en tiempo real (Morillo, 2013).

La determinación de este parámetro sirve para identificar; la contaminación ambiental por la emisión de SO<sub>x</sub> de los gases producidos en la combustión y como afecta a las partes mecánicas de un motor. Cuando se producen daños debido a la presencia de azufre en el combustible, habrá pocos cambios en la potencia del motor (Sánchez, 2008).

#### **3.7.2. Viscosidad cinemática**

El ASTM D445-18 resulta un método de prueba específica, es decir, un procedimiento para la determinación de la viscosidad cinemática,  $\nu$ , de los productos obtenidos, tanto transparentes como opaco, mediante la medición del volumen de un líquido que fluye por gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado. La viscosidad dinámica,  $\eta$ , puede obtenerse mediante la multiplicación de la viscosidad cinemática,  $\nu$ , por la densidad,  $\rho$ , del líquido. Este parámetro tiene en cuenta la resistencia a deformaciones graduales, en otras palabras, indica la forma con la que el combustible se desliza por las diferentes partes del motor, dependiendo directamente de la temperatura, en caso de existir una viscosidad alta, puede llegar a obstruir los filtros del motor (Pisarello, 2010).

$$\text{Viscosidad Cinemática (centistoke)} = \frac{\eta}{\rho}$$

$$\text{Viscosidad dinámica (cP)} = \nu * \rho$$

#### **3.7.3. Gravedad API (°API)**

Por su parte el, ASTM D1298 abarca la determinación en laboratorio, mediante un densímetro de vidrio, determinando cuán pesado o liviano es el petróleo, esto es muy relevante a nivel comercial, puesto que uno liviano requiere menos refinamiento que otro pesado que es relativamente más costoso. En vista de que la gravedad varía con la temperatura, y siendo deseable referirla a una temperatura uniforme, la gravedad se corrige para una temperatura fija equivalente a 15.6 °C (60 °F), para lo cual se emplean tablas oficiales de corrección (González, 2012).

#### **3.7.4. Punto de Inflamación**

Es la temperatura mínima a la cual se produce la inflamación momentánea del vapor de la muestra y la propagación de la llama a través de la superficie del líquido, ante la aplicación de una llama. El punto de inflamación está directamente relacionado con el contenido de metanol, por lo tanto, para que un biodiesel cumpla las especificaciones, será indistinto que se determine un contenido menor de 0,2% de metanol o un punto de inflamación mayor a 130°C. Recientemente la norma ASTM D 6751 ha implementado el uso opcional de uno u otro análisis para cuantificar el contenido de metanol (Pisarello, 2010). Norma EN ISO 3679 / ASTM D 93: se introduce un volumen dado en el vaso de ensayo, el cual se calienta la muestra a una velocidad preestablecida, y se aplica periódicamente la llama del piloto, hasta que se produce la inflamación.

#### **3.7.5. Destilación-Punto Inicial de Ebullición (P.IE)**

Destilación ASTM 86 se trata destilar en un matraz convencional de unas dimensiones especificadas, al que se adosa lateralmente al condensador de agua. El condensado se recoge sobre una probeta aforada de 100mL, el volumen de muestra es 100mL. El calentamiento del matraz debe realizarse de forma determinada para asegurar una velocidad de condensación adecuada. Se van tomando lecturas de temperatura desde punto inicial determinado por el valor de la temperatura cuando cae la primera gota de líquido en el extremo del condensador (Pilliza & Montalvo, 2016). Cabe señalar que este parámetro indica el rendimiento y desempeño del combustible, así mismo se relaciona con el buen funcionamiento del motor, pues influirá en el arranque, calentamiento o bloqueo de vapor a altas temperaturas afectando el grado de combustión sólida (Alejandra & Cabrera, 2018).

A partir de ese momento se toman las lecturas de temperatura cuando ha comenzado el 50 y 90% destilado, como se describe en la tabla 5. Se toma como punto final de destilación máxima temperatura a que se llega durante el proceso de destilación y que normalmente coincide con la separación del líquido en el matraz. La norma ASTM D 86 se emplea para la determinación de la curva de destilación o norma equivalente (Wauquier, 2004).



**Tabla 5** Porcentajes de destilados

<b>Destilación</b>	<b>Detalle</b>
Destilación al 50% (°C)	Relaciona el manejo y la potencia
Destilación al 90% (°C)	Relaciona la dilución del aceite en el motor

**Fuente:** Benjumea, Agudelo y Ríos, 2009.

### **3.7.6. Corrosión a la lámina de cobre**

Este método determina la acción corrosiva del biodiesel sobre el cobre. Norma ASTM D 130 / EN ISO 2160: consiste en sumergir una lámina pulida de cobre en una cantidad determinada de muestra y se calienta en condiciones de temperatura y tiempo especificadas. Al finalizar el tiempo de calentamiento, se retira la lámina de cobre, se lava y el color se compara con los patrones de corrosión (Pisarello, 2010).

El método de ensayo de esta prueba tiene como finalidad cuantificar el poder anticorrosivo para prever la acción corrosiva del combustible sobre aleaciones metálicas presentes dentro del motor (Alejandra & Cabrera, 2018).

### **3.7.7. Cantidad de Agua**

Los aceites refinados suelen tener niveles de humedad menores al 0,1%, los aceites crudos generalmente contienen entre 0,1 y 0,3%, mientras que los aceites ácidos, por ser de naturaleza más polar, pueden tener mayores niveles de humedad.

Norma ASTM E203: mediante el método Karl Fisher por valoración coulombimétrica. Esta medición cuantifica los miligramos de agua presentes en 1 kilogramo de muestra. Esta técnica es adecuada para muestras con bajos contenidos de agua, además esta prueba sirve como una guía para determinar factores como, la contaminación por agua debido al contacto con el aire húmedo en el proceso de almacenamiento o cambios drásticos en la temperatura atmosférica que produzcan condensación de humedad (Arias, Teuta, y Parra, 2011)

### **3.7.8. Color**

Método ASTM D1500 en el que se emplea una fuente de luz estándar, una muestra de líquido se coloca en el recipiente de ensayo y se compara con los discos de vidrio del colorímetro que van desde 0,5 a 8,0 de cristales coloreados. Cuando no se encuentra una

coincidencia exacta y el color de la muestra se encuentra entre dos colores estándar, se informará el mayor de los dos colores (González, 2012).

### **3.8.Bases Legales**

Los combustibles alternativos o biocombustibles han sido objeto de estudio e interés global debatido en escenarios internacionales debido a las repercusiones que éste tiene no solo en materia ambiental sino en la economía y el comercio, ya que no sólo representa una alternativa para reparar los daños y disminuir los riesgos que producen los combustibles fósiles en materia ecológica, sino que además representan una opción comercial dentro del mercado energético mundial.

En este contexto, es preciso citar el Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático de la ONU en 1997 reconocido como el Protocolo de Kyoto que reunió a un conjunto de naciones para hacer frente al impacto climático en virtud de reducir sus efectos. En el marco de dicha convención, las propuestas que surgieron para tal fin se orientaron a la búsqueda de energías alternativas renovables y menos contaminantes que los derivados de los combustibles fósiles que permitieran la reducción de las emisiones de carbono para combatir el calentamiento global, reducir la contaminación, satisfacer la demanda de alimentos y producir combustibles alternativos no convencionales.

Este instrumento internacional que tiene carácter vinculante y obligatorio con las leyes nacionales de los países miembros, contempla un total de 28 artículos, donde el Artículo 12 describe la creación de un Mecanismo para el Desarrollo Limpio que constituye la base legal para el desarrollo de los proyectos de biocombustibles (Protocolo de Kyoto, 1998).

En la región, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) busca el desarrollo energético sostenible a partir de los proyectos multilaterales de cooperación entre los países miembros entre los que se encuentra Ecuador; esta organización se adhiere a los diferentes objetivos de desarrollo sostenible y sustentable que se derivan de los diferentes tratados y Convenciones internacionales.

En un contexto local, Ecuador ha incorporado en su legislación la naturaleza como sujeto de derecho a partir de la reforma constitucional del 2008, lo que ha supuesto una serie de cambios de paradigmas en cuanto a la perspectiva ambientalista en el país y el deber protector del Estado como garante de los derechos que por ley le corresponden. En este sentido, las políticas que el Estado promueve en materia ambiental, están dirigidas no sólo a preservar el ambiente sino a disminuir los daños que ocasionan las diferentes

prácticas como el uso de los combustibles fósiles a pesar de ser un país productor de petróleo.

En relación a este tema, Ecuador ha contribuido y forma parte de los diferentes organismos y Convenciones internacionales que atienden al tema de la producción de biocombustibles para minimizar el impacto negativo ambiental que generan los combustibles fósiles. En el marco del Plan Nacional del Buen Vivir sobre el que se fundamenta la Constitución de la República, se contempla a lo largo del texto constitucional el interés por preservar y garantizar a sus habitantes un ambiente sano; en este sentido, los Artículos 14 y 15 hacen alusión a este tema indicando que el Estado “reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado que garantice la sostenibilidad y el buen vivir” (Constitución de la República, 2008, p.24), por lo que declara de interés público, entre otras cosas, la preservación ambiental el respeto a los ecosistemas y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Asimismo, el Artículo 15 de la misma norma contempla el compromiso que asume el Estado para promover las tecnologías ambientales limpias y energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. A partir del Artículo 71, se abordan los derechos de la naturaleza y, a lo largo del contenido de la norma hace referencia al carácter tutelar del Estado sobre el suelo, el agua y los ecosistemas.

En materia energética, la Constitución también refiere en el Artículo 413, el compromiso del Estado en relación a la promoción de energías alternativas indicando que se promoverá “la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua” (Constitución de la República, 2008, p.182).

## **4. CAPÍTULO: MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la elaboración del Biodiesel se utilizó el aceite usado de palma suministrado por la empresa “Patatas Cruks”, mientras que para la elaboración del Gasoil se recopiló el aceite usado de carros de dos lubricadoras, localizadas en la ciudad de Cuenca. A esta materia prima se realizaron las respectivas pruebas físico-químicas que se detallan a continuación en el punto 4.1 y 4.2 respectivamente.

### **4.1. Características Físico-químicas del Aceite de Palma**

Las pruebas físico-químicas realizadas al aceite usado de palma fueron; densidad, viscosidad cinemática, punto de inflamación, índice de saponificación, índice de acidez, color y porcentaje de humedad, descritos detalladamente a continuación.

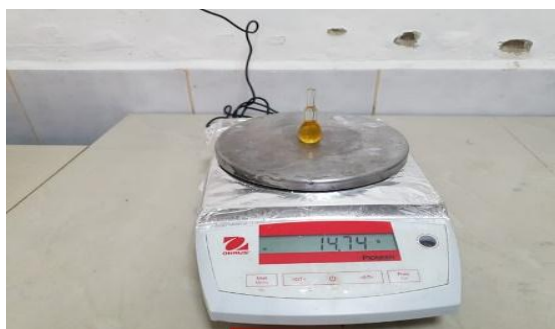
#### **4.1.1. Densidad**

La densidad representa la medida del grado de compactación de un material, ya que muestra cuánto material se encuentra contenido en un espacio determinado; es la cantidad de masa por unidad de volumen.

Además, esta medida es una constante que no varía para un aceite determinado cuando está puro y fresco, pero es afectada por variables como la edad, rancidez y cualquier tratamiento especial que se le haga al aceite.

En esta fase, se utilizó como referencia la norma NTE-INEN 35 cuyo objeto consiste en determinar la densidad relativa a 25/25°C de las grasas y aceites vegetales o animales, empleando para ello un picnómetro (Ver Imagen 1) (NTER-INEN, 1973).

El procedimiento efectuado en el laboratorio consistió en; calibrar tanto la balanza como el picnómetro, a la vez se pesaron en la balanza las siguientes medidas: la masa del picnómetro seco y sin contenido (0,93g), el picnómetro con muestra llenado a través de una pipeta evitando la formación de burbujas en su interior (14.76g), y el picnómetro con agua destilada (15,10g), se repitió este proceso tres veces a fin de promediar los resultados obtenidos, trabajando a una temperatura de 20°C.



**Imagen 1** Medición de la densidad con el picnómetro. **Fuente:** Las Autoras

La densidad relativa se obtuvo mediante la siguiente fórmula:

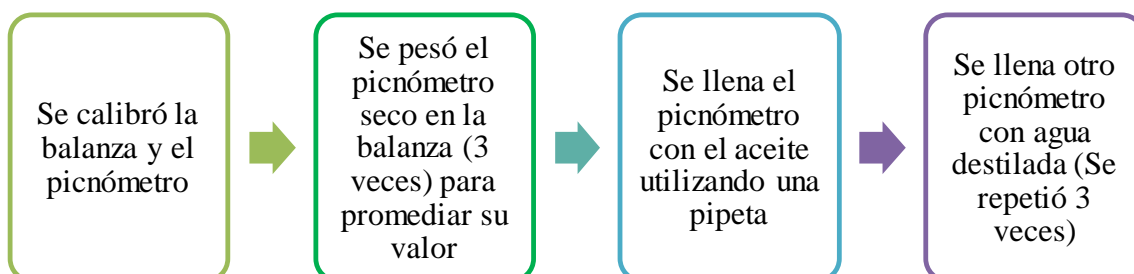
$$\rho_{Rel} = \frac{m_m - m_0}{m_a - m_0} \quad (1)$$

Donde:

$m_m$  = Picnómetro con muestra

$m_0$  = Picnómetro vacío

$m_a$  = Picnómetro con agua destilada



**Figura 3** Proceso para determinar la densidad. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.1.2. Viscosidad Cinemática

El instrumento usado para este parámetro fue el viscosímetro rotacional (Ver Imagen 2). Se propuso trabajar durante la prueba experimental, a partir de datos esenciales para escoger el tipo de husillo, en base al tipo de muestra a analizar, en este caso los parámetros fueron; la densidad del aceite de palma usado (0,93 g/mL), la viscosidad relativa que fue de 35 mm<sup>2</sup>/s, considerando el dato obtenido en el estudio según Rincón (2009), con una temperatura de 40 °C.

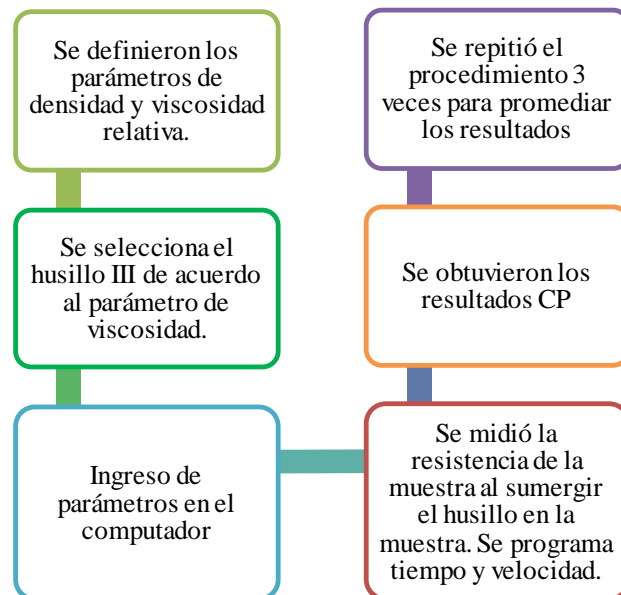
Con el parámetro de la viscosidad relativa se escogió el husillo III procedente de unas tablas proporcionadas por el equipo y se ingresan al computador la densidad y temperatura.

El husillo giratorio se acopló con el muelle al eje de un rotor y este se sumergió en la muestra a analizar programándolo a un tiempo y velocidad determinada midiendo de esta manera la resistencia de la muestra, esto lo hace a través del control electrónico del equipo en donde realizaran los cálculos pertinentes para dar los valores de viscosidad en base a la velocidad de deformación establecida. El resultado de la viscosidad dinámica fue en CP, calculando la viscosidad cinemática mediante la ecuación 2. Este procedimiento se tuvo que repetir alrededor de tres veces con el fin de promediar resultados (Ver Figura 4).



**Imagen 2** Viscosímetro Rotacional

$$\text{Viscosidad Cinemática (centistoke)} = \frac{\text{viscosidad dinámica}}{\text{densidad}} \quad (2)$$



**Figura 3** Procedimiento para determinar la Viscosidad (mm<sup>2</sup>/s). **Fuente:** Las Autoras.

### 4.1.3. Color

El color es una de las particularidades que caracterizan a los aceites y grasas, los cuales se pueden encontrar, en estado natural o cuando han sido sometidos a procesos de refinación. Es causado por una mezcla de pigmentos entre los cuales se encuentran carotenos, clorofilas, luteína, licopeno, gossipol y otros. Este es un indicador importante de la composición del producto, pureza y grado de deterioro.

Para determinar el color del aceite usado de palma se hizo uso del colorímetro (Ver Imagen 3); para lo cual se preparó un blanco con una muestra de 10mL de agua desmineralizada, posteriormente se llenó otro tubo colorimétrico con el aceite de palma y se escogió 430 longitud de onda en el modo de absorbancia, se introdujo la muestra en el equipo e instantáneamente midió la cantidad de luz que viajaba a través de la muestra de reacción convirtiendo la medida a una lectura digital (Duran, 2012).

Algo que vale destacar es que los tubos deben estar completamente limpios tanto por fuera como dentro para de esta manera evitar una lectura errónea, puesto que impresiones digitales en el exterior del tubo pueden causar una dispersión excesiva de luz y alterar los resultados (LaMotte, n.d.).



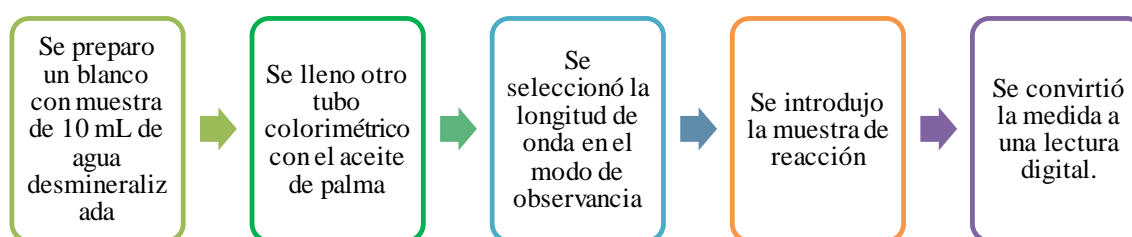
**Imagen 3** Colorímetro

En el procedimiento se tuvo la necesidad de diluir la muestra ya que indicaba que esta se encontraba por encima del rango, se utilizó la siguiente tabla para dichas disoluciones:

**Tabla 6:** Guías para diluciones en diferentes proporciones

Volumen de muestra	Agua desionizada para llevar el volumen a 10 mL	Factor de multiplicación
10 mL	0 mL	1
5 mL	5 mL	2
2,5 mL	7,5 mL	4
1 mL	9 mL	10
0,5 mL	9,5 mL	20

Fuente: Motte, 2004.



**Figura 4** Procedimiento para determinar el color. Fuente: Las Autoras.

#### 4.1.4. Punto de Inflamación

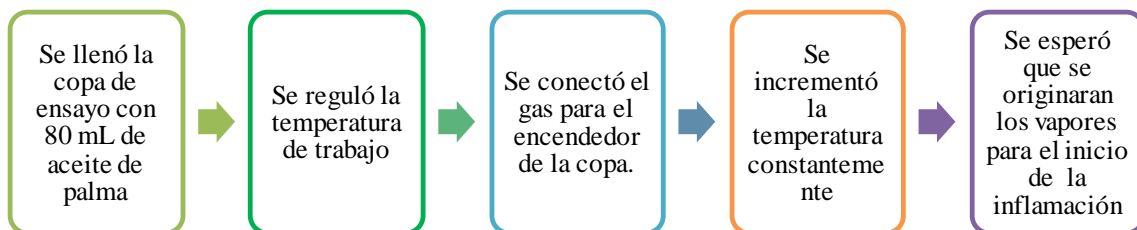
Es la temperatura a la cual el combustible iniciará a quemarse cuando se pone en contacto con fuego. Este es un parámetro importante desde el punto de vista de seguridad en cuanto al transporte, manipulación, almacenamiento y seguridad en general de cualquier combustible. La prueba se realizó mediante la norma ASTM D92-2012b, que representa un método de ensayo que permite la determinación de los puntos de inflamación y de ignición de los productos del petróleo, a través del uso de un aparato (manual o automático) Cleveland de copa abierta (Ver Imagen 4). Es aplicable a todos los productos derivados del petróleo con puntos de inflamación superiores a 79 °C (175 °F) y menores a 400 °C (752 °F) excepto el fuel oil (MONCAYO, 2016).





**Imagen 4** Copa Cleveland

Para realizar este procedimiento se llenó alrededor de 80 mL o hasta la línea de llenado de la copa Cleveland con aceite usado de palma, el mismo que se encontraba constituido por un termómetro en la parte superior y de un encendedor lateralmente, se aplicó calor inicialmente de tal forma que la temperatura de la muestra fue aumentando gradualmente, entre 14 y 17°C/min. Cuando la muestra se encontró a 28°C se usó la llama de prueba cada 2°C sucesivos leídos en el termómetro, una vez que el contenido de la muestra se inflamó y continuó quemándose alrededor de 5seg, se registró en ese instante la temperatura marcada en el termómetro. (Ver Figura 6).



**Figura 5** Procedimiento para obtener el punto de inflamación. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.1.5. Porcentaje de Humedad

Para determinar el contenido de humedad del aceite de palma se hizo uso de la norma NTC 287, esta es una propiedad que representa el contenido de agua que posee el aceite (Ver Imagen 5), tiene estrecha relación con el índice de acidez ya que, ocasiona que los triglicéridos presentes en el mismo tiendan a hidrolizar para liberar ácidos grasos

libres aumentando así el porcentaje de acidez que afectan posteriormente su calidad (Técnica, 2002b).

Para este procedimiento se inició pesando aproximadamente 200g de la muestra en una balanza calibrada, posteriormente, esa muestra se calentó en un vaso de precipitación sobre una estufa eléctrica durante 30 minutos, la temperatura del ensayo fue de 80 °C regulada por un termómetro, finalmente transcurrido el tiempo mencionado se pesó nuevamente la muestra (Ver Figura 7). Si no se observa una diferencia de peso respecto a la muestra inicial se repite el mismo procedimiento.



**Imagen 5** Porcentaje de humedad

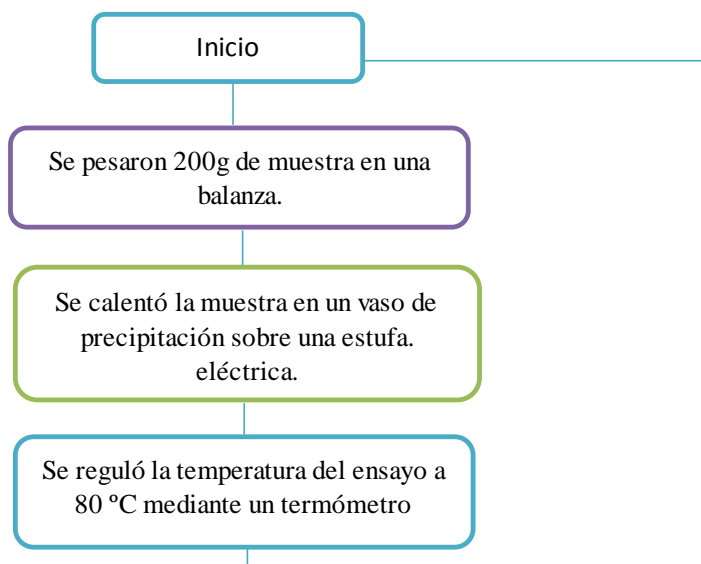
La fórmula utilizada para el cálculo fue la siguiente:

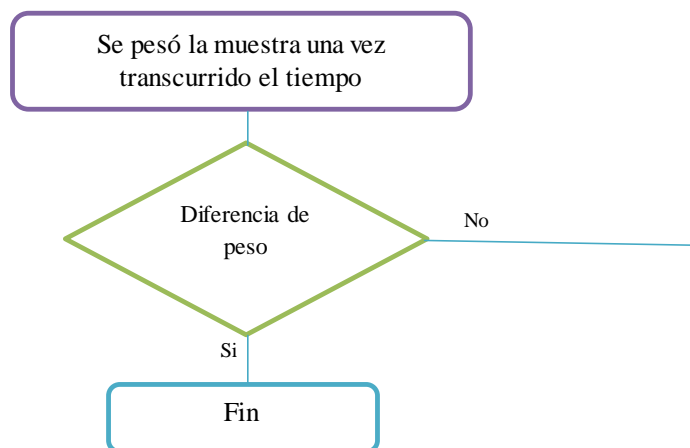
$$\text{Humedad \%} = \frac{P-A}{P} * 100 \quad (3)$$

En donde:

P = Peso de la muestra tomada (g)

A = Peso de la muestra después de calentar (g)





**Figura 6** Diagrama de flujo del porcentaje de Humedad. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.1.6. Índice de Saponificación

El índice de saponificación es inversamente proporcional al valor de los pesos moleculares de los ácidos grasos de los glicéridos presentes en aceites o grasas. Este parámetro se calculó por medio de la norma ecuatoriana para grasas y aceites vegetales INEN 40 que se define como el número de mg de NaOH necesarios para saponificar 1g de grasa, cabe destacar que no es totalmente exacto para apreciar el peso molecular, debido a que se incluyen los ácidos grasos libres junto con los glicéridos (INEN, 1973).

Para la realización de este parámetro, inicialmente se prepararon los reactivos en un matraz de aforo: hidróxido de sodio en solución alcohólica, para ello se disolvió 5g de hidróxido de sodio en 125 mL de alcohol etílico al 96 % en volumen. Luego se pesó 2,5 g de muestra en un Erlenmeyer de 250 mL, seguidamente se añadió 10 mL de la solución de hidróxido de sodio; cabe indicar que el Erlenmeyer fue sellado en la parte superior con papel film colocándolo a baño maría hirviente durante 30 minutos a 40°C, agitándolo contantemente.

Una vez cumplido el tiempo indicado, se retiró la muestra del equipo agregando en la misma dos gotas de fenolftaleína para iniciar con la primera valoración, es decir se tituló con HCl 0,5N hasta que se produjo el primer viraje y se anotó el valor del titulante gastado, finalmente se realizó el mismo procedimiento con un blanco en donde se ejecutó la segunda valoración y se registró el segundo gasto. (Ver Figura 8).



**Imagen 6** Índice de saponificación en el aceite de palma

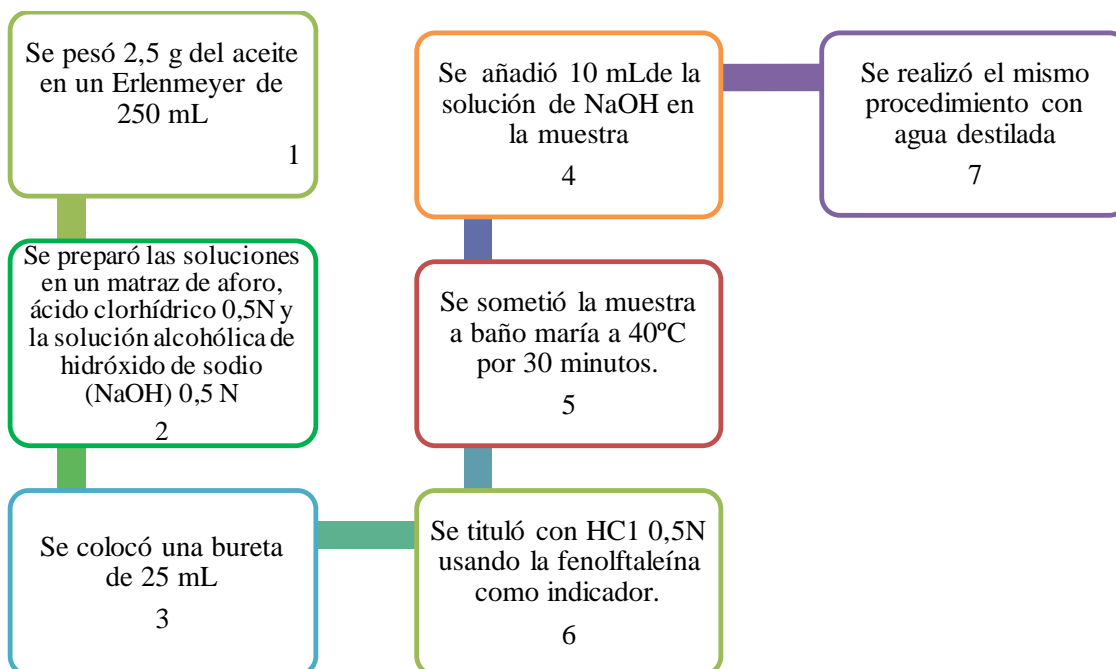
Los cálculos fueron realizados mediante la siguiente formula:

$$\text{Indice de Saponificacion} = \frac{(V_B - V_M) * N * 56,1}{\text{Peso de la muestra}} \quad (4)$$

Donde:

$V_B$  =volumen de HCl 0,5 N gastado para titular el blanco

$V_M$  =volumen de HCl 0,5 N gastado para titular la muestra



**Figura 7** Procedimiento del Índice de Saponificación del aceite de palma usado. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.1.7. Índice de Acidez

Para este ensayo se usó la norma NTE-INEN 38 definida como la cantidad de miligramos de hidróxido de potasio o sodio requeridos para neutralizar los ácidos grasos libres contenidos en 1 gramo de grasa o aceite (R, 1973). La acidez de los aceites suele variar, principalmente porque las grasas frescas o recién preparadas no contienen ácidos grasos libres o en caso de contenerlos los tienen en muy pequeñas cantidades, mientras que, al envejecer, especialmente si no han estado protegidos de la acción del aire y la luz, su acidez crece lentamente al transcurrir el tiempo. De ahí su importancia, puesto que, es usada como una indicación general de la condición y comestibilidad de los aceites y las grasas (Mora, Castaño & Castañeda, 2015).

La descomposición del aceite se suele acelerar por la luz y el calor, mientras que la rancidez de este se acompaña, usualmente, por la formación de ácidos grasos libres, por tanto la determinación de esta propiedad es usada como una indicación general de la condición y comestibilidad de los aceites y las grasas (Mora, Salomon, Castaño 1 et al., 2015).

Para la realización de este parámetro, se procedió a pesar en una balanza calibrada 8g de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250mL (Ver Imagen 7), se añadió 50 mL de alcohol y 7 gotas de fenolftaleína como indicador. Esta muestra se calentó en un agitador magnético hasta que comenzó a ebullición, mientras tanto se preparó el titulante de NaOH 0,1N en un matraz aforado el mismo que fue colocado en una bureta de 25mL; una vez que la muestra haya alcanzado el punto de ebullición se la enfrió para luego titularla con NaOH 0.1N hasta que se tornó de un ligero color rosa, se anotó el gasto del titulante (Ver Figura 9).



**Imagen 7** Matraz Erlenmeyer en un agitador magnético

Los cálculos mediante la siguiente fórmula:

$$i = \frac{56,1 V * N}{m} \quad (5)$$

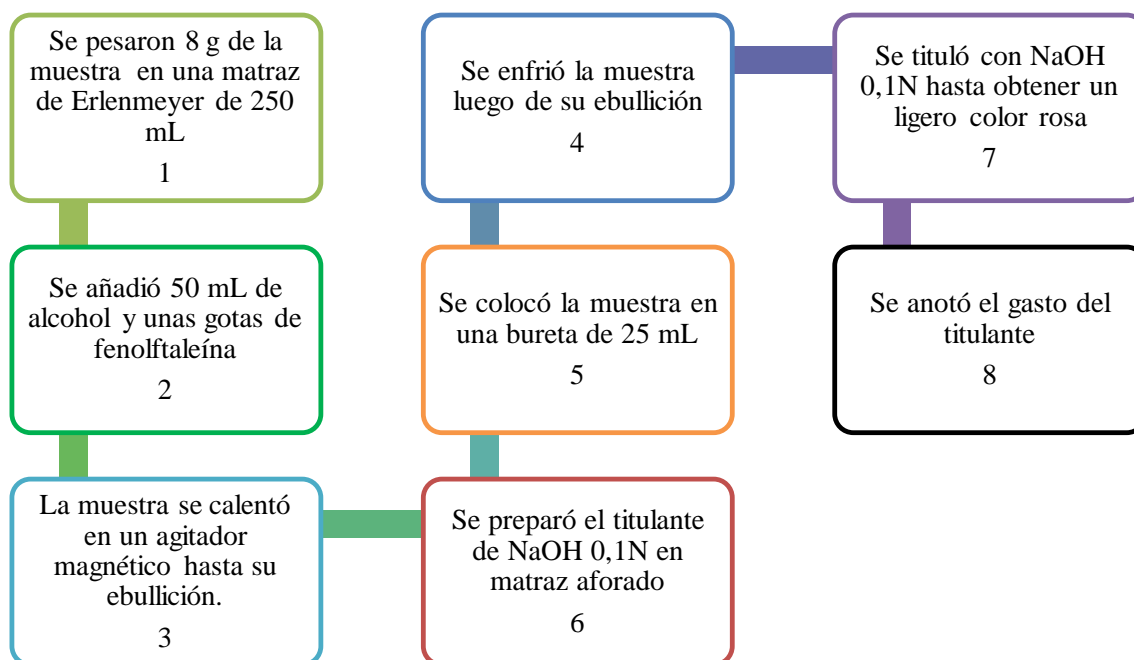
Donde:

$i$  = índice de acidez del producto, en mg/g.

$V$  = volumen de la solución de hidróxido de sodio o de potasio empleado en la titulación, en  $\text{cm}^3$ .

$N$  = normalidad de la solución de hidróxido de sodio o de Sodio.

$m$  = masa de la muestra analizada, en g.



**Figura 8** Procedimiento para determinar el Índice de Acidez. **Fuente:** Las Autoras.

## 4.2. Propiedades físico-químicas del Aceite usado de carros

La caracterización del aceite lubricante usado se realizó con el fin de precisar sus propiedades fisicoquímicas; densidad, viscosidad cinemática, punto de inflamación, contenido de agua y sedimentos, gravedad API y contenido de metales. Dichas pruebas permitieron catalogar al lubricante usado para tener información sobre el estado en el que se encontró la materia prima.

### 4.2.1. Densidad

Para este procedimiento se utilizó la misma norma de la caracterización del aceite de palma usado, NTE-INEN 35 (Ver Figura1).

La densidad relativa se obtuvo mediante la fórmula utilizada para determinar la densidad del aceite de Palma (Ver Ec.1).

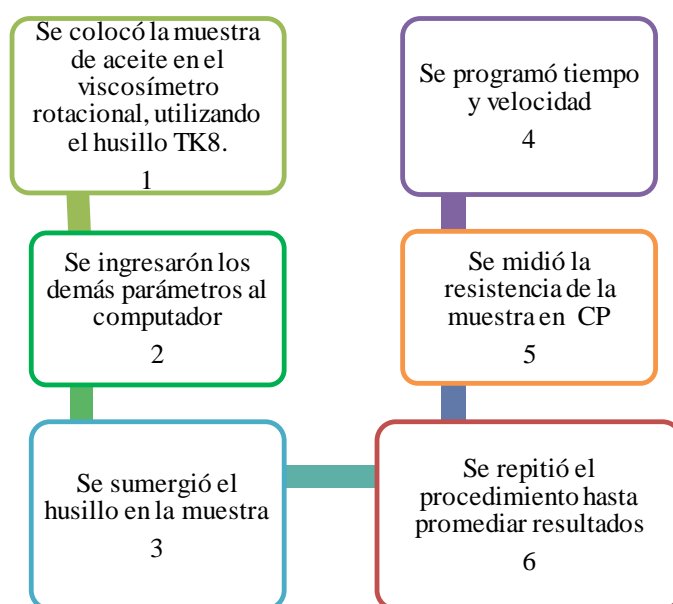


**Imagen 8** Equipo para determinar la densidad del aceite lubricante usado.

#### 4.2.2. Viscosidad cinemática

El índice de viscosidad determina la variación en la viscosidad cinemática debido a cambios en la temperatura del producto entre 40° C y 100° C. De acuerdo con la norma D2270 (ASTM International, 2007), un alto índice de viscosidad indica un decremento en la viscosidad cinemática cuando se incrementa la temperatura del lubricante. El índice de viscosidad es usado como un número que indica una dependencia entre la temperatura.

Para este parámetro, se realizó el mismo procedimiento utilizado con el aceite de palma; sin embargo, hubo variaciones como la viscosidad relativa del lubricante que en este caso fue de 60 (CP) a 40° C según (Mardones & Juanto, 2015) con una densidad específica del 0,87 g/mL. Estos datos, sirvieron de base para la selección del husillo TK8.



**Figura 9** Procedimiento para determinar el Índice de Viscosidad. **Fuente:** Las Autoras.

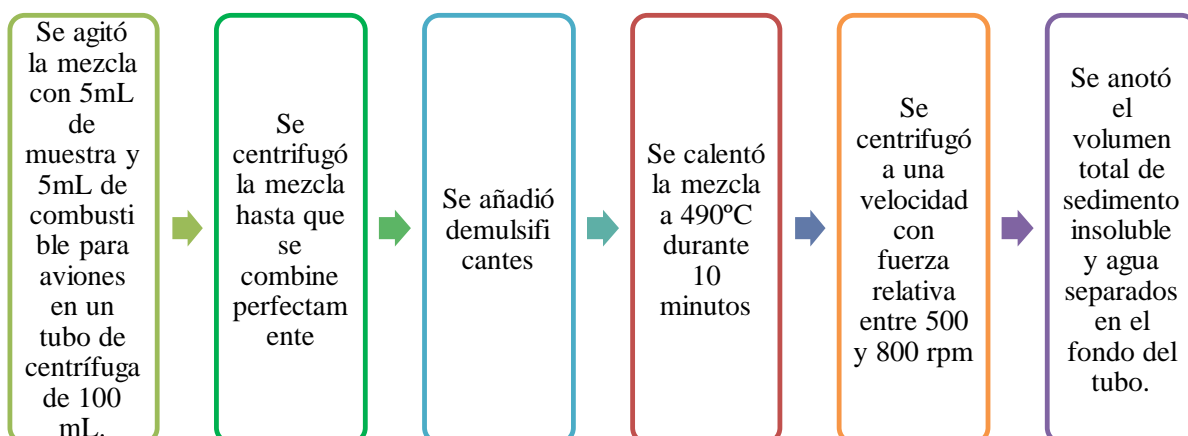
#### 4.2.2.1. Punto de Inflamación

Esta prueba determina la temperatura a la cual el aceite desprende vapores que mezclados con el aire se inflaman. De acuerdo con la norma ASTM D-56 (DeLisi, 2018). Esta prueba es usada en regulaciones de cuidado y envío para definir materiales combustibles como inflamables, es aplicable a todos los productos derivados de petróleo con puntos de inflamación superiores a 21°C a 55°C.

Para esta prueba se utilizó el equipo Copa Cleveland (Ver Imagen 4) que consta de una copa y un encendedor que funciona a gas. Se efectuó el mismo procedimiento mencionado en la figura 4.

#### 4.2.3. Contenido de agua y sedimentos

Esta prueba permitió determinar la cantidad de agua y sedimentos presentes en el aceite usado. En este caso, el procedimiento se realizó en base a la norma ASTM D-1796. En donde, se agitó una mezcla con 5 mL de lubricante usado y 5 mL de combustible para aviones usado como disolvente, en un tubo de centrifuga de 100 mL. Se centrifugó la mezcla hasta que el contenido estuvo homogéneo. Después se añadió 3 mL de demulsificante, el cual tiene la propiedad de separar emulsiones liquido-líquido o evitar la formación de emulsiones. Posteriormente se calentó la mezcla a temperatura de 490° C durante 10 minutos, luego se centrifugó a una velocidad comprendida entre 500 y 800 rpm. Finalmente, se anotó el volumen total de sedimento insoluble y agua, separados en el fondo del tubo de centrifugación. (Ver Figura 11)



**Figura 10** Procedimiento para determinar el contenido de agua y sedimento. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.2.4. Gravedad API o peso específico a 15.6 °C

Los datos de peso específico se dan en escala API cuando se trata de productos derivados de petróleo. El método aplicado es el especificado por la norma ASTM D-1228



(ASTM D1298, 2002) cuyo procedimiento inició llenando una probeta de 1000 mL con el aceite usado, se colocó un termohigrómetro Precision API en la probeta hasta alcanzar el equilibrio (Ver Imagen 9).

La conversión de grados API a peso específico se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$API = \frac{141.5}{\gamma} - 131.5 \quad (6)$$

Donde:

API = grados API A 15.6 °C ( $^{\circ}API$ )

$\gamma$  = peso específico (g/mL)



**Imagen 9** Termohigrómetro Precisión API.



**Figura 11** Procedimiento para determinar la Gravedad API. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.2.5. Contenido de metales

Una de las diferencias más importantes entre el aceite nuevo y el usado es el contenido de metales pesados. El contenido de metales en el aceite usado es muy importante, porque muchos de estos metales son peligrosos. Generalmente, el aceite

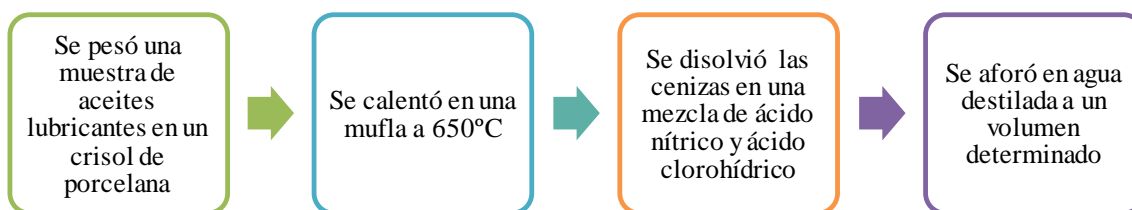
usado contiene: plomo, zinc, cadmio, bario y magnesio y en menor cantidad: hierro, sodio, cobre, aluminio, cromo, magnesio, potasio, níquel, estaño, silicio, bario y molibdeno. La concentración de metales en el aceite lubricante se incrementa con el tiempo de operación y la cantidad depende del tipo de combustible y las condiciones mecánicas del motor.

Para determinar el contenido y porcentaje de metales presentes en el aceite usado se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica (Ver Imagen 10). En donde, se pesaron 2g de lubricante usado en un crisol de porcelana, luego se calcinó en una mufla a 650°C y las cenizas se disolvieron en una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico. Posteriormente se aforó en agua destilada a un volumen determinado (Ver Figura 13). Finalmente, en el espectrofotómetro se midió la absorbancia vs la concentración de metal para ello se preparó una curva de calibración del metal a evaluarse en este caso del Zinc, Plomo, Hierro y Cromo.

Las especificaciones técnicas del Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 3110 son: rango de longitud onda de 185 a 860nm, temperatura de operación de 10°C a 35°C, humedad relativa del 20 al 80%, condiciones de funcionamiento de 110V y una frecuencia de 60Hz.



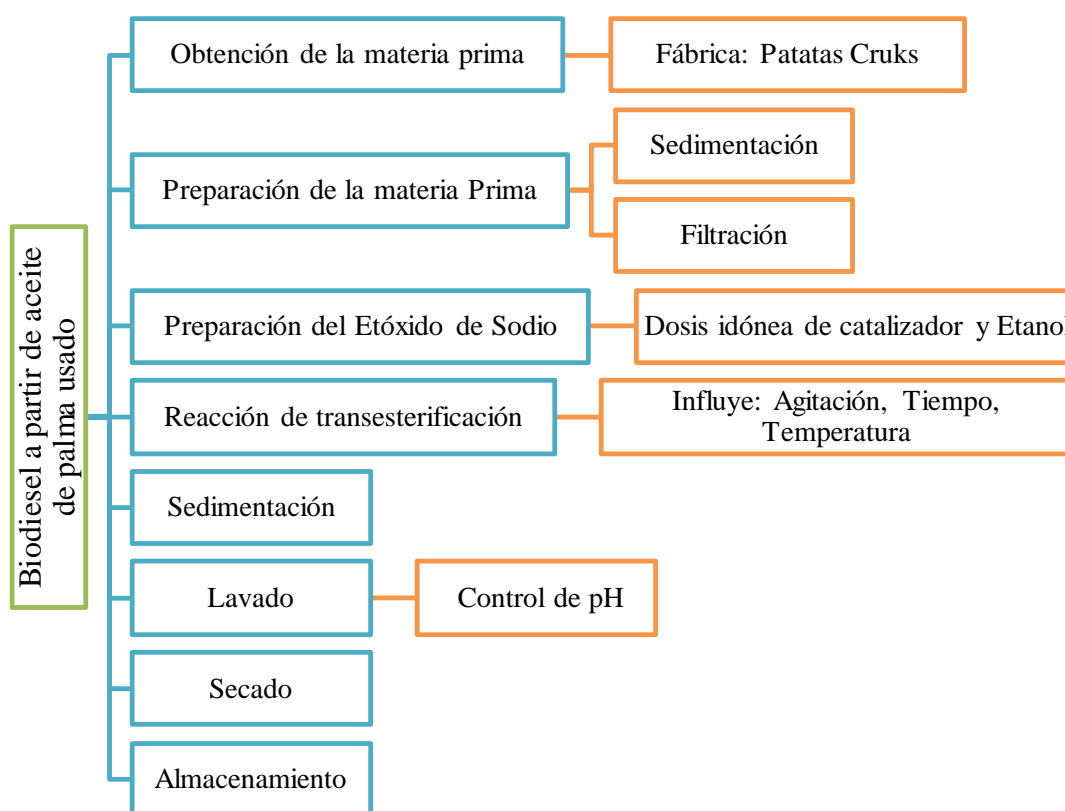
**Imagen 10** Espectrofotómetro de absorción atómica



**Figura 12** Proceso para determinar el contenido de metales. **Fuente:** Las Autoras.

### 4.3. Metodología para la elaboración del Biodiesel

La figura 14 describe a manera de resumen las principales fases y variables que influyen el proceso de obtención del Biodiesel, entre ellas se encuentran: recogida y tratamiento de la materia prima, preparación del Etoxido de Sodio, reacción de transesterificación, proceso de sedimentación, lavado, secado y almacenamiento del producto final.



**Figura 13** Diagrama de bloques del proceso de obtención del biodiesel. **Fuente:** Las Autoras

#### 4.3.1. Materia prima y reactivos

La materia prima empleada para la preparación del biodiesel fue, el aceite de palma, cuyo origen precedió de la empresa “Patatas Cruks”, cabe destacar que este aceite es un subproducto derivado de los diferentes procesos para la elaboración de frituras. El alcohol utilizado en este caso fue etílico al 96%, mientras que el catalizador básico homogéneo fue Hidróxido de Sodio.

#### 4.3.2. Etapa de filtración

El aceite por su alto contenido de residuos procedente de las frituras, tuvo que ser sedimentado durante 24 horas aproximadamente quedando en el fondo impurezas y agua, de esta manera se logró obtener una materia prima más limpia para la siguiente etapa.

Una vez que el aceite haya estado en reposo se procedió a filtrarlo, para ello se utilizó papel filtro y un embudo (Ver Imagen 11), con ello se consiguió remover por completo cualquier solido que haya quedado en el aceite (Ver figura 15).



**Imagen 11** Filtrado del aceite de palma usado



**Figura 14** Etapa de filtración. **Fuente:** Las Autoras

#### 4.3.3. Preparación del Etóxido de sodio

Se realizó distintos experimentos para establecer las concentraciones idóneas de NaOH (p/v) y etanol con relación al volumen de aceite utilizado, de tal manera que se empleó 80 mL de aceite como punto de partida a diferentes concentraciones de catalizador y etanol.

**Tabla 7:** Dosificación experimental para la preparación del Etóxido de sodio

N° de muestras	Concentraciones		
	Aceite de palma usado	Catalizador (NaOH)	Etanol al 96%
1	80 ml	0,23%	20%
2	80mL	0,31%	20%

---

3	80mL	0,35%	25%
---	------	-------	-----

---

Fuente: Las Autoras

Se mezcló en un vaso de precipitación las cantidades exactas de catalizador y etanol, sobre un agitador magnético durante 30 minutos hasta que se haya disuelto completamente el catalizador (Ver Imagen 12).



Imagen 12 Agitador Magnético

#### 4.3.4. Reacción de transesterificación

Para este proceso se empleó un matraz de tres bocas (Ver Imagen 13), el mismo que se encontraba conectado en la parte central por un refrigerante para evitar que el etanol se evapore, mientras que en sus partes laterales se colocó; un termómetro el cual permitió regular la temperatura y por el otro lado sirvió para el ingreso del aceite y el Etóxido de sodio tapado por un corcho.

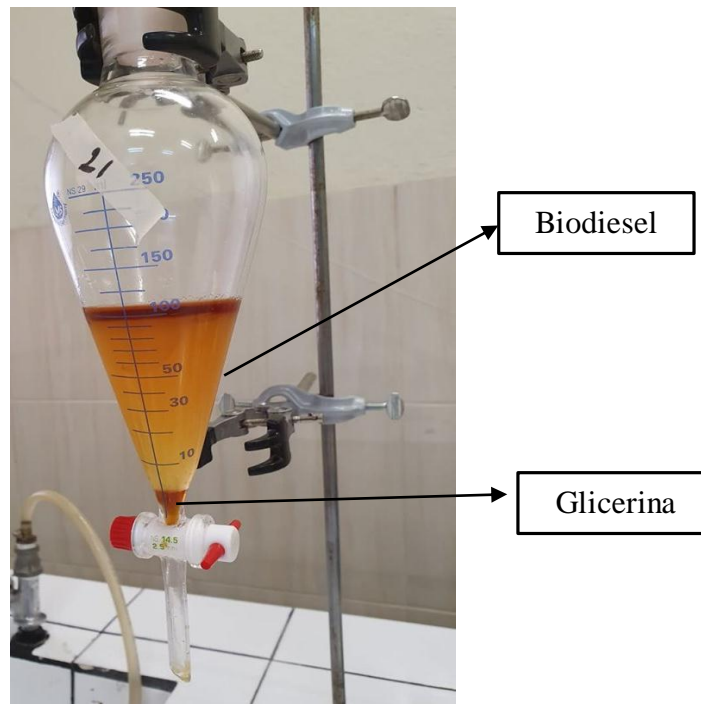
En esta etapa se calentó la muestra a una temperatura de 70 a 75 °C aproximadamente, agitándolo vigorosamente a 1000 rpm, durante una hora y media.



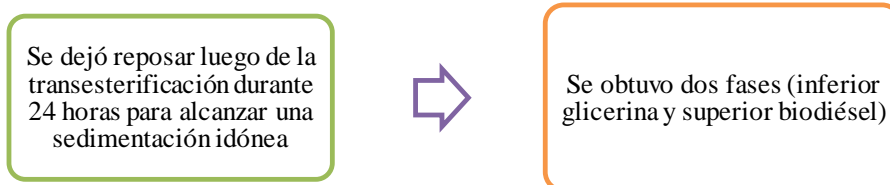
Imagen 13: Reacción de Transesterificación

#### 4.3.5. Fase de Sedimentación

Luego de la reacción de transesterificación, se colocó la muestra en un decantador durante 24 horas, para que se sedimente (Ver Imagen 14). Pasado el tiempo de sedimentación se logró obtener dos fases; una en la parte inferior que es la glicerina drenada a través de una llave de desfogue y otra superior que es biodiesel.



**Imagen 14:** Fase de Sedimentación



**Figura 15** Proceso de Sedimentación. **Fuente:** Las Autoras.

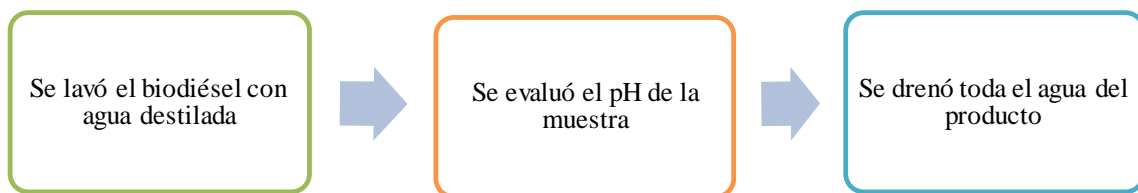
#### 4.3.6. Lavado del biodiesel

En esta etapa se tuvo que tomar el pH de la muestra, para determinar si el producto se encontraba dentro de un rango moderado (7 a 8 de pH), y en este caso el biodiesel obtenido resultó ser muy básico, lo que indicó la presencia de trazas de catalizador, por ende, se realizó el lavado del biodiesel con agua destilada para eliminar residuos de jabón, glicerina y etanol (Ver Imagen 15) alrededor de 5 veces hasta que se obtenga un pH casi

neutro. Se añadió dos gotas de vinagre por cada lavado agitándolo uniformemente. Finalmente se drenó toda el agua excedente del producto.



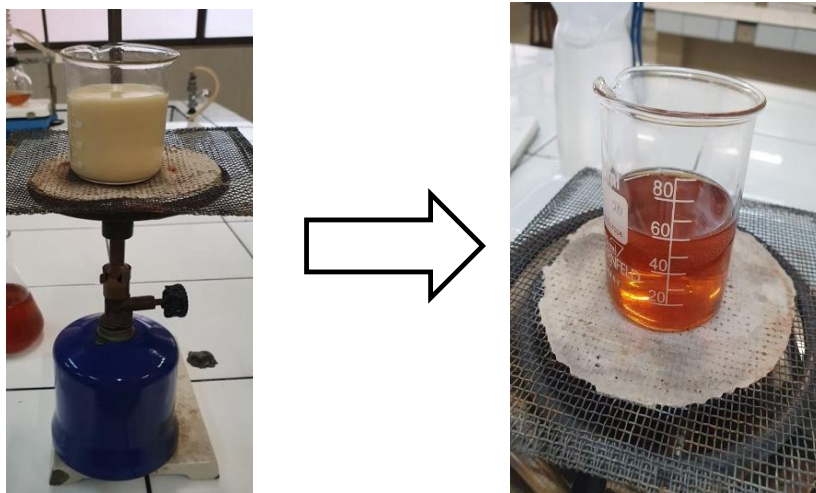
**Imagen 15** Fase del Lavado



**Figura 16** Lavado del Biodiésel. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.3.7. Secado del Biodiesel

El biodiesel se calentó por dos horas a 90°C, para eliminar toda el agua excedente, con el tiempo adquirió un color amarillo pardo.



**Imagen 16** Fase Secado

#### 4.4. Metodología para la elaboración del Diésel Sintético # 2 (Gasoil)

##### 4.4.1. Proceso de conversión del aceite usado

El proceso de conversión del aceite usado en Gasoil se realizó en cuatro procesos básicos que son: craqueo térmico, destilación, rectificación y filtración (Ver Figura 18) que son procesos intermitentes, porque se emplea el mismo equipo para todos los procesos.

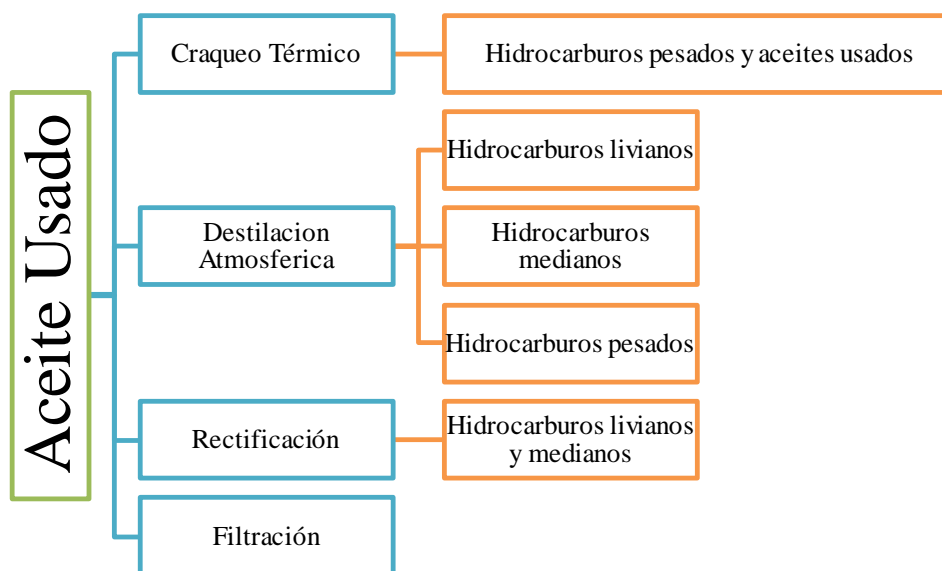


Figura 18 Diagrama de bloques de conversión de aceite usado. Fuente: Las Autoras.

##### 4.4.2. Proceso de Craqueo Térmico

El procedimiento se realizó en un equipo de destilación, en este caso se usó un recipiente metálico de 1L en lugar del balón de destilación común. Se precalentó 500mL de lubricante usado en una cocina eléctrica a una potencia de 2000W el mismo que contaba con un termómetro de 400°C en la parte superior de la tapa (Ver imagen 17), de esta manera se controló la temperatura a fin de evitar que sobrepase los 380°C durante las 7 horas del proceso.

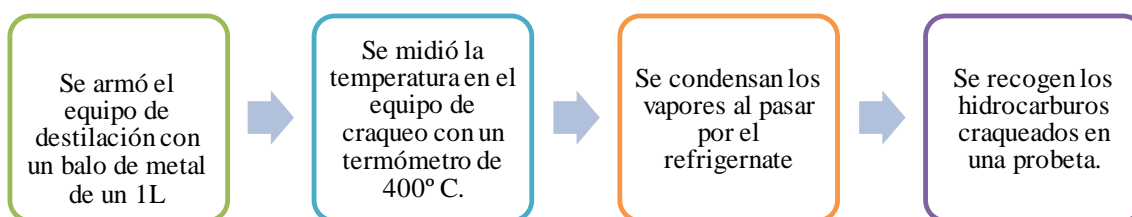


Figura 19 Proceso de craqueo del aceite lubricante usado. Fuente: Las Autoras.





**Imagen 17** Proceso de craqueo del aceite lubricante usado.

#### 4.4.3. Proceso de destilación atmosférica

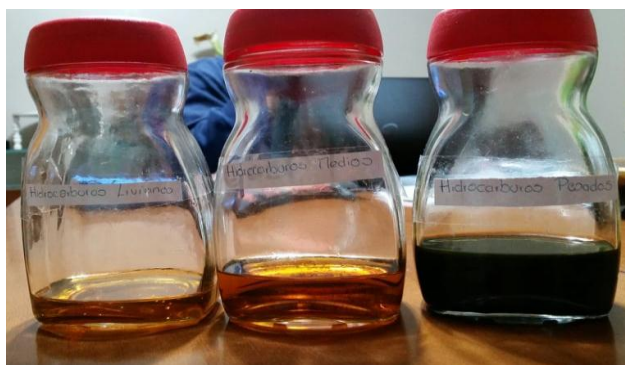
Para destilar la carga previamente craqueada se utilizó el mismo equipo que sirve para el craqueo térmico (Ver Imagen 17). Los experimentos se dividieron en tres fracciones descrita en la tabla 8:

**Tabla 8** Fracciones de hidrocarburos utilizados

Tipo de Hidrocarburo	Características
Livianos	Punto de ebullición es menor a 160°C
Medios	Se destilan entre 160°C y 360°C
Pesados	Punto de ebullición mayor a 360°C

**Fuente:** Las Autoras.

En relación con el almacenamiento, cada una de las muestras de hidrocarburos fueron recopilados y etiquetados (Ver imagen 18) en recipientes diferentes para ser tratados individualmente.



**Imagen 18** Almacenamiento y Etiquetado de los hidrocarburos.

#### 4.4.4. Rectificación

En esta fase se eliminó mediante destilación atmosférica los hidrocarburos livianos (2 a 8 carbonos) presentes en la fracción de hidrocarburos medios (12 a 20 carbonos) a una temperatura de 161° C por un tiempo de 20 minutos aproximadamente. Obteniendo una mezcla de hidrocarburos semejante al diésel #2.



Imagen 19 Proceso de rectificación del lubricante usado

#### 4.4.5. Proceso de Filtración

Este proceso permitió eliminar oleínas reactivas y agua; se realizó en un decantador de 250mL relleno con sílica de gel a manera de medio filtrante (Ver Imagen 20). La carga para el proceso de filtración fue resultado de la rectificación de los hidrocarburos medios, los mismo que se decantaron por 2 horas.



Imagen 20 Proceso de filtración

#### 4.5. Análisis de Rendimiento del Biodiesel y Gasoil

Una vez obtenidos los productos tanto de Biodiesel como de Gasoil se procedieron a realizar el cálculo, mediante la siguiente formula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{mL de producto obtenido}}{\text{mL de aceite usado}} * 100 \quad (7)$$

## **4.6. Características Físico-Químicas del Biodiesel**

### **4.6.1. Densidad**

La densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia o un objeto sólido, no varía en aceites puros y fresco; no obstante, se ve influenciada por variables como la edad o rancidez. La norma utilizada es la NTE-INEN 35 descrita en el punto 4.1.1 sobre las propiedades físico-químicas del aceite palma usado, Calculando la densidad del biodiesel mediante la Ec.1.

### **4.6.2. Cenizas Sulfatadas**

Las cenizas sulfatadas indican principalmente la concentración de aditivos metálicos que pueden llegar a contener los aceites nuevos, es decir, los que se encuentren listos para su comercialización en el mercado. En caso, de que el fósforo se encuentre ausente el bario, el calcio, el magnesio, el sodio y el potasio se llegan a transformar en sulfatos, mientras que el estaño y el zinc en óxidos. Por otro lado, metales como el azufre y el cloro no llegan a interferir, no obstante cuando hay presencia de fósforo en los metales, se queda parcial o totalmente en la ceniza sulfatada como fosfatos metálicos (Augusto & Vargas, 2010).

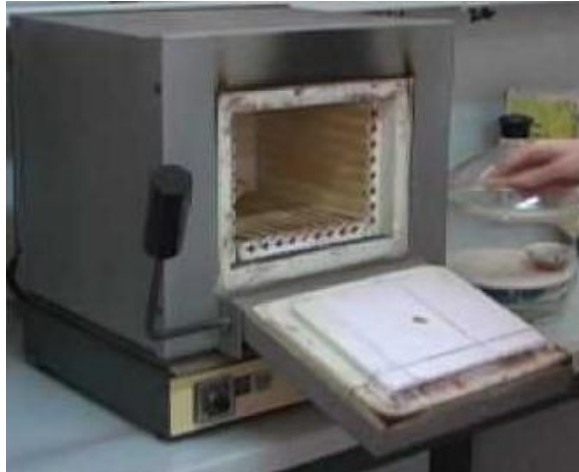
Esta prueba se llevó a cabo mediante la norma ASTM D874 (Imagen 21), la cual consistió en; precalentar un crisol sin muestra a 775°C durante 10 minutos, para luego enfriarlo en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente, se pesó el recipiente y se registró ese valor.

Posteriormente se calentó 2g de biodiesel en un crisol, a temperatura de 650°C en una mufla, quedando como residuo cenizas y carbón, se lo dejó enfriar en el desecador a temperatura ambiente (19°C). Una vez fría la muestra se agregó 10 gotas de ácido sulfúrico concentrado al 50%, la misma que se llevó a la mufla a 775°C durante 30 minutos, cuando se produjo la reacción de oxidación la ceniza que quedó en el fondo del crisol fue tratada nuevamente con 10 gotas de ácido sulfúrico, la cual fue llevada a la mufla con las mismas condiciones ya especificadas. Además, se realizó dos veces más el mismo procedimiento hasta, que finalmente alcanzó el peso constante (no más de 1mg de diferencia). Algo significativo de esta propiedad es que indica la presencia de residuo de catalizador ya sea de sodio o potasio que se encuentre presente en el biodiesel (Figura 20)

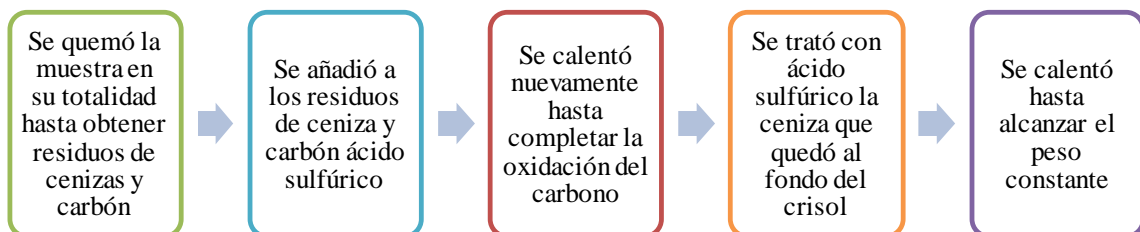
$$\text{Cenizas Sulfatadas (\%)} = \frac{P_0}{P_f} * 100 \quad (8)$$

$P_0$  : Peso inicial de la muestra

$P_f$  : Peso final de la muestra



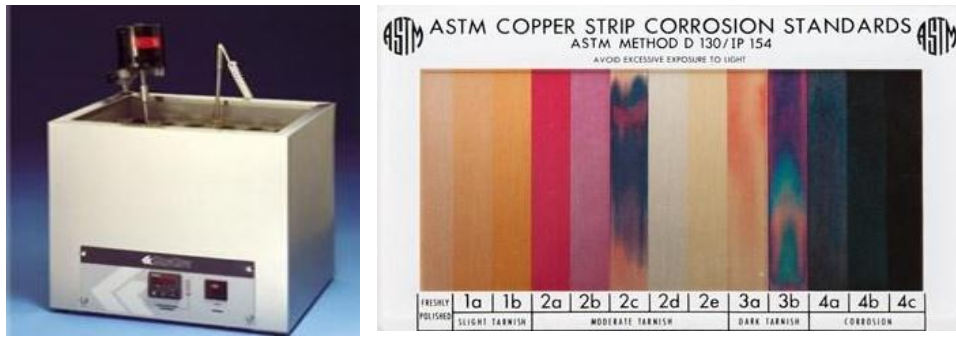
**Imagen 21** Determinación de Cenizas sulfatadas



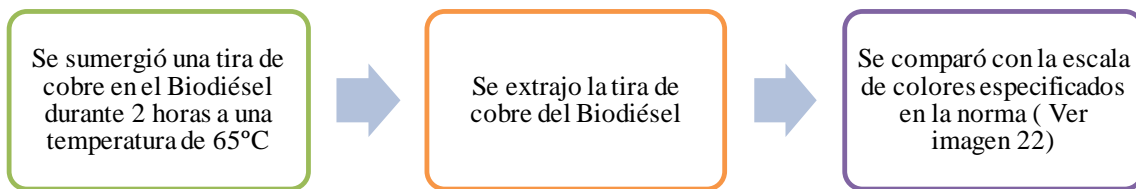
**Figura 20** Procedimiento para determinar las cenizas sulfatadas. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.6.3. Corrosión a la lámina de cobre

Esta prueba de ensayo tuvo como finalidad, cuantificar el poder anticorrosivo que pueda contener el biodiesel sobre aleaciones metálicas presentes dentro del motor, a fin de predecir la acción posiblemente corrosiva del combustible. La norma utilizada en este ensayo fue la ASTM D 130, esta consistió en sumergir una tira de cobre en el biodiesel durante alrededor de 2 horas y a una temperatura de 65°C, luego pasado el tiempo la tira se extrajo y se comparó con la escala de colores para la prueba de corrosión a lámina de cobre, especificados por la norma (Ver Imagen 22).



**Imagen 22** Equipo y Escala de colores para determinar la corrosión a la lámina de cobre



**Figura 21** Proceso para determinar corrosión a la lámina de cobre. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.6.4. Punto de Inflamación

Este proceso también especificado en apartados anteriores resultó ser una de las propiedades relevantes ya que incide en la transportación, manipulación, almacenaje y seguridad de cualquier combustible. La prueba se realizó mediante la norma ASTM D92-2012b (Ver Imagen 4) con el mismo procedimiento que el utilizado para la determinación del punto de inflamación del aceite de palma y lubricante usado.

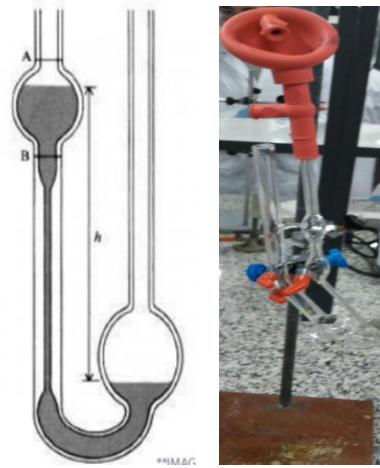
#### 4.6.5. Viscosidad Cinemática a 40°C

La viscosidad es un parámetro que posee la propiedad de los fluidos que causa fricción y la pérdida de energía en su flujo. La importancia de la fricción en las situaciones físicas depende del tipo de fluido y de la configuración física o patrón. Si la fricción es despreciable, se considera el flujo como ideal (Alejandra & Cabrera, 2018).

La viscosidad analizada fue la cinemática, siendo el cociente entre viscosidad dinámica y densidad, su unidad de medida son los centistokes. El instrumento que se empleó para medir este parámetro fue el viscosímetro de Ostwald (Ver Imagen 23).

Para la realización de este parámetro, fue preciso revisar el viscosímetro para asegurarse de que esté libre de cualquier tipo de sustancia que lleguen a influir en el resultado final. La muestra por analizar se calentó hasta los 40°C durante 7 minutos, con una probeta se añadió el contenido de biodiesel por el lado derecho del viscosímetro, mientras que, por el lado izquierdo se colocó una pera para la succión de la muestra hasta

que llegue al nivel A. Se retiró la pera y se inició a cronometrar el tiempo para determinar cuánto duró el biodiesel en evacuar desde el nivel A hasta el B (Ver imagen 23).



**Imagen 23** Viscosímetro de Ostwald

Las fórmulas que se emplearon para su cálculo fueron:

$$C = \frac{v_{CW}}{T_w} \quad (9)$$

Donde:

$C$  : Constante de calibración del viscosímetro, cSt/s

$v_{CW}$  : Viscosidad cinemática del agua, cSt

$T_w$  : Tiempo que tarda el agua en fluir en el viscosímetro, s

$$v_{CW} = \frac{v d}{d w} \quad (10)$$

$v_{CW}$  : Viscosidad cinemática del agua, cSt

$v d$  : Viscosidad dinámica del agua, N.s/m<sup>2</sup>

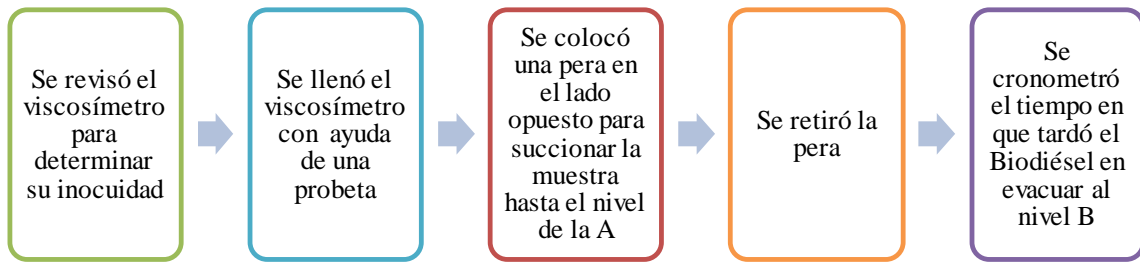
$d w$  : Densidad del agua, kg/m<sup>3</sup>

$$v = C * T_m \quad (11)$$

$C$  : Constante de calibración del viscosímetro, cSt/s

$v$  : Viscosidad cinemática, cSt

$T_m$  : Tiempo que tarda la muestra en recorrer el viscosímetro, s



**Figura 22** Procedimiento para determinar la viscosidad. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.6.6. Peso específico

Para la determinación del peso específico, se trabajó con la norma NTC 336 en cuyo procedimiento se hizo uso de un picnómetro, en donde se pesó previamente al instrumento vacío con el tapón esmerilado, posteriormente se llenó al picnómetro con el biodiesel para finalmente pesarlo, se trabajó a una temperatura de 20°C, a manera de resumen se detalla en la figura 23 el procedimiento realizado (Técnica, 2002a).

La fórmula empleada fue:

$$\rho = \frac{m_3 - m_1}{V_d} + k(T_d - T) \quad (12)$$

Donde:

$m_1$ : masa del picnómetro vacío con tapón esmerilado, en gramos, g.

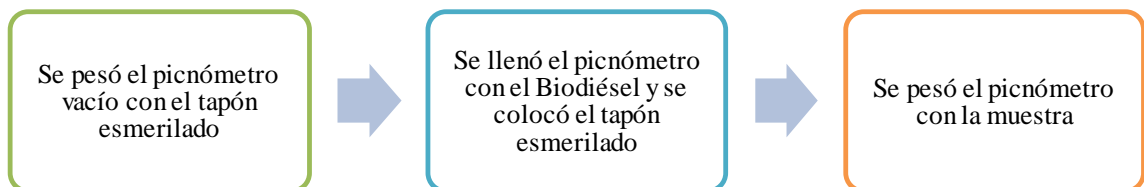
$m_3$ : masa del picnómetro lleno con la muestra de ensayo, g.

$V_d$ : volumen del picnómetro a la temperatura  $T_d$  en mL.

$T_d$ : temperatura a la cual la determinación fue realizada, en grados Celsius.

$T$ : temperatura a la cual la densidad (masa por volumen) es para ser establecida, en grados Celsius.

$k$ : cambio medio de la densidad (masa por volumen convencional) de las grasas debido al cambio de temperatura, en gramos por mL grados Celsius ( $k= 0,00068$  g/mL por grados Celsius).



**Figura 23** Procedimiento para determinar el peso específico. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.6.7. Índice de Refracción

El índice de refracción va a depender de variables como; la temperatura, la consistencia de la muestra y de la longitud de onda de la radiación empleada durante el ensayo. Este parámetro es útil para la identificación y caracterización de líquidos puros, grasas y aceites, entre otras (Adriana & Medina, 2012). La norma utilizada fue NTC 289

y el procedimiento que se efectuó para determinar esta propiedad consistió en; limpiar y secar el refractómetro (Ver Imagen 24) para asegurar una correcta lectura. Se colocó 2 gotas de biodiésel a 40°C sobre el prisma inferior y a su vez, se cerró el prisma superior sobre el inferior, luego se ajustó el instrumento hacia la luz. Este procedimiento se repitió tres veces con el fin de obtener una media en los resultados (Ver Figura 24).



**Imagen 24** Refractómetro

Para los cálculos se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = R' + k(T' - T) \quad (13)$$

Donde:

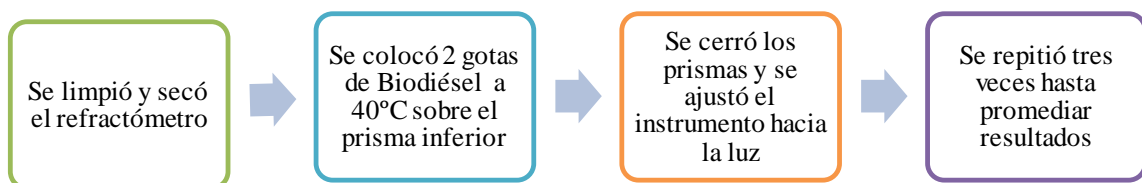
$R$  : Índice de refracción a  $T$  °C

$R'$  : Índice de refracción a  $T'$  °C

$k$  : 0,000365 para grasas, y 0,000385 para aceites

$T'$  : Temperatura a la cual se realizó la determinación, en °C

$T$  : Temperatura de referencia (25°C o 40°C)



**Figura 17** Procedimiento para determinar el Índice de refracción. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.6.8. Porcentaje de Humedad

Utilizando la norma NTC 287 (Técnica, 2002b) se realizó el procedimiento específico para determinar el porcentaje de humedad, el cual inició calentando el vaso



vacío de precipitación en el horno a una temperatura de 100°C cuyo peso inicial se registró una vez caliente. Posteriormente, se pesaron 10 g de biodiesel en el vaso de precipitación para calentarlo nuevamente por una hora en el horno a 120°C. La porción de ensayo se dejó enfriar en el desecador a temperatura ambiente y se pesó con aproximación a 0,001 g. Se repitió dos veces las operaciones de calentamiento, enfriamiento y pesaje, pero con períodos de calentamiento sucesivos de 30 min cada una, hasta que se observó la pérdida de masa entre dos pesajes sucesivos, los cuales no excedieron de 2 mg, de acuerdo con la porción de ensayo tomada (Ver Figura 25).

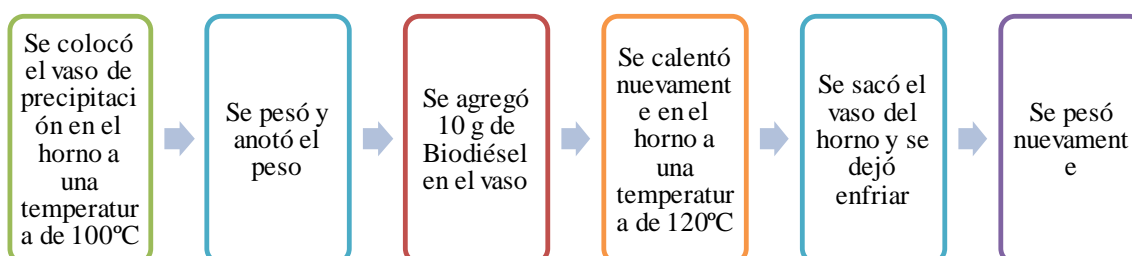
La fórmula para el cálculo de este parámetro fue:

$$\text{Humedad: } \frac{P-A}{P} * 100 \quad (14)$$

Donde:

*P* : Peso de la muestra tomada, g.

*A* : Peso de la muestra después de calentar, g.



**Figura 18** Procedimiento para determinar el porcentaje de humedad. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.6.9. Carbón residual

Este es un parámetro relevante ya que debido a la presencia de este tipo de residuos carbonosos pueden verse afectados los inyectores del combustible (Products, 1984). Además, este se encuentra relacionado directamente con el contenido de glicerina total de biodiesel, es decir, en caso de que existiese un alto contenido de residuos carbonosos también existirá un alto contenido de glicerina indicando una reacción incompleta de transesterificación.

La norma utilizada como referencia para el análisis de este parámetro fue la ASTM 4530, cuyo procedimiento consistió en: pesar en un crisol de porcelana 10g de biodiesel, en una mufla se colocó el crisol a una temperatura de 720 °C por una hora (Ver Imagen 25), al final de este periodo, el recipiente que contenía el residuo carbonoso se enfrió en

un desecador y se pesó, en caso de que no hubiese la presencia de dicho residuo se repite el proceso (Ver Figura 26).

La fórmula empleada fue:

$$RC = \frac{P_{rc}}{P_m} \quad (15)$$

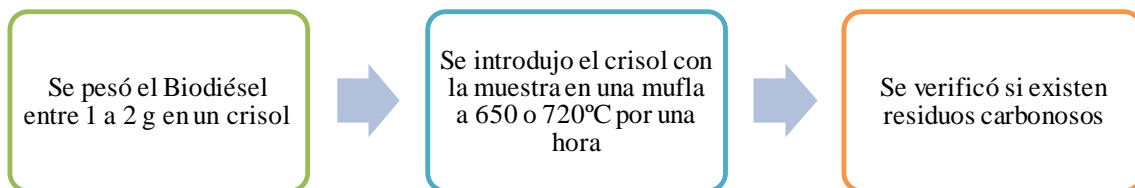
En donde:

$P_{rc}$  : Peso del residuo carbonoso

$P_m$  : Peso de la muestra



**Imagen 25** Mufla



**Figura 26** Procedimiento para determinar el Carbón Residual. **Fuente:** Las Autoras

#### 4.6.10. Poder calorífico

Se entiende por poder calorífico al calor desprendido por la combustión completa por unidad de masa de combustible (Avila Chritian, 2014), también se expresa como la energía máxima que puede liberar la unión química entre un combustible y el comburente y es igual a la energía que mantenía unidos los átomos en las moléculas de combustible, menos la energía utilizada en la formación de nuevas moléculas en las materias (generalmente gases) formada en la combustión (Adriana & Medina, 2012).

Para este parámetro, lo primero que se realizó fue medir con una probeta 200 mL de biodiesel para luego añadirlos al calorímetro, el cual se tapó colocando el termómetro y

el agitador (Ver Imagen 26), al cabo de un tiempo se registró la temperatura. Mientras que en un vaso de precipitación se colocó 200 mL de biodiesel, el mismo que se calentó hasta los 70°C en una estufa y se traspasó inmediatamente al calorímetro. Se mezcló ambas porciones y se registró la temperatura de equilibrio al cabo de un minuto (Ver Figura 27).



**Imagen 26** Calorímetro

La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$PC = \frac{k \cdot \Delta T}{V_c \cdot \rho_c} \quad (16)$$

$k$  : Capacidad térmica de absorción del calorímetro 2440 Cal/°C

$\Delta T = (T_{max} - T_c) + P_2 - P_1, ^\circ C$  o  $\Delta T = T_2 - T_1$

$T_{max}$ : Temperatura máxima alcanzada

$T_c$  : Temperatura de equilibrio

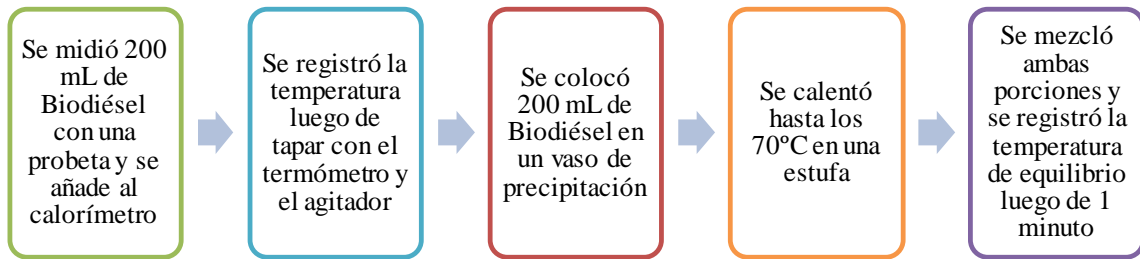
$T_2$  : Temperatura caliente

$T_1$  : Temperatura fría

$P_2 - P_1$  : factores de corrección

$\rho_c$  : Densidad del combustible

$V_c$  : Volumen de la muestra



**Figura 27** Proceso para determinar el poder calorífico. **Fuente:** Las Autoras.

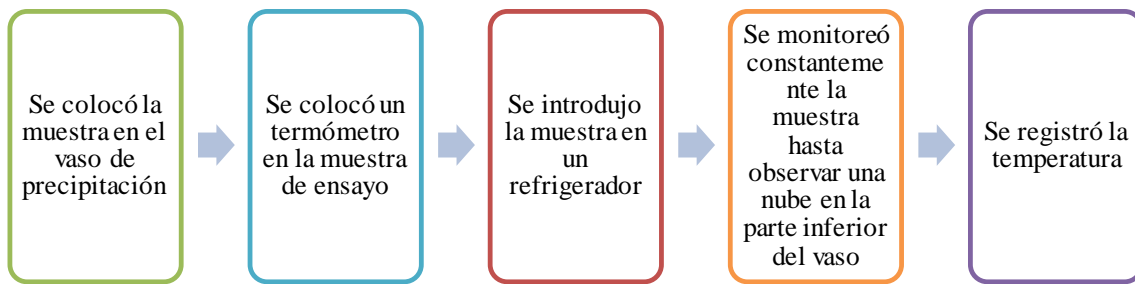
#### 4.6.11. Punto Nube

Este parámetro se considera como la temperatura a la cual se hacen visibles los cristales que se forman en el seno del líquido cuando una muestra de combustible se enfría gradualmente (Carlos Martinez, 2013). El biodiésel derivado de grasas o aceites, debido a las grandes cantidades de ácidos saturados que posee, presenta unos puntos de enturbiamiento y congelación más elevados que el diésel convencional, y por tanto unas propiedades frías menos satisfactorias (Hombría, 2010).

La norma que se tomó como guía para analizar este parámetro fue la ASTM D2500, siendo su unidad de medida los grados Celsius y para su desarrollo se utilizó únicamente un vaso de precipitación y un termómetro (Ver Imagen 27). Para este parámetro, se inició midiendo 10 mL de muestra en un vaso de precipitación, en donde se tomó su temperatura inicial 19°C, esta muestra se llevó a un refrigerador graduado con 10°C para su monitoreo constante, en los primeros minutos la temperatura fue descendiendo, alrededor de 2°C por minuto y al cabo de 7 minutos se registró la temperatura a la que empezó a observarse una nube en el fondo del vaso. (Ver Figura 28)



**Imagen 27** Punto Nube en el Laboratorio



**Figura 28** Procedimiento para determinar el punto nube en el laboratorio. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.6.12. Índice de Acidez

El Índice de Acidez se ha determinado a lo largo de este estudio utilizando la norma NTE-INEN 38 en un procedimiento especificado en las propiedades fisicoquímicas del aceite palma usado en el punto 4.1.7 (Ver Figura 7).

### 4.7. Características Físico Químicas del Gasoil

#### 4.7.1. Residuos Carbonoso al 10%

Residuo de carbono está formado por evaporación y la degradación térmica de un material que contiene carbono. El residuo no se compone enteramente de carbono, pero es un coque que puede ser cambiado por el carbono más pirolisis (Echeverría, 2018). Se realizó el análisis del residuo carbonoso al 10%, pesando 5g de gasoil en un crisol de porcelana, el cual fue llevado a una mufla a 720°C durante media hora o hasta que se observe que en el fondo del crisol se encuentre de un aspecto rojizo. Al final del periodo de calentamiento especificado, el crisol que contiene el residuo carbonoso se enfrió en un desecador y se pesó. El residuo restante se calculó como un porcentaje de la muestra original, y nos reportó el residuo de carbono (Ver Imagen 28). La fórmula utilizada fue:

$$Rc = \frac{A_m}{M_a} * 100 \quad (17)$$

Donde:

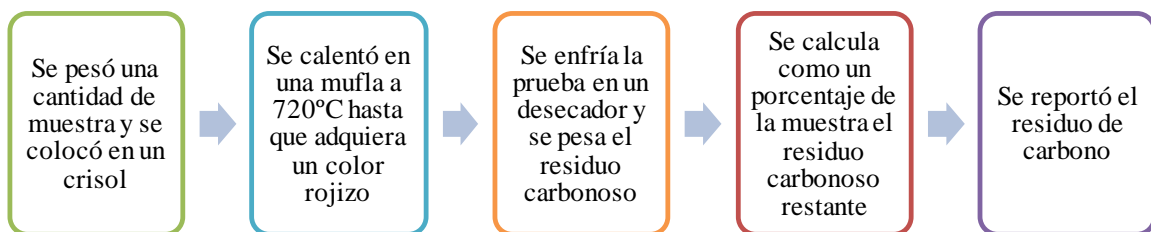
Rc= porcentaje del peso del residuo carbonoso con respecto al peso de la muestra (% en peso)

A<sub>m</sub>= peso del residuo carbonos (g)

M<sub>a</sub>= peso original de la muestra (g)



**Imagen 28** Residuo Carbonoso en el fondo del crisol.



**Figura 29** Proceso para determinar el Residuo Carbonoso. **Fuente:** Las Autoras.

#### 4.7.2. Contenido de Azufre

El contenido de azufre es regulado en muchos productos, y juega un papel importante en el control de calidad de emisiones contaminantes. Las regulaciones alrededor del mundo limitan la calidad de azufre permisible en gasolinas, diésel, queroseno, aceites vegetales, los cuales se los usan también como biodiesel (ASTMD-4294).

Se tomó como referencia la norma ASTM-4294 para el análisis del contenido de azufre en el Gasoil, a través de espectroscopia de fluorescencia de rayos X, determinando la calidad de muchos productos derivados del petróleo relacionada con la cantidad y concentración de azufre. Este método proporciona una medida rápida y precisa del azufre total, su análisis tarda de 2 a 4 minutos. Para esta prueba se utilizó el equipo HORIBA SLFA 2800 el cual funciona mediante la emisión de rayos X diseñado exclusivamente para la determinación del contenido de azufre de los productos derivados de petróleo, como el aceite pesado, nafta, petróleo crudo, etc.

Las condiciones de calibración ingresadas al equipo fueron; rango de medida 0-9,999% relacionado con el peso de azufre de la muestra, límite de detección de 5 mg/kg, tiempo de medición de 10 a 600s, con una temperatura 5 a 35 °C, humedad relativa 30% a 85%, potencia de 100V -240V y número de repeticiones de 3 veces a fin, de que el

resultado obtenido sea lo más cercano a la realidad. Se añadió 4mL Gasoil en la celda porta muestra hasta la marca superior del equipo, el cual fue cubierto con una lámina Maylar sujetándolo al marco externo de la celda, posteriormente se lo colocó en la porta celdas del analizador de azufre. El equipo realizó tres mediciones e imprimió su promedio en unidades de %p/p.

#### **4.7.3. Índice de Cetano**

El Índice de Cetano es un medio para determinar la calidad de la ignición del diésel y es equivalente al porcentaje por volumen del Cetano en la mezcla con heptametilnonano, la cual se compara con la calidad de ignición de combustible prueba. Ésta es una de las propiedades más importantes para evaluar la calidad del proceso de combustión de un combustible tipo biodiesel, el cetanaje de biocombustibles derivados de aceites vegetales está influenciado por su composición de ácidos grasos (Echeverría, 2018).

Para el análisis del Índice de Cetano calculado se utilizó la norma ASTM D-976, como alternativa al método con motor analizador, la ecuación 18 representó una medida para estimar directamente el número de cetano ASTM de combustible destilado, teniendo como datos de partida el punto medio de ebullición y la densidad.

$$ICc = 454.74 - 1641.41D + 774.74D^2 - 0.554T_B + 97.803(\text{Log}T_B) \quad (18)$$

Donde:

ICc= índice de cetano calculado (-)

D= densidad de la muestra del gasoil a 15° C (Kg/m<sup>3</sup>)

T<sub>B</sub>= temperatura del 50% del destilado de la muestra a 760mmde Hg ° C

#### **4.7.4. Temperatura de destilación al 90%**

En este parámetro se utilizó la norma ASTM-86 para la destilación de productos derivados del petróleo y combustibles líquidos a presión atmosférica. Las características de destilación son críticamente importantes tanto para los combustibles automotrices que afectan el arranque, el calentamiento y la tendencia al bloqueo del vapor a una temperatura de funcionamiento elevada a gran altitud (Echeverría, 2018).

Se realizó el análisis de temperatura de destilación al 90%, a través del siguiente método propuesto; se midió 100mL de gasoil con una probeta graduada, a una

temperatura de 18°C, la misma que fue vertida en un balón de destilación provisto de un termómetro de 400°C ajustado firmemente con ayuda de un corcho, luego se insertó el balón de destilación al condensador y a la salida de este tubo se colocó una probeta en el cual se midió la muestra, se aplicó calor mediante un mechero de tal forma que la primera gota tardó 5 minutos en evacuar, se ajustó el calentamiento para lograr obtener una velocidad uniforme de 5 mL/min de destilado (Ver Imagen 29). El resultado fue calculado de la siguiente manera:

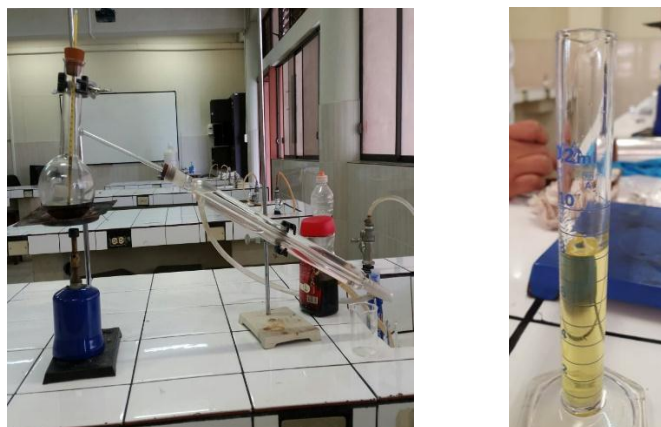
$$C = 0,00012(760 - P)(273 + T) \quad (19)$$

Donde:

$C$  : Corrección que debe agregarse algebraicamente a la temperatura leída en °C.

$P$  : Presión barométrica en mmHg, en el momento de ensayo.

$T$  : Temperatura leída en °C.



**Imagen 29** Temperatura de destilación al 90%.

#### 4.7.5. Contenido de Cenizas

Se realizó el análisis del contenido de cenizas basado en la norma ASTM D-482, para lo cual se calentó el crisol sin muestra en una mufla a 700 °C durante 10 minutos (Ver Imagen 30); se lo enfrió en un desecador hasta que haya alcanzado la temperatura ambiente que fue de 18°C, una vez enfriado el crisol se lo pesa. Se tomó 50g de Gasoil en el crisol (para dar 10mg de cenizas), para calentarlo en una mufla a 800°C durante 1 hora y media hasta obtener como residuo simplemente cenizas. Dicho residuo se calcinó



dentro de la mufla a 800°C durante media hora para eliminar la presencia de material carbonoso, finalmente se enfrió el crisol y se procedió a pesarlo.



**Imagen 30** Mufla Memmert

Para calcular el contenido de cenizas como un porcentaje de la muestra original se empleó la siguiente ecuación:

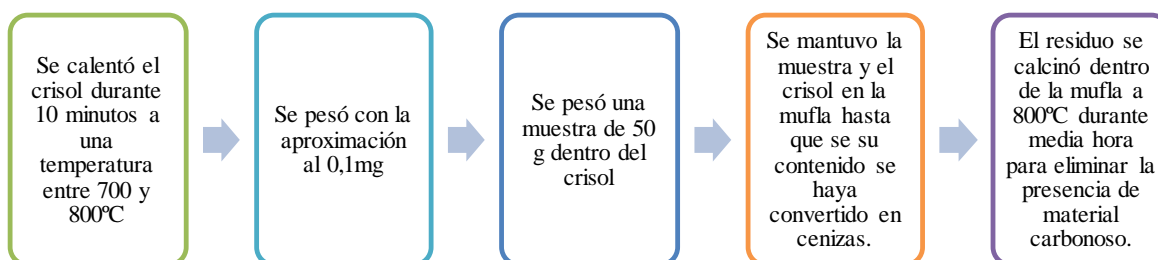
$$C_e = \frac{M_1}{M_o} \times 100 \quad (20)$$

**Donde:**

$C_e$ = contenido de cenizas (% en peso)

$M_1$ = peso de la ceniza obtenida (g)

$M_o$ = peso de la muestra original (g)



**Figura 30** Método de contenido de cenizas INEN 1492. **Fuente:** Las Autoras.

## 4.8.Cromatografía GC –MS

### 4.8.1. Cromatografía GC –MS del Biodiesel

La Cromatografía de Gases consiste en una práctica analítica, en donde se separa, identifica y cuantifica mezclas de sustancias ya sean volátiles o semivolátiles. Esta separación va a depender de la distribución de las sustancias entre las fases móvil y estacionaria que contenga el sistema. Una vez separadas las sustancias son divididas y estudiadas en función de su patrón de fragmentación, este a su vez puede ser comparado

con información contenida en una base de datos de espectros de masas para su identificación preliminar. La muestra de biodiesel obtenida a partir del aceite de palma usado fue analizada en el laboratorio, de forma cualitativa en donde se logró separar de la sustancia los ésteres etílicos a través de la cromatografía de gases (Ana López, Alba Souto, 2015).

El procedimiento inició con la preparación de la disolución, que consistió en verter en un vaso de ensayo 1000 $\mu$ L de hexano y 50 $\mu$ L de la muestra con la ayuda de una micropipeta, seguidamente se agitó hasta quedar completamente homogénea. Posteriormente se preparó el método en el equipo CG-MS con las condiciones requeridas que se muestran en la tabla 9 a continuación:

**Tabla 9:** Condiciones de trabajo para el análisis por cromatografía GC - MS

<b>Condiciones</b>	Flujo de gas portador (Helio) 40 mL/min
<b>GC</b>	Temperatura del inyector 325°C
	Modo de inyección Split
	Rampas de Temperaturas <ul style="list-style-type: none"> <li>• 80 °C durante 1 min</li> <li>• Ascenso de 40 °C/min hasta 200 °C durante 4 min</li> <li>• Ascenso 15°C/min hasta 325 °C durante 3 min</li> </ul>
<b>MS</b>	Temperatura de filamento 330°C
	Temperatura de Cuádruplo 80 °C
	Temperatura de interfase 350°C
	Solvent delay 8 min

**Fuente:** Las Autoras

#### 4.8.2. Cromatografía GC –MS del Gasoil

Para el análisis de identificación del Gasoil se tomó las mismas condiciones de trabajo y el mismo método que se usó para la identificación del biodiesel (ver tabla 9) en el cromatógrafo de GC – MS, además se consideró las mismas diluciones de la muestra.

#### 4.9. Análisis instrumental por espectrofotometría infrarroja (FTIR)

El equipo utilizado para el análisis FTIR es el espectrómetro Thermo Scientific Nicolet TM iS10 FTIR, que puede ser empleado para análisis de mezclas, piedras preciosas, polímeros plásticos farmacéuticos y forense; su rango de longitud de onda varía entre 400  $\text{cm}^{-1}$  y 4000  $\text{cm}^{-1}$ . El equipo fue utilizado para la obtención de las gráficas IR de los

productos finales como el biodiesel, hidrocarburos pesados, medios y livianos. El infrarrojo midió la Transmitancia (T) o Absorbancia (Abs) de las respectivas muestras, que fueron colocadas en el punto de paso del haz de luz, en donde el instrumento compara la intensidad de la luz que logra atravesar la muestra (I), con la intensidad de luz que se detecta sin la muestra ( $I_0$ ) (Mondragón Cortez, 2015).

**Transmitancia (T).** - Expresada en porcentaje en relación con la cantidad de luz transmitida por la muestra (I) con la cantidad de luz incidente ( $I_0$ ), ambos medidos en la misma posición de espectro con la misma rendija.

$$T(\%) = \frac{I}{I_0} 100 \quad (21)$$

**Absorbancia.** - Representa la cantidad de la luz que es absorbida por la muestra. Se define como el logaritmo de  $1/T$ , en consecuencia:

$$A = \log \left( \frac{1}{T} \right) \quad (22)$$

Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales ( $I_0 = I_t$ ), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda por lo tanto  $\log 1 = 0$ .

La parte del espectro electromagnético que corresponde con transiciones vibracionales, denominada infrarrojo (IR), se divide en tres regiones que son: IR cercano entre  $13000$  y  $4000 \text{ cm}^{-1}$  (región de frecuencias de grupo) se observan una serie de bandas asignadas a vibraciones de sólo dos átomos de la molécula.

El espectro electromagnético que corresponde con transiciones vibracionales, se dividen en distintas regiones en donde la parte izquierda muestra las tensiones que contienen hidrógeno C-H, O-H y N-H), los enlaces triples absorben alrededor de  $2200 \text{ cm}^{-1}$  seguidos por los enlaces dobles hacia la derecha alrededor de  $1700 \text{ cm}^{-1}$  y la región por debajo de  $1400 \text{ cm}^{-1}$  se denomina región de huella dactilar (Ventura, 2007).

Las condiciones de trabajo para el análisis FTIR son: rango espectral comprendido entre; el optimizado que va de  $7,800$  a  $350 \text{ cm}^{-1}$  y el extendido que es de  $11,000$  a  $375 \text{ cm}^{-1}$ , fuente de alimentación  $100\text{-}240 \text{ V}$ , relación señal a ruido  $50,000\text{:}1$  (pico a pico), medición de 1 minuto, resolución espectral de  $0,25 \text{ cm}^{-1}$ , laser en estado sólido con temperatura controlada.

#### 4.10. Comprobación de la funcionalidad de los combustibles en un motor a diésel

Luego de haber elaborado a nivel de laboratorio los combustibles y realizar las diferentes pruebas físico químicas se procedió a comprobar la funcionalidad del producto obtenido, para ello se empleó un motor a diésel procedente de una desmalezadora de jardín (Ver Imagen 31), se midieron diferentes concentraciones tanto del biodiesel como del gasoil al 5, 10, 15, 20, 25 y 30 % respectivamente para ser mezclados con el diésel tradicional, por ejemplo si el motor tiene la capacidad de 1000mL de combustible y se desea mezclarlo con un 20% de biodiesel se tendrá que ocupar 200mL del biodiesel y 800mL restantes de diésel. Se realizaron 8 pruebas de biodiesel y 8 de Gasoil en la desmalezadora, comprobando si encendió o no el respectivo equipo, en base a las diferentes concentraciones de combustible.



Imagen 31 Desmalezadora STIGASB 520

Tabla 10 Especificaciones técnicas del motor

<b>Código</b>	69372106
<b>Cilindrada</b>	51.7c.c
<b>Potencia (KW)</b>	1.55
<b>Potencia (HP)</b>	2.1
<b>Ciclos</b>	2 tiempos
<b>RPM</b>	3200±200
<b>Tubo transmisión ø mm</b>	28mm × 1,5mm
<b>Manubrio</b>	Ergométrico regulable
<b>Cabezal</b>	10.125
<b>Ancho de corte</b>	25,5cm (cuchilla)
<b>Diámetro tanza recomendado</b>	2.8mm

<b>cuchilla</b>	3 dientes
<b>Diámetro cuchilla</b>	255mm
<b>Tanque combustible</b>	1.0 Litro
<b>Arnés</b>	Doble, profesional
<b>Peso</b>	7,10 kg
<b>Nivel de Vibración m/s<sup>2</sup></b>	4

Fuente: (FEMA, 2017).

#### **4.10.1. A.V.S**

El sistema anti-vibración, utilizando materiales absorbentes de choque, aísla al operador de las vibraciones producidas por el motor y el sistema de corte. Los beneficios son: menos fatiga en los brazos, manos y una operación de trabajo más cómoda.

#### **4.10.2. Doble arnés**

El doble arnés ergonómico, asegura una comodidad pura durante las operaciones de trabajo largas y pesadas. Permite movimientos totalmente libres, una distribución de la carga optimizada y una reducción drástica de estrés para los hombros, brazos y piernas incluso a través de la placa de protección.

#### **4.10.3. Sistema de arranque fácil**

El sistema de arranque innovador reduce hasta un 30% la resistencia en el cordón de arranque. El resultado es una forma más rápida y muy cómoda para comenzar el trabajo.

#### **4.10.4. Baja emisión de gases**

Una nueva tecnología de motor permite disminuir el consumo combustible y reducir los niveles de emisiones de escape de acuerdo con la normativa ambiental vigente (FEMA, 2017).

## 5. CAPITULO V: RESULTADOS

### 5.1. Resultados de la caracterización físico-químico del aceite de palma usado

La tabla 11 presenta un resumen de los resultados obtenidos a través de los diferentes análisis realizados al aceite de palma usado.

**Tabla 11** Resultados de la Caracterización físico - química del aceite de palma usado

Parámetro	Unidad	Resultados	Norma	Limite
<i>Porcentaje de Humedad</i>	%	0,154	NTE INEN 1 640	0,5
<i>Color</i>	—————	1170	-----	-----
<i>Numero de Saponificación</i>	mgNaOH/g	189,34	NTE INEN 1 640	Mínimo: 180 Máximo: 270
<i>Densidad</i>	g/mL	0,93	NTE INEN 1 640	Mínimo: 0.891 Máximo: 0.914
<i>Punto de Inflamación</i>	°C	305	-----	-----
<i>Viscosidad cinemática a 40 °C</i>	mm <sup>2</sup> /s	40,2	-----	-----
<i>Índice de Acidez</i>	mgNaOH/g	1,05	NTE INEN 1 640	0,2

Fuente: Las Autoras.

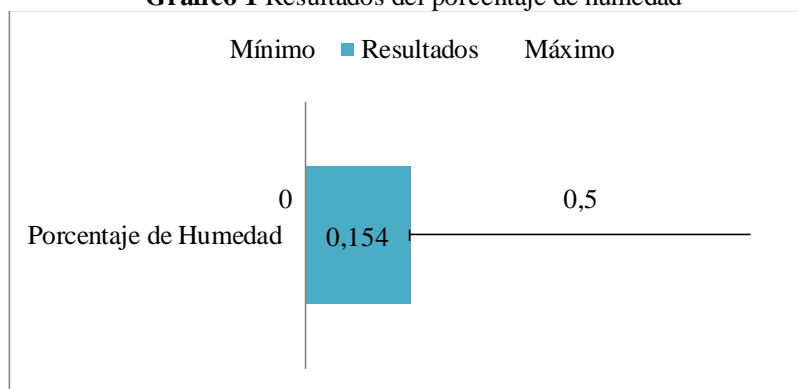
**Tabla 12** Análisis de los resultados de la caracterización físico-química del aceite de palma usado

Parámetro	Resultados	Análisis
<i>Color</i>	1170	El color dió como resultado un tono semejante a un amarillo pardo.
<i>Punto de Inflamación</i>	305	El punto de inflamación se originó a una temperatura alta, producto del vapor que desprendía el aceite.
<i>Viscosidad cinemática a 40°C</i>	40,2	La viscosidad es alta según los resultados efectuados, debido a que presenta triglicéridos los cuales a su vez están formados por moléculas muy largas.

Fuente: Las Autoras.

### 5.1.1. Análisis del porcentaje de humedad

Gráfico 1 Resultados del porcentaje de humedad

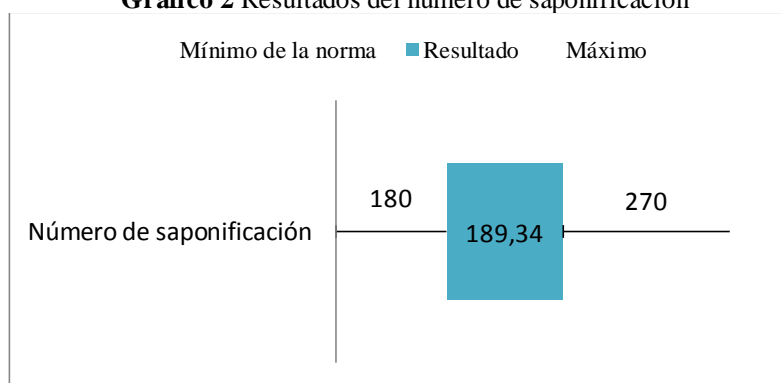


Fuente: Las Autoras.

En este caso, el porcentaje de humedad se encontró entre los parámetros requeridos, ya que según la norma existe un mínimo de 0% y un máximo de 0,5% siendo el resultado 0,154%. Este resultado fue relativamente bajo lo que favoreció la reacción transesterificación evitando que se formen procesos de saponificación, debido a que si se llegase a formar jabón provocaría la aparición de geles que interfieren en la reacción y en la separación del glicerol, además de producir un incremento de la viscosidad en el biodiesel.

### 5.1.2. Análisis del número de saponificación

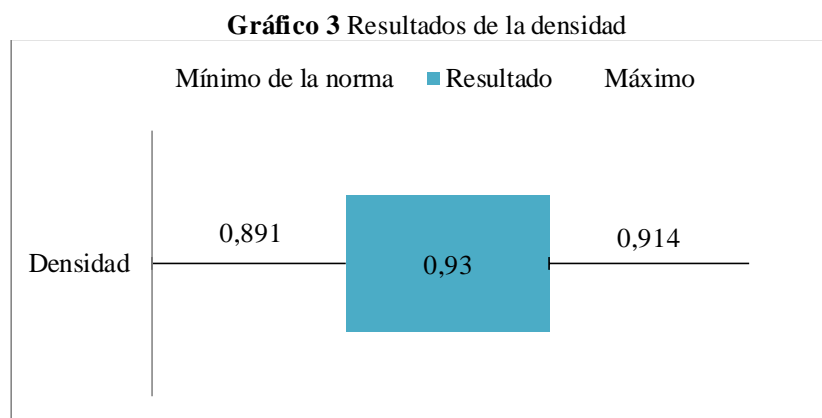
Gráfico 2 Resultados del número de saponificación



Fuente: Las Autoras.

En este caso, el valor obtenido se enmarca en los límites señalados por la norma ecuatoriana entendiendo que, a mayor índice de saponificación, mayor concentración de ácidos grasos de bajo peso molecular (Rodríguez Arzave, J. A.a, Maldonado Salazar, J. M.a, Muro Campillo, M.A.a, Miranda Velásquez, 2016).

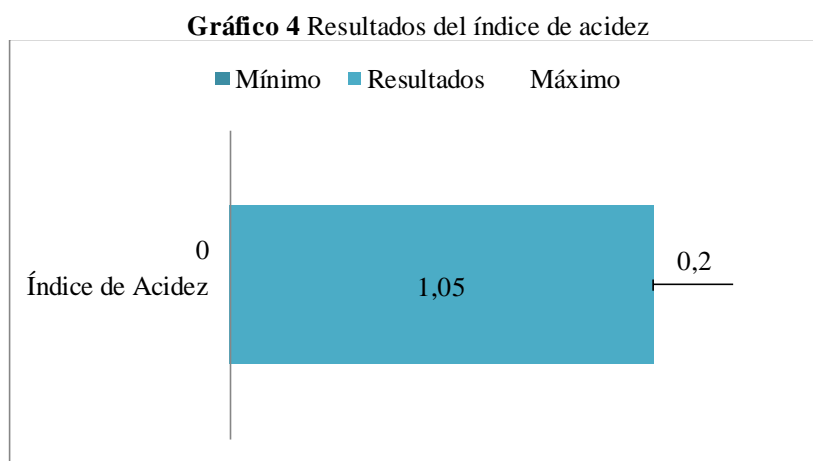
### 5.1.3. Análisis de la densidad



**Fuente:** Las Autoras.

La densidad no se encontró dentro de los rangos según la norma técnica ecuatoriana para aceite de palma crudo, en este caso, a mayor densidad en el aceite de partida, mayor será la densidad de los metilésteres (biodiesel) obtenidos, debido a que existen en el aceite usado diferentes ácidos grasos, lo que influye en el incremento del peso molecular, al mismo tiempo habrá un aumento de los porcentajes de ácidos saturados hidroxilados, es decir, a mayor cantidad de frituras este sometido el aceite mayor será la rancidez del mismo (Ramírez, 2011).

### 5.1.4. Análisis del índice de acidez



**Fuente:** Las Autoras.

El índice de acidez se encontró por encima de los rangos establecidos por la norma NTE INEN 1 640, esto puede deberse principalmente a que el aceite es de origen industrial, y en vista que presenta un número grande en cuanto a la acidez se puede deducir que dicho aceite fue reutilizado durante su proceso para la obtención de papas fritas, según el autor (OSORIO, 2014) encontrando que el contenido de ácidos grasos



libres aumenta ya sea por el tiempo, condiciones de almacenamiento o por cada fritura realizada en este.

## 5.2. Análisis del resultado en el rendimiento del Biodiesel

Luego de realizar 19 experimentos a escala de laboratorio para la obtención de biodiesel con diferentes concentraciones de catalizador y etanol respectivamente, se comprobó que utilizando el 0,35% de Na(OH) (p/v) y el 20 % de etanol se obtuvo un rendimiento óptimo del biodiesel, es decir, de un 88% aproximadamente, de acuerdo a la fórmula de rendimiento especificada en la metodología.

De manera que, al usar como punto de partida 80 mL de aceite de palma con dosis de 0,28g de Na(OH) y 16mL de etanol, se obtuvo como resultado 84 mL de biodiesel en relación a 96 mL de la materia prima utilizada. En este caso se obtiene un rendimiento óptimo a través de las metodologías aplicadas, lo que quiere decir que se obtiene una gran cantidad de producto a partir de la materia prima utilizada.

**Tabla 13** Factores del proceso de transesterificación

<b>Velocidad de agitación</b>	Un parámetro muy importante a tener en cuenta, debido a que si no hay una correcta agitación el Etóxido de Sodio no se mezcla adecuadamente con el aceite de palma, originando un producto de aspecto gelatinoso y una separación incompleta del biodiesel respecto a la glicerina, la velocidad de agitación idónea fue de 1000 rpm.
<b>Temperatura</b>	La temperatura fue de 75°C puesto que la reacción es endotérmica

**Fuente:** Las Autoras.

### 5.2.1. Resultados Estadísticos del rendimiento del biodiesel

Los datos obtenidos en esta prueba fueron procesados a través del programa estadístico del SPSS para determinar la frecuencia en los rangos procesados en cada una de las muestras. En este particular se determinó a través de 19 muestras distintas, la concentración Na(OH), el porcentaje de etanol, el tiempo y el rendimiento, todas con una agitación de 1000 rpm y una temperatura de 75°C.

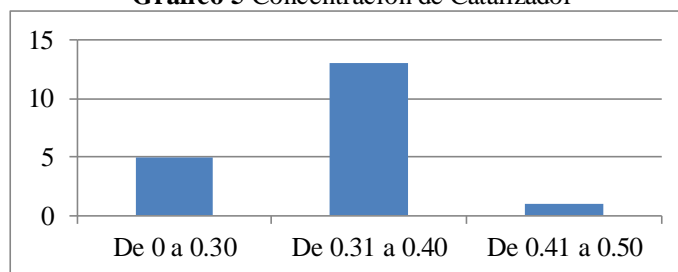
### 5.2.1.1. Análisis de la Concentración de Catalizador

**Tabla 14** Concentración de catalizador en la prueba del biodiesel

		Frecuencia	Porcentaje %
Válido	De 0 a 0.30	5	26,3
	De 0.31 a 0.40	13	68,4
	De 0.41 a 0.50	1	5,3
	Total	19	100,0

**Fuente:** Las Autoras.

**Gráfico 5** Concentración de Catalizador



**Fuente:** Las Autoras.

El gráfico 5 indica, que producto de las 19 pruebas realizadas se obtuvo entre un rango de 0.31% a 0.40 % una concentración idónea de catalizador, es preciso indicar, que el resultado es óptimo porque al sobrepasar dicho parámetro se tiende a saponificar resultando un aspecto gelatinoso.

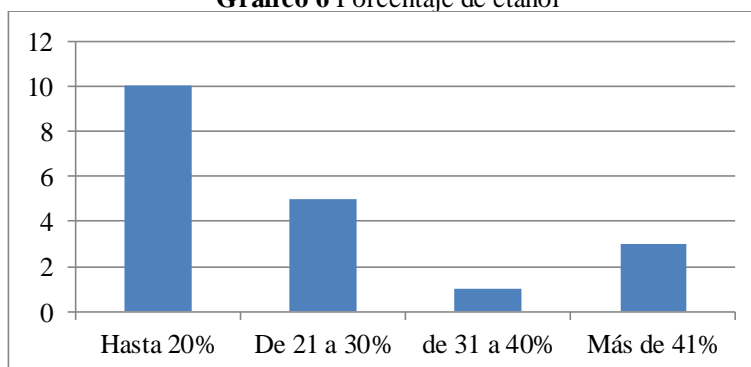
### 5.2.1.2. Análisis del Porcentaje de etanol

**Tabla 15** Porcentaje de etanol en la prueba del biodiésel

		Frecuencia	Porcentaje %
Válido	Hasta 20%	10	52,6
	De 21 a 30%	5	26,3
	De 31 a 40%	1	5,3
	Más de 41%	3	15,8
Total		19	100,0

**Fuente:** Las Autoras.

**Gráfico 6** Porcentaje de etanol



**Fuente:** Las Autoras.

De acuerdo al Gráfico 6, la concentración idónea de etanol fue del 20% en base a las pruebas realizadas, debido a que si se colocaba menos de esta concentración el biodiesel se tornaba gelatinoso, mientras que si se sobrepasaba el 20% daba como resultado la formación excesiva de glicerina y poca cantidad de biodiesel, por ende, un rendimiento ineficiente.

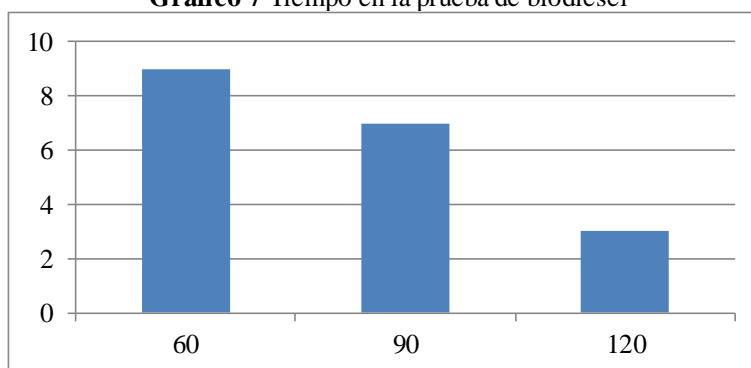
### 5.2.1.3. Análisis del Tiempo

**Tabla 16** Tiempo en la prueba del biodiesel

		Frecuencia	Porcentaje %
Válido	60 min	9	47,4
	90 min	7	36,8
	120 min	3	15,8
	Total	19	100,0

**Fuente:** Las Autoras.

**Gráfico 7** Tiempo en la prueba de biodiesel



**Fuente:** Las Autoras.

El tiempo fue una de las variables más comunes en los diferentes procesos realizados en este estudio y de acuerdo a la tabla 16 el tiempo empleado con mayor frecuencia fue el de 60 minutos, puesto a que, la formación de metilésteres suele ser numerosa en los primeros minutos, contando para ello con una buena agitación y con las condiciones óptimas del aceite de palma usado, pero tiende a ser nula con el avance de la reacción después de 90 minutos.

### 5.2.1.4. Análisis de la concentración de Catalizador vs el Rendimiento

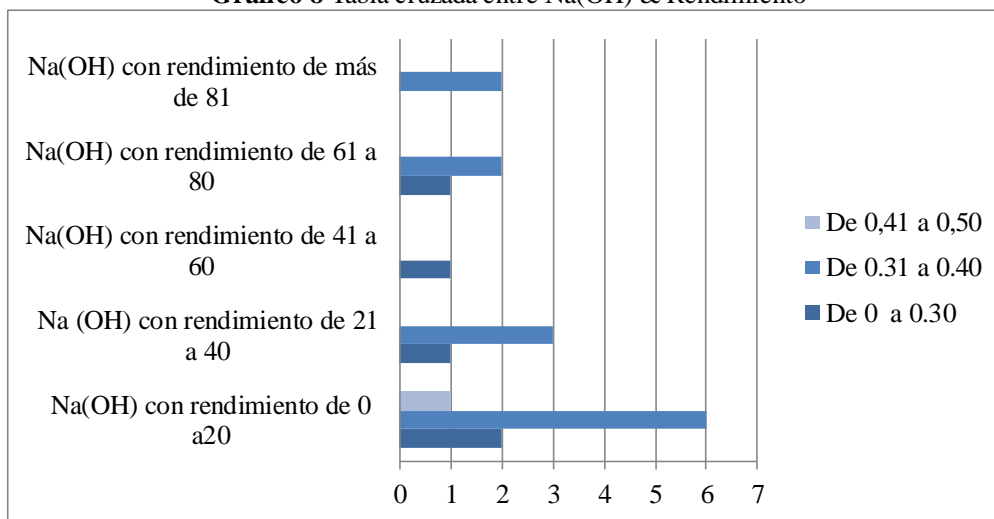
**Tabla 17** Tabla cruzada Concentración Na(OH)\*Rendimiento

		Rendimiento					Total
		De 0 a 20	De 21 a 40	De 41 a 60	De 61 a 80	Más de 81	
Concentración Na(OH)	De 0 a 0.30	2	1	1	1	0	5
	De 0.31 a 0.40	6	3	0	2	2	13

De 0.41 a 0.50	1	0	0	0	0	1
<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>19</b>

Fuente: Las Autoras.

**Gráfico 8** Tabla cruzada entre Na(OH) & Rendimiento



Fuente: Las Autoras.

Otra correlación analizada en este estudio es la existente entre Na(OH) y el Rendimiento, donde se evidenció que es un producto que no se desperdicia, ya que al colocar mayor concentración de catalizador se forma un gel sólido en lugar de biodiesel, disminuyendo por tanto el rendimiento, lo que podría generar gran desperdicio de producto si se realiza a gran escala.

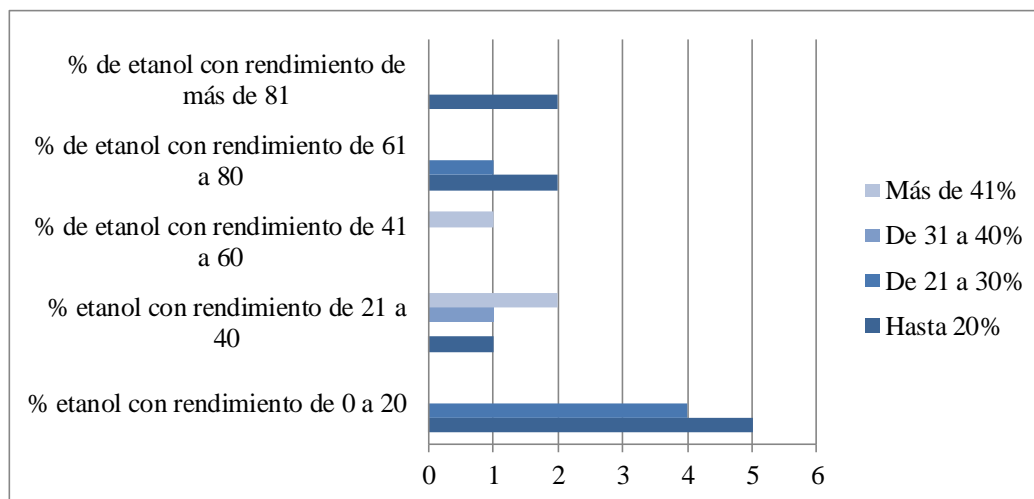
### 5.2.1.5. Análisis del Etanol vs Rendimiento

**Tabla 18** Tabla cruzada Porcentaje de etanol\*Rendimiento

		Rendimiento					Total
		0 a 20	21 a 40	41 a 60	61 a 80	+ 81	
Porcentaje de etanol	Hasta 20%	5	1	0	2	2	10
	De 21 a 30%	4	0	0	1	0	5
	De 31 a 40%	0	1	0	0	0	1
	Más de 41%	0	2	1	0	0	3
<b>Total</b>		<b>9</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>19</b>

Fuente: Las Autoras.

**Gráfico 9** Tabla cruzada entre porcentaje de etanol y rendimiento



Fuente: Las Autoras.

Por su parte el porcentaje de etanol y rendimiento presentaron mayor correlación en el rango de hasta 20% de etanol, dado a que, en las pruebas realizadas con dicha concentración no se llegó a formar emulsiones que dificultasen la separación del biodiesel y la glicerina, obtenido un producto de alto rendimiento.

### 5.3. Resultados de la caracterización Físico Química del Biodiesel

La tabla 19 permite cotejar los resultados de las pruebas de caracterización Físico Química realizados en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, con la norma NTE INEN 2482 “Biodiesel Requisitos” que rige el territorio nacional y con la norma ASTM de origen estadounidense.

Tabla 19 Resultados de la caracterización físico-química del Biodiesel

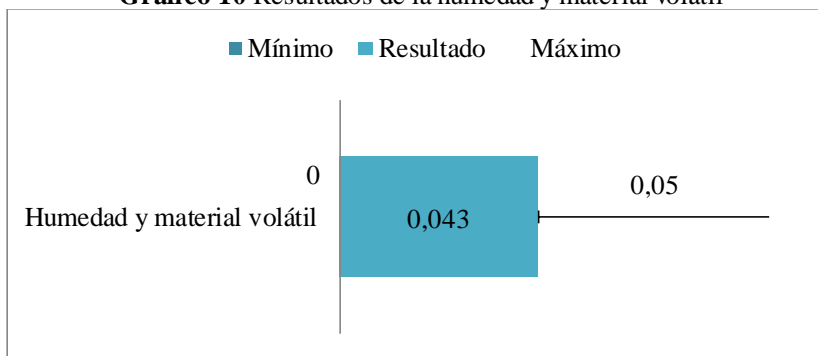
Parámetro	Unidad	Resultados	Norma	Límite
<i>Humedad y material volátil</i>	% Vol	0,043	ASTM D2709	Máximo 0,05
<i>Cenizas Sulfatadas</i>	%(m/m)	0,011	ASTM D 874	Máximo 0,020
<i>Corrosión a la lámina de cobre</i>	_____	1 <sup>a</sup>	AST D130	Máximo 3
<i>Densidad</i>	kg/m <sup>3</sup>	844	ASTM D 1298	Mínimo 860 Máximo 900
<i>Peso específico</i>	g/mL	0,899	-----	-----
<i>Punto de Inflamación</i>	°C	170	ASTM D-93	120 min

<i>Poder Calorífico</i>	MJ/kg	39,4	ASTM D240	39,5
<i>Viscosidad cinemática a 40 °C</i>	mm <sup>2</sup> /s	5,77	ASTM D 445	Mínimo 3,5 Máximo 5
<i>Índice de Refracción</i>	N <sup>o</sup> D	1,462	-----	-----
<i>Punto Nube</i>	°C	3	ASTM D 2500	REPORTAR
<i>Índice de Acidez</i>	mg NaOH/g	0,70	ASTM D 664	Máximo 0,50
<i>Índice de Cetano</i>	cetanos	51,84	ASTM D 6751	49 Mínimo

Fuente: Las Autoras.

### 5.3.1. Análisis de la humedad y material volátil

Gráfico 10 Resultados de la humedad y material volátil



Fuente: Las Autoras.

Este valor se enmarcó en los rangos permitidos para estas variables según la norma ecuatoriana. En este caso, este resultado se orienta a la determinación de la calidad del biodiesel ya que, cuando hay un exceso de agua y no se cumple con los límites de calidad, pueden presentarse obstrucciones en el circuito de alimentación del motor debido a que pueden ser arrastrados en el combustible y llegar a almacenarse en el depósito de la cámara del motor.

### 5.3.2. Análisis de las cenizas sulfatadas

Gráfico 11 Resultados de las cenizas sulfatadas

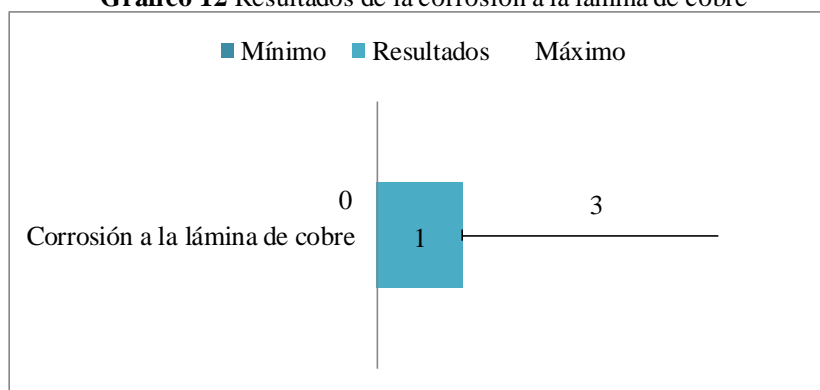


Fuente: Las Autoras.

Este valor se encuentra en los rangos permitidos para estas variables según la norma ecuatoriana, lo que resulta positivo porque al sobrepasar el límite máximo, se pueden ocasionar problemas abrasivos, contribuir con el taponamiento de filtros y generar depósitos en el motor al realizar una combustión completa en el motor.

### 5.3.3. Análisis de la corrosión a la lámina de cobre

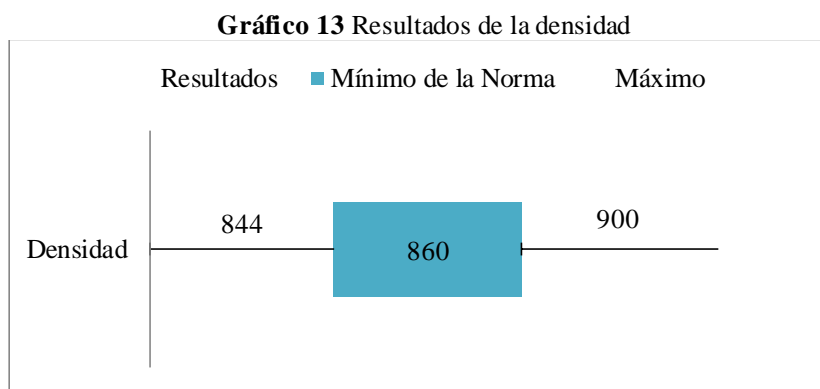
Gráfico 12 Resultados de la corrosión a la lámina de cobre



Fuente: Las Autoras.

Este es un indicativo para verificar los compuestos corrosivos y ácidos que pudiesen llegar a alterar el cobre que forma parte del sistema de combustible, como, por ejemplo; bomba de inyección, pistón y anillos. En este caso, el valor del producto se encontró entre los valores permitidos; esto evidencia una carencia de sustancias corrosivas y catalizadores no eliminados tales como ácidos o compuestos azufrados.

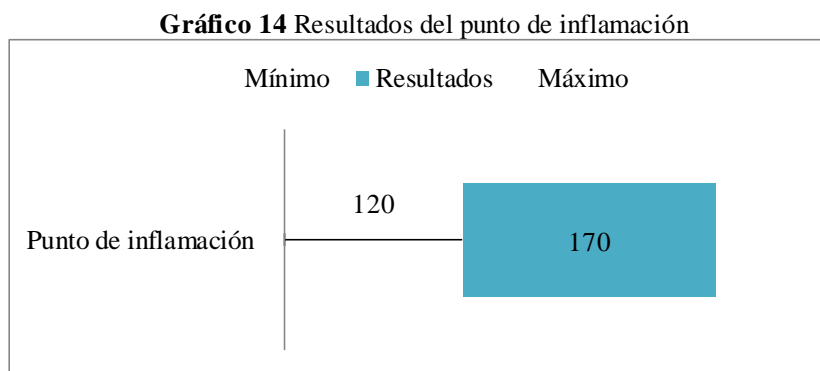
### 5.3.4. Análisis de la densidad



**Fuente:** Las Autoras.

La densidad en este tipo de estudios también establece límites de acuerdo a las diferentes normativas, en este caso es de 860 kg/m<sup>3</sup> mínimo y de 900 kg/m<sup>3</sup> máximo; no obstante, el resultado estuvo por debajo del mínimo requerido pues se alcanzó 844 kg/m<sup>3</sup>, por tanto, influye directamente en el rendimiento del motor debido a que la combustión del motor puede ocasionar retrasos de inyección.

### 5.3.5. Análisis del punto de inflamación

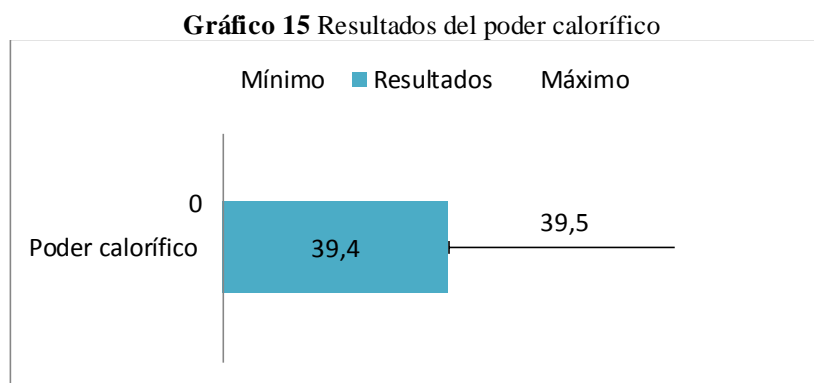


**Fuente:** Las Autoras.

Respecto al punto de inflamación se encontró muy por encima de los límites máximos establecidos por la norma ecuatoriana que es de 120 °C. En este particular el resultado fue de 170°C con una marcada diferencia con los límites permitidos, y al estar sobrepasándose dicho parámetro demuestra que no hay una concentración alta de alcohol en el producto. Por tanto, el biodiesel producido no tendrá propensión a evaporarse con facilidad y se podrá almacenar sin ningún inconveniente a temperatura ambiente.



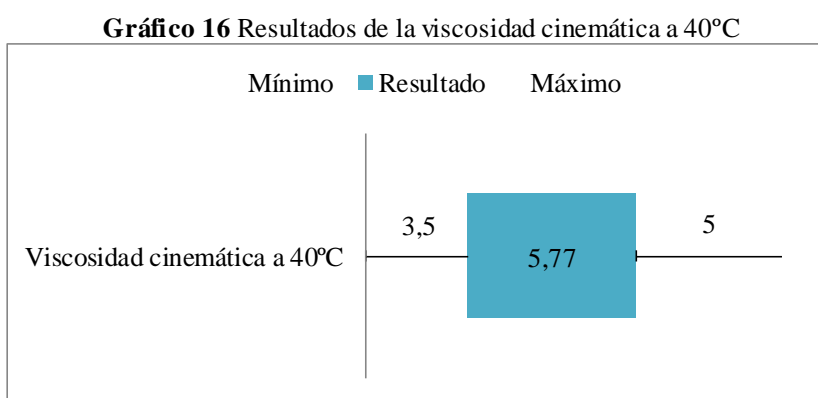
### 5.3.6. Análisis del poder calorífico



**Fuente:** Las Autoras.

El poder calorífico se encontró en el límite de lo permitido ya que, de acuerdo con la normativa el máximo es de 39,5MJ/kg y los resultados muestran un 39,4 MJ/kg lo que evidencia la viabilidad de este estudio debido a que es un parámetro que se suma a la lista de parámetros que resultan positivos en esta investigación. Este resultado fue positivo dado que altos valores de esta propiedad tienden a disminuir el tiempo de encendido del motor y evita pérdidas de potencia como de consumo en el motor.

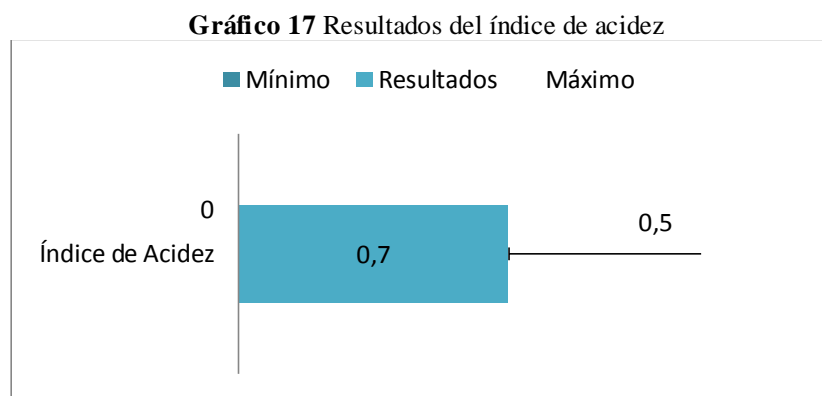
### 5.3.7. Análisis de la viscosidad cinemática a 40°C



**Elaborado por:** Las Autoras.

La viscosidad obtenida no cumplió con el límite máximo permitido referente a la norma ecuatoriana; por su parte, se enmarcó en los rangos establecidos de la norma ASTM estadounidense que van desde 1,9 a 6 mm<sup>2</sup>/s, lo que sugiere que cumple con los requerimientos de calidad. Las consideraciones acerca de la viscosidad permiten evitar fallas en el funcionamiento del motor. Algo que vale recalcar es que si hubiese una viscosidad relativamente alta se produciría un chorro sólido en vez de uno denso formado por unas diminutas gotitas, en consecuencia, a la hora de probar en un motor resultara una combustión incompleta, formando humo negro y fomentando el desarrollo de depósitos en la cámara de combustión.

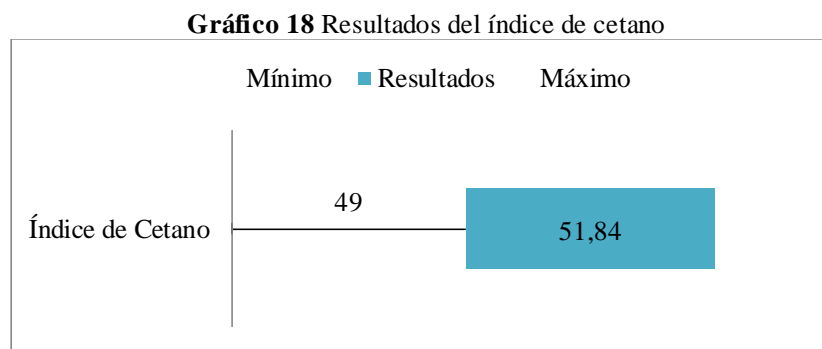
### 5.3.8. Análisis del índice de acidez



**Fuente:** Las Autoras.

Se encontró por encima del límite máximo permitido según la norma ecuatoriana, lo que puede perjudicar al equipo de inyección del motor, formar depósitos, obstrucción de los filtros y a la larga ocasionar mayor corrosión en el sistema. Sin embargo, la norma de calidad ASTM de EE. UU menciona que el límite máximo del índice de acidez es de 0,80 mg NaOH/g, por lo que permite cumplir con los criterios de calidad para el uso del biodiesel.

### 5.3.9. Análisis del índice de cetano



**Fuente:** Las Autoras.

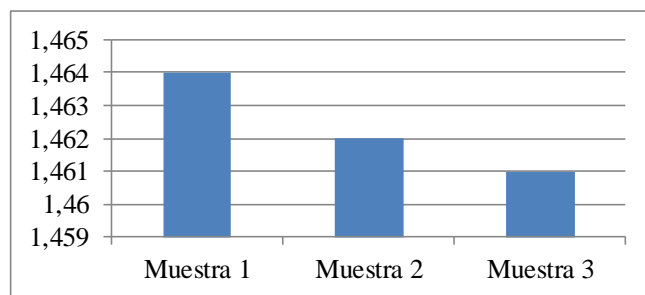
En este caso, es importante hacer referencia a que en cuanto mayor sea el valor del número de cetano, menor será el retraso del encendido y por ende mayor la propensión del combustible para encender, por tanto, se encuentra relacionado directamente con la calidad del biocombustible. En este caso, el mínimo es de 49 cetanos y el resultado reporta un número mayor.

### 5.3.10. Análisis del Índice de refracción

**Tabla 20** Índice de refracción

Muestra	Índice de Refracción n <sup>t</sup> D
1	1,464
2	1,462
3	1,461

Fuente: Las Autoras.



**Gráfico 19** Índice de refracción

Fuente: Las Autoras

Para el índice de refracción se realizaron tres muestras cuyos resultados tuvieron poca variación unas de otras, pues en la primera se obtuvo 1,464 n<sup>t</sup>D; en la segunda 1,462 n<sup>t</sup>D y en la tercera 1,461 n<sup>t</sup>D.

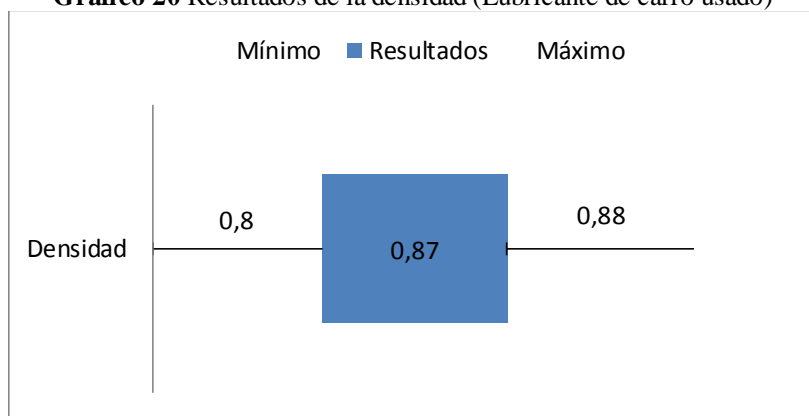
### 5.4. Resultados de la Caracterización del Lubricante usado de carros

**Tabla 21** Caracterización del lubricante de carro usado

Parámetro	Unidad	Resultados	Norma	Límite
Densidad	g/mL	0,87	ASTM 4052	Mínimo 0,80 Máximo 0,88
Índice de viscosidad	m <sup>2</sup> /s	134,89	ASTM D 2270	Mínimo 90 Máximo < 120
Punto de Inflamación	°C	210	ASTM D 92	Mínimo 185
Contenido de agua y sedimentos	% v/v	0,3	ASTM D 1796 ASTM D4377 ASTM D 6304	Máximo 0,05
Gravedad API o peso específico a 15.6 °C	°API	28,3	ASTM D 1298	Mínimo 29 Máximo 45

### 5.4.1. Análisis de la densidad

Gráfico 20 Resultados de la densidad (Lubricante de carro usado)

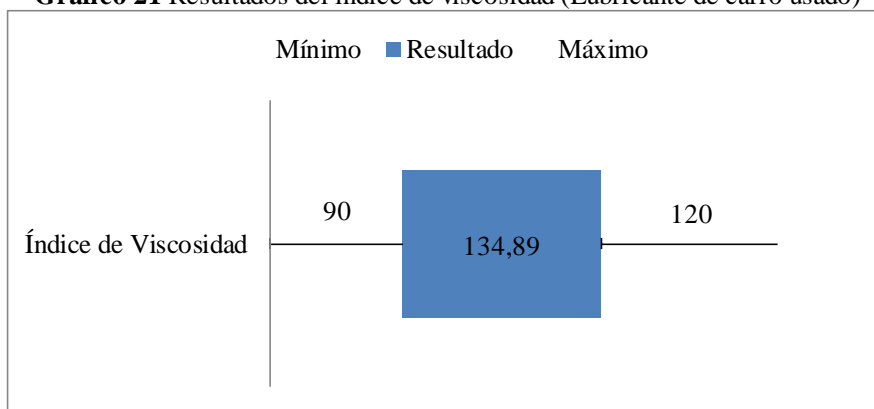


Fuente: Las Autoras.

Estos resultados se encontraron dentro del rango admitido por la normativa internacional ASTM debido a que la densidad de los aceites lubricantes está relacionada con la naturaleza del crudo y punto de destilación de la fracción, para fracciones equivalentes, los aceites parafínicos son de menor densidad y los aromáticos los de mayor densidad correspondiendo a los tipos naftenos de densidades intermedias.

### 5.4.2. Análisis del índice de viscosidad

Gráfico 21 Resultados del índice de viscosidad (Lubricante de carro usado)

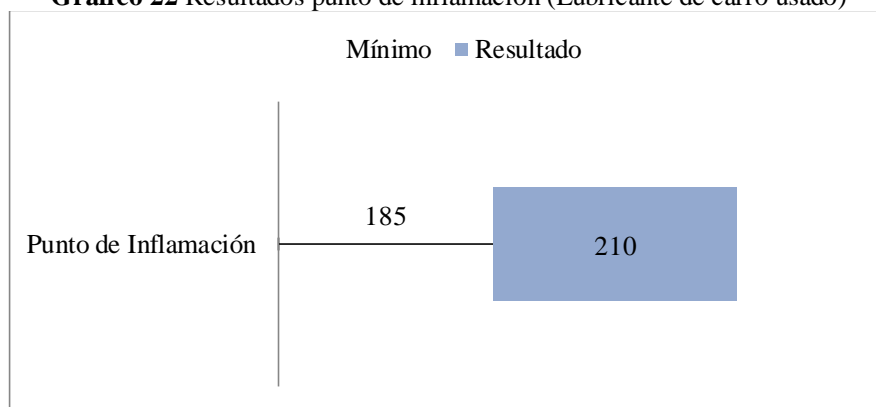


Fuente: Las Autoras.

El valor del índice de viscosidad fue alto debido a que puede verse modificado considerablemente por las variaciones internas de su composición y estructura determinadas por el origen del petróleo crudo y su proceso de refino, por otro lado, son las condiciones externas tales como la temperatura y la presión que pueden influir sobre las fuerzas moleculares. Es la medida de la variación de un aceite en función de la temperatura.

### 5.4.3. Análisis del punto de inflamación

**Gráfico 22** Resultados punto de inflamación (Lubricante de carro usado)

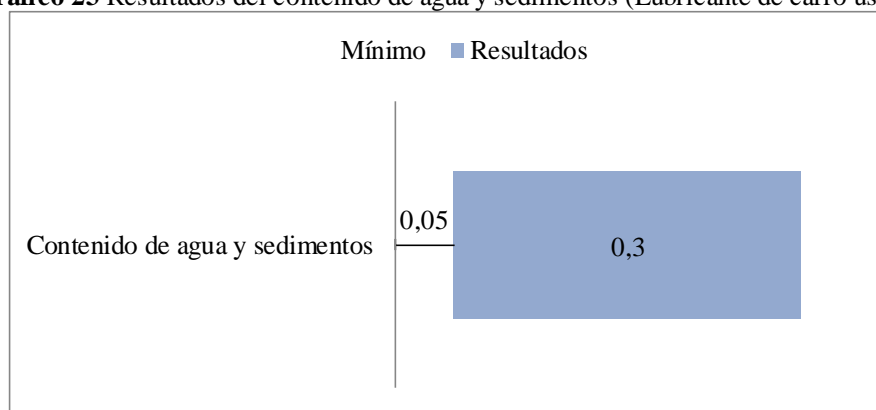


**Fuente:** Las Autoras.

Respecto al punto de inflamación, la norma solo establece un límite mínimo de 185°C, en este caso el resultado obtenido fue de 210°C, por lo que cumple con el requerimiento mínimo de acuerdo a la norma. Por tanto, se considera un alto signo de calidad en el aceite, dado que el aceite empieza a emitir vapores inflamables relacionados con la volatilidad del aceite.

### 5.4.4. Análisis del contenido de agua y sedimentos

**Gráfico 23** Resultados del contenido de agua y sedimentos (Lubricante de carro usado)

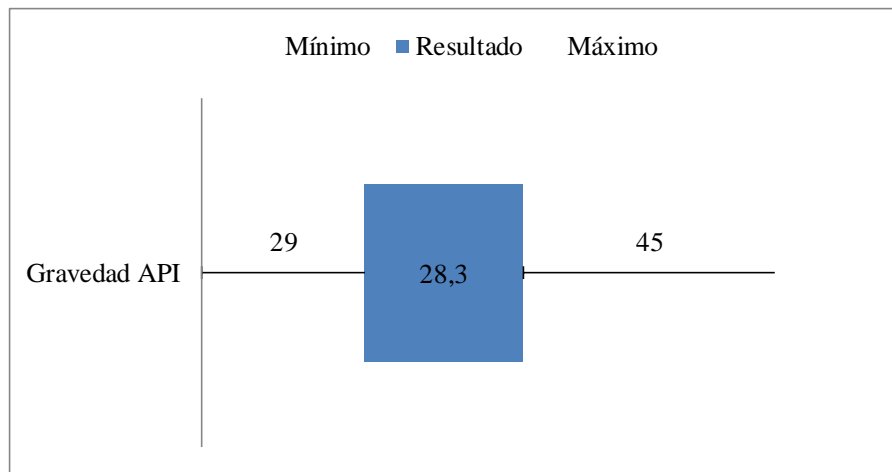


**Fuente:** Las Autoras.

Los resultados del contenido de agua y sedimentos de 0,3% V/V sobrepasaron el máximo de la norma que fue de 0,05 % V/V y por ende este resultado puede afectar significativamente la apariencia del aceite sugiriendo que hay condensación o una fuga de agua.

### 5.4.5. Análisis de la gravedad API

**Gráfico 24** Resultados de la gravedad API (Lubricante de carro usado)



**Fuente:** Las Autoras.

La gravedad API con un resultado de 28,3 °API se encontró por debajo del mínimo que la norma contempla como un límite permitido que es de 29 °API y el máximo es de 45 °API. Por lo tanto, este resultado puede influir en la regulación de las operaciones de destilación fraccionada o en la conversión de viscosidad cinemática en viscosidad absoluta. La determinación de la gravedad específica no tiene un empleo directo, pero si ayuda: regulando las operaciones de destilación fraccionada, convirtiendo viscosidad cinemática en viscosidad absoluta e identificando aproximadamente de donde proviene el aceite.

#### **5.4.6. Contenido de Metales**

Los resultados del contenido de metales en el lubricante usado de carros, se pueden notar que el contenido metálico está dominado por el Zinc con 1036,8 mg/L de aceite usado. Esto se debe a que los aceites usados contienen nitrofosfatos de Zinc, los cuales funcionan como inhibidores de oxidación y corrosión de rodamientos. El Hierro presentó una concentración de 46,44 mg/L de aceite usado, esto se debe a que el motor de un automóvil está compuesto principalmente por hierro fundido. El manganeso, el plomo y el cromo también son metales que forman parte del motor, es por esto, que los metales que siguen en concentración con 10,14, 5,06 y 2,05 mg/L de aceite usado, respectivamente (Almeida, 2010).

### **5.5. Análisis de los resultados de la prueba del Gasoil**

#### **5.5.1. Análisis Estadístico del rendimiento del Gasoil**

En este particular se realizaron tres pruebas cuyas variaciones se presentaron en el volumen, temperatura y tiempo de destilación; para su análisis se hizo uso del programa

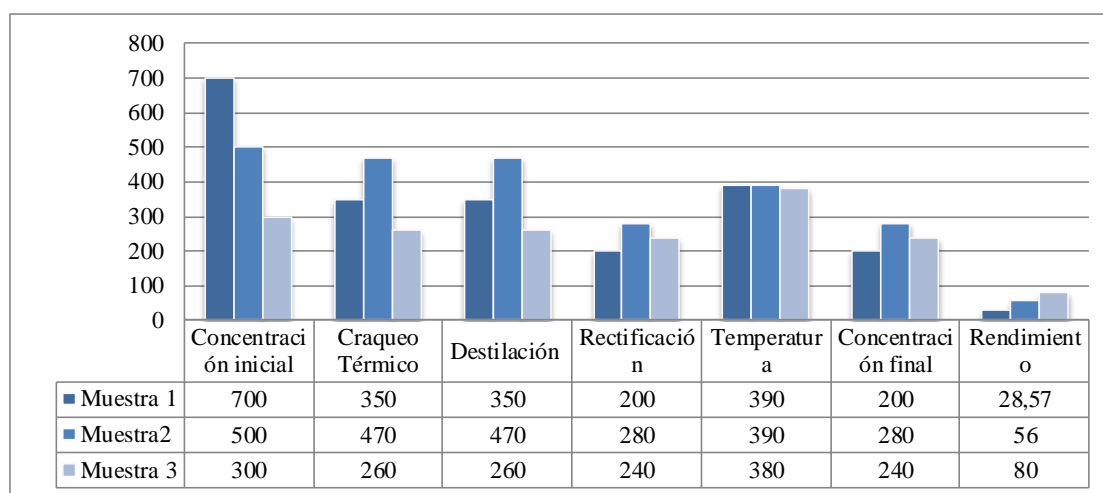
SPSS con el fin de interpretar el rendimiento de cada una de sus muestras. Vale recalcar que se utilizó de la fórmula 17.

**Tabla 22** Rendimiento del Gasoil

Concentración Inicial Lubricante mL	Craqueo Térmico mL	Destilación mL	Rectific. mL	Tmp. °C	Conc. Final Gasoil	Rend.	T. total
700	350	350	200	390	200	28.57	
500	470	470	280	390	280	56	
300	260	260	240	380	240	80	
<b>Tiempo empleado</b>	7h	4h	15min				675min

**Fuente:** Las Autoras.

**Gráfico 25** Rendimiento del Gasoil



**Fuente:** Las Autoras.

### 5.5.1.1. Análisis del Craqueo Térmico

El proceso de elaboración del Gasoil mediante el craqueo térmico se analizó en las tres muestras considerando la concentración inicial, la temperatura y el tiempo son primordiales para evitar pérdidas de la Materia prima; en la muestra 1 el producto de entrada fue de 700mL con una temperatura de 390°C y un tiempo 6h; en la segunda muestra el producto de entrada fue de 500mL, a temperatura de 380°C y un tiempo de 6h; en la tercera muestra el producto de entrada es de 300mL, la temperatura de 380°C y el tiempo de 7h. Por lo tanto, el tiempo de craqueado será de 7 horas en donde se puede ver que en la muestra 3 el subproducto de 260mL.

### 5.5.1.2. Análisis de la Destilación Hidrocarburos medios

El proceso de obtención del Gasoil mediante la destilación de hidrocarburos se obtuvo los resultados descritos en la tabla 18, donde se analizó en las tres muestras considerando la temperatura y el tiempo; en la muestra 1 el producto de entrada fue de 350mL con una

temperatura de 280°C y un tiempo 90min; en la segunda muestra el producto de entrada fue de 470mL, una temperatura de 360°C y un tiempo de 60min; en la tercera muestra el producto de entrada fue de 260mL, la temperatura de 370°C y el tiempo de 60min. En donde el mayor rendimiento del producto es a una temperatura 360°C con un tiempo de 60 min aproximadamente.

### 5.5.1.3. Análisis de la Rectificación

La rectificación se analizó en las tres muestras considerando la concentración inicial, la temperatura y el tiempo; en la muestra 1 el producto de entrada fue de 200mL con una temperatura de 280°C y un tiempo 30min; en la segunda muestra el producto de entrada fue de 280mL, una temperatura de 200°C y un tiempo de 20min; en la tercera muestra el producto de entrada fue de 240mL, la temperatura de 160°C y el tiempo de 15 min. Se puede ver que el tiempo idóneo es de 15min donde existe una mayor cantidad de producto rectificado con un 80% del rendimiento del Gasoil ya que si sobrepasa el límite el producto se tornara de color oscuro.

## 5.6. Resultados de la Caracterización físico química del Diésel sintético #2

### (Gasoil)

A continuación, en la tabla 23 permite comparar los resultados de las pruebas de caracterización Físico Química realizados en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana, con la norma NTE INEN que rige el territorio nacional y con la norma ASTM de origen estadounidense.

**Tabla 23.** Resultados de propiedades Físicoquímicas del Diésel sintético #2 (Gasoil)

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados</b>	<b>Norma</b>	<b>Limite</b>
<i>Agua y Sedimentos</i>	% V/V	0,02	NTE INEN 1494	Máximo 0,05
<i>Residuo Carbonoso al 10 %</i>	% p/p	0,13	ASTM D 4007 NTE INEN 1491	Máximo 0,03 Máximo 0,15
<i>Corrosión a la lámina de cobre</i>	_____	1a	ASTM D 524 NTE INEN 927	máximo 1c
<i>Densidad</i>	kg/m <sup>3</sup>	862	ASTM 1655	Mínimo 820 Máximo 845
<i>Gravedad API</i>	°API	33	ASTM 1298	Mínimo 10 Máximo 49
<i>Punto de Inflamación</i>	°C	55	NTE INEN 1493	Mínimo 51 Máximo > 65°C

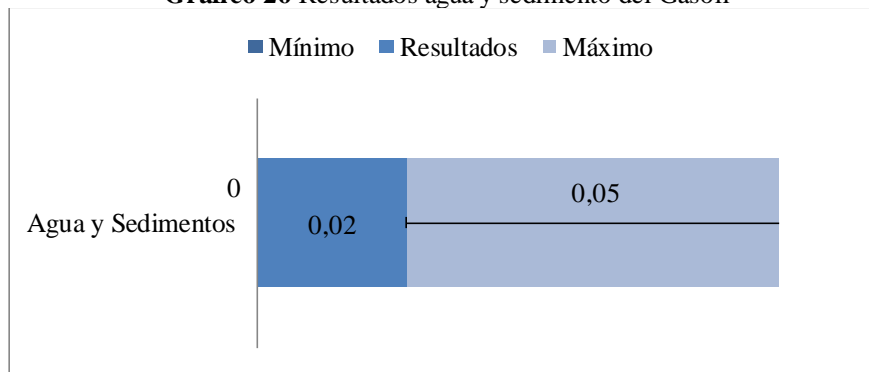


<i>Contenido de Cenizas</i>	% p/p	0,014	NTE INEN 1492	máximo 0,01
<i>Viscosidad cinemática a 40 °C</i>	mm <sup>2</sup> /s	3,45	NTE INEN 810 ASTM D2270	Mínimo 2,0 Máximo 5,0 1.0034
<i>Temperatura de destilación al 90%</i>	°C	368	NTE INEN 926	Máximo 360
<i>Índice de Cetano Calculado</i>	°C	42,47	NTE INEN 1495 ASTM	Mínimo 45 40-55
<i>Contenido de Azufre</i>	% p/p	0,32	NTE INEN 1490 ASTM 4294	máximo 0,05
<i>Poder calorífico</i>	MJ/kg (KJ/kg)	42,798	NTE INEN 1489 ASTM D-4809	Mínimo 0,95 Máximo 42,76
<i>Porcentaje de humedad</i>	%	0,36		
<i>Color</i>		Verde claro		

Fuente: Las Autoras.

### 5.6.1. Análisis del agua y sedimentos

Gráfico 26 Resultados agua y sedimento del Gasoil

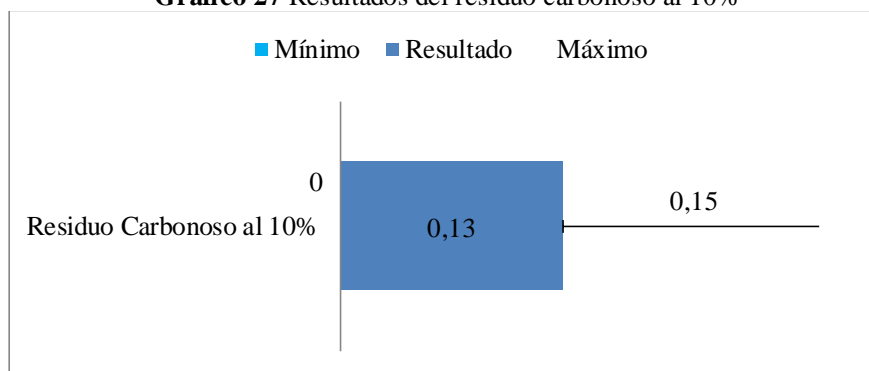


Fuente: Las Autoras.

La norma internacional ASTM sobre el contenido de agua y sedimento tiene como requisito máximo 0,05 % V/V, por lo que al compararla con nuestro resultado de 0,02% V/V se encuentra dentro de los requisitos de los estándares de calidad, por ende, se tendrá un buen funcionamiento en el motor.

### 5.6.2. Análisis del residuo carbonoso al 10%

Gráfico 27 Resultados del residuo carbonoso al 10%



Fuente: Las Autoras.

El resultado que se obtuvo referente al residuo carbonoso fue de 0,13% p/p a diferencia del límite máximo de la norma INEN que tiene como límite 0,15% p/p, se encuentra dentro del rango de los límites permitidos dentro de los estándares de la calidad nacional, lo que indica que no se formarán depósitos de carbonilo en los elementos del motor.

### 5.6.3. Análisis de la densidad

Gráfico 28 Resultados de la densidad (Gasoil)

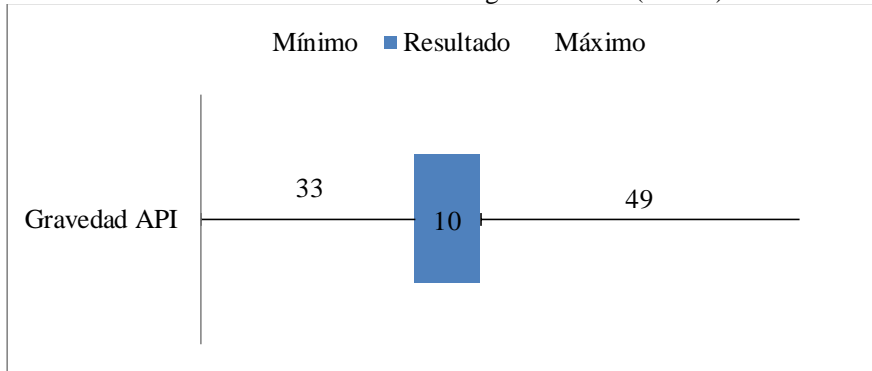


Fuente: Las Autoras.

La densidad es fundamental para el funcionamiento del motor a diésel, cabe decir que, la densidad obtenida al momento de realizar los análisis fisicoquímicos del gasoil es alta a diferencia de la internacional ASTM. En este caso la densidad se presentó 17 puntos por encima del máximo permitido que es de 845 kg/m<sup>3</sup> y el mínimo de la norma es de 820 kg/m<sup>3</sup>; el resultado fue de 862 kg/m<sup>3</sup> lo que constituye una densidad alta que podría producir más gases contaminantes y una mayor potencia ocasionando problemas de combustión que pueden ser por retrasos en la inyección por consiguiente el deterioro de los elementos del motor.

#### 5.6.4. Análisis de la gravedad API

Gráfico 29 Resultados de la gravedad API (Gasoil)

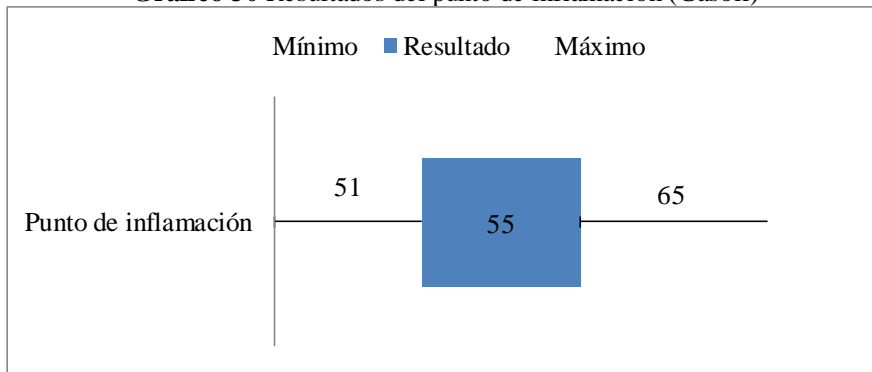


Fuente: Las Autoras.

Respecto a la gravedad API se evidenció que se encuentra entre los límites mínimo (10 °API) y máximo (49 °API), pues el resultado obtenido en esta prueba fue de 33°API y fue similar en las dos muestras realizadas tanto del lubricante como del gasoil, porque depende principalmente de la estructura química del aceite lubricante según la norma ASTM 1298. Esto determinará la calidad del combustible.

#### 5.6.5. Análisis del punto de inflamación

Gráfico 30 Resultados del punto de inflamación (Gasoil)

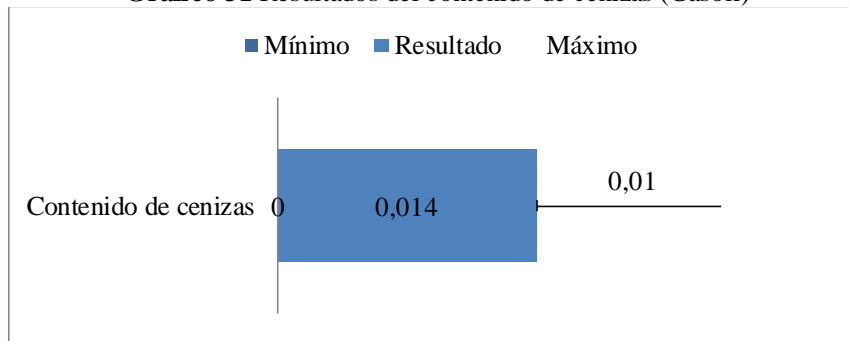


Fuente: Las Autoras.

El punto de inflamación se encontró dentro los parámetros establecidos por la norma ASTM, esto es porque el aceite lubricante contiene básicamente hidrocarburos pesados, siendo beneficioso, ya que se puede emplear en motores con mayores tasas de compresión, los mismos que distribuyen más potencia y torque.

### 5.6.6. Análisis del contenido de cenizas

Gráfico 31 Resultados del contenido de cenizas (Gasoil)

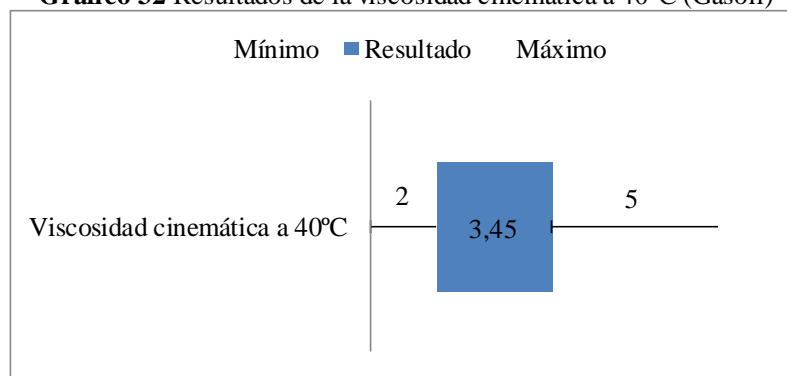


Fuente: Las Autoras.

En cuanto al contenido de cenizas del gasoil sobrepasa con un mínimo los límites establecidos por la normativa, lo que puede producir desgaste en los elementos del motor.

### 5.6.7. Análisis de la viscosidad cinemática a 40°C

Gráfico 32 Resultados de la viscosidad cinemática a 40°C (Gasoil)

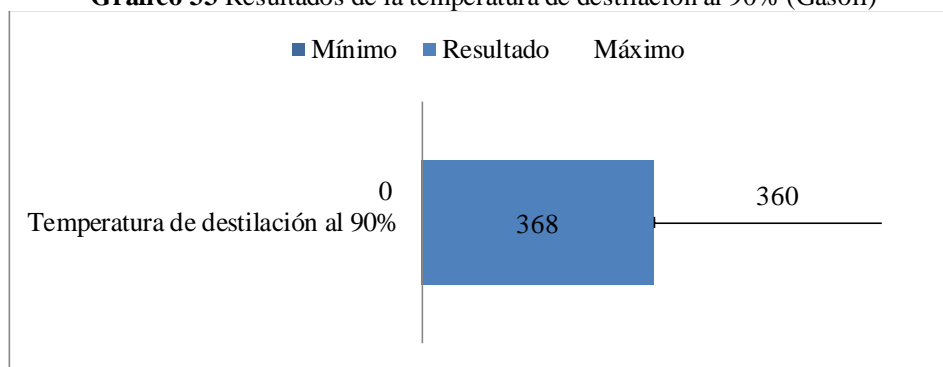


Fuente: Las Autoras.

La viscosidad medida dio como resultado 3,45 mm<sup>2</sup>/s frente a un máximo de 5,0 mm<sup>2</sup>/s del diésel, por lo cual cumple con los criterios de calidad, en el caso de una viscosidad que sobrepasará los límites se tendrá que requerir un sistema de inyección de mayor presión para evitar problemas en la combustión, debido a la variación del flujo del combustible. Los sistemas de inyección CRD-i caben perfectamente con los mencionados debido a que estos trabajan con presiones bastantes elevadas.

### 5.6.8. Análisis de la temperatura de destilación al 90%

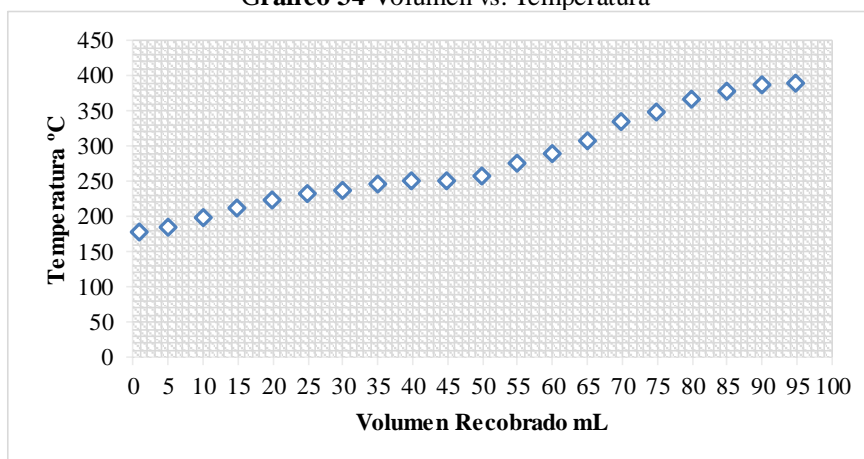
**Gráfico 33** Resultados de la temperatura de destilación al 90% (Gasoil)



**Fuente:** Las Autoras.

En lo que respecta a la destilación se nota que la medida del punto inicial de la ebullición es 160°C, la medida de la temperatura del 50% destilado es de 342°C y la medida de la temperatura del 90% del destilado es de 368°C lo cual indicó que no se encuentra dentro los rangos sugeridos por la norma ASTM, lo que puede producir una formación de depósitos en la cámara de combustión.

**Gráfico 34** Volumen vs. Temperatura



**Fuente:** Las Autoras.

En este caso, se evidenció que a mayor volumen recuperado habrá mayor temperatura, debido a que en el proceso de destilación del Gasoil se realizó 1 prueba con un volumen y una temperatura variada a tiempos distintos.

**Tabla 24.** Temperatura de Destilación al 90%

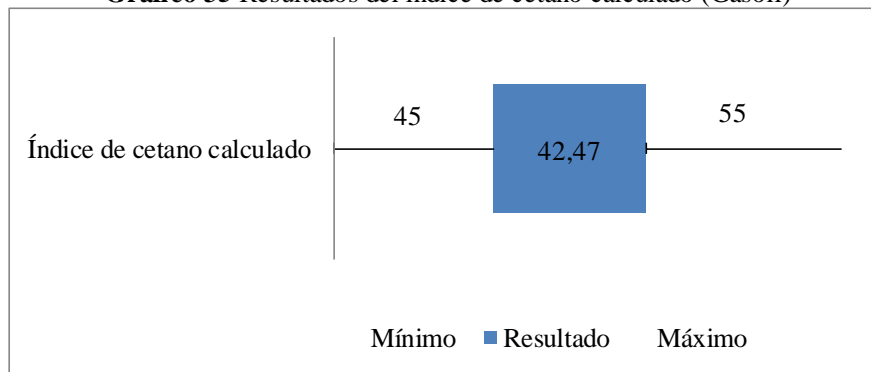
<b>Producto a Destilar: Gasoil</b>			
Volumen (mL)	Temperatura °C		Tiempo (seg)
	Valor observado	Valor corregido	
1	166	178,969816	18
5	172	185,14708	90
10	186	199,560696	165

15	200	213,974312	230
20	210	224,269752	290
25	220	234,565192	395
30	224	238,683368	530
35	232	246,91972	643
40	236	251,037896	792
45	237	252,06744	880
50	244	259,274248	946
55	260	275,746952	1092
60	274	290,160568	1620
65	292	308,69236	1665
70	318	335,460504	3378
75	332	349,87412	3600
80	348	366,346824	3602
85	360	378,701352	3604
90	368	386,937704	3608
95	372	391,05588	3612

Fuente: Las Autoras.

### 5.6.9. Análisis del índice de cetano calculado

Gráfico 35 Resultados del índice de cetano calculado (Gasoil)

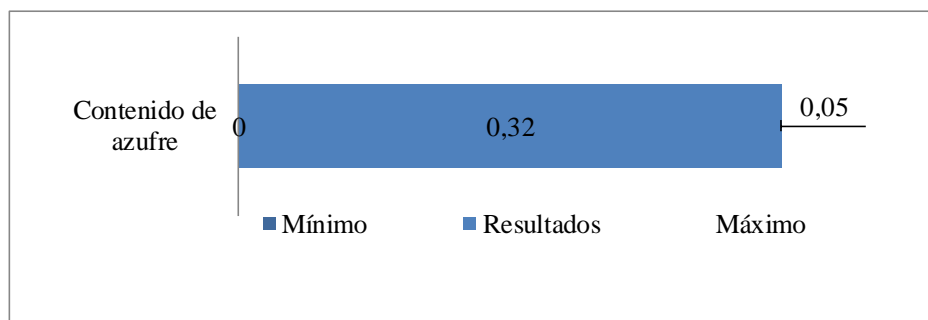


Fuente: Las Autoras.

De acuerdo con los resultados obtenidos el índice de cetano se encontró dentro de los rangos de la norma ecuatoriana. Lo cual también es un indicador de la habilidad de los combustibles para auto-encenderse después de que han sido inyectados al motor diésel (Erazo, 2017). Un número de cetano bajo ocasiona: combustión inadecuada, ruido excesivo, aumento de emisiones, reducciones del rendimiento del vehículo, aumento en la fatiga del motor.

### 5.6.10. Análisis del contenido de azufre

Gráfico 36 Resultados del contenido de azufre (Gasoil)

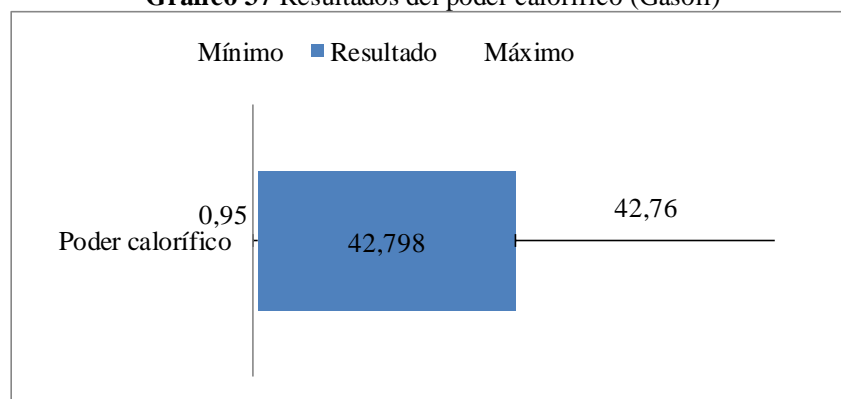


Fuente: Las Autoras.

En cuanto al contenido de azufre se evidenció un resultado que está muy por encima del límite máximo que establece la norma que es de 0,05% p/p. El resultado obtenido fue de 0,32% p/p, es decir, 27 puntos más de lo establecido, lo que incide en el incremento de las emisiones de las partículas pequeñas y son más peligrosos para el medio ambiente.

### 5.6.11. Análisis del poder calorífico

Gráfico 37 Resultados del poder calorífico (Gasoil)



Fuente: Las Autoras.

El poder calorífico obtenido fue de 42,79 MJ/Kg sobrepasando así con los límites nacionales INEN y la norma internacional el cual tiene como máximo 42,08 (MJ/Kg) pero en estudios realizados por (Bastidas & Bolaños, 2014) el poder calorífico del diésel es de 35,86 MJ/lb a 43,1 MJ/Kg, mientras (Altamirano & Pabón, 2015) el poder calorífico es 42,08 MJ/Kg dando como resultado que el aceite tratado tiene características fisicoquímicas que le permiten un desempeño como combustible, ya que su poder calorífico puede llegar a 10% más que el aceite sin tratamiento y puede competir como combustible como el fuel oil o los crudos y sus mínimas emisiones de SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> Y CD están muy por debajo de estas, lo cual protege al Ambiente.

### **5.7.Comparación de los resultados de los tres combustibles (Biodiésel, Gasoil y Diésel)**

En este particular se presentan los resultados obtenidos de los dos tipos de combustibles analizados en el presente estudio comparados con el diésel. Si bien de manera general posee una menor capacidad energética alrededor del 10% menos que el diésel, pero lo mismo que se compensa con un mayor índice de cetano de tal manera que se realiza una combustión más completa con menor compresión.

El biodiesel y el Gasoil a diferencia del Diésel, posee una ventaja desde la perspectiva ambiental ya que disminuye la emisión de humos negros provenientes de los escapes, debido a que tiene un mayor aporte de oxígeno aún más por el biodiesel y una concentración mínima de cenizas y de residuo carbonoso.

Otro de los parámetros destacables es el menor poder calorífico que poseen tanto el biodiesel como el diésel sintético, dado que, puede disminuir la entrega máxima de potencia del motor, aunque esto se puede compensar por la mayor densidad, de la misma manera influye en el aumento del consumo másico de combustible, pero no del consumo energético, de esta forma se está compensando las debilidades que pudiesen llegar a tener el biodiesel como el gasoil.

Una desventaja del biodiesel frente al diésel es la reacción que tiene en cuanto a los climas fríos, debido a que al tener una viscosidad superior a la del diésel disminuya la filtrabilidad del combustible, haciendo que el automóvil no arranque correctamente y en algunos de los casos pueda llegar a tener un recorrido irregular, por tal razón se tendrá que recurrir al uso de anticongelantes.

El biodiesel tiende a tener incompatibilidad con ciertos materiales que contiene el motor entre ellos están; el caucho, pero este puede ser reemplazo por untas de viton o de caucho fluorado. Presenta un punto de inflamación más alto, permitiendo un almacenamiento mucho más seguro, en el caso del biodiesel, ya que para el PI del diésel sintético es semejante al diésel comercial.

Entre tanto la viscosidad es superior al del diésel comercial; esto conduce al requerimiento de un sistema de inyección relativamente más potente para evitar problemas en la combustión ocasionada por la variación en el flujo de combustible.

Con el índice de cetano del biodiesel mayor al diésel el motor no presentará dificultades en su encendido y se logrará un buen funcionamiento, sin ruidos excesivos y con buenas posibilidades de bajar las emisiones, ya que con este índice de cetano mejora la combustión.



Vale mencionar que el biodiesel tiene un mayor punto de nube en comparación al diésel convencional, es decir el diésel de petróleo presenta  $0^{\circ}\text{C}$  a comparación del biodiesel cuyo valor fue de  $3^{\circ}\text{C}$ .

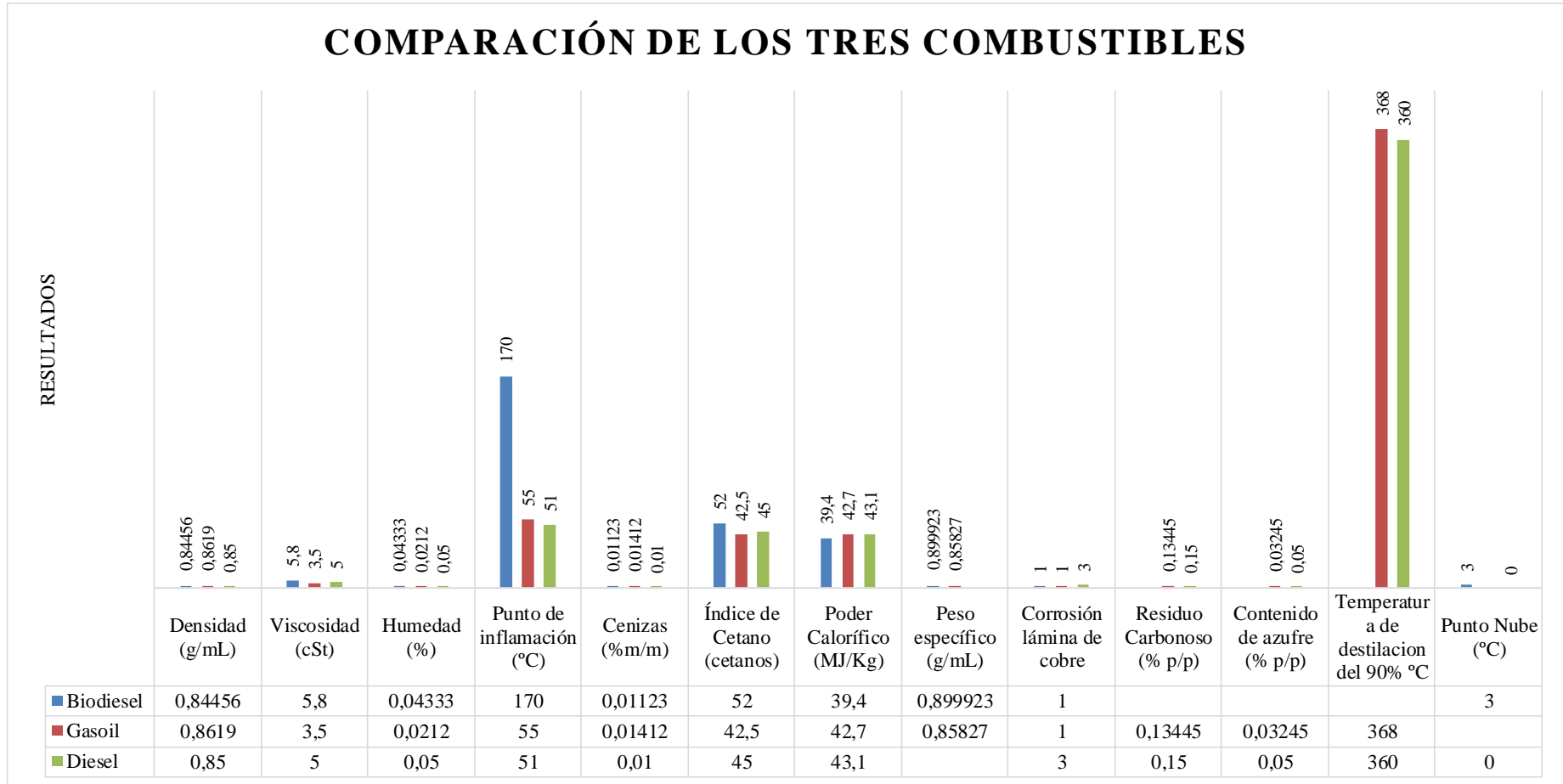
A continuación, en la tabla 25 se realizó la comparación de los tres combustibles de acuerdo con las normas nacionales como internacional.

**Tabla 25** Comparación de resultados de los tres combustibles

	Biodiésel			Gasoil			Diésel	
	M1	M2	M3	M1	M2	M3	Mín.	Máx.
<b>Densidad (g/mL)</b>	0.84456	0.84458	0.84457	0.8619	0.8618	0.8616	-----	-----
<b>Viscosidad (cSt)</b>	5.77723	5.7725	5.7722	3.4564	3.4566	3.4563	2	5
<b>Humedad (%)</b>	0.04333	0.4334	0.4337	0.0212	0.0214	0.0215	-----	-----
<b>Punto de inflamación (°C)</b>	170	171	170	56	55	55	51	-----
<b>Cenizas (%m/m)</b>	0.01123	0.01122	0.01122	0.01412	0.01413	0.01415	-----	0.01
<b>Índice de Cetano (cetanos)</b>	51.814	51.8416	51.8413	42.4723	42.4722	42.4723	45	-----
<b>Poder Calorífico (MJ/Kg)</b>	39.4			42.7			43,1	-----
<b>Peso específico (g/mL)</b>	0.899923	0.899926	0.899924	0.85827	0.85828	0.85827	-----	-----
<b>Corrosión lámina de cobre</b>	1a			1a			-----	3
<b>Índice de Acidez (mg NaOH/g)</b>	0.7832	0.70142	0.70139				-----	-----
<b>Residuo Carbonoso (% p/p)</b>				0.13445	0.13225	0.1345	-----	0.15
<b>Gravedad API (°API)</b>				33.0034	33.0024	33.0033	-----	-----
<b>Contenido de azufre (% p/p)</b>				0.03245	0.0321	0.03215	-----	0.005
<b>Punto Nube (°C)</b>	3						-----	-----

Fuente: Las Autoras

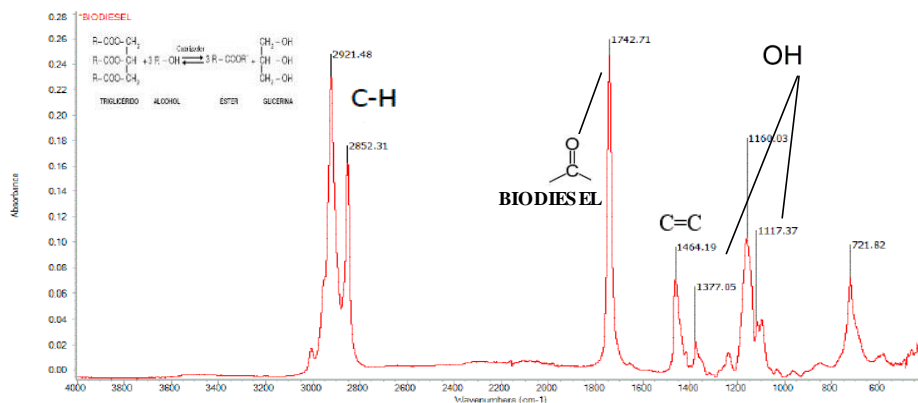
**Gráfico 38** Comparación de los tres combustibles (Biodiesel, Gasoil y Diésel)



## 5.8. Interpretación de los Espectro IR

### 5.8.1. Análisis IR del resultado del Biodiesel

La Figura 31 indica el análisis de IFTIR del biodiesel obtenido por transesterificación:



**Figura 31** Espectro IR del Biodiesel

**Tabla 26** Interpretación de resultados IR del Biodiesel

Región	Altura (absorbancia)	Numero de onda $\text{cm}^{-1}$	Grupo Funcional
1	0,17-0,23	2850 - 3000	CH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> , CH
2	0,26	1700 - 1750	C=O
3	0,07	1450 - 1500	C=C
4	0,07-0,10	1050-1500	-R-OH

**Fuente:** Las Autoras.

En la región de los grupos funcionales entre  $1700\text{cm}^{-1}$  y  $1750\text{cm}^{-1}$  se encontró uno de los picos más intensos correspondiente al grupo carbonilo (C=O) propio de los esteres; que se encuentra ligado con la vibración de estiramiento relativamente constante y libre de interferencia, otra de las bandas de absorción se encuentra entre;  $2850\text{ cm}^{-1}$  relacionado con la vibración de estiramiento (simétrica) del enlace C-H y la de  $3000\text{ cm}^{-1}$ , indicando la existencia la vibración de estiramiento (asimétrica) del enlace C-H, propio de alcanos alifáticos, compuestos saturados, esto en general figuran a los lípidos.

Otro va desde 1450 a 1500 el cual muestra enlaces de estiramiento C=C característico de los anillos aromáticos; pero, además los picos de 1050 a  $1500\text{ cm}^{-1}$  indican enlaces de estiramiento -R-OH representando a un alcohol en este caso sería el

Etanol utilizado en el proceso de obtención del biodiesel. Mientras que desde los 600 hasta los 1000  $\text{cm}^{-1}$  corresponde a la huella dactilar.

### 5.8.2. Análisis IR del resultado de la Glicerina

La Figura 32 muestra el análisis de IFTIR de la glicerina obtenida como subproducto, durante el proceso de decantación para la obtención del biodiesel.

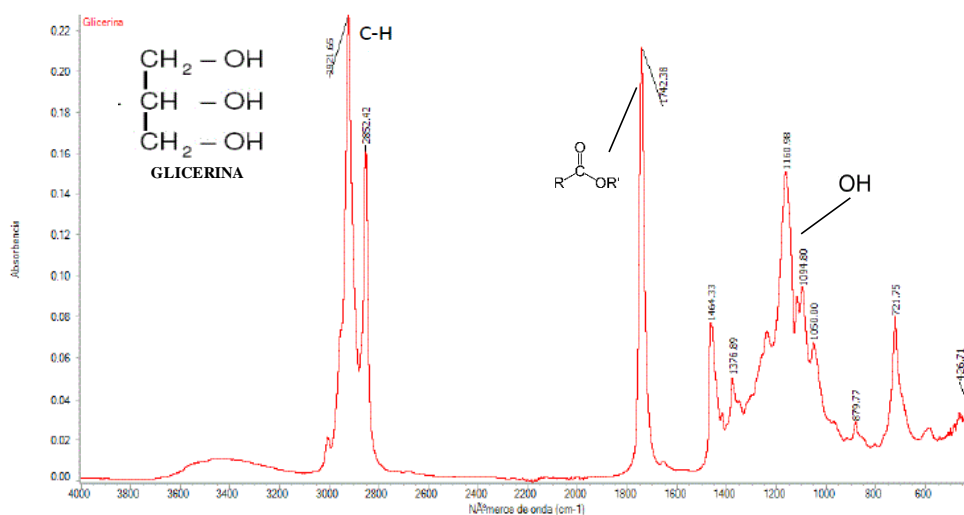


Figura 32 Espectro IR de la Glicerina

Tabla 27 Interpretación de resultados IR de la Glicerina

Región	Altura (absorbancia)	Numero de onda $\text{cm}^{-1}$	Grupo Funcional Enlaces
1	0,23	2900 - 2950	CH Metilenos -CH <sub>2</sub> -
2	0,16	2800-2850	Metilos -CH <sub>3</sub> -
3	0,21	1700 - 1750	Ester RCOOR
4	0,08	1450 - 1500	Aromáticos C=C
5	0,07-0,09-0,15	1050-1200	Alcohol -R-OH Éter alifático y cíclico

Fuente: Las Autoras.

Se puede observar que presenta picos referentes al contenido de etanol que, pertenece a la banda de tensión O-H, con un espesor apreciable debido a la formación de puentes de hidrógeno. Además, se visualiza una curvatura poco pronunciada referente al grupo hidroxilo que va de 3250-3550  $\text{cm}^{-1}$ , las bandas de enlace CH propias de los alcanos

cuyos picos reflejan la existencia de metilenos  $-\text{CH}_2-$  ( $2900 - 2950\text{cm}^{-1}$ ) y metilos  $-\text{CH}_3-$  ( $2800-2850\text{ cm}^{-1}$ ) respectivamente, la banda con un estiramiento que va de  $1700 - 1750\text{ cm}^{-1}$  es característica del grupo carbonilo dentro del cual para ser más específico se encuentra el grupo funcional Ester  $\text{RCOOR}$ , otra banda que va de  $1450 - 1500\text{ cm}^{-1}$  refleja el contenido de compuestos aromáticos.

### 5.8.3. Análisis IR del resultado del Gasoil

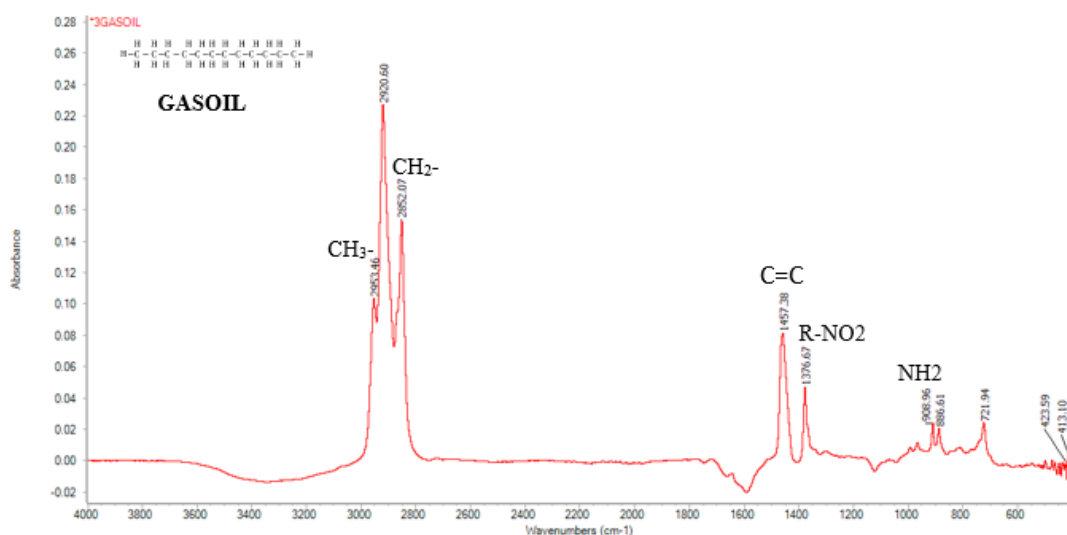


Figura 33 Resultado IR DEL Diésel sintético #2.

Tabla 28 Interpretación de resultados IR del Diésel sintético #2.

Región	Altura (Absorbancia)	Número de onda (cm-1)	Grupo funcional
1	0,24	2850.9 a 3000	CH3, CH2
2	0,08	1450-1600	Aromáticos
3	0,05	1376.67	Grupo Nitro R-NO2
4	0,03	900-650	Amina NH2

Fuente: Las Autoras.

En el espectro realizado al Diésel sintético #2 con el fin de poder determinar los grupos funcionales característicos que se describen en la Tabla 28 en donde se observa una banda intensa característica de la tensión el enlace C-H corresponde al grupo Alquenos, en los movimientos de tensión entre  $1450-1600\text{cm}^{-1}$  correspondiente a tensiones de enlaces de Anillos Aromáticos, por lo que se observan vibraciones de  $\text{C}=\text{C}$  los siguientes movimientos de tensión de  $1376.67$  corresponden a vibraciones  $\text{R}-\text{NO}$ , finalmente se observan vibraciones  $900-600$  que corresponde al grupo Amina  $\text{NH}_2$  con las vibraciones C-H.

### 5.8.4. Análisis IR del resultado de los Hidrocarburos Livianos

El proceso de químico del lubricante usado mediante destilación atmosférica se observa en la figura 35 se obtiene como residuo los hidrocarburos livianos, por el cual presenta el análisis FTIR.

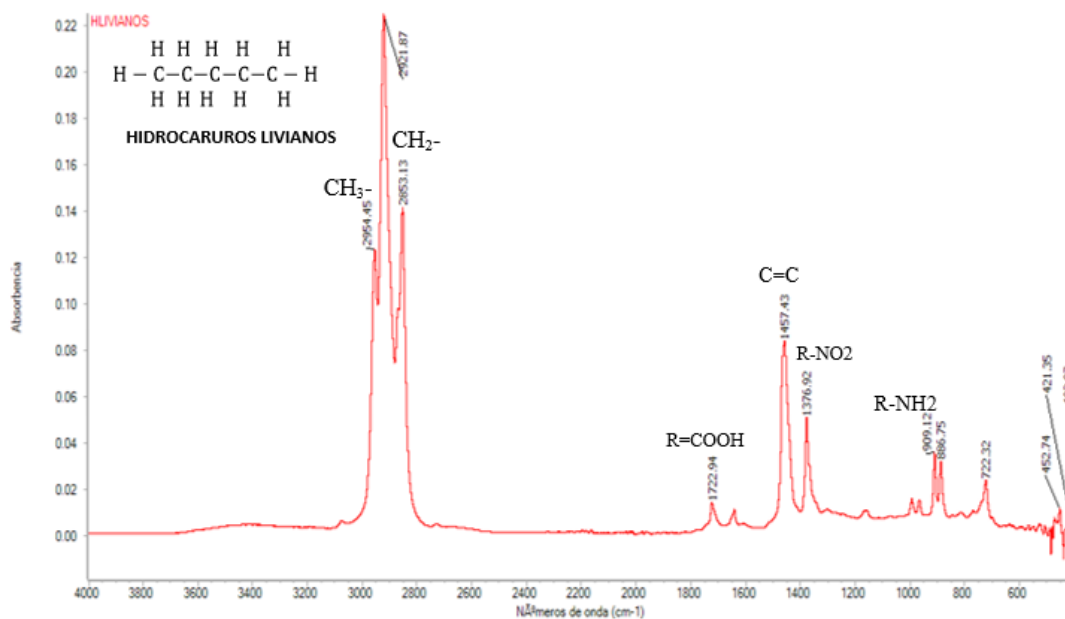


Figura 34 Resultados IR Hidrocarburos Livianos

Tabla 29 Interpretación de resultados IR de los Hidrocarburos livianos

Región	Altura (Absorbancia)	Número de onda (cm-1)	Grupo funcional
1	0.22	2850.9 a 3000	C-H
2	0.01	1722.94	Ácido Carboxílico
3	0.08	1450-1600	Aromáticos C=C
4	0.05	1376.92	Grupo Nitro R-NO <sub>2</sub>
5	0.03	900-650	Aminas

Fuente: Las Autoras.

El espectro de obtención de Diésel sintético #2 mediante destilación atmosférica de los lubricantes usados presentada en la Tabla 29 como resultado del análisis FTIR una vibración de 2850.9 a 3000  $\text{cm}^{-1}$  corresponden a vibración C-H. También se resalta un pico a 1722.94  $\text{cm}^{-1}$  que indica una vibración de estiramiento del grupo carbonilo, los picos a 1450-1600  $\text{cm}^{-1}$  muestran la vibración C=C. Los picos 1376.92 presenta la vibración simétrica del grupo Nitro (R-NO), las absorciones a 900-650  $\text{cm}^{-1}$  indican la vibración de torsión fuera del plano (N-H) del grupo Amidas.

### 5.8.5. Análisis IR del resultado de los Hidrocarburos Pesados

El resultado obtenido del residuo hidrocarburos pesados mediante el proceso de destilación atmosférica se presenta el análisis FTIR.

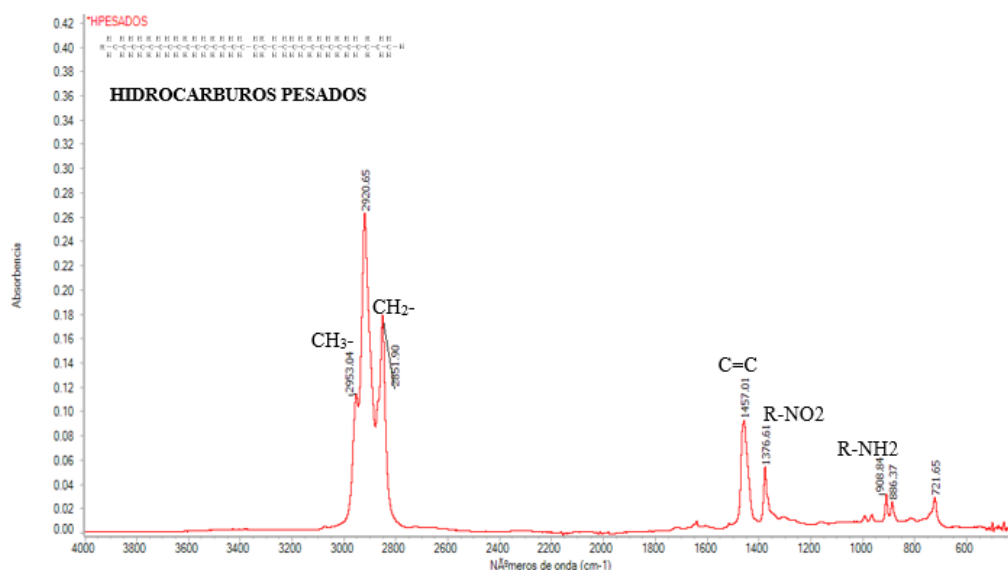


Figura 35 Resultados IR de los Hidrocarburos Pesados

Tabla 30 Interpretación de resultados IR de los Hidrocarburos Pesados

Región	Altura (Absorbancia)	Número de onda (cm-1)	Grupo funcional
1	0.26	2850.9 a 3000	CH3 CH2
3	0.08	1450-1600	Aromáticos C=C
4	0.04	1376,61	Grupo Nitro R-NO2
5	0.02	900-650	Aminas

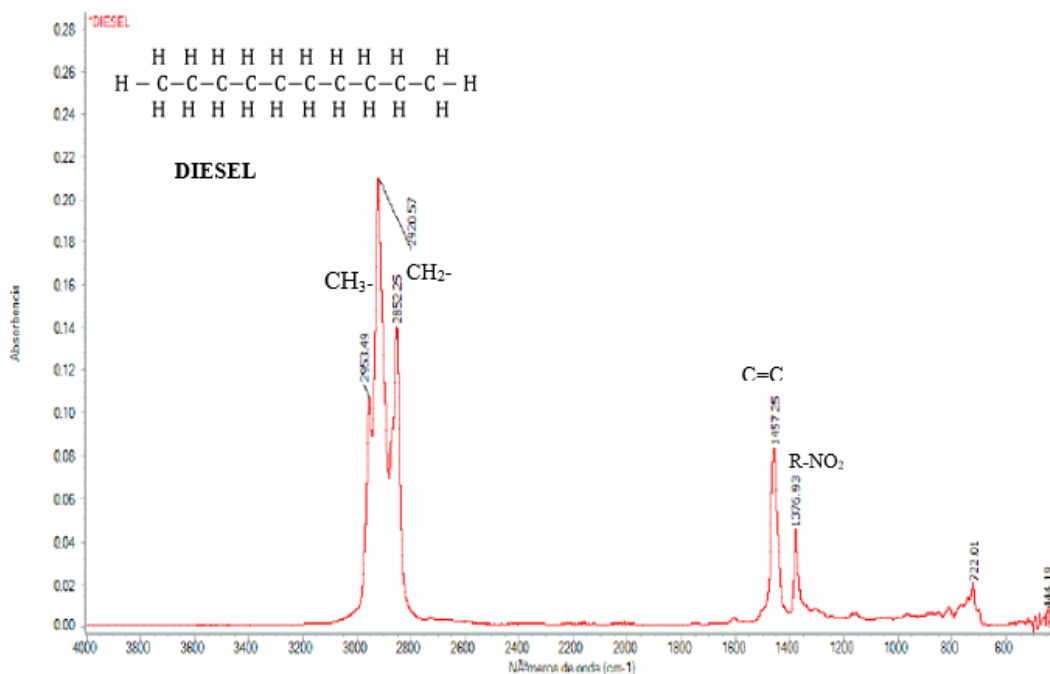
Fuente: Las Autoras.

En el espectro IR de la figura 36 obtenido del proceso de destilación atmosférica se distinguen los grupos funcionales descritos en la tabla 30 donde se observa un pico 2850.9 a 3000  $\text{cm}^{-1}$  a los grupos C-H. También se distingue un pico 1450-1600 que indica la presencia de grupo C=C  $\text{cm}^{-1}$ . Los picos 1376.92 presenta la vibración simétrica del grupo Nitro (R-NO), las absorciones a 900-650  $\text{cm}^{-1}$  indican la vibración de torsión fuera del plano (N-H) del grupo Amidas.

### 5.8.6. Análisis IR del Diésel

En la siguiente tabla se muestra el espectro IR del Diésel comercial, con el fin de compararlo con el Biodiesel y el Gasoil obtenidos.





**Figura 36** Espectro IR del Diésel

**Tabla 31** Interpretación de resultados IR del Diésel

Región	Altura (absorbancia)	Numero de onda $cm^{-1}$	Grupo Funcional
1	0,11-0,21	2900-3000	Metilos-CH <sub>3</sub> -
2	0,14	2850-2900	Metilenos – CH <sub>2</sub> -
3	0,08	1450-1500	Compuestos Aromáticos C=C
4	0,05	1350-1400	Grupo Nitro R-NO <sub>2</sub>

**Fuente:** Las Autoras.

En la figura 36 se puede apreciar el espectro en donde la absorbancia más representativa se encuentra entre 2850-3000  $cm^{-1}$  indicando la presencia de uniones C-H de compuestos saturados, dentro de los cuales la banda de 2920 y 2953  $cm^{-1}$  representan los metilos CH<sub>3</sub> con estiramiento asimétrico, mientras que la banda de 2852  $cm^{-1}$  muestra la existencia de los metilenos CH<sub>2</sub> con enlaces simétricos. La banda cuyos enlaces de estiramiento van de 1450 a 1500  $cm^{-1}$  constituye los compuestos aromáticos C=C, habiendo también la existencia de un grupo Nitro R-NO<sub>2</sub> el cual se encuentra en la banda de 1376  $cm^{-1}$ .

## 5.9. Resultados del análisis de cromatografía GC – MS

En los diferentes procesos que se realizó al aceite de palma y lubricante de motor se obtuvieron diferentes tipos de hidrocarburos como son: liviano, medianos, pesados; los cuales se analizaron su composición mediante cromatografía acoplada a masas.

### 5.9.1. Análisis del hidrocarburo liviano

Estudiando el cromatograma GS – MS de los hidrocarburos livianos, se extrajo los cromatogramas en los tiempos de retención más importantes ver figura 25.

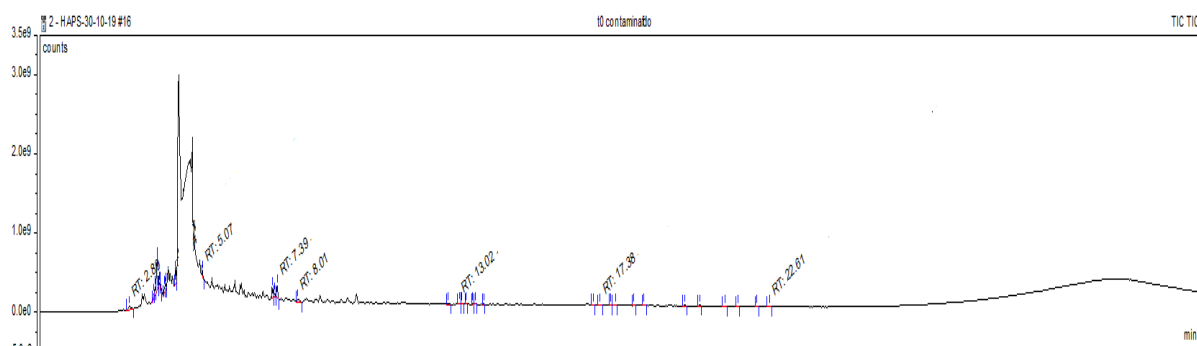


Figura 37 Cromatograma GS - MS de los hidrocarburos livianos

### 5.9.2. Análisis del cromatograma del Biodiesel

En el pico correspondiente a un tiempo de retención de 2,84 presenta el siguiente espectro señal correspondiente al Ester metílico del ácido linoleico ver Figura 38 y en la figura 39 se observa una señal que corresponde al Ester metílico del ácido palmico en un tiempo de retención de 5,04

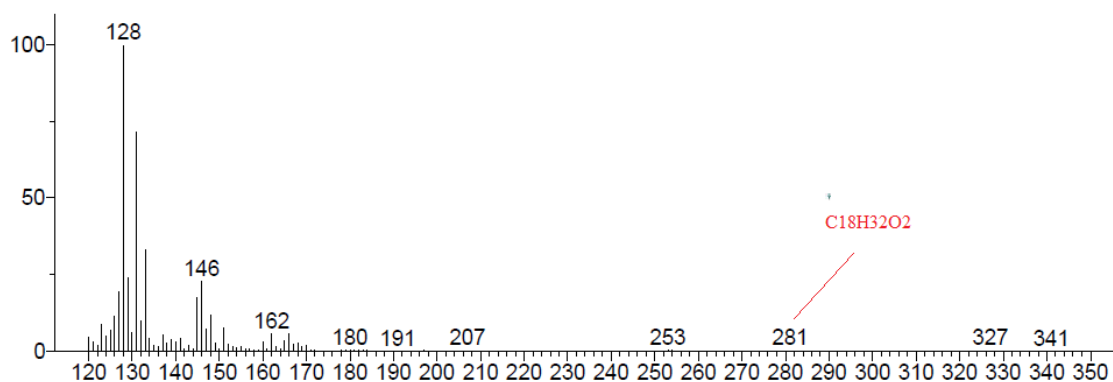
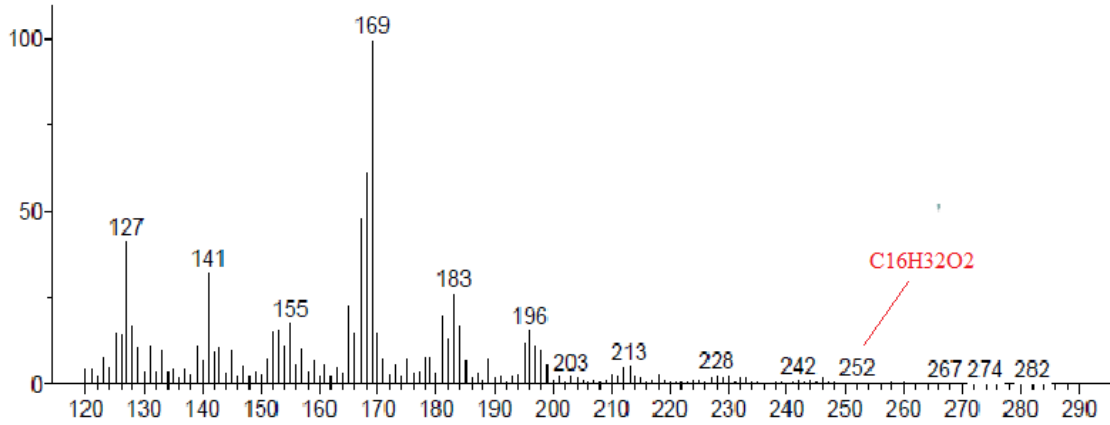


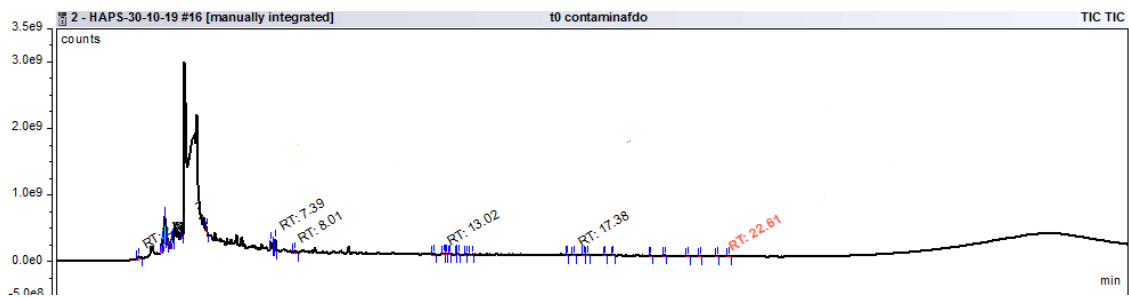
Figura 38 Ester metílico del ácido linoleico



**Figura 39** Ester metílico del ácido palmítico

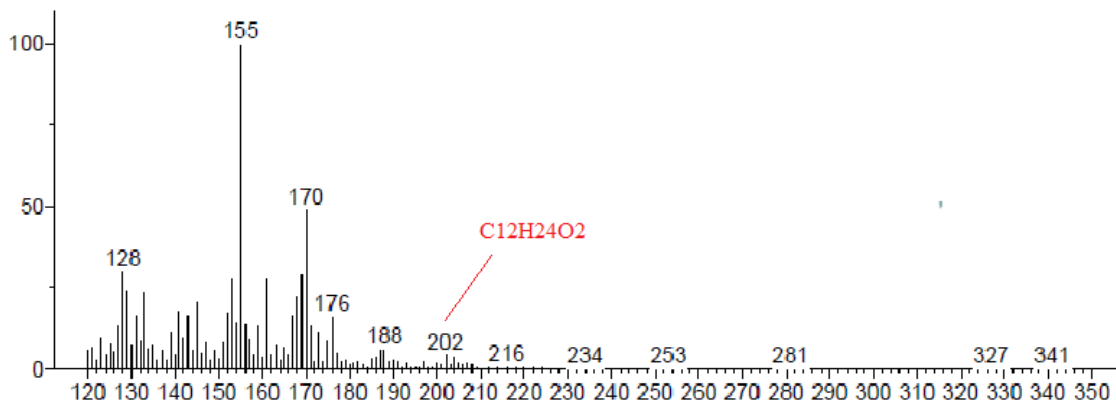
### 5.9.3. Análisis del hidrocarburo mediano

De la misma manera se realizó el análisis cromatográfico de los hidrocarburos medianos obtenidos por destilación atmosférica, el cual dio como resultado el siguiente cromatograma general, ver Figura 40

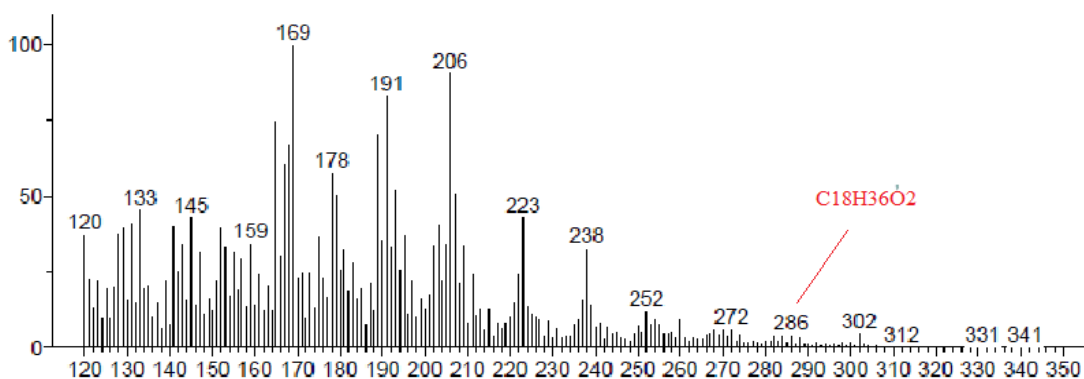


**Figura 40** Cronograma de los hidrocarburos medianos

Se analizó los principales tiempos de retención y se halló que en el tiempo de 3.95 existe la señal correspondiente al Ester metílico del ácido laurico correspondiente a una masa de 202, el cual se detalla en la figura 41 y para un tiempo de retención de 7, 39 se evidencia la señal del Ester metílico del ácido esteárico ver Figura 42.



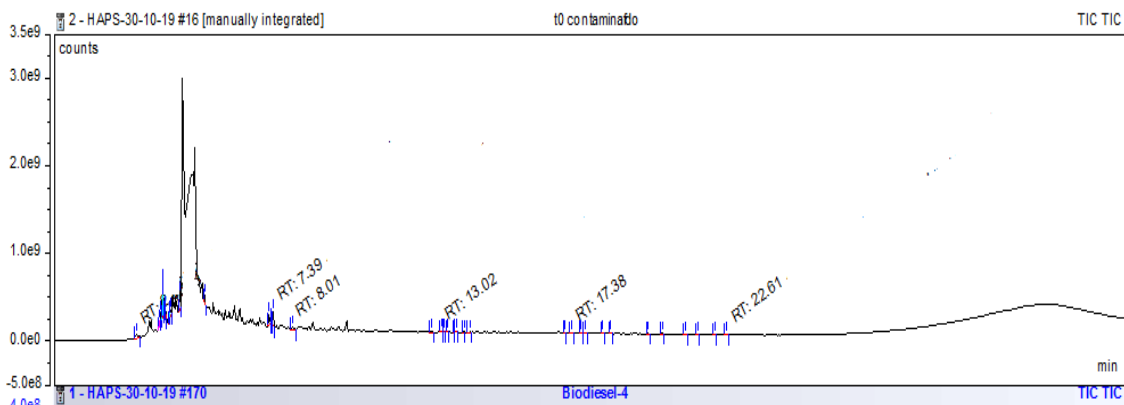
**Figura 41** Cromatograma del Ester metilico del ácido laurico



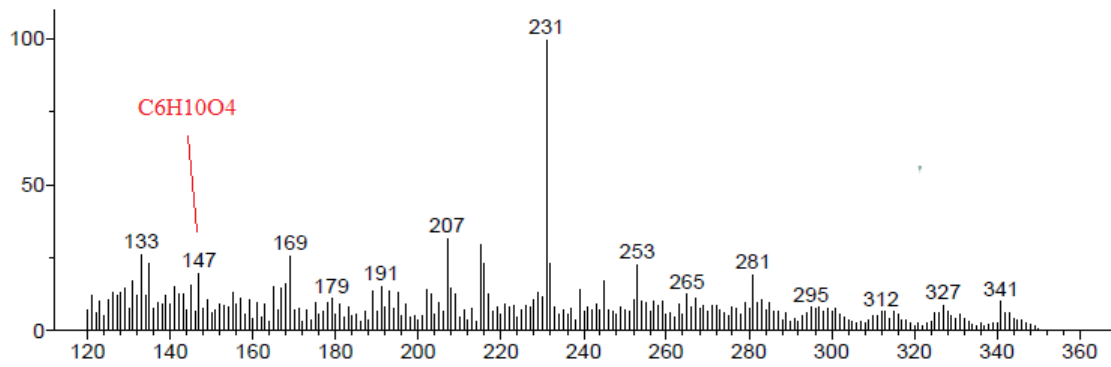
**Figura 42** Cromatograma del Ester metilico del ácido esteárico

#### 5.9.4. Análisis del hidrocarburo pesados

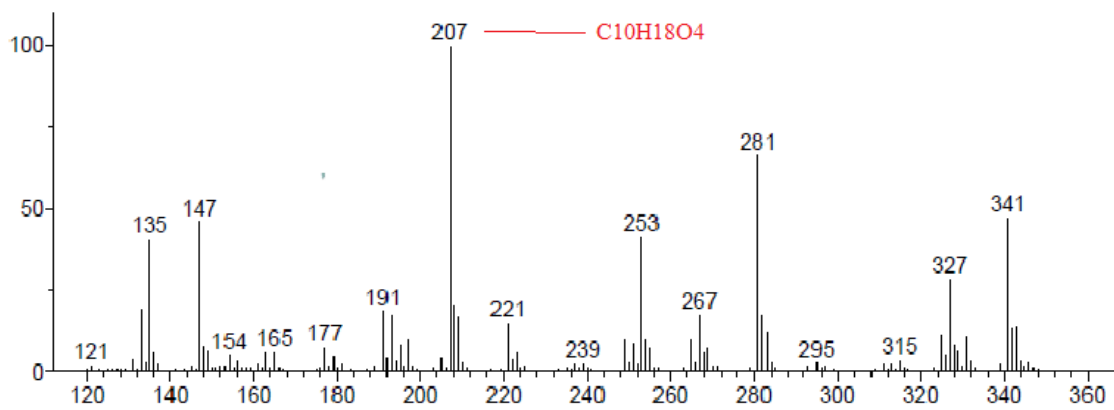
En el análisis de los hidrocarburos pesados procedentes de la destilación atmosférica del aceite de motor, se obtuvo el cromatograma mostrado en la figura 43. Se observa que en un tiempo de retención de 17,38 existe la señal correspondiente al ácido adipico (Ver Figura 44) y en el tiempo de retención de 22,81 (Figura 45) hay la señal correspondiente al ácido sebácico, que son esteres sintéticos utilizados en los aceites de motores.



**Figura 43** Cromatograma de los hidrocarburos pesados obtenidos del aceite de motor



**Figura 44** Cromatograma del ácido adipico



**Figura 45** Cromatograma del ácido Sebácico

## 6. CAPITULO: DISCUSIÓN

- El presente estudio tuvo como finalidad presentar una alternativa para la utilización de aceites usados (de palma y lubricantes) como materia prima para la realización de biodiesel y gasoil. Este aprovechamiento de residuos resulta factible, útil y funcional debido a las diversas ventajas que presenta en comparación con los otros combustibles disponibles en el mercado pues esto se evidencia en los resultados obtenidos en cada uno de los procedimientos para la obtención del biodiesel que mostró un rendimiento de 88% trabajando con 0.35% de NaOH y 20% de etanol con respecto al volumen aceite de palma usado cuyas concentraciones fueron similares a estudios como; el de Cabrera (2018), el cual tuvo un rendimiento de transesterificación de un 89 %, mientras que el de Orozco (2015) muestra un rendimiento del 89,2%. Donde variables como la velocidad de agitación, tiempo, temperatura y la precisión de las concentraciones de catalizador y etanol fueron parámetros fundamentales para obtener resultados precisos, tomando como referencia el estudiado realizado por (María, Ospina, J, & Z, 2011).
- De las muestras realizadas para la obtención del diésel sintético #2 (gasoil) se obtuvo 10% hidrocarburos livianos, 4% los hidrocarburos pesados y 86% de hidrocarburos medios, los cuales se rectificaron en 2.6% de hidrocarburos livianos y el resto en hidrocarburos medios dando un rendimiento de 83 % de gasoil, cuyo resultado fue relativamente cercano al estudio realizado por (Almeida, 2010) en donde se utilizó un equipo de destilación especial para hidrocarburos, obteniéndose un rendimiento del 84%.
- De acuerdo a las propiedades fisicoquímicas del aceite de palma usado: como la humedad (0,15%), número de saponificación (189,34 mgNa(OH)/g) densidad (0,93 g/mL) e índice de acidez (1,05mgNOH/g), se reportó un resultado relativamente alto por encima de la norma especificada, concordando con algunos de los resultados del autor (Pedro, John, & Gabriel, 2004) que fueron; número de saponificación 194,5 mgNa(OH)/g, densidad 0,92 g/mL, porcentaje de humedad de 0,27% y finalmente el índice de acidez con 3,8 mgNa(OH)/g, en este en particular se aprecia la diferencia de los resultados, entendiendo que a mayor tiempo de fritura se produce una liberación de ácidos grasos desde los triglicéridos que forman los distintos aceites.

- Al respecto, los estudios de Dervis (2013) y López (2017) se orientan a la necesidad de una correcta interpretación de los aceites usados analizados para optimizar el cambio de los motores en uso ya que de esa manera se ahorran los recursos; de ahí, que sea fundamental en el desarrollo de este tipo de estudios la comprobación del cumplimiento de las normas ASTM.
- Las propiedades físico-químicas del biodiesel obtenido a partir del aceite de palma usado fueron comparadas con la norma NTE INEN 2482-2009 y ASTM respectivamente, en donde se presentaron parámetros como humedad y material volátil, cenizas sulfatadas, corrosión a la lámina de cobre y punto nube que se encontraron dentro de los rangos establecidos por las normas, al igual que los estudios realizador por Arias, Teuta y Parra (2011) que cumplían con los parámetros de calidad.
- El resultado del índice de acidez a partir de aceite de palma realizado por Mis & Kevin (2008) reporta un valor de 0,498 mg Na(OH)/g que, a comparación con esta investigación, presentó un alto índice de acidez de 0,70 mg Na(OH)/g, indicativo de un exceso de ácidos grasos libres disueltos en el biodiesel, lo cual repercute negativamente en el equipo de inyección del motor, la obturación del filtro y la formación de depósitos.
- La Viscosidad obtenida del biodiesel respecto a la materia prima utilizada se diferenció en sus resultados, puesto que, al inicio se contaba con una viscosidad de 40,2 cts mientras que, el biodiesel presento 5,77 cts, esto es indicativo que los triglicéridos de cadena larga han sido neutralizados por etilesteres durante el proceso de transesterificación, esta viscosidad es un poco alta a comparación con el valor de 5,0 cts reportado por (Arias, Teuta, & Parra, 2011) y relativamente baja según el valor de 6,24 cts reportador por (Miranda, 2016). No obstante, estos valores suelen ser altos a comparación de los gasóleos ya que dependen mucho de la temperatura según (Riba, Esteban, Baquero, Puig, & Rius, 2010).
- El biodiesel obtenido presentó una densidad baja respecto a la normativa nacional e internacional, en consecuencia, puede llegar a ocasionar deterioros en el rendimiento del motor de acuerdo a Ávila Chritian, (2014). Por su parte, el punto de inflamación fue un resultado relativamente alto (170 °C), siendo beneficioso en el almacenamiento del producto, ya que se puede evaporar con facilidad, este

resultado es confirmado por Alejandra & Cabrera, (2018) que reporta un valor de 190°C.

- En base a los resultados obtenidos del Gasoil se evidencia que las propiedades físico químicas fueron similares a las del diésel comercial, ya que el agua y sedimentos, así como el residuo carbonoso presentaron resultados enmarcados en la norma por lo que influyen en el buen funcionamiento del motor.
- En la comparación de los tres combustibles las propiedades que más influyeron fueron: En primer lugar, el poder calorífico más alto es el del diésel comercial (43,1 MJ/Kg), luego le sigue el del gasoil (42,7 MJ/Kg) y finalmente el del biodiesel (39,4 MJ/Kg), en base a ello se puede decir que el biodiesel a comparación de los gasóleos posee un bajo poder calorífico, originando con ello un leve consumo del combustible, pero no del consumo energético confirmado por (Energía, 2009) sin embargo, lo compensa un mayor índice de cetano (51,84 cetanos) respecto al del diésel (45 cetanos) de tal manera que se realiza una combustión más completa con menor compresión, además de favorecer la disminución de gases contaminantes, aunque los valores del biodiesel en cuanto al poder calorífico (43 MJ/Kg) y número de cetano (52,18 cetanos) reportados por los autores (Duran, 2012) y (Paz, 2011) son más altos, por otra parte el poder calorífico e índice de cetano (42,47 cetanos) del gasoil son muy cercanos al del diésel, de tal forma que no habría mayor problema en el funcionamiento del motor.
- Conforme a los resultados del FTIR, se puede decir que la similitud de los tres combustibles fue el presentar grupos funcionales correspondientes a; Metilos (CH<sub>3</sub>), metilenos (CH<sub>2</sub>) y compuestos aromáticos (C=C), en cuanto al grupo nitro (R-NO<sub>2</sub>) fue propio del diésel y gasoil en base al autor (Wembabazi, 2015), mientras que la diferencia más significativa que presentó el biodiesel respecto al espectro IR del diésel y gasoil fue la presencia de un grupo carbonilo (C=O) vinculado con un estiramiento firme y libre de interferencia, resultados similares a (Lafont & Páez, 2011).
- En cuanto a los resultados del cromatógrafo referente al biodiesel se encontraron compuestos de: Ester metílico del ácido laurico, linoleico y del ácido esteárico, similares al estudio realizado por Calderón, (2016), el cual presentó compuestos de Palmitato de metilo, Estearato de metilo y ácido esteárico. Mientras que el análisis del cromatógrafo del gasoil presentó grupos de esteres sintéticos como



ácidos adíptico, ácido sebáico, grupo Éster metílico del ácido esteárico, comparables con el resultado de (Ameen, Moslem, Hadi, & Al-sabri, 2015), que indicaron compuestos similares.

- El tiempo de uso del aceite de palma produjo cambios físicos-químicos reconocidos a partir, de diferentes pruebas que permitieron determinar la calidad y estado inicial de esta materia prima. En la tabla 11 se especificó a escala de laboratorio que responde al porcentaje de humedad, el color, el número de saponificación, la densidad, el punto de inflamación, la viscosidad cinemática a 40°C y el índice de acidez. En algunas de estas variables existen límites especificados en la norma ecuatoriana que se han considerado al momento del presente análisis con la intención de identificar si los resultados obtenidos se enmarcan en dichos límites.

## 7. CAPITULO: CONCLUSIONES

- Los productos biodiesel y gasoil a partir de los aceites usados fueron favorablemente realizados a nivel de laboratorio mediante los procesos de transesterificación y destilación atmosférica.
- En cada uno de los procedimientos realizados en el laboratorio para la obtención del biodiesel, el equipo de agitación y el control exacto de catalizador y etanol fueron determinantes ya que, la correcta agitación para mezclar los diferentes componentes favoreció la efectividad de las pruebas y minimizó el margen de error. Asimismo, para la obtención del gasoil en el laboratorio, el control de las temperaturas y la correcta selección y funcionamiento del equipo permitió determinar adecuadamente nivel de hidrocarburos.
- La mayoría de los parámetros obtenidos en cada uno de los procedimientos se enmarcan en los límites establecidos por las diferentes normas nacionales e internacionales lo que resulta favorable para el presente estudio, debido a que se ajusta a lo exigido por las autoridades y representa una alternativa factible para futuras investigaciones y estudios asociados.
- En cuanto a la funcionalidad de los combustibles fue favorable, en vista que al mezclarlos con el Diésel tradicional se comprobó que la desmalezadora de jardín se prendió normalmente sin averías en el motor.
- La producción de biodiesel a partir de materias primas como el aceite usado de palma o los lubricantes usados representan un importante aporte al desarrollo de la sociedad, la conservación ambiental y la práctica de actividades productivas responsables debido a que supone un ahorro considerable de dinero para aquellas empresas que están en el deber de incurrir en gastos destinados al cuidado del medio ambiente. Además, es una alternativa sostenible que contribuye con la disminución de acciones contaminantes y agresivas al medio ambiente.

## 8. CAPITULO: RECOMENDACIONES

- ✓ Para la reacción de transesterificación se recomienda mezclar al catalizador y alcohol por un tiempo prolongado hasta que se obtenga una solución homogénea sin la presencia de grumos con el fin de evitar una reacción incompleta.
- ✓ Sellar correctamente el reactivo utilizado para la reacción de transesterificación a fin de evitar que se humedezca al estar en contacto con el medio, dado que tiende a perder sus propiedades.
- ✓ Cuando se trabaje con cantidades significativas de aceite, se deberá ocupar un equipo de agitación potente (1000 r.p.m).
- ✓ Respecto al lavado del biodiesel es preciso no realizarlo por tiempos prolongados debido a que puede deteriorar su calidad.
- ✓ Es necesario realizar estudios sobre la rentabilidad económica tanto del gasoil como de los biodiesel aplicados en motores a diésel a nivel industrial, así como otros estudios respecto al subproducto (Glicerina) obtenido durante el proceso de transesterificación.
- ✓ En el proceso de craqueo térmico se debe trabajar con un equipo netamente seguro para evitar quemaduras, partiendo desde el balón de destilación.
- ✓ Para alcanzar la temperatura deseada, se recomienda no trabajar con glicerina debido a esta tiende a inflamarse a elevadas temperaturas.
- ✓ En la fase de destilación el equipo debe estar totalmente forrado con papel de aluminio para que el producto llegue a destilarse por completo.
- ✓ Se precisa de un sistema de gestión integral de este residuo para asegurar una protección ambiental debido a que los aceites usados presentan una serie de contaminantes como son: agua, azufre, clorados y metales pesados que determinan sus características tóxicas y peligrosas por lo que la existencia
- ✓ Las propiedades del lubricante usado y su alto contenido energético constituyen un valioso recurso que no puede desaprovecharse ya que se utiliza como combustible industrial.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, a., banks, f. e., bentley, b., boyle, g., bermejo, r., brandt, a. r., ... jusmet, j. r. (2009). agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de co2: algunos posibles escenarios futuros de emisiones. CIP-Ecosocial-Boletín ECOS, 8(1), 27 citation\_lastpage=62-19.
- Adriana, I., & Medina, S. (2012). *Obtencion y caracterizacion de biodiesel a partir de aceite de semillas de Ricinus communis*.
- Agrarias, C., Sarand, S. J., & Naturales, R. (2007). COMBUSTIBLES FOSILES.
- Albarrán, L., & Amateco, S. (2015). "IMPACTOS AMBIENTALES GENERADOS POR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN MÉXICO. CASO DEL SECTOR TRANSPORTE, 1980-2015." Universidad Autónoma de Estado de Mexico.
- Alejandra, D., & Cabrera, P. (2018). Caracterización de las Propiedades Físicoquímicas de Biodiesel Extraído de Aceite Reciclado de Origen Vegetal.
- Almeida, D. (2010). Obtención de diesel #2 sintético a partir de aceites lubricantes usados. Universidad San Francisco de Quito.
- Altamirano, A., & Pabón, G. (2015). "Obtención de la mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % y determinación de los parámetros característicos del motor." ESPE
- Alva, M., y Cipra, P. (2015). *Estudio comparativo de los biodiesel, obtenidos a partir del metanol y su adaptación a escala piloto*. (Trabajo de Grado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Alvarez, J. (2013). *Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio*. (Trabajo de Grado). Universidad Tecnológica de Tijuana, México.
- Alvarez Cardona, A. (1998). Criterios para la selección y aplicación de lubricantes. 197 p.
- Ana López, Alba Souto, M. P. (2015). CROMATOGRAFÍA DE GASES Y ESPECTROMETRÍA, 1–12.
- Antonio, J., & Alvarez, A. (2013). Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio .
- Adriana, I., & Medina, S. (2012). *Obtencion y caracterizacion de biodiesel a partir de*

*aceite de semillas de Ricinus communis.*

- Alejandra, D., & Cabrera, P. (2018). *Caracterización de las Propiedades Físicoquímicas de Biodiesel Extraído de Aceite Reciclado de Origen Vegetal.*
- Almeida, D. (2010). *Obtención de diesel #2 sintético a partir de aceites lubricantes usados.* Universidad San Francisco de Quito.
- Altamirano, A., & Pabón, G. (2015). “Obtención de la mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % y determinación de los parámetros característicos del motor.” ESPE.
- Ana López, Alba Souto, M. P. (2015). CROMATOGRAFÍA DE GASES Y ESPECTROMETRÍA, 1–12.
- Arias, D. E., Teuta, C. A., & Parra, J. (2011). Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100 / 04 y medición de poder calorífico. *AVANCES Investigación En Ingeniería.*, 8(2), 73–80.
- ASTM D1298. (2002). Método de Prueba Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), o Gravedad API del Petróleo y Productos de Petróleo Líquido por el Método del Hidrómetro. *Annual Book of ASTM Standards*, 8.
- ASTM International. (2007). ASTM D2270: Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 and 100 ° C 1 Liquid Petroleum Products and Opaque Liquids ( and the Calculation of Dynamic Viscosity ), 91(95), 1–6. <https://doi.org/10.1520/D2270-10E01>
- ASTMD-4294. (n.d.). STANDARD TEST METHOD FOR SULFUR IN PRETROLEUM AND PETROLEUM PRODUCTS BY DISPERSIVE X-ray FLUORESCENCE SPECTROMETRY.
- Augusto, F., & Vargas, A. (2010). *TESIS DOCTORAL Dirigida por el Dr . Joan Salvadó Rovira Departament d ' En ginyeria Química Tarragona.*
- Avila Christian, T. J. (2014). *DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ AUTORES : ÁVILA CALDERÓN CHRISTIAN ANDRÉS TEMA : RECICLAJE DE ACEITE VEGETAL DE FRITURAS DIESEL EN DIFERENTES PROPORCIONES DIRECTOR : ING . ERAZO GERMÁN CODIRECTOR : ING . MENA LUIS.*
- Bastidas, E., & Bolaños, J. (2014). *Esudio del desempeño de acondicionadores de combustible en vehículos, a través de la inducción magnética en la re polimeración del Diesel.* Universidad Internacional del Ecuador.
- Calderon, L. A. S. (2016). Reacción de producción de biodiésel de soya catalizada por óxidos metálicos.
- Carlos Martinez, M. M. (2013). *PROPUESTA DE UN MANUAL DE METODOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS DEL BODIESEL (B100) PARA EL LABORATORIO DE BIOCMBUSTIBLES DEL CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL (CENTA). TRABAJO.*
- DeLisi, J. (2018). ASTM STANDARD D56: “STANDARD TEST METHOD OF FLASH POINT BY TAG CLOSED TESTER.” *63rd Annual Business Aviation*

- Safety Summit, BASS 2018*, (8), 161–179.  
<https://doi.org/10.4135/9781452241067.n23>
- Echeverría, J. (2018). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE HIGUERILLA B10*. Universidad Técnica del Norte.
- Energia, A. A. de la. (2009). *Manual Técnico de Uso de Biocarburantes en Motores de Automoción*.
- Erazo, G. (2017). *Caracterización y utilización del aceite obtenido de las semillas de girasol para determinar los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna ciclo diesel en proporciones de 2%, 5%, 10%, 15%, 25% y 50% cuando se lo utiliza como biocombusti*. Universidad de las Fuerzas Armadas Innovación para la Exelencia ESPE.
- FEMA. (2017). *Catálogo de Productos FEMA ALTA CALIDAD*.
- Franco-Mora 1, \*; J. Salomon-Castaño 1, 2; A. A. Morales P., 3, V. 3; M. R.-A., & Castañeda-, 1; Á. (2015). *Scientia Agropecuaria Ácidos grasos y parámetros de calidad del aceite de semilla de uva silvestre ( Vitis spp .) Fatty acids and parameters of quality in the oil of wild grapes ( Vitis spp .)*, 6(4), 271–278.  
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.04>
- Furtado, A. (2018). *BIOCOMBUSTIBLES Y COMERCIO INTERNACIONAL: UNA PERSPECTIVA LATINOAMERICANA*.
- Hombría, D. L. (2010). *DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE ENTURBIAMIENTO Y PUNTO DE CONGELACIÓN DE MUESTRAS DE BIODIÉSEL. PUESTA EN MARCHA Y OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO INSTRUMENTAL NECESARIO*.
- INEN. (1973). *GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES DETERMINACION DEL INDICE DE SAPONIFICACION, 0040*.
- Lafont, J. J., & Páez, M. S. (2011). *Análisis Químico de Mezclas Biodiesel de Aceite de Cocina Usado y Diesel por Espectroscopia Infrarroja Chemical Analysis of Mixtures of Biodiesel from Used Cooking Oil and Diesel by Infrared Spectroscopy*, 22(4), 35–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000400005>
- LaMotte. (n.d.). *Smart 2 Manual de operacion*.
- Manuel antonio Montenegro Mier, Fabio eMiro Sierra VargaS, C. alberto guerrero F. (2012). *Producción y caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo Production and characterization of biodiesel from chicken fat*.
- María, A., Ospina, C., J, J. A. V., & Z, P. A. C. (2011). *OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE JATROPHA CURCAS L POR TRANSESTERIFICACION ETANOLICA*, 5(1), 34–41.
- Miranda, D. H. G. (2016). *Aprovechamiento de la grasa bovina del Camal Frigorífico Municipal Ambato para la obtención de biodiésel como combustible de origen animal \_*.
- MONCAYO, F. A. D. (2016). *VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO, GASÓLEO Y JET FUEL TRABAJO*.

- NTER-INEN. (1973). Grasas y aceites comestibles. Determinacion de la densidad relativa, 0035.
- OSORIO, D. E. R. (2014). *RECUPERACIÓN DE ACEITE DE FRITURA AL VACÍO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TIERRA FILTRANTE BENTONITA CÁLCICA*.
- Paz, K. G. M. (2011). *Prediccion del numero de cetano de biodiesel de Piñon y Palma Africana por cromatografia de gases*.
- Pedro, B., John, A., & Gabriel, C. (2004). Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel. *Scientia et Technica Año X*, 24(24), 169–174.
- Pisarello, M. L. (2010). Producción de biodiesel: equilibrio fisicoquímico y cinética de esterificación y transesterificación con diferentes catalizadores y alcoholes, 247. Retrieved from <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/291/tesis.pdf?sequence=1>
- Products, P., Products, P., & Products, P. (1984). Standard Test Method for Determination of Carbon Residue ( Micro Method ) 1, 2.
- R, R. p u b l i c o f c u a d o. (1973). NTE-INEN 38.
- Riba, J., Esteban, B., Baquero, G., Puig, R., & Rius, A. (2010). ser utilizados como carburante en motores diesel, 100–106.
- Rodríguez Arzave, J. A.a, Maldonado Salazar, J. M.a, Muro Campillo, M.A.a, Miranda Velásquez, L. G. . (2016). Índice de saponificación de cinco mantecas determinado mediante un micrométodo, *I*(1), 937–942.
- Técnica, N. (2002a). 2002-02-20 grasas y aceites animales y vegetales. método de la determinación de la densidad (masa por volumen convencional).
- Técnica, N. (2002b). GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA VOLÁTIL.
- Ventura, J. (2007). *DESARROLLO DE MÉTODOS ANALÍTICOS MEDIOAMBIENTALMENTE SOSTENIBLES POR ESPECTROMETRÍA FTIR*. Universidad de Valencia.
- Arbeloa, M., & Diéguez, P. (2011). Puesta a punto de un motor de 2 tiempos (ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN).
- Arias, D. Teuta, C. y Parra, J. (2011). Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100 / 04 y medición de poder calorífico. *AVANCES Investigación En Ingeniería.*, 8(2), 73–80.
- ASTM D1298. (2002). Método de Prueba Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), o Gravedad API del Petróleo y Productos de Petróleo Líquido por el Método del Hidrómetro. Annual Book of ASTM Standards, 8.

- ASTM International. (2007). ASTM D2270: Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 and 100 ° C 1 Liquid Petroleum Products and Opaque Liquids ( and the Calculation of Dynamic Viscosity ). 91(95), 1–6. <https://doi.org/10.1520/D2270-10E01>
- ASTMD-4294. (n.d.). STANDARD TEST METHOD FOR SULFUR IN PRETROLEUM AND PETROLEUM PRODUCTS BY DISPERSIVE X-ray FLUORESCENCE SPECTROMETRY (Vol. 552). Vol. 552.
- Automotriz, E. D. E. I., Giovanni, L., & Bonilla, V. (2011). “ANÁLISIS DE LA DEGRADACION DE ACEITES LUBRICANTES Y PROPUESTA DE PLANES DE MEJORA PARA EL MANTENIMIENTO DEL EQUIPO PESADO DEL ILUSTRE MUNICIPIO DEL CANTÓN ARCHIDONA.
- Avhad, M. y Marchetti, J. (2015). A review on recent advancement in catalytic materials for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 696–718. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.038>
- Avila Chritian, T. J. (2014). *DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ AUTORES: ÁVILA CALDERÓN CHRISTIAN ANDRÉS TEMA: RECICLAJE DE ACEITE VEGETAL DE FRITURAS DIESEL EN DIFERENTES PROPORCIONES DIRECTOR: ING . ERAZO GERMÁN CODIRECTOR : ING . MENA LUIS.*
- Augusto, F., & Vargas, A. (2010). *TESIS DOCTORAL Dirigida por el Dr . Joan Salvadó Rovira Departament d ' En ginyeria Química Tarragona.*
- Badillo-Corona, L. C. F.-L. J. M.-M. A. M.-O. y J. A. (2012). PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES A PARTIR DE MICROALGAS.
- Ballesteros, M., Escandón, D. (2018). *Síntesis y caracterización de una base biolubricante a partir de aceite de ricino y trimetilolpropano.* (Trabajo de Grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga.
- Barrera, L., y Velecela, F. (2015). *Diagnóstico de la contaminación ambiental causada por aceites usados provenientes del sector automotor y planteamiento de soluciones viables para el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Azogues*, 55–99.(Trabajo de Grado). Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7691/1/UPS-CT004551.pdf>
- Bastidas, E., y Bolaños, J. (2014). *Esudio del desempeño de acondicionadores de combustible en vehículos, a través de la inducción magnética en la re polimeración del Diesel.* (Trabajo de Grado). Universidad Internacional del Ecuador, Ecuador.



- Benjumea, P., Agudelo, J. y Ríos L. (2009). *Biodiésel: Producción, calidad y caracterización*. Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Bessou, C., & Pardon, L. (2016). IMPACTOS AMBIENTALES DE PRODUCTOS DE ACEITE DE PALMA. 37, 225–234.
- Calderon, L. A. S. (2016). Reacción de producción de biodiésel de soya catalizada por óxidos metálicos.
- Carlos Martinez, M. M. (2013). PROPUESTA DE UN MANUAL DE METODOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS DEL BIODIESEL (B100) PARA EL LABORATORIO DE BIOCOMBUSTIBLES DEL CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL (CENTA). TRABAJO.
- CONUEE. (2018). Aceites Lubricantes Lubricante Principios Básicos.
- DeLisi, J. (2018). ASTM STANDARD D56: “STANDARD TEST METHOD OF FLASH POINT BY TAG CLOSED TESTER.” 63rd Annual Business Aviation Safety Summit, BASS 2018, (8), 161–179. <https://doi.org/10.4135/9781452241067.n23>
- Delgado, E., Parra, J., Aguilar, L., Guevara, D., & Novoa, J. (2007). COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS A PARTIR DE ACEITES USADOS CON TRATAMIENTOS DE LIMPIEZA. *Avances Investigación En Ingeniería*, (6), 110–115.
- Derviş, B. (2013). Determinación los parámetros específicos para el distinto tipo de lubricantes y con ello poder aplicar las respectivas normas en ellos. *OBJETIVO* (Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Dietsche, K. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Alemania: Robert Bosh GmbH.
- Dominguez, J., y Andrade, M. (2011). Biodiesel: nuevos productos con importantes ventajas, 4-7. Disponible en: [http://www.espae.espol.edu.ec/images/documentos/publicaciones/publicaciones\\_medios/industriacerodesechos.pdf](http://www.espae.espol.edu.ec/images/documentos/publicaciones/publicaciones_medios/industriacerodesechos.pdf)
- Energia, A. A. de la. (2009). *Manual Técnico de Uso de Biocarburantes en Motores de Automoción*.
- Echeverría, J. (2018). análisis de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a base de aceite de higuerrilla b10. Universidad Técnica del Norte.
- Erazo, G. (2017). Caracterización y utilización del aceite obtenido de las semillas de girasol para determinar los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna ciclo diesel en proporciones de 2%, 5%, 10%, 15%, 25% y 50% cuando se lo utiliza como biocombusti (Universidad de las Fuerzas Armadas Innovación para la

- Exelencia ESPE). Retrieved from <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/13200/1/T-ESPEL-MAI-0580.pdf>
- FAO (2008). *Bosques y Energía: cuestiones claves*. Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación.
- FAO (2013). *Los biocombustibles y la seguridad alimentaria: Un informe del grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición*. Roma, Italia: Comité de Seguridad Alimentaria Mundial. Disponible en: [fao.org/3/a-i2952s.pdf](http://fao.org/3/a-i2952s.pdf)
- FAO. (2016). Situación del mercado de biocombustibles. Perspectivas Agrícolas. <https://doi.org/10.1787/agr-data-en>
- Adriana, I., & Medina, S. (2012). *Obtencion y caracterizacion de biodiesel a partir de aceite de semillas de Ricinus communis*.
- Alejandra, D., & Cabrera, P. (2018). *Caracterización de las Propiedades Físicoquímicas de Biodiesel Extraído de Aceite Reciclado de Origen Vegetal*.
- Almeida, D. (2010). *Obtención de diesel #2 sintético a partir de aceites lubricantes usados*. Universidad San Francisco de Quito.
- Altamirano, A., & Pabón, G. (2015). “*Obtención de la mezcla combustible diésel con aceites lubricantes reciclados del automóvil en concentraciones de 5 %, 10 %, 15 %, 20 % y 30 % y determinación de los parámetros característicos del motor.*” ESPE.
- Ana López, Alba Souto, M. P. (2015). CROMATOGRAFÍA DE GASES Y ESPECTROMETRÍA, 1–12.
- Arias, D. E., Teuta, C. A., & Parra, J. (2011). Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol bajo la Norma NTC de 100 / 04 y medición de poder calorífico. *AVANCES Investigación En Ingeniería.*, 8(2), 73–80.
- ASTM D1298. (2002). Método de Prueba Estándar para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), o Gravedad API del Petróleo y Productos de Petróleo Líquido por el Método del Hidrómetro. *Annual Book of ASTM Standards*, 8.
- ASTM International. (2007). ASTM D2270: Standard Practice for Calculating Viscosity Index from Kinematic Viscosity at 40 and 100 ° C 1 Liquid Petroleum Products and Opaque Liquids ( and the Calculation of Dynamic Viscosity ), 91(95), 1–6. <https://doi.org/10.1520/D2270-10E01>
- ASTMD-4294. (n.d.). STANDARD TEST METHOD FOR SULFUR IN PRETROLEUM AND PETROLEUM PRODUCTS BY DISPERSIVE X-ray FLUORESCENCE SPECTROMETRY.
- Augusto, F., & Vargas, A. (2010). *TESIS DOCTORAL Dirigida por el Dr . Joan*

*Salvadó Rovira Departament d ' En ginyeria Química Tarragona.*

- Avila Christian, T. J. (2014). *DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ AUTORES : ÁVILA CALDERÓN CHRISTIAN ANDRÉS TEMA : RECICLAJE DE ACEITE VEGETAL DE FRITURAS DIESEL EN DIFERENTES PROPORCIONES DIRECTOR : ING . ERAZO GERMÁN CODIRECTOR : ING . MENA LUIS.*
- Bastidas, E., & Bolaños, J. (2014). *Esudio del desempeño de acondicionadores de combustible en vehículos, a través de la inducción magnética en la re polimeración del Diesel.* Universidad Internacional del Ecuador.
- Calderon, L. A. S. (2016). Reacción de producción de biodiésel de soya catalizada por óxidos metálicos.
- Carlos Martinez, M. M. (2013). *PROPUESTA DE UN MANUAL DE METODOS DE ANALISIS FISICOQUIMICOS DEL BODIESEL (B100) PARA EL LABORATORIO DE BIOCOMBUSTIBLES DEL CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA Y FORESTAL (CENTA). TRABAJO.*
- DeLisi, J. (2018). ASTM STANDARD D56: “STANDARD TEST METHOD OF FLASH POINT BY TAG CLOSED TESTER.” *63rd Annual Business Aviation Safety Summit, BASS 2018*, (8), 161–179.  
<https://doi.org/10.4135/9781452241067.n23>
- Echeverría, J. (2018). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL BODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE HIGUERILLA B10.* Universidad Técnica del Norte.
- Energia, A. A. de la. (2009). Manual Técnico de Uso de Biocarburantes en Motores de Automoción.
- Erazo, G. (2017). *Caracterización y utilización del aceite obtenido de las semillas de girasol para determinar los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna ciclo diesel en proporciones de 2%, 5%, 10%, 15%, 25% y 50% cuando se lo utiliza como biocombusti.* Universidad de las Fuerzas Armadas Innovación para la Exelencia ESPE.
- FEMA. (2017). Catálogo de Productos FEMA ALTA CALIDAD.
- Franco-Mora 1, \*; J. Salomon-Castaño 1, 2; A. A. Morales P., 3, V. 3; M. R.-A., & Castañeda-, 1; Á. (2015). Scientia Agropecuaria Ácidos grasos y parámetros de calidad del aceite de semilla de uva silvestre ( *Vitis spp .* ) Fatty acids and parameters of quality in the oil of wild grapes ( *Vitis spp .* ), 6(4), 271–278.

<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2015.04.04>

- Furtado, A. (2018). BIOCOMBUSTIBLES Y COMERCIO INTERNACIONAL: UNA PERSPECTIVA LATINOAMERICANA.
- Hombría, D. L. (2010). DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE ENTURBIAMIENTO Y PUNTO DE CONGELACIÓN DE MUESTRAS DE BIODIÉSEL. PUESTA EN MARCHA Y OPTIMIZACIÓN DEL EQUIPO INSTRUMENTAL NECESARIO.
- INEN. (1973). GRASAS Y ACEITES COMESTIBLES DETERMINACION DEL INDICE DE SAPONIFICACION, 0040.
- Lafont, J. J., & Páez, M. S. (2011). Análisis Químico de Mezclas Biodiesel de Aceite de Cocina Usado y Diesel por Espectroscopia Infrarroja Chemical Analysis of Mixtures of Biodiesel from Used Cooking Oil and Diesel by Infrared Spectroscopy, 22(4), 35–42. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642011000400005>
- LaMotte. (n.d.). Smart 2 Manual de operacion.
- Manuel antonio Montenegro Mier, Fabio eMiro Sierra VargaS, C. alberto guerrero F. (2012). Producción y caracterización de biodiésel a partir de aceite de pollo Production and characterization of biodiesel from chicken fat.
- María, A., Ospina, C., J, J. A. V., & Z, P. A. C. (2011). OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE JATROPHA CURCAS L POR TRANSESTERIFICACION ETANOLICA, 5(1), 34–41.
- Miranda, D. H. G. (2016). *Aprovechamiento de la grasa bovina del Camal Frigorífico Municipal Ambato para la obtención de biodiésel como combustible de origen animal* \_.
- MONCAYO, F. A. D. (2016). VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN EN CEMENTO ASFÁLTICO, GASÓLEO Y JET FUEL TRABAJO.
- NTER-INEN. (1973). Grasas y aceites comestibles. Determinacion de la densidad relativa, 0035.
- OSORIO, D. E. R. (2014). *RECUPERACIÓN DE ACEITE DE FRITURA AL VACÍO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TIERRA FILTRANTE BENTONITA CÁLCICA*.
- Paz, K. G. M. (2011). *Prediccion del numero de cetano de biodiesel de Piñon y Palma Africana por cromatografia de gases*.
- Pedro, B., John, A., & Gabriel, C. (2004). Estudio experimental de las variables que afectan la reacción de transesterificación del aceite crudo de palma para la producción de biodiesel. *Scientia et Technica Año X*, 24(24), 169–174.

- Pisarello, M. L. (2010). Producción de biodiesel: equilibrio fisicoquímico y cinética de esterificación y transesterificación con diferentes catalizadores y alcoholes, 247. Retrieved from <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/tesis/bitstream/handle/11185/291/tesis.pdf?sequence=1>
- Products, P., Products, P., & Products, P. (1984). Standard Test Method for Determination of Carbon Residue ( Micro Method ) 1, 2.
- R, R. p u b l i c o f c u a d o. (1973). NTE-INEN 38.
- Riba, J., Esteban, B., Baquero, G., Puig, R., & Rius, A. (2010). ser utilizados como carburante en motores diesel, 100–106.
- Rodríguez Arzave, J. A.a, Maldonado Salazar, J. M.a, Muro Campillo, M.A.a, Miranda Velásquez, L. G. . (2016). Índice de saponificación de cinco mantecas determinado mediante un micrométodo, *I*(1), 937–942.
- Técnica, N. (2002a). 2002-02-20 grasas y aceites animales y vegetales. método de la determinación de la densidad (masa por volumen convencional).
- Técnica, N. (2002b). GRASAS Y ACEITES ANIMALES Y VEGETALES. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD Y MATERIA VOLÁTIL.
- Ventura, J. (2007). *DESARROLLO DE MÉTODOS ANALÍTICOS MEDIOAMBIENTALMENTE SOSTENIBLES POR ESPECTROMETRÍA FTIR*. Universidad de Valencia.