



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

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

**TEMA: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL
BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE HIGUERILLA B10**

AUTOR: JUAN CARLOS ECHEVERRÍA ECHEVERRÍA

DIRECTOR: ING. CARLOS MAFLA Msc.

IBARRA – ECUADOR

2018

ACEPTACIÓN DEL DIRECTORIO

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

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de trabajo de grado cuyo título es “Análisis de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a base de aceite de higuera” presentado por el señor: Juan Carlos Echeverría Echeverría con el número de cedula 1003739404 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 23 días del mes de Febrero de 2018

Atentamente



MSC. Carlos Nolasco Mafla Yépez
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de texto completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100373940-4
APELLIDOS Y NOMBRES:	JUAN CARLOS ECHEVERRÍA ECHEVERRÍA
DIRECCIÓN:	COTACACHI ARUPOS 2
EMAIL:	jcecheverriae@utn.edu.ec
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL: 098472367

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a base de higuera B10
AUTOR:	JUAN CARLOS ECHEVERRÍA ECHEVERRÍA
FECHA:	Ibarra 23 Febrero 2018
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR/DIRECTOR	MSC. Carlos Nolasco Mafla Yépez

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Juan Carlos Echeverría Echeverría** con cédula de identidad Nro. **1003739404**, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 23 días del mes de Febrero de 2018

AUTOR:



Juan Carlos Echeverría Echeverría

Nombre

100373940-4

C.C

Facultado por resolución de Consejo Universitario



**CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

Yo, **Juan Carlos Echeverría Echeverría** con cédula de identidad Nro. **100373940-4**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **“Análisis de la Propiedades fisicoquímicas del Biodiésel a Base de Aceite de Higuera”** que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mantenimiento Automotriz en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi Condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Juan Carlos Echeverría Echeverría
Nombre
100373940-4
C.C.

Ibarra, a los 23 días del mes de Febrero de 2018

DEDICATORIA

La elaboración del presente trabajo de grado va dedicado a toda mi familia en especial a mi madre, hermanos, esposa sobre todo a mi hija quien fue el pilar fundamental, quien me dio fuerza y entusiasmo para la realización de la misma. También va dedicado a mi padre que lo tengo presente en mi corazón, que siempre con sus palabras de aliento me ayudo en los momentos más importantes de mi vida.

Juan Carlos Echeverría

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradezco a Dios y a mis padres por darme y mantenerme con vida, gracias por hacer hasta lo imposible para que yo pueda culminar con éxito mis estudios.

A mis maestros, en especial al Ing. Carlos Mafla quienes siempre me han sabido guiar muy bien para realizar este trabajo de grado.

A la Universidad Técnica del Norte por abrirme las puertas y prestarme sus instalaciones para culminar mis estudios de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz.

A la Unidad Educativa 17 de Julio por facilitarme la utilización de su reactor, a todo su personal docente, gracias al Ing. Nelson Lucero quien fue pilar fundamental para la elaboración de biodiésel.

A la universidad central quien me ayudo con los análisis del biodiesel de higuera B10.

Juan Carlos Echeverría

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
ACEPTACIÓN DEL DIRECTORIO	¡Error! Marcador no definido.
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	iii
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I	19
1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.1 Antecedentes	19
1.2 Planteamiento del problema	19
1.3 Formulación del problema	20
1.4 Delimitación temporal y espacial	20
1.5 Objetivos	20
1.5.1 Objetivo General	20
1.5.2 Objetivos Específicos	20
1.6 Justificación	21
CAPÍTULO II	22
2. MARCO TEÓRICO	22
2.1 Biocombustibles	22
2.1.1 Tipos de Biocombustible	22
2.1.1.1 El Biodiésel	22
2.1.1.2 Bioetanol	23
2.1.1.3 Biogás	23
2.2 Características del diésel en el Ecuador	24
2.2.1 Tipos de Diésel que se comercializan en el Ecuador	25
2.2.1.1 Diésel No 1	25
2.2.2 Requisitos del Diésel No 2	26

2.2.3 Diésel Premium	27
2.2.4 Diferencia entre el diésel Premium y el diésel común	28
2.2.5 Requisitos del biodiésel Norma INEN	28
2.2.6 Requisitos del Biodiésel Norma EN	29
2.2.7 Requisitos del Biodiésel Norma ASTM	30
2.3.1 Densidad	32
2.3.2. Densidad API a 60°F	32
2.3.2.1 Método de prueba estándar	32
2.3.2.2 Efectos de la temperatura sobre la densidad	32
2.3.3 Punto de Inflamación	33
2.3.3.1 Determinación del punto de Inflamación	33
2.3.3.2 Método de pruebas del punto de inflamación	33
2.3.3.3 Efectos del punto de inflamación en biodiésel.	33
2.3.4 Agua y sedimento	33
2.3.4.1 Sedimento básico de agua	34
2.3.4.2 Método de prueba de sedimentos de agua en el biodiésel de	34
2.3.4.3 Efecto del sedimento de agua en el motor	34
2.3.5 Viscosidad cinemática 40°C	34
2.3.5.1 Determinación de la Viscosidad cinemática	35
2.3.5.2 Método de la viscosidad cinemática a 40 grados Celsius	35
2.3.6 Cenizas Sulfatadas	35
2.3.6.1 Determinación de cenizas en biodiésel	36
2.3.6.2 Método de determinación de las cenizas en el biodiésel B10	36
2.3.6.3 Efectos de cenizas en el motor diésel	36
2.3.7 Contenido de Azufre	37
2.3.7.1 Determinación del azufre	37
2.3.7.2 Método del azufre PNE/DPEC/PMI04 ASTM D-4294	37
2.3.7.3 Efectos del azufre en el motor	37
2.3.7.4 Efectos del azufre en el medio ambiente	38
2.3.7.5 Efectos del azufre en el cuerpo humano	38
2.3.8 Carbón residual	38
2.3.8.1 Determinación del residuo carbonoso	38
2.3.8.2 Método de obtención de residuo carbonoso ASTM D-189	39
2.3.8.3 Efectos del residuo carbonosos en el motor	39
2.3.9 Corrosión lámina de cobre	39
2.3.9.1 Determinación de la corrosión de la lámina de cobre	39
2.3.9.2 Método de la corrosión de lámina de cobre ASTM D-130	39

2.3.10	Número de cetano	40
2.3.10.1	Determinación del índice de cetano calculado	40
2.3.10.2	Método del índice de cetano INEN 1495	40
2.3.10.3	Efectos del índice de cetano en el motor	41
2.3.11	Temperatura de destilación	41
2.3.11.1	Determinación de la temperatura de destilación	41
2.3.11.2	Método de la temperatura de destilación ASTM D-86	41
2.3.12	Contenido de ésteres	42
2.3.13	Índice de yodo	42
2.3.14	Contenido de metanol	42
2.3.15	Contenido de fósforo	43
2.3.16	Contenido de metales alcalino	43
2.3.17	Número de acidez	43
2.3.18	Determinación del sodio	43
2.3.18.1	Método de sodio ASTM D-5863	43
2.3.18.2	Efectos del sodio en el motor	43
2.3.19	Determinación del Potasio, Calcio y magnesio ASTM D 5056	44
2.3.20	Glicerina libre	44
2.3.21	Glicerina total	44
2.4	Gases y emisiones de escape	45
2.4.1	Gases de escape vehículos Diésel	45
2.4.2	Diferentes emisiones de los gases de escape	45
2.4.2.1	Nitrógeno (N ₂)	45
2.4.2.2	Oxígeno (O ₂)	45
2.4.2.3	Agua (H ₂ O)	45
2.4.2.4	Dióxido de carbono (CO ₂)	46
2.4.2.5	Monóxido de carbono (CO)	46
2.4.2.6	Óxidos nítricos (NO _x)	46
2.4.2.7	Dióxido de azufre (SO ₂)	46
2.4.2.8	Plomo (Pb)	47
2.4.2.9	Hidrocarburos – HC	47
2.4.2.10	Partículas de hollín MP	47
CAPÍTULO III		48
3. PROPUESTA		48
3.1	Elaboración del biodiésel a base de aceite de Higuera.	48
3.1.1	Biodiésel	48
3.2.	Proceso y elementos para la elaboración del biodiésel.	48

3.2.1. Reactor Químico	48
3.2.1.1 Reactor Continuo	48
3.2.1.2 Reactor Discontinuo	48
3.2.2 Aceite de Ricino (Higuerilla)	49
3.2.2.1 Análisis del aceite de Recino	49
3.2.3 Hidróxido de Sodio	51
3.2.4 Metanol	52
3.2.5 Transesterificación	53
3.2.5.1 Proceso de transesterificación	53
3.2.6 Decantación	54
3.2.6.1 Decantación de un líquido	54
3.2.7 Lavado	55
3.2.8 Secado	55
3.3 Gases que se producen al momento de realizar biodiésel	56
3.4 Resultados de las pruebas del biodiésel B10	56
3.4.1 Tabla de los análisis fisicoquímicos del Biodiesel	56
3.5 Emisiones de gases B10 y Diésel	58
3.5.1 Prueba de emisiones de gases en un Kia Sorento CRDI 2007.	58
3.5.2 Análisis de gases del biodiésel de higuerilla B10.	59
3.5.3 Normas nacionales e internacionales de calidad	59
CAPÍTULO IV	61
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	61
4.1 Fundamentación tecnológica	61
4.2 Comparación de las normas del biodiésel nacionales e internacionales	61
4.3 Comparación de la densidad API a 60°F del biodiésel	64
4.3.1 Comportamiento de la densidad en el motor	64
4.4 Comparación del punto de inflamación del biodiésel de higuerilla	65
4.4.1 Comportamiento del punto de inflamación en el motor	65
4.5 Comparación del sedimento básico y agua	65
4.5.1 Comportamiento del sedimento básico de agua en el motor	66
4.6 Comparación del agua por destilación del biodiésel de higuerilla	66
4.6.1 Comportamiento del agua por destilación en el motor	67
4.7 Comparación de las Cenizas del biodiésel de higuerilla	67
4.7.1 Comportamiento de las cenizas en el motor	67
4.8 Comparación de la Viscosidad cinemática a 40°C del biodiésel	68
4.8.1 Comportamiento de la viscosidad cinemática en el motor	68
4.9 Comparación del Azufre del biodiésel de higuerilla B10	68
4.9.1 Comportamiento del Azufre en el motor	69
4.9.2 Comportamiento del azufre en el medio ambiente	69
4.9.3 Efectos del azufre en la salud	69

4.10 Comparación del residuo carbonoso sobre 10% de residuo	70
4.10.1 Comportamiento del residuo carbonoso en el motor	70
4.11 Comparación de la Corrosión a la lámina de CU del biodiésel	70
4.11.1 Comportamiento de la corrosión a la lámina de cobre en el motor	71
4.12 Comparación del Índice de cetano calculado	71
4.12.1 Comportamiento del índice de cetano en el motor	71
4.13 Comparación de sodio del biodiésel de higuera B10	72
4.13.1 Comportamiento de sodio en el motor	72
4.14 Comparación del potasio del biodiésel de higuera B10	72
4.14.1 Comportamiento del potasio en el motor	73
4.15 Comparación del calcio del biodiésel de higuera B10	73
4.15.1 Comportamiento del calcio en el Motor	74
4.16 Comparación del magnesio del biodiesel de higuera	74
4.16.1 Comportamiento de Magnesio en el motor	74
4.17 Comparación de la temperatura de destilación a 90%	75
4.17.1 Comportamiento de la temperatura de destilación en el motor	75
CAPÍTULO V	76
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
5.1 Conclusiones	76
5.2 Recomendaciones	77
BIBLIOGRAFÍA	78
ANEXO 1	85
ANEXO 2	89
ANEXO 3	92

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NUM	DESCRIPCIÓN	PÁG
2.1	Requerimientos del Diésel No 1 en Ecuador	25
2.2	Requisitos del Diésel No 2 en Ecuador	26
2.3	Requisitos Diésel Premium en Ecuador	27
2.4	Requisitos Biodiésel INEN	28
2.5	Requisitos del Biodiésel Norma EN	29
2.6	Requisitos del Biodiésel norma ASTM	31
3.1	Propiedades del Aceite de Ricino	50
3.2	Resultados Biodiésel B10	57
3.3	Análisis de gases Diésel	58
3.4	Análisis de gases B10	59
3.5	Cuadro de Comparación de resultados Diésel y Biodiésel B10	60
4.1	Comparación del biodiésel Norma Nacional e Internacional	62
4.2	Comparación densidad	64
4.3	Comparación Punto de Inflamación	65
4.4	Comparación Sedimento de Agua	66
4.5	Comparación Agua por destilación	66
4.6	Comparación Cenizas	67
4.7	Comparación Viscosidad Cinemática	68
4.8	Comparación de Azufre	69
4.9	Comparación Residuo Carbonoso	70
4.10	Comparación Corrosión a la lámina de CU	71
4.11	Comparación índice de cetano calculado	71
4.12	Comparación sodio	72
4.13	Comparación potasio	73
4.14	Comparación calcio	73
4.15	Comparación magnesio	74

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NUM	DESCRIPCIÓN	PÁG
3. 1	Reactor químico	49
3. 2	Aceite de Higuierilla	51
3. 3	Hidróxido de Sodio	52
3. 4	Metanol 99.5% de Pureza	53
3. 5	Transesterificación	54
3. 6	Decantación de biodiésel	55
A1. 1	Inicio del proceso de transesterificación	85
A1. 2	Comprobación de temperatura del proceso	85
A1. 3	Finalización del proceso de transesterificación	86
A1. 4	Comprobación de pH después de la transesterificación	86
A1. 5	Proceso de lavado del biodiésel	87
A1. 6	Proceso de decantación	87
A1. 7	Obtención de biodiésel B100 y B10	88
A2. 1	Análisis de las propiedades fisicoquímicas de biodiésel B10	89
A2. 2	Diploma de miembro de organización internacional ASTM	90
A2. 3	Certificado de análisis del aceite de higuierilla	90
A2. 4	Certificado otorgado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano	91
A3. 1	Corrosión a la lámina de cobre	92

RESUMEN

El presente trabajo de grado está basado en la importancia de la utilización de biodiésel en vehículos diésel, ya que de esta manera se puede bajar la contaminación del medio ambiente. El biodiésel de higuierilla se lo obtuvo en la Unidad Educativa 17 de Julio siguiendo un procedimiento adecuado para su elaboración de igual manera se obtuvo un biodiésel B100 de calidad. Para esto se ha realizado un análisis fisicoquímicos del biodiésel de higuierilla B10 en la Universidad Central del Ecuador en la Facultad de Ingeniería Química teniendo como resultados en la mayoría de propiedades fisicoquímicas que piden las normas Internacionales ASTM, EN y Nacionales INEN que cumplen con los estándares de calidad del biodiésel, los resultados más importantes obtenidos en el presente trabajo de grado es el índice de cetano tomando en cuenta las normas internacionales, el estándar de calidad máximo de biodiésel es de 47 a diferencia de los resultado de los análisis físico químico del biodiesel de higuierilla se obtuvo un cetanaje de 51, dando lugar a una mejor calidad de biodiésel en la cual el motor del vehículo trabajara en mejores condiciones que el diésel normal. Otro de los resultados más importantes de los análisis fisicoquímicos de biodiésel de higuierilla es el contenido de azufre en las que se obtuvo bajos índices al compararlos con los estándares internacionales de calidad que tiene como requisito máximo de 0.10 mg/kg y en los resultados obtenidos se obtuvo 0.0148 mg/kg dando lugar a un bajo índice de contaminación y siendo así un combustible amigable con el medio ambiente.

ABSTRACT

The present degree work is based on the importance of the use of biodiesel in diesel vehicles, since in this way the pollution of the environment can be reduced. The castor biodiesel was obtained in the Educational Unit July 17 following a suitable procedure for its preparation in the same way was obtained a B100 quality biodiesel. For this, a chemical physical analysis of the biodiesel from castor B10 has been carried out at the Central University of Ecuador in the Faculty of Chemical Engineering, having as a result the majority of physical and chemical properties required by the International ASTM, EN and National INEN standards that comply with Biodiesel quality standards, the most important results obtained in the present work of degree is the cetane index taking into account international standards, the maximum quality standard of biodiesel is 47 unlike the results of physical and chemical analysis of the biodiesel from castor oil was obtained a plan of 51, giving rise to a better quality of biodiesel in which the engine of the vehicle worked in better conditions than normal diesel. Another of the most important results of the physical chemical analysis of castor bean biodiesel is sulfur, in which low indices were obtained when comparing them with international quality standards. The maximum requirement is 0.10 mg / kg and 0.0148 was obtained in the results obtained. mg / kg resulting in a low contamination index and thus being an environmentally friendly fuel.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo principal, realizar el análisis de las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a base de aceite de higuera B10, con esto se logrará saber cuál es el nivel de contaminación de la mezcla que se va a realizar en el laboratorio y a la vez también se realizará una comparación con el diésel común de la ciudad de Ibarra, logrando de esta manera obtener información acerca de la calidad del diésel.

La responsabilidad ética con las actuales y futuras generaciones y con el resto de especies es un principio fundamental para prefigurar el desarrollo humano. La economía depende de la naturaleza y es parte de un sistema mayor, el ecosistema, soporte de la vida como proveedor de recursos y sumidero de desechos. Ecuador, considerado entre los diecisiete países mega diversos del mundo, tiene grandes recursos naturales, pero también ha sufrido un gran impacto de las actividades productivas sobre tales recursos, debido a urgentes necesidades de su población (Plan Nacional del Buen Vivir, 2013, pág. 18) La mayor ventaja comparativa con la que cuenta el país es su biodiversidad, por ello es fundamental saberla aprovechar de manera adecuada, mediante su conservación y su uso sustentable.

Con la Constitución de 2008, Ecuador asume el liderazgo mundial en el reconocimiento de los derechos de la naturaleza, como una respuesta contundente al estado actual de la misma, orientando sus esfuerzos al respeto integral de su existencia, a su mantenimiento y a la regeneración de sus ciclos vitales y procesos evolutivos (arts. 71-74). Esta propuesta se enmarca en un contexto en el que la gestión del gobierno se orienta al cumplimiento de los principios y derechos del Buen Vivir o Sumak Kawsay art. 14). Dentro de estos, son primordiales la interculturalidad y la convivencia armónica con la naturaleza, con un giro en la visión predominante de la naturaleza, entendida solo como proveedora de recursos a un enfoque más integral y biométrico, en el que la naturaleza es definida como “el espacio donde se realiza la vida” (art. 71).

El Programa de Gobierno 2013-2017, en el apartado Revolución Ecológica, apuesta por la transformación productiva bajo un modelo eco eficiente con mayor valor económico, social y ambiental. En este sentido, se plantean como prioridades la conservación y el uso sostenible del patrimonio natural y sus recursos naturales, la inserción de tecnologías ambientalmente limpias, la aplicación de la eficiencia energética y una mayor participación de energías renovables, así

como la prevención, el control y la mitigación de la contaminación y la producción, el consumo y el pos consumo sustentables.

En la actualidad en la república del Ecuador se debe tomar en cuenta el Plan Nacional del Buen Vivir (PNBV) radicado en el decreto ejecutivo 1303 del 2012 que fue presentado por el Sr. Presidente de la república del Ecuador Rafael Correa, donde dice; la apertura a la producción y el uso de energías renovables como el uso de la biomasa, estamos promoviendo al uso de energías limpias y al mismo tiempo estas sean eficientes para poder y tener que utilizarlos.

Al momento de realizar el biodiésel de higuera se cumple con los objetivos del PNBV, para la creación del biodiésel se debe tomar en cuenta diversos procedimientos y tratamientos que se debe dar a la misma.

A lo largo de la realización del trabajo de grado se presentará diversos datos y avances tecnológicos que estén allegados al tema principal, se analizará un rápido procedimiento de la elaboración del biodiésel como también la comparación del diésel común de la ciudad de Ibarra con biodiésel B10.

En el primer capítulo el análisis del problema, como también los objetivos generales y los específicos tomando en cuenta los antecedentes que se recopilarán, a lo largo de la ejecución del trabajo de grado cumpliendo así con el procedimiento adecuado para la elaboración de la misma.

CAPÍTULO I

1. CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

En el Ecuador la contaminación en los vehículos diésel, va en un crecimiento elevado, el PNBV dice que en el país no se ha realizado mucho para disminuir la contaminación se vehículos diésel, ya que está dado por las malas propiedades el diésel que tiene el país, ya que esta genera una gran cantidad de azufre y metales que es muy dañino para la población, los límites permitidos según el instituto ecuatoriano de normalización (INEM) y la gestión ambiental (Decreto ejecutivo 1303, 2012) dice que no es aplicable para vehículos diésel que sean de construcción como también los vehículos agrícolas. (Fander Falconí, 2013, pág. 7)

El consumo de diésel Premium en el Ecuador desde el 2015 es de 51mil barriles diarios los cuales 21 mil barriles de petróleo son producidos en la refinería de Esmeraldas (Diego Gómez, 2012, pág. 10), por lo cual de trabajo de grado está basado en mejorar la calidad de vida de las personas, reduciendo los niveles de contaminación que producen los motores Diésel, realizando las análisis fisicoquímicos de Biodiésel B10.

Al momento de utilizar biodiésel, se cumplirá un decreto el cual es, “El interés nacional sobre el desarrollo de biocombustibles ya sea bioetanol como también biodiésel como un verdadero medio de producción en la parte agrícola.” (Fander Falconí, 2013, pág. 8)

Desde el 2009 en el Ecuador se implementó en gasolineras de Guayaquil, ya cuenta con biocombustible que reemplaza a la gasolina extra llamada “Ecopaís” está hecha con una mezcla B5 que sería 5% de bioetanol de caña de azúcar y 95% de gasolina, en este caso gasolina extra. (Chistian García, 2017, pág. 15)

1.2 Planteamiento del problema

Los niveles de contaminación en el mundo últimamente son alarmantes ya que con el paso del tiempo el nivel de contaminación sube cada año en lugar de decrecer, si no reducimos las emisiones contaminantes de CO², se tendrá enormes deterioros ambientales y serias

amenazas para la humanidad, así como la extensión de enfermedades, daños por acontecimientos climáticos violentos, pérdida de cosechas disminución de los recursos hídricos entre otros problemas (Frers, 2015, pág. 18). En la ciudad de Ibarra los niveles de contaminación han incrementado en los últimos años, el transporte es uno de los mayores contaminantes en la ciudad de Ibarra.

Los problemas respiratorios en la ciudad de Ibarra van en crecimiento por el alto nivel de contaminación, ya que los buses circulan por la ciudad arrojando gases tóxicos todo el tiempo, la calidad del aire que respiran los Ibarreños no es la mejor ya que las personas sufren de dolores de cabeza y problemas respiratorios (Diego Perez, 2009, pág. 9).

1.3 Formulación del problema

Analizar las propiedades químicas del biodiésel a base de aceite de higuierilla B10 tomando en cuenta la comparación de los resultados en mezcla B10 con el diésel común.

1.4 Delimitación temporal y espacial

El trabajo que estamos realizando se llevara cabo desde el mes de abril del 2016 hasta el mes de diciembre del 2017 y se lo realizará en la Universidad técnica del Norte.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Analizar las propiedades fisicoquímicas del biodiésel B10 a base de aceite de Higuierilla.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica sobre las propiedades fisicoquímicas del biodiésel y del diésel fósil.
2. Analizar las propiedades fisicoquímicas del biodiésel a base de aceite de higuierilla B10 tomando como referencias las normas INEM, ASTM y EN.
3. Comprobar la mezcla B10 de biodiésel de higuierilla en motores diésel mediante análisis de gases.

1.6 Justificación

El plan Nacional del Buen Vivir de la República del Ecuador el objetivo 3 que es “Mejorar la calidad de vida en la población, la calidad de vida empieza por el ejercicio pleno de los derechos del Buen Vivir: agua, alimentación, salud, educación y vivienda como prerequisite para lograr las condiciones y el fortalecimiento de capacidades y potencialidades individuales y sociales” (Fander Falconí, 2013, pág. 8)

La constitución, en el artículo 66, establece “el derecho a una vida digna, que asegure la salud, saneamiento ambiental, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social, y otros servicios sociales necesarios” (Fander Falconí, 2013, pág. 8)

Por ello, mejorar la calidad de vida de la población es un proceso multidimensional y complejo.

La calidad de vida en la población tomando en cuenta la contaminación que en los últimos años va creciendo en nuestro país por el cual así vamos a llegar a una mejor calidad de vida en lo que concierne en la salud de todos los ecuatorianos, ya que propuesta de tema de trabajo de grado disminuir la contaminación en vehículos diésel al realizar el biodiésel en Ecuador y así bajar en rangos moderados la contaminación.

El objetivo 10 del plan nacional del buen vivir de la República del Ecuador dice “que hay que impulsar la producción de la matriz productiva, una producción basada en la economía del conocimiento, para la promoción de la transformación de las estructuras de producción” (Fander Falconí, 2013, pág. 10) como podemos llegar a impulsar a la producción agrícola de las plantas de higuera donde la economía de los agricultores podrán ganar produciendo plantas de higuera para la fabricación de biodiésel.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Biocombustibles

Al momento de hablar de biocombustibles, se dice que se está creando un combustible derivado de biomasa, es decir obtenerlos ya sea de plantas o sus derivados como por ejemplo frutos, desechos orgánicos y pesqueros.

En la República del Ecuador en el año 2010 se implementó estaciones de bioetanol en la ciudad de Guayaquil, con una mezcla que tiene 5% de etanol y 95% de gasolina extra, siendo una mezcla B5 que se lo llamo a este combustible Ecopaís, por el momento podemos encontrar 43 estaciones de servicio de biocombustible en la ciudad de Guayaquil. (Chistian García, 2017, pág. 18)

2.1.1 Tipos de Biocombustible

En la actualidad hay diferentes tipos de biocombustibles, pero los más utilizados son: el Biodiésel y el Bioetanol (Rosario Santa Fe, 2014, pág. 1)

2.1.1.1 El Biodiésel

El biodiésel es uno de los biocombustibles más utilizados en el mundo, se la puede utilizar pura o mezclada en diferentes proporciones en motores diésel de cualquier índole. En el año de 1990 Rudolf Diesel fue el creador del primer biodiésel que se ha creado por medio de un aceite vegetal de cacahuete, con este biocombustible Rudolf realizaba pruebas, también al mismo tiempo crear el motor diésel. (Rosario Santa Fe, 2014, pág. 29)

Un estudio reveló que Malasia, Tailandia, Colombia, Uruguay y Ghana son las naciones más atractivas para las inversiones en este sector debido a varias razones, entre ellas las agrícolas y las políticas, sin embargo esto no quiere decir que necesariamente produzcan el biocombustible. El top de los países que más producen biocombustibles en América es Brasil, Argentina y Colombia según los datos del último estudio sobre biocombustibles

publicado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Miguel de Cervantes, 2011, pág. 10).

Dos investigadores de la Universidad de Wisconsin-Madison son los que han elaborado el ranking con 226 países de acuerdo a su potencial para producir grandes volúmenes de biodiésel a bajo costo (Fernando Olmedo, 2007, pág. 203).

La evaluación mostró que Malasia, Tailandia, Colombia, Uruguay y Ghana son las naciones desarrolladoras más atractivas para las inversiones en este sector por varios motivos incluyendo los agrícolas y los factores políticos (Luis Encalada, 2016, pág. 18).

Los investigadores estimaron que “un gran total de 51 mil millones de litros de biodiésel podrían ser producidos anualmente, suficiente para satisfacer a aproximadamente entre el 4% y el 5% de la demanda mundial existente de petróleo” (G. Holdin, 2010, pág. 22)

El potencial mundial de producción de biocombustible de los 5 países más productores de biodiésel incluye a Brasil, USA, la Argentina, Malasia e Indonesia produciendo colectivamente el 80% de biocombustible, 51 mil millones de litros de biodiésel. (G. Holdin, 2010, pág. 23)

2.1.1.2 Bioetanol

También es llamado etanol de biomasa que se lo puede obtener a partir del maíz como también de la caña de azúcar, ya se ha estado usando este tipo de biocombustible en otros países en Latino América.

La producción del Bioetanol ha ido en crecimiento en los últimos años, como unos de los países más productores del mundo lo se tiene a la Republica de Brasil con el 45% de producción en el mundo, seguido de los Estados Unidos con el 44% de producción y otros países tienen el 11% elaboración de bioetanol. (Carlos Perez, 2012, pág. 52)

El bioetanol se usa en mezclas con la gasolina en concentraciones del 5 o el 10%, que no requieren modificaciones en los motores actuales, otra alternativa para el uso del bioetanol como combustible es transformarlo para su utilización como aditivo de la gasolina (C. Garcia, 2015, pág. 77).

2.1.1.3 Biogás

El biogás como su nombre lo dice esta hecho de gases naturales que se los puede utilizar como productores de energía eléctrica, también en hornos y estufas de cocina, esto lo utilizamos más para sistemas de combustión a gas.

Es otra de las fuentes de energía del futuro, el biogás es el producto de la descomposición anaerobia de materias orgánicas.

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas, la composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso, cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. (María Varnero , 2011, pág. 17)

Las Ventajas de los Biocombustibles que no incrementan los niveles de CO₂ en la atmósfera, con lo que se reduce el peligro del efecto invernadero, de igual manera proporcionan una fuente de energía reciclable y, por lo tanto, inagotable.

Las desventajas del uso de los biocombustibles es el costo de producción de los biocombustibles casi dobla al del de la gasolina o gasóleo de igual manera también se necesitan grandes espacios de cultivo, dado que del total de la plantación sólo se consigue un 7% de combustible (José Núñez García, 2014, pág. 2)

2.2 Características del diésel en el Ecuador

En los productos derivados del petróleo se obtiene al diésel, en la República del Ecuador el diésel tiene que regirse a sistemas de normalización.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) dice en el objetivo general que esta norma establece los requisitos que debe cumplir el diésel que se comercializa en el país (Normas INEN, 2012, pág. 29)

La refinería Esmeraldas, manifiesta que el diésel que sale del crudo en los hornos tiene una cantidad de 9000 ppm de azufre, y al no ser un crudo tan pesado se lo pasa directamente a la estación de desulfuración de diésel HDS, posterior a esto se analiza cómo funciona y elimina el azufre del diésel. (Mario Ortiz , 2014, pág. 63)

El crudo ecuatoriano es pesado, por su estructura molecular y niveles altos de azufre que perjudican su refinación, por lo tanto los vehículos que utilizan este diésel de baja calidad no prometen una extensa vida útil del motor, aunque en el Ecuador el diésel sea de baja calidad existe un factor político económico que altera su precio reduciéndolo así por un subsidio del estado, es decir el estado lo vende más barato al consumidor ecuatoriano. (Mario Ortiz , 2014, pág. 86)

2.2.1 Tipos de Diésel que se comercializan en el Ecuador

En el Ecuador tenemos diferentes tipos de diésel para su comercialización y se clasifican en las siguientes:

2.2.1.1 Diésel No 1

Este tipo de diésel sirve para utilizarle en motores de combustión externa ya sea para uso de la industria o como también uso doméstico por lo cual este tiene un índice bajo de cetano, por este motivo no se comercializa mucho en el país, al tener un bajo cetanaje la ignición es baja y no trabajaría bien en un motor diésel. (INEN, Enmienda, 2013, pág. 11)

En la tabla 2.1, se habla sobre los requisitos que debe tener el diésel para poder comercializar en el mercado de la república del Ecuador según las normas INEN.

Tabla 2.1 Requerimientos del Diésel No 1 en Ecuador

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	40	-	NTE INEN 1 047
Agua y sedimento	% En volumen	-	0,05	NTE INEN 1 494
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	% en peso	-	0,15	NTE INEN 1491
Cenizas	% en peso	-	0,01	NTE INEN 1 492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	288	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8°C	CSt	1,3	3,0	NTE INEN 810
Azufre	% en peso	-	0,30	MTE INEN 1 490
Corrosión en la lámina de cobre	-	-	No.2	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	40	-	NTE INEN 1 495

Fuente: (INEN, Enmienda, 2013, pág. 19)

2.2.2 Requisitos del Diésel No 2

El diésel número 2 en el Ecuador cumple con los requisitos distintos, como se lo puede apreciar en la siguiente tabla, esta no es usada para los vehículos automotores, por el alto contenido de azufre, este combustible solo es usado en la industria como pesquero, eléctrico y naviero. (INEN, Enmienda, 2013, pág. 3)

En la tabla 2.2 se habla sobre los estándares de calidad que se debe tener para la comercialización de la misma en la República del Ecuador según las normas INEN.

Tabla 2.2 Requisitos del Diésel No 2 en Ecuador

Parámetro	Norma	Unidad	Límites	
			Mínimo	Máximo
Número de cetano (A)	ASTMD 613	-	52.0	-
Índice de cetano (B)	ASTMD 4737	-	52.0	-
Densidad a 15°C	ASTMD 4052 ASTMD 1298 NTE INEN 2319	Kg/m ³	Reportar	
Viscosidad a 40°C	NTE INEN 810	mm	2.0	5.0
Estabilidad a la oxidación metodo	ASTMD 2274	g/m	--	200
Contenido de biodiésel	EN 14078	%	---(H)	5
Corrosión a la lámina de cobre	NTE INEN 927	-	---	Clase 1
Contenido de cenizas, Wc	NTE INEN 1492	%	---	0.01
Partículas contaminantes totales	ASTMD 5452	mg/kg	---	10
Lubricidad (HFRR wear scar día @60°C)	ASTMD 6079	Micrón	---	400

Fuente: (Normas INEN, 2012, pág. 3)

2.2.3 Diésel Premium

El diésel premium es el que se comercializa en el país, se lo puede encontrar en las estaciones de servicio despachadoras de combustible de todas las ciudades, por lo cual su costo es mas elevado que el diésel No2. (Araujo, Alberto, 2013, pág. 15)

El diésel premium se diferencia de los demás por tener un cetanaje elevado, por el cual al momento de trabajar en el motor Diésel tiene una mejor ignición y trabaja mucho mejor a diferencia del diésel número 1 y número 2.

En la tabla 2.3 se encuentran los estándares de calidad del diésel Premium que se comercializa en las estaciones de servicio en su mayoría en la ciudad de Quito.

Tabla 2.3 Requisitos Diésel Premium en Ecuador

Requisito	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Contenido de Agua y sedimento	%	-	0.05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0.015	NTE INEN 1491
Contenido de ceniza	%	-	0.01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8°C	cst	2.5	6.0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	%	-	0.5	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lamina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de Cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel	%	NOTA	5	EN 14078

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

Fuente: (INEN, Enmienda, 2013, pág. 15)

2.2.4 Diferencia entre el diésel Premium y el diésel común

La diferencia entre el diésel Premium y el diésel común, está en el índice de cetano ya que el diésel Premium tiene mayor cetanaje, haciéndolo así un combustible de mejor calidad, de igual manera tiene menor índice de azufre haciéndolo más amigable con el medio ambiente. (Araujo, Alberto, 2013, pág. 22)

2.2.5 Requisitos del biodiésel Norma INEN

En esta norma se puede observar los requisitos que debe tener el biodiésel según la norma INEN, esta norma aplica al biodiésel en una concentración B100. (INEN, Requisitos del Biodiésel , 2009, pág. 15)

Tabla 2.4 Requisitos Biodiésel INEN

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	--	ASTM D 93
Punto de Turbidez (1)	°C	Reportar	Reportar	Reportar
Agua y Sedimentos	%	---	0,05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	%(m/m)	---	0,02	ASTM D 875
Contenido de Azufre	Mg/kg	---	10	ASTM D 1552
Carbón Residual (2)	%	---	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D 130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
Glicerina libre	%	---	0,02	ASTM D 6584

Tabla 2.4 Requisitos Biodiésel INEN (Continuación)

Glicerina total	%	---	0,25	ASTM D 6584
Contenido de ésteres	%	96,5	---	EN 14103
Índice de yodo	g yodo/100g	---	120	EN 14111
Contenido de metanol	%	---	0,020	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de Fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na+k)	mg/kg	---	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca+Mg)	mg/kg	---	5	prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0,5	ASTM D 664
	<p>1. El punto de turbidez del biodiésel generalmente es mayor que el diésel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla.</p> <p>2. Debe ser determinado en el 100% de la muestra.</p>			

(INEN, Requisitos del Biodiésel , 2009, pág. 4)

2.2.6 Requisitos del Biodiésel Norma EN

Los requisitos del biodiésel según las normas internacionales EN, normativa europea, especifica los requisitos y los métodos de ensayo de los ésteres de metilo de ácidos grasos comercializados y suministrados para la empleación en motores diésel. (Normas EN, 2003, pág. 1)

Tabla 2.5 Requisitos del Biodiésel Norma EN

Ensayo	Unidades	Límites mínimo	Límite máximo	Norma de ensayo
Contenido de éster	%(m/m)	96.5	-	PrEN 14103
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860	900	EN ISO 3675
Viscosidad a 40°	mm ² /s	3.50	5.00	EN ISO 3104
Punto de inflamacion	°C	120		ISO 3679
Contenido en azufre	mg/kg		10.0	PrEN 20846
Residuo carbonoso	% (m/m)		0.030	EN ISO 10370
Número de cetano		51.0		EN ISO 5165
Contenido de cenizas de sulfatos	% (m/m)		0.02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg		500	EN ISO 12937
Contaminación total	mg/kg		24	EN 12662

Tabla 2.5 Requisitos del Biodiésel Norma EN (Continuación)

Corrosión lámina de cobre	Clasificación	Clase 1		EN ISO 2160
Estabilidad de la oxidación	Horas	6.0		PrEN 14112
Valor ácido	mg KOH/G muestras		0.50	PrEN 14104
Índice de yodo	GI/100g muestra		120	PrEN 14111
Metiléster linolénico	%(m/m)		12.0	PrEN 14103
Metiléster polí-insaturado	%(m/m)		1	PrEN 14111
Contenido en metanol	%(m/m)		0.20	PrEN 14110
Contenido en monoglicéridos	%(m/m)		0.80	PrEN 14105
Contenido en diglicéridos	%(m/m)		0.20	PrEN 14105
Contenido en triglicéridos	%(m/m)		0.20	PrEN 14105
Gliserina libre	%(m/m)		0.02	PrEN 14105
Gliserina total	%(m/m)		0.25	PrEN 14105
Metales del grupo I(Na+K)	mg/kg		5.0	PrEN 14108/14109
Metales del grupo II (Ca+Mg)	mg/kg		5.0	PrEN 14538
Contenido en fósforo	mg/kg		10.0	PrEN 14107
POFF	°C		Según época y país	EN 116

Fuente: (Normas EN, 2003, pág. 1)

2.2.7 Requisitos del Biodiésel Norma ASTM

Los requisitos del biodiésel en normas internacionales ASTM cumplen con los siguientes estándares de calidad. La norma internacional ASTM esta fomentando el uso de una fuente de energía renovable alternativa con nuevas especificaciones para el biodiésel. (ASTM, 2014, pág. 242)

En la tabla 2.6 se puede observar los requisitos que debe tener el biodiésel según la norma internacional ASTM

Tabla 2.6 Requisitos del Biodiésel norma ASTM

REQUISITOS	UNIDAD	Minimo	Maximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	93	--	ASTM D 93
Punto de Turbidez	°C	Reportar		
Agua y Sedimento	%	---	0.05	ASTM D 1796
Contenido de Agua	mg/kg	---	500	ASTM D 95
Viscosidad Cinemática a 40°C	mm ² /S	3.5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	---	0.02	ASTM D 874
Contenido de Azufre	mg/ kg	---	15	ASTM D 1552
W Carbón Residual	%	---	0.05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	---	3	ASTM D130
Número de cetano	-	49	---	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	---	360	ASTM D 1160
W Gliserina libre	%	--	0.02	ASTM D 6584
W Gliserina Total	%	--	0.25	ASTM D 6584
W Contenido de esteres	%	96.5	--	EN 14103
Índice de yodo	G yodo/100g	---	120	EN 14111
W Contenido de metanol	%	--	0.20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/kg	---	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/kg	---	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + mg)	mg/kg	--	5	pr EN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	---	0.5	ASTM D 664

Fuente: (ASTM, 2014, pág. 243)

2.3.1 Densidad

La densidad es la relación entre la masa y el volumen de un líquido o un sólido y puede expresarse en gramos por litro (g /L) a una temperatura de referencia, por lo general 60 grados Fahrenheit , la densidad del gasoil es de 850 g /L , en comparación con 720 g /L para la gasolina, la densidad del diésel es importante porque da una indicación de la demora entre la inyección y la combustión del combustible en un motor diésel, calidad de ignición y la energía por unidad de masa energía específica, cuanto más denso sea el aceite , más la energía que contiene, esta puede ser medida por la caída de un dispositivo conocido como un hidrómetro en el aceite o colocando una muestra en un dispositivo conocido como un medidor de densidad. (Sergio Mora, 2015, pág. 111)

2.3.2. Densidad API a 60°F

La gravedad API es una escala arbitraria relacionada con la densidad relativa del petróleo y productos derivados del mismo, y también productos no derivados del petróleo como son los biocombustibles, esta es determinada a 15.6 °C (60°F). (INEN, 2015, pág. 19)

2.3.2.1 Método de prueba estándar para la determinación de la densidad API a 60°F

Este método de prueba se basa su medición en un hidrómetro de vidrio para la obtención de gravedad API de crudos y sus derivados del petróleo manejados normalmente como líquidos y con una presión de vapor. (Abarracin, 2014, pág. 33)

Método por el cual se basa en el principio de la gravedad o densidad de un líquido, varia directamente con la profundidad de inmersión de un cuerpo flotante, el cual esta graduado en unidades de gravedad API es llamo hidrómetro API. (Abarracin, 2014, pág. 34)

2.3.2.2 Efectos de la temperatura sobre la densidad

Cuando un líquido es calentado, la distancia entre las moléculas del líquido aumenta y la densidad del líquido disminuye, lo mismo que el líquido se expande en volumen, la densidad disminuyen por que las moléculas están más lejos una de otras, cuando el líquido se enfría estas moléculas se acercan lo cual resulta en un incremento de la densidad y una disminución de volumen, en pocas palabras al aumentar la temperatura baja la densidad y al disminuirla la densidad aumenta. (Macias, 2002, pág. 12)

2.3.3 Punto de Inflamación

El biodiésel, es biodegradable aproximadamente 21 días, su origen vegetal lo hace compatible con la naturaleza y la ausencia de compuestos químicos y sintéticos lo hace inocuo con nuestro medio, su punto de inflamación por encima de 110° C, por eso no está clasificado como mercancía peligrosa, siendo su almacenamiento y manipulación segura, esta posee un alto poder lubricante y protege el motor diésel reduciendo su desgaste así como sus gastos de mantenimiento. (Riba Ruiz, 2012, pág. 17)

2.3.3.1 Determinación del punto de Inflamación

El punto de inflamación de una sustancia generalmente de un combustible es la temperatura más baja en la que puede formarse una mezcla inflamable en contacto con el aire, para medir el punto de inflamabilidad se usa un aparato de Pensky – Martens.

Es la temperatura mínima necesaria para que un combustible desprenda vapores al mezclarse con el oxígeno del aire u otro oxidante capaz de arder estas origina. (Pedro Sanchez, 2002, pág. 219)

2.3.3.2 Método de pruebas del punto de inflamación en grados Celsius

El método de prueba del punto de inflamación del biodiésel se elabora por la norma ASTM D-92, este método de prueba es aplicable para determinar el punto de inflamación y punto de incendio de todos los productos derivados del petróleo que tienen un punto de inflamación entre 79 ° C y 400 ° C. (Maldonado P, 2017, pág. 52)

2.3.3.3 Efectos del punto de inflamación en biodiésel.

Los efectos del punto de inflamación en el biodiésel de Higuierilla, hay como resultado un punto de inflamación más baja a lo que es las normas internacionales ASTM, INEN, EN, el punto es la temperatura mínima a la que un materia desprende vapores. (Brian Foreman, 2015, pág. 21)

2.3.4 Agua y sedimento

Se refiere a gotas de agua libre o partículas de sedimentos. El límite permitido para el biodiésel B100 es el mismo permitido para el diésel convencional. Técnicas de secado poco

eficientes, así como el contacto excesivo con agua durante el transporte o almacenamiento, pueden ocasionar que el biodiésel esté fuera de especificación por alto contenido de agua. El exceso de agua puede ocasionar problemas de corrosión y propicia el crecimiento de microorganismos. (Franco, 2013, pág. 53)

2.3.4.1 Sedimento básico de agua

El agua existe en dos formas en el éster, sea como agua disuelta o como gotitas de agua suspendidas, aunque se considere usualmente que el biodiesel insoluble es agua, el biodiésel puede contener hasta 1500 ppm de agua disuelta cuando el diésel tiene generalmente un contenido de 50ppm, es necesario prever sistemas de secado y almacenamiento seco de biodiésel, se puede considerar difícil este punto porque muchos estanques de diésel tienen agua en la parte superior por condensación. (Jerome Herve, 2007, pág. 43)

2.3.4.2 Método de prueba de sedimentos de agua en el biodiésel de higuera

El método que se utilizó para los sedimentos de agua en el biodiésel de higuera fue el ASTM D- 4007, es una denominación fijada en un método de ensayo descrito por la determinación de agua y sedimentos en petróleo crudo por medio de procedimiento de centrifugación, este método de centrifugación para la determinación de agua y sus sedimentos en el petróleo crudo no es del todo satisfactorio. La cantidad de agua detectada casi siempre es inferior al contenido real de agua. (Merino, 2007, pág. 42)

2.3.4.3 Efecto del sedimento de agua en el motor

El efecto en el motor y en el sistema de inyección, el agua es considerada un problema, porque ayuda a que las piezas más finas y cerradas de los inyectores.

Los sedimentos de agua pueden ser moho suspendido y partículas sucias o ser compuestos insolubles generados durante la oxidación de combustible, se reportaron comentarios de usuarios de biodiésel que describían un aumento de sedimentos que depositan en las paredes del tanque al cambiarlo de diésel a biodiésel. (Jerome Herve, 2007, pág. 53)

2.3.5 Viscosidad cinemática 40°C

La viscosidad mínima está establecida de manera similar al diésel de petróleo, mientras que la viscosidad máxima está limitada por el diseño de sistemas de inyección de combustible

del motor. Los combustibles altamente viscosos pueden ocasionar problemas de combustión, lo cual conlleva a la formación de depósitos así como a una mayor penetración del combustible atomizado en los cilindros del motor. (Franco, 2013, pág. 97).

El cálculo de la viscosidad se realiza de acuerdo a la norma ASTM D445. Consiste en una prueba de laboratorio de comparación entre el biodiésel y el agua destilada (1Kg/L). Se utiliza agua destilada, debido a que es un fluido con viscosidad conocida. Se miden los tiempos que tardan los fluidos en descender por el viscosímetro capilar. Se utiliza un viscosímetro de Ostwald en donde la fuerza impulsora es la gravedad (Daniel Perez, 2011, pág. 58)

2.3.5.1 Determinación de la Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática es una propiedad fundamental para los combustibles que se utilizan en motores de encendido por compresión o motores diésel, ya que influye directamente en el funcionamiento de los inyectores y por lo tanto en el proceso de formación de chorro y su posterior atomización. (Benjumea, 2012, pág. 36)

2.3.5.2 Método de la viscosidad cinemática a 40 grados Celsius PNE/ASTM D-445

Distintos métodos y modelos se han desarrollado para predecir la viscosidad de un tipo específico de aceite combustible puro o de las mezclas con el diésel. (Amado Eliseo Mora L., 2006, pág. 55)

Este método de ensayo especifica un procedimiento para la determinación de la viscosidad cinemática, en productos de petróleo líquido, tanto transparentes como opacos mediante la medición del tiempo en que un volumen del líquido fluye bajo efecto de la gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado. (ASTM, 2013, pág. 229)

2.3.6 Cenizas Sulfatadas

La formación de cenizas puede presentarse en tres formas diferentes:

- Sólidos abrasivos
- Jabones metálicos solubles
- Catalizador remanente

El catalizador remanente, del 5 al 20 % que está en circulación, entra a través de una corona de tubos periféricos y mantiene la parte superior del lecho catalítico al nivel requerido para dar la alimentación el tiempo suficiente de reacción para lograr el rendimiento deseado. (Carlos Contreras, 2015) Es importante rescatar que los sólidos abrasivos y el catalizador remanente pueden provocar un desgaste prematuro del inyector, la bomba inyectora, pistones y aros y la formación de depósitos en el motor. (Alberto G, 2015, pág. 2). El sulfato reduce las pérdidas por volatilización y favorece la consecución de una combustión completa. (Alberto Quintana, 2013, pág. 1)

El sulfatado reduce las pérdidas por volatilización y favorece la consecución de una combustión completa, en el proceso se transforman las sustancias fusibles y volátiles en sulfatos más fijos y por consiguiente da lugar a una mayor uniformidad en la composición de las cenizas con valores que dependen en menor grado de la temperatura de calcinación

2.3.6.1 Determinación de cenizas en biodiésel

Se refiere a la determinación de cenizas en una mufla a temperatura que oscila entre 500 y 600 grados centígrados, también tiene como objetivo la descripción de un procedimiento para la determinación de las cenizas en los combustibles líquidos en este caso del biodiésel. (Marvin Jimbana, 2012, pág. 17)

2.3.6.2 Método de determinación de las cenizas en el biodiésel B10 ASDM D-482

Este método es aplicable a todos los combustibles líquidos o productos derivados del petróleo, que no contengan aditivos que puedan variar en contenidos de cenizas.

Este método se lo realiza con una muestra colocada en un crisol de porcelana se calienta hasta que los gases que se desprenden y se inflaman, dejándolos quemar hasta que queda un residuo carbonoso, el residuo se calienta a 775 °C en un horno mufla hasta la reducción total de las cenizas. (Marvin Jimbana, 2012, pág. 252)

2.3.6.3 Efectos de cenizas en el motor diésel

Los residuos de cenizas en el motor tienen como efecto llenar de ceniza o carbonilla en las piezas del motor. Para el buen funcionamiento del motor hay que tomar en cuenta que hay combustibles pesados y combustibles livianos ya que al momento de realizar el trabajo el

combustible pesado deja mas residuos de cenizas que un combustible liviano. (J.Kates, 2003, pág. 220)

2.3.7 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 cantidad de azufre permisible en gasolinas, diésel, queroseno, aceites vegetales, los cuales se los usan también como biodiésel. (Daniel Perez, 2011, pág. 57)

2.3.7.1 Determinación del azufre

El azufre es un elemento muy abundante en la corteza terrestre, muy contaminante del aire entonces desde la caracterización, mezclado y refinamiento de petróleos crudos a la producción de una variedad de combustibles, el monitoreo de azufre continuara siendo una medida muy importante, si el contenido de azufre es elevado se produciría en las personas irritación e inflamación aguda en las mucosas. (Rigaku, 2017, pág. 31)

2.3.7.2 Método del azufre PNE/DPEC/PMI04 ASTM D-4294

Este método cubre la determinación de azufre total del petróleo y productos del petróleo que están en una sola fase y cada líquido a condiciones normales, licuables con calor moderado o soluble en solventes de hidrocarburos, estos materiales pueden incluir diésel, combustible de aviación, kerosene otros aceites destilados, biodiésel. (Villanueva, 2010, pág. 512)

2.3.7.3 Efectos del azufre en el motor

El contenido de azufre en el combustible afecta a los motores diésel de dos formas diferentes, una tiene que ver con la contaminación del medio ambiente por parte de óxido de azufre (SO_x) de los gases producidos de la combustión y otra diferente a las partes que componen los motores.

Cuando el combustible diésel con azufre se consume en la cámara de combustión de un motor, se forman óxidos de azufre que reaccionan con el vapor de agua para formar el ácido sulfúrico, al igual que el sulfuro de hidrógeno, si estos vapores de ácidos se condensan atacaran químicamente las superficies de metal de las guías de las válvula, las camisas de los cilindros como también a los cojinetes. (Sánchez, 2012, pág. 69)

2.3.7.4 Efectos del azufre en el medio ambiente

Durante el proceso de oxidación del azufre en la atmósfera este forma sulfatos, es decir sales que pueden ser transportadas en el material articulado, respirable y que en presencia de la humedad forman ácidos, estos ácidos son una parte importante del material articulado secundario o fino, produciendo de esta manera la famosa lluvia acida (Alexander Gomez, 2017, pág. 12).

2.3.7.5 Efectos del azufre en el cuerpo humano

El azufre es un veneno altamente nocivo para la salud en las personas, por ejemplo un nivel de 0.3 microgramos por metro cubico de aire implica un riesgo potencial para la salud humana, produciendo irritación e inflamación aguda o crónica de las mucosas conjuntival y respiratoria (Linan, 2016, pág. 98)

2.3.8 Carbón residual

Producto sólido, negro y brillante obtenido por el craqueo de los residuos pesados del petróleo, se lo denomina también coque de petróleo. Es un combustible de primera clase para la metalurgia y la industria cerámica. También se lo utiliza en la fabricación de dínamos y abrasivos, y en las industrias del aluminio y de la pintura. No debe confundirse con el coque, que es un carbón mineral que se usa como combustible en las acerías. (Eduardo Cobos, 2016, pág. 1)

2.3.8.1 Determinación del residuo carbonoso (Residuo de destilación)

El valor del residuo de carbono del combustible en el quemador sirve como una aproximación rústica de la tendencia del combustible a formar depósitos en quemadores de vaporización de tipo vasija y de tipo camisa, de manera similar siempre y cuando estén ausentes nitratos de alquilo, o si están presentes siempre y cuando la prueba se efectuó en combustible base sin aditivo, el residuo de carbono del combustible diésel se correlaciona aproximadamente con depósitos en la cámara de combustión. (ASTM, 2014, pág. 97)

2.3.8.2 Método de obtención de residuo carbonoso ASTM D-189

El término residuos de carbono se usa en todo, este método de prueba para designar el residuo carbonoso se forma después en la evaporación y pirólisis de un producto derivado del petróleo bajo las condiciones que se especifican en este método de prueba. El residuo no se compone completamente de carbono, sino que es un coque que puede seguir cambiando por medio de pirólisis, el término residuos carbonosos se continúa usando en este método de prueba únicamente es reconocimiento de su amplio uso generalizado. (ASTM, 2014, pág. 99)

2.3.8.3 Efectos del residuo carbonosos en el motor

Los residuos carbonosos se generan por los derivados de una combustión incompleta, que se van acumulando poco a poco en todo el circuito del motor, primero en los elementos que están en contacto con la zona donde se quema el combustible, que es dentro de la cámara de combustión. (Hector Dias, 2017, pág. 11)

Luego los residuos comienzan a depositarse fuera de la cámara de combustión, se van depositando por todos los elementos que componen la admisión tales como los conductos de la admisión y escape EGR, FAP el turbo y catalizador. (Hector Dias, 2017, pág. 12)

2.3.9 Corrosión lámina de cobre

La prueba se realiza exponiendo alambres de cobre por un tiempo y temperatura específicos, al biodiésel puro que ha estado almacenado por al menos tres meses; la muestra se compara con un alambre de control y el patrón estándar de corrosión contenido en la norma ASTM D 130. (Daniel Perez, 2011, pág. 95)

2.3.9.1 Determinación de la corrosión de la lámina de cobre

La prueba de corrosión con la lámina de cobre está diseñada para determinar el grado relativo de corrosividad de un producto petrolífero por los compuestos activos de azufre tal como en el biodiésel. (Hammond, 2013, pág. 57)

2.3.9.2 Método de la corrosión de lámina de cobre ASTM D-130

Este método de análisis de la corrosión de cobre ASTM D130 es relativamente simple, se sumerge una lámina pulida de cobre en una muestra de 30ml a temperatura elevada 50 o 100

grados centígrados de acuerdo con el tipo de combustible sea este grasa o aceite a testear por un periodo de tres horas. (Hammond, 2013, pág. 59)

La prueba de corrosión de la lámina de cobre es un método de análisis muy utilizado en lubricantes, este método también detecta los efectos corrosivos de un lubricante de cobre, pero no es efectivo en componentes y partes de hierro o aleaciones ferrosas. (Hammond, 2013, pág. 60)

2.3.10 Número 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 del combustible prueba

El número de cetano es una de las propiedades más importantes para evaluar la calidad del proceso de combustión de un combustible tipo biodiésel, el cetanaje de biocombustibles derivados de aceites vegetales está influenciado por su composición de ácidos grasos. (ASTM, 2015, pág. 9)

2.3.10.1 Determinación del índice de cetano calculado

Así como el octano mide la calidad de ignición de la Gasolina, el número de cetano mide la calidad de ignición de un diésel, índice del cetano en los motores diésel se produce de la presión y la temperatura en el caso de combustibles con bajo número de cetano tiene lugar un retraso en el encendido que ocasiona dureza y la irregularidad de funcionamiento, vibraciones y ruidos conocidos como el golpeteo de motores diésel. (Eduardo Mejia, 2012, pág. 2)

2.3.10.2 Método del índice de cetano INEN 1495

Esta norma establece el método para determinar el índice de cetano calculado, como alternativa al método con motor analizador como índice de cetano.

La ecuación para el cálculo del índice de cetano representa una medida para estimar directamente del número de cetano ASTM de combustibles destilados, teniendo como datos la temperatura, la correlación de los valores del índice de cetano calculado con los valores de número de cetano ASTM depende de la mayor o menor exactitud en determinación de densidad API. (INEN, Índice de cetano Calculado, pág. 9)

2.3.10.3 Efectos del índice de cetano en el motor

Los efectos que puede tener en un motor el cetanaje es que entre mayor es el cetano, mayor será la facilidad de ignición del combustible e indica mejor calidad, existen otras asociaciones del comportamiento del motor con el cetano tales como que a mayor cetano menor ruido del motor, aceleración más amortiguada. (Dias, 2011, pág. 14)

2.3.11 Temperatura de destilación

Este método de prueba se utiliza para la determinación de las características de destilación de productos de petróleo biodiésel fracciones que pueden descomponerse si se destila a presión atmosférica. (Joker Veloz, 2016, pág. 16)

El intervalo de ebullición que se obtiene en unas condiciones adecuadas para obtener apropiadamente una teórica placa de fraccionamiento, se puede utilizar en los cálculos de ingeniería para diseñar equipos de destilación para preparar mezclas apropiadas para bienes industriales para determinar el cumplimiento de las normas reglamentarias para la idoneidad del producto como alimentar a un proceso de refinado de un combustible. (Joker Veloz, 2016, pág. 17)

2.3.11.1 Determinación de la temperatura de destilación

El biodiésel previamente deshidratado y desalcoholizado, procedente del proceso de fabricación se procede a una destilación de alto vacío, de esta manera se obtiene un biodiésel transparente, la flexibilidad de operación del equipo, permite eliminar impurezas volátiles. La temperatura de destilación del biodiésel es un proceso en el cual, el biodiésel es sometido a un recipiente de vaporización en el cual deja al fondo lo más pesado, siguiendo el siguiente proceso que es lavado por medio de vapor y destilador de esta forma es garantizada cual es la pureza del biodiésel. (Vento, 2017, pág. 16)

2.3.11.2 Método de la temperatura de destilación ASTM D-86

Es un método de prueba estándar para la destilación de productos derivados del petróleo y combustibles líquidos a presión atmosférica. (Internacional, ASTM D86, 2017, pág. 53)

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. (Internacional, ASTM D86, 2017, pág. 54)

2.3.12 Contenido de ésteres

Los ésteres de ácidos grasos con glicerol, formados mediante una reacción de condensación llamada esterificación. Una molécula de glicerol (glicerina) puede reaccionar con hasta tres moléculas de ácidos grasos, puesto que tiene tres grupos hidróxilo. (Rosario Santa Fe, 2014, pág. 152).

Es un parámetro estrechamente asociado con la conversión de aceites a biodiésel, y tiene por objetivo evitar que condiciones inapropiadas en el proceso de reacción de como originen la presencia de materia insaponificable, agua, ácidos grasos libres y glicerina sin separar. Porcentajes bajos de ésteres surgen como resultado de una transformación incompleta del aceite a biodiésel, así como de una mala purificación del mismo. (Marcelo Haro, 2012, pág. 121)

2.3.13 Índice de yodo

El índice de yodo mide el número de insaturaciones, y una mayor proporción de dobles enlaces supone una mayor tendencia a la oxidación. La especificación de 120 podría excluir a los ésteres de girasol, algo más insaturados y con el índice de yodo más alto, pero al haberse fijado el índice de yodo en 140 ya no existe este problema con lo que sí que entrarían dentro de las especificaciones productos como el girasol, materia prima habitualmente utilizada para producir biodiésel. (David Estrada, 2014, pág. 252)

2.3.14 Contenido de metanol

El metanol es un elemento muy indispensable para realizar el biodiésel, el metanol, también llamado alcohol metílico, alcohol de madera, carbinol y alcohol de quemar, es el primero de los alcoholes. Su fórmula química es CH_3OH , la estructura química del metanol es muy similar a la del agua, con la diferencia de que el ángulo del enlace C-O-H en el metanol (108.9°) es un poco mayor que en el agua (104.5°), porque el grupo metilo es mucho mayor que un átomo de hidrógeno. (Villalba Maite, 2014, pág. 12)

2.3.15 Contenido de fósforo

La presencia de fósforo puede deberse a una refinación incompleta del aceite vegetal o grasa animal. Cuando el aceite proviene del prensado en frío el contenido de fósforo está dentro de los límites. (Marcelo Haro, 2012, pág. 127)

2.3.16 Contenido de metales alcalino

Estos metales provienen de los catalizadores normalmente empleados en la reacción de transesterificación (hidróxidos de sodio o de potasio). Su presencia se debe a restos de catalizador remanente que no fueron efectivamente eliminados en los procesos de purificación del biodiésel. Como consecuencia de ello, pueden generar partículas sólidas que produzcan la obturación de los inyectores. (Marcelo Haro, 2012, pág. 228)

2.3.17 Número de acidez

El comportamiento del índice de acidez (expresado como % de ácido oleico) durante el almacenamiento en los aceites y grasas comestibles evidencia un incremento en una primera etapa, como resultado de la actividad enzimática de las lipasas, hasta alcanzar un valor máximo, a partir del cual comienza a disminuir. (Cynthia Martinez, 2015, pág. 12)

2.3.18 Determinación del sodio

El sodio es un elemento muy abundante en la naturaleza, es altamente reactivo, entre otras cosas. (Pino, 2017, pág. 57)

El estado del sodio en su forma natural es sólido (no magnético). El sodio es un elemento químico de aspecto blanco plateado y pertenece al grupo de los metales alcalinos. (Claudio Jacome, 2017, pág. 58)

2.3.18.1 Método de sodio ASTM D-5863

Método de prueba estándar para la determinación de níquel, vanadio, hierro y sodio en Aceites crudos y combustibles residuales de espectrometría de absorción atómica de llama, es un método estándar de la industria para el análisis de aceites combustibles. (Ermer, 2011, pág. 120)

2.3.18.2 Efectos del sodio en el motor

La presencia de sulfatos de sodio en el biodiésel hace bajar aún más estos puntos de fusión existiendo además otros compuestos de sodio, cuyo punto de fusión es aún menor, lo que

nos indica que el sodio es el otro elemento metálico peligroso de la corrosión en caliente, producida por los vanadatos de sodio, un factor importante a tener en cuenta es que la corrosión en caliente producida por los vanadatos de sodio tiene su máxima capacidad de adherencia a las paredes metálicas en el motor. (Tormos, 2005, pág. 221)

2.3.19 Determinación del Potasio, Calcio y magnesio ASTM D 5056

Este método de prueba estándar para detectar metales en el coque de petróleo por absorción atómica, se puede encontrar metales como calcio, magnesio y potasio. (Internacional, ASTM D-5056, 2017, pág. 520)

La concentración de estos elementos es un factor para determinar el valor económico del coque, el coque es utilizado para la producción de electrolitos, tendrá diferentes requisitos de especificación dependiendo del servicio en el que se utilizaran los electrodos, generalmente los coques de combustible son más altos en la concentración de elementos metálicos y tienen el menor valor económico. (Internacional, ASTM D-5056, 2017, pág. 522)

2.3.20 Glicerina libre

El parámetro de glicerina libre está relacionado con la cantidad de glicerina como un producto remanente de la reacción de transesterificación, que debe separarse del B100, pues su presencia puede formar depósitos en el fondo de los tanques de almacenaje de combustible y puede obstruir el filtro respectivo. La presencia de estos compuestos triglicéridos puede causar un desgaste en el inyector de combustible y depósitos en los cilindros en motores diésel, reduciendo la vida del motor. (Rica, 2015, pág. 222)

2.3.21 Glicerina total

La glicerina total corresponde a la suma de glicerina libre más la glicerina ligada. El RTCA para combustibles establece que para la glicerina libre se permite un máximo de 0,020 % en masa y para la glicerina total un máximo de 0,240 % en masa, según una recomendación de la norma ASTM D6584. (Rica, 2015, pág. 622)

2.4 Gases y emisiones de escape

A corto plazo, aspirar los gases de escape de las emisiones diésel puede provocar tos, picazón o quemazón en los ojos, presión en el pecho, respiración con silbido y respiración dificultosa. (Armando Muriel, 2003, pág. 1)

2.4.1 Gases de escape vehículos Diésel

Está claro que en los últimos tiempos las emisiones producidas son uno de los factores más importantes a la hora de diseñar un motor de combustión. Factores como la potencia o el consumo han quedado en segundo plano frente a ellas. Si no existiesen las normativas anticontaminación, probablemente la mayoría de motores podrían ser más potentes y utilizarían menos combustible. (Daniel Agudo, 2015, pág. 15)

2.4.2 Diferentes emisiones de los gases de escape

El aire está compuesto básicamente por dos gases, en nitrógeno y el oxígeno, en un volumen determinado de aire se encuentra una proporción de nitrógeno del 79% mientras que el contenido de oxígeno es aproximadamente es de un 21% (Dani Megane, 2014, pág. 2).

2.4.2.1 Nitrógeno (N₂)

El nitrógeno es un gas no combustible, incoloro e inodoro, se trata de un componente esencial del aire que respiramos (78 % nitrógeno, 21 % oxígeno, 1 % otros gases) y alimenta el proceso de la combustión conjuntamente con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno aspirado vuelve a salir puro en los gases de escape; sólo una pequeña parte se combina con el oxígeno O₂ (óxidos nítricos NO_x). (Dani Megane, 2014, pág. 52)

2.4.2.2 Oxígeno (O₂)

Es un gas incoloro, inodoro e insípido. Es el componente más importante del aire que respiramos (21 %). Es imprescindible para el proceso de combustión, con una mezcla ideal, el consumo de combustible debería ser total, pero en el caso de la combustión incompleta, el oxígeno restante es expulsado por el sistema de escape. (Dani Megane, 2014, pág. 53)

2.4.2.3 Agua (H₂O)

Es aspirada en parte por el motor (humedad del aire) o se produce con motivo de la combustión “fría”(fase de calentamiento del motor). Es un subproducto de la combustión y

es expulsado por el sistema de escape del vehículo, se lo puede visualizar sobre todo en los días más fríos, como un humo blanco que sale por el escape, o en el caso de condensarse a lo largo del tubo, se produce un goteo. Es un componente inofensivo de los gases de escape. (Dani Megane, 2014, pág. 57)

2.4.2.4 Dióxido de carbono (CO₂)

Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono. El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado. Es un gas incoloro, no combustible. El dióxido de carbono CO₂ a pesar de ser un gas no tóxico, reduce el estrato de la atmósfera terrestre, que suele servir de protección contra la penetración de los rayos UV. Las discusiones generales en torno a las alteraciones climatológicas (efecto “invernadero”), el tema de las emisiones de CO₂ se ha hecho consciente en la opinión pública. (Dani Megane, 2014, pág. 59)

2.4.2.5 Monóxido de carbono (CO)

Se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire que respiramos. En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO₂. (Dani Megane, 2014, pág. 62)

2.4.2.6 Óxidos nítricos (NO_x)

Son combinaciones de nitrógeno N₂ y oxígeno O₂, los óxidos de nitrógeno se producen al existir una alta presión, alta temperatura y exceso de oxígeno durante la combustión en el motor. El monóxido de nitrógeno (NO), es un gas incoloro, inodoro e insípido. Al combinarse con el oxígeno del aire, es transformado en dióxido de nitrógeno (NO₂), de color pardo rojizo y de olor muy penetrante, provoca una fuerte irritación de los órganos respiratorios. (Dani Megane, 2014, pág. 65)

2.4.2.7 Dióxido de azufre (SO₂)

El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape. Es

un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible. Si se reduce el contenido de azufre en el combustible es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre. (Dani Megane, 2014, pág. 66)

2.4.2.8 Plomo (Pb)

Ha desaparecido por completo en los gases de escape de los vehículos. En 1985 se emitían todavía a la atmósfera 3.000 toneladas, debidas a la combustión de combustibles con plomo. El plomo en el combustible impedía la combustión detonante debida al auto ignición y actuaba como una sustancia amortiguadora en los asientos de las válvulas. Con el empleo de aditivos ecológicos en el combustible sin plomo se han podido mantener casi idénticas las características antidetonantes. (Dani Megane, 2014, pág. 70)

2.4.2.9 Hidrocarburos – HC

Son restos no quemados del combustible, que surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. La mala combustión puede ser debido a la falta de oxígeno durante la combustión (mezcla rica) o también por una baja velocidad de inflamación (mezcla pobre), por lo que es conveniente ajustar la riqueza de la mezcla. (Dani Megane, 2014, pág. 72)

2.4.2.10 Partículas de hollín MP

Son generadas en su mayor parte por los motores diésel, se presentan en forma de hollín o cenizas. Los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo. (Dani Megane, 2014, pág. 75)

CAPÍTULO III

3. PROPUESTA

3.1 Elaboración del biodiésel a base de aceite de Higuierilla.

3.1.1 Biodiésel

El biodiésel es un combustible que es renovable, se lo puede usar en motores diésel, esta se la puede obtener por medio de semillas en las plantas, en este caso se realizó con semillas de aceite de higuierilla.

El biodiésel está hecho principalmente de plantas oleaginosas presenta muchos beneficios ambientales, como menos emisiones de dióxido de carbono y otros contaminantes atmosféricos. (Lishawa, 2015, pág. 520).

3.2. Proceso y elementos para la elaboración del biodiésel.

3.2.1. Reactor Químico

El reactor es un medio de cultivo optimizado empleado para la producción de sustancias a gran escala que es capaz de realizar una reacción química en su interior. (Contreras, 2015, pág. 223), para la elaboración de biodiésel se puede utilizar un reactor continuo o discontinuo.

3.2.1.1 Reactor Continuo

Es una variación del proceso discontinuo, con el fin de elevar la producción, indica este reactor trabaja de forma continua, cuenta con dos depósitos grandes los cuales contienen la suficiente materia prima para elaborar el producto durante mucho tiempo. (Fernandez J. M., 2010, pág. 120)

3.2.1.2 Reactor Discontinuo

Los reactores discontinuos son aquellos que trabajan por cargas, es decir se introduce una alimentación y se espera un tiempo dado tras cual se saca el producto, de esta forma el

proceso de la elaboración de biodiésel tiene un proceso más simple, este reactor cuenta con agitación ya que el reactor es sellado, las temperaturas que oscilan entre 25°C a 85°C. (Fernandez J. M., 2010, pág. 119)

El bioreactor que se ha utilizado es de la Unidad educativa “17 de Julio” de la carrera de química.



Figura 3. 1 Reactor químico

3.2.2 Aceite de Ricino (Higuerilla)

El aceite de higuerilla llamado también aceite de ricino o de castor oil, se extrae de las semillas de la higuerilla. (Alirio Benavides, 2007, pág. 52).

Su principal componente es el ácido ricinoleico, el cual se encuentra formando el triglicérido simple denominado ricinoleína, cuya concentración en porcentaje por su peso es cercana al 90%. Adicionalmente, en el aceite de higuerilla se encuentra pequeñas cantidades tripalmitina y otros triglicéridos mixtos. (Alirio Benavides, 2007, pág. 53)

3.2.2.1 Análisis del aceite de Recino

La siguiente tabla 3.1 indica las propiedades del el aceite de ricino certificado por el laboratorio Prims.

En la tabla 3.1 se aprecia los resultados del análisis sobre el aceite de higuierilla donde uno de los ensayos más importantes que se realizó es la humedad que tiene el aceite es de 0.20% y un índice de yodo de 85 ya que estos deben variar al momento de realizar el biodiésel.

Tabla 3.1 Propiedades del Aceite de Ricino

Ensayo	Resultados	Método
Color (Lovibond 5 ¼)	Y= 9.3/R=1.1	Cc 13b-45
Ácidos Grasos Libres	1.19%	Ca 5a-40
Humedad y Volátiles	0.20%	Ca 2c-25
Peso Específico a 25°C	0.961	Cc 10 a-25
Índice de Yodo	85 cg/g	Cd 1-25
Índice de Hidróxido	165	Cd 13-60
Índice de Refrigeración 25°C	1.477	Cc 7-25
Índice de Saponificación	178 mg KOH/g	Cd 3-25
Impurezas Insolubles	0.01 %Max	Ca 3-46
Aspecto	Claro y Brillante	
Olor	Característico a Recino	

Fuente: (Dr. C. Velasco, 2016, pág. 2)

Dada su naturaleza química el aceite de higuera es un líquido altamente viscoso miscible en alcohol y ácido acetoso y de bajo punto de solidificación, para ello se determinó sus principales propiedades físicas e índices característicos de acuerdo con las normas ASTM (Benavides, 2007, pág. 120).



Figura 3. 2 Aceite de Higuera

3.2.3 Hidróxido de Sodio

Su fórmula química es (NaOH), también conocido como sosa cáustica es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire; higroscópico. (Monica Altamirano, 2017, pág. 29)

El hidróxido de sodio se utiliza para la fabricación de muchos productos que usamos a diario como por ejemplo es el papel, aluminio, jabones y detergentes, tomando en cuenta también que se usa para la medicina como analgésicos comunes como una aspirina y medicamentos para el colesterol alto. (Roberto Moreno, 2018, pág. 57)



Figura 3. 3 Hidróxido de Sodio

3.2.4 Metanol

Históricamente, el metanol se deriva de la destilación de la madera, en la actualidad se hace a partir de gas natural, por lo que es a partir del gas natural es mucho menos costoso que la destilación es de madera. (Mark Devis, 2017, pág. 121)

El metanol es un producto químico sumamente versátil que se utiliza como intermediario en la fabricación de algunos productos como por ejemplo las resinas, empaques de poliéster, combustibles y aditivos para combustibles. (Alvaro Maldonado, 2015, pág. 66)

En la fabricación del metanol, el producto a la salida de la planta, puede ser incrementado en un 50% si pequeñas cantidades de otros alcoholes pueden ser tolerados en el producto, tal mezcla es llamada combustible metílico y contiene más energía que el metanol puro debido a la presencia de etanol, propanol e isobutanol, puede ser producido en grandes cantidades a un menor costo que el metanol puro, y en general, tiene mejores propiedades como combustible. (Bautista, 2011, pág. 12)



Figura 3. 4 Metanol 99.5% de Pureza

3.2.5 Transesterificación

Para obtener el biodiésel, el aceite tiene que ser sometido a una transesterificación, normalmente se lo realiza con metanol. (Dario Esquinza, 2013)

La transesterificación es un proceso en el cual los ácidos grasos tienden a separarse de la glicerina convirtiéndose en ésteres de glicerol. (Dario Esquinza, 2013)

3.2.5.1 Proceso de transesterificación

Para que la reacción química se produzca sin problemas, de debería calentar el aceite hasta aproximadamente los 48-54 °C.

Para mezclar se puede utilizar un taladro eléctrico, firmemente sujeto, que haga girar una hélice o un mezclador de pintura.

Un giro demasiado rápido produce salpicaduras y burbujas y perjudica al resultado final. Para conseguir un buen resultado ajuste la velocidad, la forma de la hélice o su tamaño.

Si quiere un reactor más silencioso se puede sustituir el mezclador por una bomba eléctrica que bombee el líquido desde una salida en la parte de abajo del reactor y lo lleve hasta la superficie. La bomba no debe estar muy abajo para que no se estropee luego con la glicerina.

Luego se vierte el metóxido en el aceite mientras se bate, y se sigue agitando la mezcla durante 50 o 60 minutos. La reacción suele completarse en media hora, pero es mejor batir durante más tiempo.

Durante la transesterificación los ácidos grasos se separan de la glicerina, y el metanol se une a ellos formando metilésteres o etilésteres, el hidróxido de sodio estabiliza la glicerina.

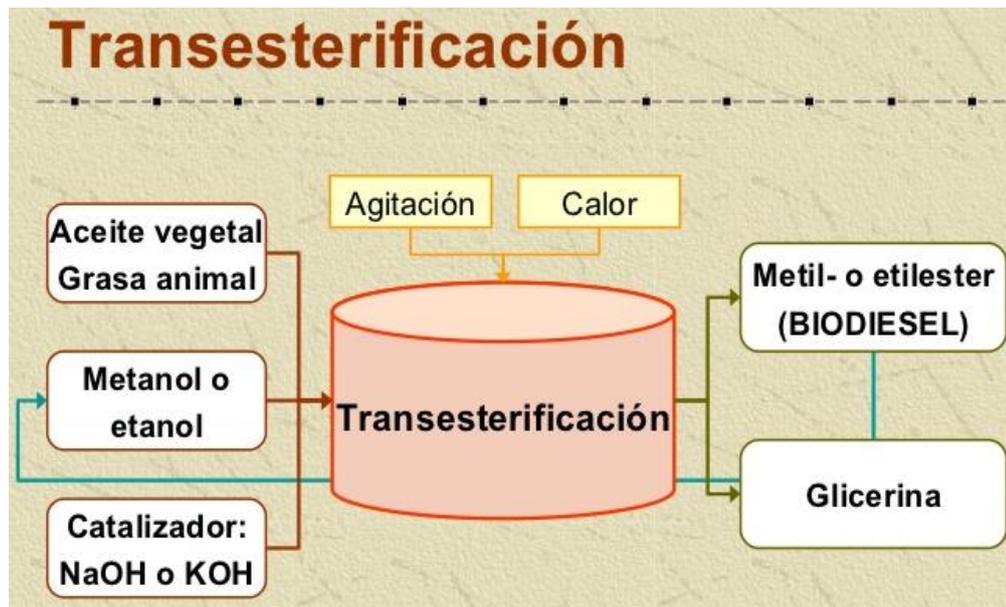


Figura 3. 5 Transesterificación

Fuente: (José Luis Calle, 2007, pág. 7)

3.2.6 Decantación

La decantación es una técnica en la cual permite separar un sólido mezclado heterogéneamente con un líquido y un insoluble. (Benitez Juan , 2017, pág. 52)

El método de la decantación es dejar la mezcla, reposar y enfriar por lo menos 9 horas como mínimo, formando la glicerina que es una masa muy similar a la gelatina y más oscura en el fondo como podemos apreciar en la imagen número 6. (Diego Aguilar, 2017, pág. 23)

Para separar la glicerina se utiliza un recipiente transparente con un agujero al fondo ya que la glicerina siempre se va a situar en el fondo.

3.2.6.1 Decantación de un líquido

Para realizar la separación de dos líquidos que no son solubles, como el agua y el aceite, esta separación se lo realiza con un recipiente que se lo llama embudo de decantación, dejar reposar aproximadamente 24 horas hasta que los líquidos tiendan a separarse. (Benitez Juan , 2017, pág. 27)

Al final de la decantación se obtiene la separación de los líquidos teniendo como resultado el glicerol en la parte de bajo y el biodiésel en la parte de arriba.



Figura 3. 6 Decantación de biodiésel

3.2.7 Lavado

Este proceso tiene como objetivo eliminar todos los residuos o compuestos que haya quedado en el biodiésel, estos pueden ser alcohol o glicerina. (Benítez, 2011, pág. 166)

3.2.8 Secado

El secado se lo realiza para eliminar los remanentes de agua. Este proceso es realizado por medio de aire realizando burbujas en todo el biodiésel obtenido, dando lugar a que separe el biodiésel del agua por medio de la evaporación. (Benítez, 2011, pág. 170)

3.3 Gases que se producen al momento de realizar biodiésel

Los gases que se producen al momento de la elaboración de biodiésel es el monóxido de carbono e hidrógeno mediante un proceso catalítico, esta reacción es empleada a temperaturas elevadas y presiones, por medio de reactores industriales. (Gilberto Araujo, 2005, pág. 19)

La inhalación se da por lo general en las plantas industriales de la fabricación de biodiésel, por la transformación química que se produce principalmente por el hidróxido de sodio y el metanol, la presencia de tiene partículas sólidas en tamaño pequeño o aerosoles. (Anival Reyes, 2015, pág. 31)

3.4 Resultados de las pruebas del biodiésel B10 a base de higuierilla

Las pruebas se las realizó en la Universidad Central del Ecuador en la Facultad de Ingeniería Química en el departamento de petróleos, energía y contaminación.

El laboratorio cuenta con el Servicio de Acreditación Ecuatoriano en cumplimiento con los requisitos establecidos en la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2006 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”, equivalente a la Norma ISO/IEC 17025:2005 y con los criterios y procedimientos de acreditación del SAE.

Esta acreditación demuestra la competencia técnica para la ejecución de los ensayos detallados en el alcance de acreditación, que se realizan en las localizaciones identificadas en el mismo. La acreditación está condicionada al cumplimiento continuo por parte del laboratorio con los requisitos de acreditación, por lo que la vigencia del presente certificado. (Servicio de acreditacion ecuatoriano, 2012, pág. 27)

3.4.1 Tabla de los análisis fisicoquímicos del Biodiesel de Higuierilla B10

En la tabla 3.2 se puede apreciar los resultados fisicoquímicos del biodiésel de higuierilla B10 realizado en la facultad de química, en el departamento de petróleos y energías renovables de la Universidad Central del Ecuador.

En la tabla 8 se puede apreciar los resultados de las propiedades fisicoquímicos del biodiésel B10, en el método está basado en las normas internacionales ASTM en diferentes métodos y ensayos, de igual manera está certificado por el departamento de Servicio Acreditación Ecuatoriano.

Tabla 3.2 Resultados Biodiésel B10

Determinación	Unidades	Método	Resultado
Densidad API A 60°F	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	34,0
Punto de inflamación	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-92 D-93	72,1
Sedimento básico y agua (%BSM)	%V	ASTM D-4007	0.05
Agua por destilación	%V	ASTM D-95	0,050
Cenizas	%P	ASTM D-482	0,0080
Viscosidad cinemática a 40°C	mm²/s	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,21
Azufre	%P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,0148
Residuo carbonoso sobre 10% de residuo de destilación ASTM D-86	%P	ASTM D-189	0,13
Corrosión a la lámina de CU	Unidad de corrosión	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1b
Índice de cetano calculado	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	51
Sodio	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D5863/ APHA 3111 B	28,418
Potasio	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D5056/ APHA 3111 B	7,268
Calcio	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D5056/ APHA 3111 B	4127,586
Magnesio	mg/kg	Método interno Ref. ASTM D5056/ APHA 3111 B	10,268
Temperatura de destilación al 90%	%C	ASTM D-86	350,7

3.5 Emisiones de gases B10 y Diésel

Un estudio llevado a cabo por el departamento de energía y el departamento de agricultura de los Estados Unidos, concluyó que el biodiésel reduce las emisiones de dióxido de carbono netas en 78% comprobado con el diésel proveniente del petróleo. (German Rodriguez, 2015, pág. 53)

Biodiésel es un combustible alternativo que puede ser usado en motores a diésel con pocas o ninguna modificación, también es una mezcla de diferentes alquílicos producidos de aceites vegetales, a través de un proceso llamado transesterificación. (MacLean, 2017, pág. 56)

Cuando el Biodiésel se quema en CO₂ emitido a la atmósfera es reciclado por las plantas que luego serán utilizados para producir biodiésel. (MacLean, 2017, pág. 57)

3.5.1 Prueba de emisiones de gases en un Kia Sorento CRDI 2007.

La siguiente tabla 3.3 cuadro específica los análisis de gases a diferentes pruebas obteniendo diferentes resultados con el diésel común.

En la tabla 3.3 se puede apreciar los resultados obtenidos de los gases de escape, de las cuales se realizó 5 pruebas diferentes, teniendo como resultado el monóxido de carbono un promedio de 1.5 g/Km, en el los hidrocarburos se obtuvo un promedio de 0.08 g/Km y por último en el monóxido de nitrógeno 0.39 g/Km, tomando en cuenta que los gases que representamos en la tabla 9 son los más contaminantes al momento de realizar la combustión en el motor.

Tabla 3.3 Análisis de gases Diésel

PRUEBAS	FCO[g/Km]	FHC[g/Km]	FNOx[g/Km]
1	0,390	0,302	1,024
2	0,138	0,000	0,195
3	0,044	0,030	0,247
4	0,029	0,046	0,178
5	0,041	0,068	0,316
Total	1,528	0,089	0,392

Fuente: (Arboleda Mateo, 2017, pág. 37)

3.5.2 Análisis de gases del biodiésel de higuera B10.

La tabla número 3.4 especifica los diferentes resultados que se obtuvo con el biodiésel de higuera B10.

Los resultados del análisis de gases de biodiésel de higuera B10 de igual manera se realizó 5 pruebas diferentes, en el monóxido de carbono se obtuvo un promedio de 0.008 de g/km, en los hidrocarburos se obtuvo un promedio de 0.012 g/km y en el monóxido de nitrógeno se obtuvo 0.208 g/km tomando en cuenta que estos son los tres gases más contaminantes que se produce en la combustión, con estos resultados se cumple con los estándares internacionales de calidad en la norma EURO 5.

Tabla 3.4 Análisis de gases B10

PRUEBAS	FCO[g/Km]	FHC[g/Km]	FNOx[g/Km]
1	0,019	0,028	0,178
2	0,005	0,007	0,100
	0,006	0,009	0,199
4	0,005	0,008	0,199
5	0,006	0,009	0,364
Total	0,008	0,012	0,208

Fuente: (Arboleda Mateo, 2017, pág. 38)

3.5.3 Normas nacionales e internacionales de calidad del diésel y la comparación de los resultados del diésel y del biodiésel de higuera B10.

En el Ecuador según la reforma INEN los vehículos que entran al país deben cumplir con la normativa EURO 3 con esta norma los vehículos diésel puede circular en el país ya que los límites de emisiones son aceptables.

En la tabla 3.5 se puede observar la comparación en el monóxido de carbono cumple con los estándares de calidad, ya que se obtuvo 0.008 g/Km y de las normas internacionales de contaminación tiene como requisito 0.05 g/Km.

Tabla 3.5 Cuadro de Comparación de resultados Diésel y Biodiésel B10

Partículas en g/km	Norma 207:2008	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	Resultados Diésel	Resultados Biodiésel
FCO	0,64	0,64	0,5	0,5	0,5	1,528	0,008
FHC + FNO _x	0,56	0,56	0,3	0,23	0,17	0,481	0,22

Fuente: (Arboleda Mateo, 2017, pág. 39)

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Fundamentación tecnológica

El siguiente capítulo está enfocado en la comparación de resultados de los análisis fisicoquímicos del biodiésel de higuera B10, realizado en la Facultad de Ingeniería Química, Departamento de petróleos, energía y contaminación de la Universidad Central del Ecuador.

En este capítulo se detalla parámetros en los cuales se verá cual es el funcionamiento dentro del motor tomando en cuenta las comparaciones con la norma nacional y normas internacionales del biodiésel.

De igual manera se realizará un análisis del comportamiento del motor diésel que se tendrá al momento de trabajar según los resultados que se obtuvo en los análisis fisicoquímicos de biodiésel de higuera B10.

4.2 Comparación de las normas del biodiésel nacionales e internacionales

En la tabla 4.1 se encuentra la determinación de los resultados comparativos de las diferentes normas internacionales y nacionales del biodiésel, estas son INEN (Instituto ecuatoriano de normalización), ASTM (Asociación americana de ensayo de materiales), EN (Comité europeo de Normalización).

En la tabla 4.1 se detalla comparación de las diferentes determinaciones que debe cumplir el biodiésel según las diferentes normas nacionales e internacionales, se van a comparar cada uno de los resultados para saber cuál es el comportamiento en el motor como también saber cuáles serían las ventajas y desventajas al momento de funcionar en un motor diésel.

Para saber la calidad de biocombustibles se debe tomar en cuenta diferentes normas de estándares de calidad de métodos y pruebas donde se indica los límites de las impurezas que pueda tener el biodiésel, los métodos de pruebas también deben cumplir con las normas internacionales que estén basados en la elaboración de biocombustibles.

Tabla 4.1 Comparación del biodiésel Norma Nacional e Internacional

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Densidad A 60°F	°API	PNE/DPEC/ASTM D-287	544.62 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³
Punto de inflamación	°C	PNE/DPEC/ASTM D-92 PNE/DPEC/PASTM D-93	72,1	120	93	120
Sedimento básico y agua (%BSW)	%V	ASTM D-4007	0.05	0.05	0,050	0.050
Agua por destilación	%V	ASTM D-4007	0,050	0,05		
Cenizas	%P	ASTM D-482	0,0080	0,02	0,020	0,02
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	PNE/DPEC/ASTM D-445	4,21	3,5 a 5,0	1.9 a 6,0	3.5 a 5,00
Azufre	mg/kg	PNE/DPEC/P/M104 Ref. ASTM D-4294	0,014	0.010	0,015	0.010
Residuo carbonoso sobre 10% de residuo de destilación ASTM D-86	%P	ASTM D-189	0,13	0.05	0,050	0,030

Tabla 4.1 Comparación del biodiésel Norma Nacional e Internacional (Continuación)

Corrosión a la lámina de CU	Clasificación	PNE/DPEC/ASTM D-130	Clase 1b	Clase3	Clase3	Clase 1b
Índice de cetano calculado	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	51	49	47	51.0
Sodio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5053/ APHA 3111 B	28,418		5	
Potasio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	7,268	5	5	5
Calcio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	4127,586	5	5	5
Magnesio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	10,268	5	5	5
Temperatura de destilación al 90%	%C	ASTM D-86	350,7	360	360	

4.3 Comparación de la densidad API a 60°F del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos en la Universidad Central del Ecuador en la Facultad de Ingeniería Química de Petróleos Energía y Contaminación aprobado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, la densidad API a 60°F, en las normas ASTM, EN, INEN tiene como requisito 860 mínimo 900 como máximo, con una unidad de medida de kg/m³ y los resultados obtenidos del biodiésel de higuera B10 es de 544.62 kg/m³, el cual tiene una diferencia de 315.38 kg/m³ al mínimo de las diferentes normas internacionales.

Por lo cual los resultados obtenidos no entran a los límites mínimos de la norma nacional INEN y con las normas internacionales ASTM, EN.

Tabla 4.2 Comparación densidad

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Densidad a 60°F	°API kg/m ³	PNE/DPEC/AS TM D-287	544.62 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³	860 a 900 kg/m ³

4.3.1 Comportamiento de la densidad en el motor

La densidad es muy importante para el funcionamiento del motor en un vehículo diésel, por el cual, la densidad obtenida al momento de realizar los análisis fisicoquímicos del biodiésel B10 es baja, a diferencia de las normas nacional INEN y las normas internacionales ASTM, EN, la densidad baja según la investigación realizada indica que es muy favorable para el funcionamiento del motor, ya que la densidad baja tiene una mejor circulación por los conductos de combustible y los inyectores.

Si la densidad estuviese sobre los límites de los estándares de calidad, tendría problemas al fluir por los circuitos del motor ocasionando retardo en el encendido del motor ocasionando cascabeleo en el vehículo.

4.4 Comparación del punto de inflamación del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos sobre el punto de inflamación son de 72.1°C a diferencia de la norma internacional ASTM que tiene como mínimo 93°C de igual manera la norma internacional EN tiene como mínimo 120°C, y la norma nacional INEN tiene como mínimo 120°C por el cual los resultados obtenidos no entra en los estándares de requisitos de las diferentes normas nacionales e internacionales de calidad del biodiésel.

Tabla 4.3 Comparación Punto de Inflamación

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Punto de inflamación	°C	PNE/DPEC/ASTM D-92 PNE/DPEC/PASTM D-93	72,1	120	93	120

4.4.1 Comportamiento del punto de inflamación en el motor

El funcionamiento del punto de inflamación obtenido en el análisis del biodiésel higuera B10 es de 72.1°C, esta sería baja a diferencia del límite mínimo de la norma internacional ASTM que es 93°C teniendo como diferencia 20.9°C.

Teniendo como resultado de funcionamiento un encendido inestable al momento de mezclarse con el aire, por lo cual esta tendrá un encendido a una menor temperatura.

4.5 Comparación del sedimento básico y agua (%BSM) del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

La comparación del sedimento de agua con las normas internacionales ASTM, EN y la norma nacional INEN tiene como requisito mínimo 0.05 %V, de igual manera en los análisis realizados se obtuvo como resultado 0.05 %V obtenidos entran en los requisitos de estándares de calidad, por el cual este va a tener un buen funcionamiento en el motor.

Tabla 4.4 Comparación Sedimento de Agua

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Sedimento básico y agua (%BSM)	%V	ASTM D-4007	0.05	0.05	0,050	0.050

4.5.1 Comportamiento del sedimento básico de agua en el motor

El funcionamiento en el motor del sedimento de agua obtenido del biodiésel de higuera B10 es de 0.050 %V, por lo tanto esta es eficaz, ya que cumple con las normativas de las normas internacionales ASTM, EN y la norma nacional INEN con un buen estándar de calidad.

El sedimento de agua a la larga tiende a oxidar las piezas del metal dentro del motor, en este caso se obtuvo un bajo sedimento de agua por lo que el biodiésel trabajara en óptimas condiciones cuidando las piezas del motor.

4.6 Comparación del agua por destilación del biodiésel de higuera B10 en norma INEN y resultados obtenidos.

La comparación del agua por destilación en la norma nacional INEN tiene como requisito máximo de calidad es de 0.05 %V, a comparación de los resultados obtenidos de igual manera es de 0.050 %V, cumpliendo con los requisitos nacionales de biodiésel.

Tabla 4.5 Comparación agua por destilación

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN
Agua por destilación	%V	ASTM D-4007	0,050	0,05

4.6.1 Comportamiento del agua por destilación en el motor

En el funcionamiento del agua por destilación en el motor se obtuvo 0.050 %V de tal manera que entra en los estándares de calidad INEN, dando un buen funcionamiento en el motor en los efectos de corrosión dentro de las piezas dentro teniendo en cuenta que esta normativa de agua por destilación solo es una normativa en las normas ecuatorianas del biodiésel, en contenido de sedimento de agua en el biodiésel es muy importante porque si tiene un alto contenido de agua puede provocar corrosión dentro de las piezas del motor, la determinación del contenido de sedimentos de agua se utiliza para medir los volúmenes de agua, en este caso en el biodiésel de higuera.

4.7 Comparación de las Cenizas del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

La comparación de las cenizas de los resultados obtenidos dentro del biodiésel de higuera B10, es 0.0080 %P esto mínimo a comparación de las normas internacionales ASTM, EN y la norma nacional INEN que tienen como requisito máximo 0.02 %P, la cual cumple con la escala de funcionamiento en el motor.

Tabla 4.6 Comparación Cenizas

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Cenizas	% P	ASTM D-482	0,0080	0,02	0,020	0,020

4.7.1 Comportamiento de las cenizas en el motor

Las cenizas en el biodiésel de higuera B10 obtenido en el análisis fisicoquímico están dentro de los estándares internacionales de calidad del biodiésel, por lo cual tendrá un buen funcionamiento del motor ya que no abra residuos de carbonilla en las piezas dando larga vida al motor.

Otro comportamiento de las cenizas dentro del motor son retenidas por las piezas formando capas de cenizas dentro del motor, esto puede ser a la larga perjudicial para la vida útil del motor.

4.8 Comparación de la Viscosidad cinemática a 40°C del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

La comparación de la viscosidad del biodiésel de Higuera B10, el resultado que se obtuvo es de 4.21 mm²/s el cual está dentro del rango de las normas internacionales y nacionales del biodiésel ya que tienen como mínimo el valor de 1.9 mm²/s a 5.0 mm²/s, cumpliendo con una de las normas más importantes del biodiésel la cual es la viscosidad.

Tabla 4.7 Comparación Viscosidad Cinemática

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	PNE/DPEC/ASTM D-445	4,21	3,5 a 5.0	1.9 a 6,0	3.5 a 5,00

4.8.1 Comportamiento de la viscosidad cinemática en el motor

El funcionamiento de la viscosidad del biodiésel en el motor es uno de los requisitos más importantes para su buen funcionamiento, tal como los resultados obtenidos cumplen con los estándares de calidad realizando un excelente trabajo sin formación de cristales en los conductos de los combustible y lo más importante en la puntas de los inyectores, ya que al momento de tener una viscosidad fuera del rango permitido por las normas internacionales y la norma nacional, sería perjudicial para los conductos de combustibles y los inyectores teniendo problemas de taponamiento en los mismos.

Una baja viscosidad tiene mucho que ver con la fluidez del biocombustible por los conductos de combustible es decir, se tendrá un trabajo normal en el bombeo de combustible.

4.9 Comparación del Azufre del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

La comparación del contenido de azufre del biodiésel B10 se obtuvo 0.014 mg/kg siendo está muy favorable a diferencia de las normas internacionales ASTM, EN y la norma nacional INEN del biodiésel, teniendo estas como requisito máximo 15.0 mg/kg siendo estas muy favorables, ya que se pudo obtener un bajo nivel de azufre siendo este elemento

uno de los mayores contaminantes de medio ambiente y perjudicial para la salud de las personas.

Tabla 4.8 Comparación de Azufre

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Azufre	mg/kg	PNE/DPEC/P/M104 Ref. ASTM D-4294	0,014	0.010	0.015	0.10

4.9.1 Comportamiento del Azufre en el motor

En realidad el azufre no cumple ninguna función importante dentro del motor a lo contrario es un elemento en el control de calidad en contaminación al medio ambiente.

El estándar de calidad obtenido, cumple con los requisitos internacionales incluso estamos más abajo del límite mínimo del requisito es estandarización de contaminación cumpliendo con el objetivo, cual era reducir la contaminación ambiental de azufre emitido por los vehículos diésel.

4.9.2 Comportamiento del azufre en el medio ambiente

El azufre es un gas originado por la combustión, en este caso de un vehículo diésel, los daños que provoca en el medio ambiente es que el azufre se acumula en la atmósfera produciendo así, la famosa lluvia acida esta provoca daño a las plantas de igual manera provoca daños en la piel de las personas.

4.9.3 Efectos del azufre en la salud

Los efectos del azufre en la salud de las personas es irritación de la piel, inflamación del sistema respiratorio, insuficiencias pulmonares, respirarlo a diario también produce fuertes dolores de cabeza, siendo así unos de los gases más contaminantes que produce el motor.

4.10 Comparación del residuo carbonoso sobre 10% de residuo de destilación ASTM D-86 del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

La comparación del residuo carbonoso sobre el 10% de la destilación del biodiesel de higuera B10 el resultado que se obtuvo es de 0.13 %P a diferencia del límite mínimo de la norma nacional INEN y las normas internacionales ASTM, EN que tienen como límite mínimo 0.050 %P por lo tanto esta está dentro del rango de los límites permitidos dentro de los estándares de calidad nacionales e internacionales.

El residuo carbonoso se lo calcula como un porcentaje tomando una muestra en la que se lo seca y luego se lo pesa para saber cuál es el porcentaje que tiene el residuo de carbón.

Tabla 4.9 Comparación Residuo Carbonoso

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Residuo carbonoso sobre 10% de residuo de destilación ASTM D-86	%P	ASTM D-189	0,013	0.05	0,050	0,030

4.10.1 Comportamiento del residuo carbonoso en el motor

Según los resultados obtenidos el funcionamiento del residuo carbono dentro del motor trabajaría de forma eficaz ya que se obtuvo un resultado que está dentro de los estándares de calidad, por el cual dentro del motor no se obtendrá residuos excesivos residuos de carbón en las piezas manteniéndolas de forma eficaz y alargando la vida de las mismas.

4.11 Comparación de la Corrosión a la lámina de CU del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

Los resultados a la corrosión a la lámina de cobre obtenida en las propiedades fisicoquímicas del biodiésel B10 está dentro de los parámetros permitidos teniendo como resultado en Clase 1b, ya que las diferentes normas internacionales ASTM, EN y la norma nacional INEN tiene como mínimo Clase 1b y como máximo Clase 3 cumpliendo así con los estándares de calidad permitidos por las normas internacionales y nacional.

Tabla 4.10 Comparación Corrosión a la lámina de CU

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Corrosión a la lámina de CU	Clasificación	PNE/DPEC/ASTM D-130	Clase 1b	Clase3	Clase3	Clase 1b

4.11.1 Comportamiento de la corrosión a la lámina de cobre en el motor

El funcionamiento de la lámina de cobre dentro del motor, específicamente en las piezas por donde pasa el biocombustible, tiene un estándar de calidad excelente, teniendo como resultado un buen cuidado con las piezas permitiendo un grado relativo de corrosión excelente manteniendo en muy buen estado las piezas dentro del motor.

4.12 Comparación del Índice de cetano calculado del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

El índice de cetano obtenido es de 51, cumpliendo así con los límites internacionales ASTM, EN y el límite nacional INEN ya que como mínimo tenemos el cetaneaje de 48, dando lugar a una mejor calidad de combustible, cumpliendo así con un eficiente estándar de calidad internacional, teniendo como resultado un excelente funcionamiento del motor.

Tabla 4.11 Comparación índice de cetano calculado

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Índice de cetano calculado	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	51	49	47	51.0

4.12.1 Comportamiento del índice de cetano en el motor

El funcionamiento con el índice de cetano obtenido en los análisis fisicoquímicos de biodiésel de higuera B10 tiene como resultado un excelente índice de cetano ayudando a que el motor trabaje con eficiencia dando lugar a un buen encendido sin ocasionar retrasos de encendidos dentro del motor y a la vez dando un mejor torque, ya que se

obtuvo un índice alto de cetano a diferencia del mínimo permitido en las normas internacionales y norma nacional, cuando más elevado sea el número de cetano, mejora la ignición en el trabajo de un motor diésel, si fuese el caso que el combustible tenga un bajo índice de cetano esta provocaría un retraso en la ignición del motor dando lugar a un ruido muy fuerte dentro del motor, también en los vehículos con motor diésel provoca retrasos al momento de encender el automotor en frío.

4.13 Comparación de sodio del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

Comparación de los resultados del sodio obtenido en las pruebas fisicoquímicas del biodiésel de higuera B10 es de 28.42 mg/kg, este no cumple con los estándares internacionales y nacionales de calidad del biodiesel, estas tienen como resultado máximo 5 mg/kg teniendo como consecuencia un elevado contenido de sodio dentro del biodiesel de higuera.

Tabla 4.12 Comparación sodio

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Sodio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5053/ APHA 3111 B	28,418	5	5	5.0

4.13.1 Comportamiento de sodio en el motor

El funcionamiento del sodio dentro del biodiésel de higuera es perjudicial dentro del motor porque tiene un alto límite de corrosividad dentro de las piezas del motor, dando lugar a que los puntos de fusión aire combustible sea menor, produciendo corrosión dentro del motor.

4.14 Comparación del potasio del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos del potasio es de 7.26 mg/kg a diferencia de las normas internacionales ASTM, EN y la norma nacional INEN, tiene como límite máximo 5.00 mg/kg por lo cual esta no cumple con las normas internacionales de biodiésel teniendo

como resultado 2.26 mg/kg de diferencia para estar dentro de las normas internacionales del biodiésel.

El potasio es un oxidante de las piezas dentro del motor por el cual según los análisis obtenidos se obtendría una mínima oxidación de las piezas ya que solo tiene una pequeña diferencia.

Tabla 4.13 Comparación potasio

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Potasio	mg/kg	Método interno ref. astm d-5056/ apha 3111 b	7,268	5	5	5

4.14.1 Comportamiento del potasio en el motor

La función que cumple el potasio dentro del biodiésel de higuierilla B10, según los resultados obtenidos es una rápida oxidación al mezclarse con el aire, tiene la misma función que el sodio el cual sería realizar una rápida oxidación de las piezas dentro del motor.

4.15 Comparación del calcio del biodiésel de higuierilla B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

La comparación del calcio dentro de los análisis realizados del biodiésel de higuierilla B10 se obtuvo como resultado 4127.5 mg/kg, este resultado está fuera de los límites de los estándares internacionales de calidad del biodiésel, teniendo como límite máximo en las normas ASTM, INEN, EN 5 mg/kg, teniendo una diferencia muy grande en los parámetros generales del biodiésel.

Tabla 4.14 Comparación calcio

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Calcio	mg/kg	ASTM D-5056/ APHA 3111 B	4127,586	5	5	5

4.15.1 Comportamiento del calcio en el Motor

La función que cumple el calcio dentro del biocombustible de higuierilla tiene como resultado un elevado número de calcio a diferencia de las normas internacionales ASTM, EN y la norma nacional INEN, pero el calcio según un estudio realizado es un metal que cumple la función de desoxidante en los metales siendo así un tema de estudio dentro del motor más que todo a las piezas por donde va a circular el biocombustible.

Al momento de salir el calcio al aire después de la combustión se forma una capa de óxido y nitruro, esta se puede quemar a una temperatura elevada, hablado en el comportamiento dentro del motor, los gases de escape salen a una temperatura elevada dando lugar a que el calcio produzca nitruro.

4.16 Comparación del magnesio del biodiesel de higuierilla B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos del magnesio dentro del biodiésel de higuierilla dieron como resultado 10.2 mg/kg a comparación de las normas internacionales del biodiésel en las diferentes norma ASTM, INEN EN tienen como límite máximo 5mg/kg, esta no cumpliría con el estándar de calidad internacional del biodiesel teniendo una diferencia de 5.2 mg/kg.

Tabla 4.15 Comparación magnesio

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Magnesio	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	10,268	5	5	5

4.16.1 Comportamiento de Magnesio en el motor

El funcionamiento del magnesio dentro del biodiésel de higuierilla tiene la función de oxidación pero a diferencia de los otros metales obtenido, este no tiene mucha diferencia en los estándares de calidad internacionales por el cual no tendría ninguna reacción dentro de las piezas del motor.

4.17 Comparación de la temperatura de destilación a 90% del biodiésel de higuera B10 en normas ASTM, EN, INEN y resultados obtenidos.

La comparación de la temperatura por destilación a 90% del biodiesel de higuera es de 350.7 grados centígrados cumpliendo así con los estándares internacionales de calidad de biodiésel ASTM, EN, INEN teniendo como resultado de límite máximo 360 grados centígrados dando lugar a un funcionamiento equilibrado en el encendido de la combustión a cualquier temperatura.

Tabla 4.16 Comparación Temperatura por destilación

Determinación	Unidades	Método	Resultados obtenidos	Normas INEN	Normas ASTM	Normas EN
Temperatura de destilación al 90%	%C	ASTM D-86	350,7	360	360	350

4.17.1 Comportamiento de la temperatura de destilación en el motor

El funcionamiento de la temperatura al 90% obtenido en el análisis fisicoquímico, en la facultad de ingeniería química de la Universidad Central, es muy eficiente al encendido del motor en gran altitud, proporcionando así un buen funcionamiento dentro del encendido del motor cumpliendo con las normas internacionales ASTM, EN de igual manera con la norma nacional INEN de los estándares de calidad de biodiésel.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Según las investigaciones realizadas en el presente trabajo de grado, se obtuvo que en el biodiésel índice de cetano, cumple con las normas nacionales e internacionales de estándar de calidad, obteniendo 51 en índice de cetano a diferencia de la norma nacional e internacional, el cual el índice de cetano es de 47, alcanzando así una mejor calidad de ignición al tener un cetanaje elevado.
- Los datos sobre el azufre según las investigaciones realizadas se obtuvo como resultado 0.0148 mg/kg cumpliendo así con los estándares de calidad, ya que las normas internacionales tiene como requisito máximo 0.10 mg/kg, disminuyendo así en nivel de azufre el cual sería muy amigable con el medio ambiente y la salud de las personas.
- El índice de cenizas obtenidas cumplen con los estándares de calidad del biodiésel, ya que se obtuvo como resultado 0.0080 % P a diferencia de las normas nacionales e internacionales que tienen como requisito máximo 0.020 %P, obteniendo así un bajo índice de cenizas dentro de las piezas del motor, técnicamente no se ocasionara cenizas en la bomba y en las boquilla de los inyectores y en la cámara de combustión.
- En la viscosidad cinemática a 40°C se obtuvo 4.21 mm²/s cumpliendo con los estándares nacionales e internacionales de calidad del biodiésel los cuales, tienen como requisito mínimo 6.0 mm²/s obteniendo así una mejor combustión dentro del motor, de igual manera va a tener una mejor fluidez por los conductos de combustible dentro del motor.

5.2 Recomendaciones

- Realizar convenios con las diferentes universidades del Ecuador para poder realizar los estudios con mayor facilidad y a un bajo costo.
- Realizar análisis de prueba de biodiésel B20 B30 y B50 para saber cuál sería el comportamiento en el motor con biodiésel de higuera.
- El almacenamiento del aceite debe ser por períodos cortos de tiempo (no más de un año), ya que se oxida, deben estar aislados del agua y la humedad para evitar su descomposición.
- Realizar un estudio afondo sobre la elaboración de biodiésel en el Ecuador usando diferentes biocombustibles.
- Dar a conocer la factibilidad del biodiésel mediante charlas a los estudiantes en las diferentes universidades del Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cynthia Martinez. (2015). *Determinacion del indice de acidez en aceites*. Obtenido de SCRIBD: <https://es.scribd.com/doc/97574878/Determinacion-del-indice-de-acidez-en-aceites-y-grasas-comestibles>
2. Dario Esquinza. (2013). *Biodisol*. Obtenido de <http://bio-oils.com/biodiesel/>
3. José Luis Calle. (30 de 4 de 2007). *Slide Share*. Obtenido de Biodiésel: <https://es.slideshare.net/peyg/biodiesel>
4. Abarracin, A. S. (2014). *SCRIBD*. Obtenido de ASTM D 287: <https://es.scribd.com/doc/126483470/ASTM-D-287-92-Metodo-de-Prueba-Estandar-para-la-Determin>
5. Alberto G. (2015). Normas y Estandares Biodiesel. *Biodiesel Argentina*, 1-4.
6. Alexander Gomez. (2017). *Registro de emisiones y transferencias de contaminates*. Obtenido de Ministerio del Ambiente: <http://www.mma.gob.cl/retc/1279/article-43789.html>
7. Alirio Benavides, P. B. (29 de 02 de 2007). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de bdigital : <http://revistas.unal.edu.co>
8. Alvaro Maldonado. (2015). *Información sobre el metanol*. Obtenido de Metanol, Atlantic: http://www.atlanticmethanol.com/informacion_metanol.html
9. Anival Reyes. (2015). *Hidróxido de sodio*. Obtenido de Documentacion Ideam: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia17.pdf>
10. Araujo, Alberto. (2013). Petroecuador manda en la comercializacion de gasolina y diesel. *El Comercio*.
11. Arboleda Mateo. (2017). *Evaluación del funcionamiento del motor diésel electrónico con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera con mezcla B10*. Ibarra.
12. Armando Muriel. (2003). *Gases del escape de diesel*. Obtenido de Centro de investigacion en la Industria de la Construcción: http://www.elcosh.org/document/2231/d000609/Gases+del+escape+de+diesel.html?show_text=1
13. ASTM. (17 de 09 de 2013). *Metodo de enyayo estandar para la viscosidad cinematica en liquidos transparentes y opacos*. Obtenido de ASTM D-45: https://www.academia.edu/5602562/ASTM_D_445_VISCOSIDAD

- 14.ASTM. (2014). *ASTM D189*. Obtenido de Internacional ASTM:
<https://www.astm.org/Standards/D189-SP.htm>
- 15.ASTM. (2014). *ASTM Internacional* . Obtenido de www.astm.org
- 16.ASTM. (2015). *ASTM Internacional*. Residue, Standard Test Method for Determination of Carbon.
- 17.Bautista, C. C. (2011). *La utilización del Metanol*. Obtenido de <http://ri.ufg.edu.sv/jspui/bitstream/11592/8331/1/La%20utilizaci%C3%B3n%20del%20Metano%20como%20biocombustible.pdf>
- 18.Benavides, A. (2007). *EL BIODIESEL DE ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/viewFile/951/1437>
- 19.Benitez Juan . (2017). *TP Laboratorio*. Obtenido de TP Laboratorio Quimico:
<https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/procedimientos-basicos-de-laboratorio/que-es-la-decantacion.html>
- 20.Benítez, D. (2011). *Proyecto de generacion de biodiesel apartir de aceites vegetales usados*.
- 21.Benjumea, P. N. (2012). *Prediccion del efecto de la Temperatura sobre la biscosidad del biodiesel* . Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/26476/1/24072-84242-1-PB.pdf>
- 22.Carlos Perez. (Enero de 2012). *Petroecuador*. Obtenido de Ministerio de Hidrocarburos:
<http://www.hidrocarburos.gob.ec/confirman-calidad-de-combustible-que-distribuye-ep-petroecuador-al-pais/>
- 23.Chistian García. (2017). *Acelerando*. Obtenido de Gasolina ecoPais:
<http://www.acelerando.com.ec/industria/mundo-verde/443-gasolina-eco-pais-reemplazara-a-extra-hasta-el-2017>
- 24.Claudio Jacome. (2017). *Elementos*. Obtenido de Elementos de la tabla periódica y sus propiedades: <https://elementos.org.es/sodio>
- 25.Contreras, R. (16 de 01 de 2015). *La Guia*. Obtenido de Biología:
<http://biologia.laguia2000.com>
- 26.Dani Megane. (2014). *Aficionados a la Mecanica*. Obtenido de Gases de Escape y Sistemas Anticontaminación: <http://www.aficionadosalamecanica.net/emision-gases-escape.htm>

27. Dani Megane. (2014). *Aficionados a la mecánica*. Obtenido de aficionadosalamecanica.net
28. Daniel Agudo. (2015). *Revistamotor*. Obtenido de EMISIONES CONTAMINANTES EN MOTORES DIESEL Y GASOLINA: <https://revistamotor.eu/index.php/del-calle/mecanica/3331-emisiones-contaminantes-en-motores-diesel-y-gasolina>
29. David Estrada. (2014). *Biodisol*. Obtenido de Biodiesel: <http://www.biodisol.com>
30. Dias, S. S. (2011). Que significa el índice de cetano. *El Tiempo*.
31. Diego Aguilar. (2017). *La decantación para separar el biodiésel de la glicerina*. Obtenido de Biodisol: <http://www.biodisol.com/como-hacer-biodiesel-produccion-y-fabricacion-de-biodiesel-casero/decantacion-para-separar-el-biodiesel-de-la-glicerina/>
32. Diego Gómez. (16 de 01 de 2012). Ecuador consume 51 mil barriles de diesel premium diariamente. *El Telégrafo*, págs. 9-12.
33. Diego Perez. (23 de 11 de 2009). *Contaminación*. Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/961626/el-aire-de-ibarra-lleno-de-contaminacion>
34. Ermer, P. (2011). *Perkin Ermer*. Obtenido de Analysis of Vanadium, Nickel, sodium and Iron : https://www.perkinelmer.com/lab-solutions/resources/docs/APP_PinAAcleMetalsinFuelOils.pdf
35. Fander Falconí. (2013). *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017*. Obtenido de Senplades: <http://www.buenvivir.gob.ec/versiones-plan-nacional>
36. Fernandez, J. M. (2010). Guía completa de Biomasa y los biocombustibles . En J. M. Fernandez, *Guía completa de Biomasa y los biocombustibles* . Madrid : AMV Ediciones .
37. Fernandez, J. M. (2010). Guía completa de la biomasa y los biocombustibles. En J. M. Fernandez, *Guía completa de la biomasa y los biocombustibles*. Madrid: AMV Ediciones.
38. Fernando Olmedo. (23 de 10 de 2007). *Biodisol*. Obtenido de Cuáles son los países con mayor potencial para producir biodiesel: <http://www.biodisol.com/biocombustibles/cuales-son-los-paises-con-mayor-potencial-para-producir-biodiesel/>
39. Franco, M. (2013). *Simulación del proceso de producción de biodiesel*. Barcelona.

40. Frers, C. (2015). *El dióxido de carbono y su impacto en el cambio climático*. Obtenido de Eco Joven: <http://www.ecojoven.com/seis/10/co2.html>
41. G. Holdin. (2010). *Biodiesel Spain*. Obtenido de Centro De Biocombustible: <http://www.biodieselspain.com/index.php?s=biocombustibles&paged=76>
42. German Rodrigez. (2015). *Impactos Ambientales*. Obtenido de Biodiesel: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/06-07/Biodiesel/biodiesel2s.htm#envimpacts
43. Giga, M. (2012). *Motor Giga*. Obtenido de Cetano Definicion Significado: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/cetano-numero-de-definicion-significado/gmx-niv15-con193496.htm>
44. Gilberto Araujo. (18 de 08 de 2005). *Textos Científicos*. Obtenido de Obtencion del Metanol: <https://www.textoscientificos.com/quimica/metanol/obtencion>
45. Hammond. (2013). *Corrosion de la lamina de cobre metodo ASTM D130*. Obtenido de ASTM D130: http://www.pmaint.com/newsletters/nl_2013apr_es.pdf
46. Hector Dias. (2017). *Descarbonizadoras.com*. Obtenido de Tecnologia de Gas ortoxihidrogeno: <http://descarbonizadoras.com/descarbonizacion/>
47. INEN. (2009). *Requisitos del Biodiésel*. Obtenido de <https://archive.org/stream/ec.nte.2482.2009#page/n3/mode/2up>
48. INEN. (2013). Enmienda. *Instituto ecuatoriano de normalización*, Norma Técnica Ecuatoriana.
49. INEN. (2015). *PETRÓLEO Y PRODUCTOS DERIVADOS DE PETRÓLEO*. Obtenido de Inen- 2903: <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/nte/nte-inen-2903.pdf>
50. INEN. (s.f.). *Indice de cetano Calculado*. Obtenido de INEN 1495: <https://archive.org/stream/ec.nte.1495.1987#page/n0/mode/2up>
51. Internacional, A. (2017). *ASTM D-5056*. Obtenido de Metodo de prueba estandar para detectar metales: <https://www.astm.org/Standards/D5056.htm>
52. Internacional, A. (2017). *ASTM D86*. Obtenido de Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products and Liquid Fuels at Atmospheric Pressure: <https://www.astm.org/Standards/D86.htm>
53. J. Kates, E. (2003). *Motores Diesel y de Gas de alta Compresion*. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=UjtKi-fjkrYC&pg=PA191&lpg=PA191&dq=contenidos+de+ceniza+en+un+motor+di>

- esel&source=bl&ots=MDB7_tr0kY&sig=ymCZp0n-wsbDvAjlG18FLC9INU&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjTommm6qjXAhVCSiYKHcr-DLMQ6AEILjAC#v=onepage&q=contenidos%20
54. Jerome Herve. (2007). *Universidad de Chile*. Obtenido de LAMOUREUX: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104538/Diseno-conceptual-de-una-planta-de-biodiesel.pdf?sequence=3>
 55. Joker Veloz. (2016). *Scribd*. Obtenido de ASTM d1160: <https://es.scribd.com/document/258553954/Astm-d1160>
 56. Linan, S. G. (2016). Contaminacion del aire, azufre, oxidos de azufre, SO₂. *El Financiero*.
 57. Lishawa, A. K. (2015). *Haciendo Biodiesel de Aceite Vegetal Usado*. Obtenido de <https://greenteacher.com/article%20files/haciendobiodiesel.pdf>
 58. Luis Encalada. (2016). *Urgente24.com*. Obtenido de <https://www.urgente24.com/166988-%C2%BFcuales-son-los-paises-con-mayor-potencial-para-producir-biodiesel>
 59. Macias, A. J. (2002). *SCRIBD*. Obtenido de Especifica, Densidad y Gravedad: <https://es.scribd.com/doc/94325099/Densidad-y-Gravedad-Especific>
 60. MacLean, D. C. (2017). *Biodiesel*. Obtenido de Barreras potenciales e Impactos: http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/06-07/Biodiesel/biodiesel2s.htm
 61. Maldonado P. (2017). *ASTM D-92*. Obtenido de Context, Reverso: <http://context.reverso.net/traduccion/ingles-espanol/ASTM+D-92>
 62. Marcelo Haro. (2012). *Eplusenergy*. Obtenido de <http://www.eplusenergy.com/v2/es/normas/DIN%20V%2051606%20-%20ESP.pdf>
 63. Mark Devis. (2017). *Rick Da Tech*. Obtenido de Make Biodiesel: www.make-biodiesel.org
 64. Marvin, J. (2012). *Scribd*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/153620264/ASTM-D-482-Cenizas-en-Combustibles>
 65. Merino, L. A. (2007). *Scribd*. Obtenido de Norma ASTM D4007: <https://es.scribd.com/document/219317817/163899792-Traduccion-Norma-ASTM-D4007>
 66. Miguel de Cervantes. (29 de 03 de 2011). *Brasil, Argentina y Colombia lideran producción de biocombustibles en la región*. Obtenido de CEPAL:

- <https://www.cepal.org/es/comunicados/brasil-argentina-y-colombia-lideran-produccion-de-biocombustibles-en-la-region>
67. Monica Altamirano. (15 de 07 de 2017). *Ecu Red*. Obtenido de Hidroxido de Sodio: https://www.ecured.cu/Hidr%C3%B3xido_de_Sodio
68. Normas EN. (2003). *Bio Blog*. Obtenido de La Famosa Normativa de calidad del Biodiésel UNE EN 14214: <http://blogbiodiesel.blogspot.com/2007/08/la-famosa-normativa-de-calidad-del.html>
69. Normas INEN. (2012). INEN. Quito.
70. Pedro Sanchez. (2002). *Taringa*. Obtenido de Punto de Inflamabilidad : <https://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15566452/Punto-de-Inflamabilidad.html>
71. Perez, D. (10 de 12 de 2011). *Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol*. Obtenido de Caracterización de las propiedades del biodiesel de girasol: <http://www.unilibre.edu.co>
72. Pino, F. (2017). *VIX*. Obtenido de Explora: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4410/caracteristicas-del-sodio>
73. Plan Nacional del Buen Vivir. (26 de 06 de 2013). Obtenido de Objetivo 7. Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental: https://issuu.com/buen-vivir/docs/6_objetivo_7_fundamento_y_diagnosti
74. Prims, L. (2016). *Aceite de Ricino USP*. Ecuador.
75. Riba Ruiz. (2012). *Biodiésel*. Obtenido de Estudio de la Viscosidad : <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/9403>
76. Rica, U. d. (2015). *DETERMINACIÓN DE ÁCIDOS GRASOS, GLICERINA LIBRE Y GLICERINA TOTAL*. Costa Rica : Ciencia y Tecnología .
77. Rigaku. (2017). *Rigaku*. Obtenido de Azufre en Diesel: <https://www.rigaku.com/es/products/xrf/nexqc/app06>
78. Roberto Moreno. (2018). *Chemical Safety Fans*. Obtenido de Hidróxido de sodio: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/hidroxido-de-sodio/>
79. Rosario Santa Fe. (2014). *Biodiesel Argentina*. Obtenido de Biodiesel Argentina: <https://biodiesel.com.ar/historia-del-biodiesel>
80. Sánchez, N. (2012). *Maquinas de barcos* . Obtenido de Informacion sobre mantenimiento de maquinas:

- <http://maquinasdebarcos.blogspot.com/2008/12/motores-diesel-influencia-del-contenido.html>
- 81.Sergio Mora. (2015). *Coche Español*. Obtenido de Coche de españa Online: <http://www.automotriz.biz/coches/fuels/diesel-fuel/134890.html>
- 82.Servicio de acreditacion ecuatoriano. (2012). Obtenido de <http://www.acreditacion.gob.ec/>
- 83.Tormos, B. (2005). Temas avanzados en motores de combustión interna. En *Diagnostico de motores diesel mediante el analisis de aceite usado* (pág. 232). Reverté S.A.
- 84.Vento, G. (2017). *Grupo Vento*. Obtenido de Destilacion del Biodiesel : http://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/88043/documento_vYUegC.pdf
- 85.Villalba Maite. (2014). *Textos Cientificos*. Obtenido de Metanol: www.textoscientificos.com
- 86.Villanueva, L. M. (14 de 10 de 2010). *SCRIBD*. Obtenido de ASTM D-4294: <https://es.scribd.com/doc/212887616/ASTM-D4294-10>
- 87.Yohana, A. E. (2006). *Análisis de la variación de la viscosidad cinemática de un aceite vegetal*. Obtenido de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/publicaciones/bistua_revista_ciencias_basica/2006/12082010/rev_bistua_vol4_num2_art7.pdf

ANEXO 1

Anexo 1: Elaboración de biodiésel de Higuierilla



Figura A1. 1 Inicio del proceso de transesterificación



Figura A1. 2 Comprobación de temperatura del proceso



Figura A1. 3 Finalización del proceso de transesterificación



Figura A1. 4 Comprobación de pH después de la transesterificación



Figura A1. 5 Proceso de lavado del biodiésel

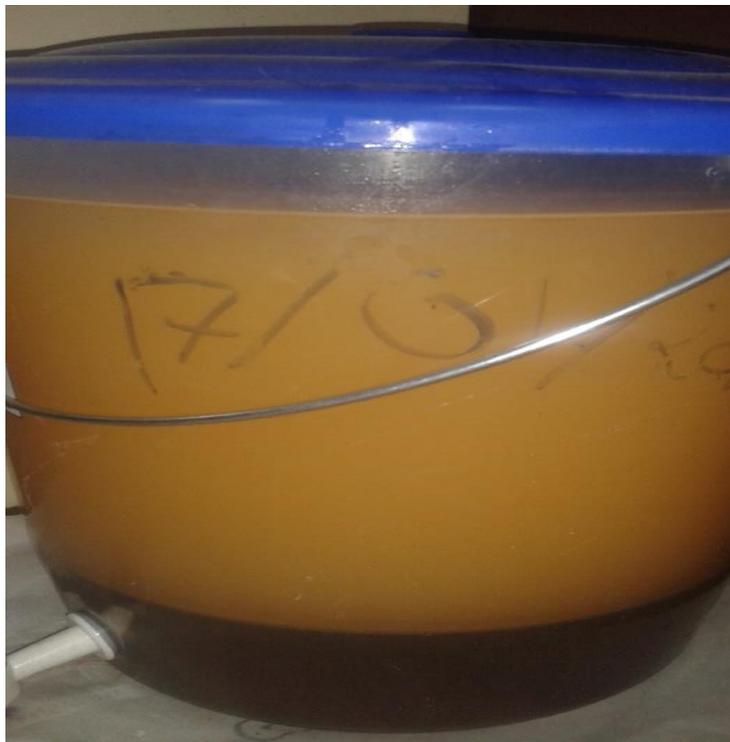


Figura A1. 6 Proceso de decantación



Figura A1. 7 Obtención de biodiésel B100 y B10

ANEXO 2

Anexo 2: Acreditación de análisis de biodiésel de higuierilla.



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



INFORME DE RESULTADOS PETRÓLEO

Informe N° 17-03-02-P-1
 Fecha 2017-04-04

Referencia: OT-17-03-02-P
Atención: Ing. Carlos Mafia
Empresa: UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
Dirección: Ibarra
Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos
Tipo de muestra: BIODIESEL
Identificación de la muestra: BIODIESEL A BASE DE ACEITE HIGUERILLA MEZCLA B10
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de la muestra: 2017-03-08
Código de muestra: OE-17-03-02-P-1
Fecha de realización de ensayos: 2017-03-09 a 2017-03-31

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
DENSIDAD API A 60°F*	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	34,0
PUNTO DE INFLAMACIÓN*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-92 PNE/DPEC/P/ASTM D-93	72,1
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,05
AGUA POR DESTILACIÓN*	%V	ASTM D-95	0,050
CENIZAS*	%P	ASTM D-482	0,0080
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,21
AZUFRE*	%P	PNE/DPEC/P/MI04 Ref. ASTM D-4294	0,0148
RESIDUO CARBONOSO SOBRE 10% DE RESIDUO DE DESTILACIÓN ASTM D-86*	%P	ASTM D-189	0,13
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE CU*	Unidad de Corrosión	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1b
ÍNDICE DE CETANO CALCULADO*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	51
SODIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111 B	28,418
POTASIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	7,268
CALCIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	4127,586
MAGNESIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	10,268
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90 %*	°C	ASTM D-86	350,7

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

Condiciones Ambientales.- Presión 542,9 mm Hg; Temperatura: 17,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado por:

Ing. Fernanda Toasa L.
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

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

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

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolivia

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26
QUITO - ECUADOR

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

MC2201-P01-6

Hoja 1 de 1

Figura A2. 1 Análisis de las propiedades fisicoquímicas de biodiésel B10



Figura A2. 2 Diploma de miembro de organización internacional ASTM

PRIMS
LABORATORIOS



PARA: REFERENCIA: FECHA DE FABRICACIÓN: TIEMPO DE VIDA UTIL : LOTE:	LABORATORIOS PRIMS Aceite de Ricino USP Julio del 2016 Dos años (bajo condiciones optimas de almacenamiento) OPM-ARUSP-0616207
--	--

CERTIFICADO DE ANALISIS

ENSAYO	RESULTADOS	METODO
COLOR (LOVIBOND 5 1/4)	Y=9.3/R=1.1	Cc 13b-45 AOCs
ACIDOS GRASOS LIBRES (OLEICO)	1.19%	Ca 5a-40 AOCs
HUMEDAD & VOLATILES	0.20%	Ca 2c-25 AOCs
PESO ESPECIFICO A 25 °C	0.961	Cc 10a-25 AOCs
INDICE DE YODO (WIJS)	85 cg/g	Cd 1 - 25 AOCs
INDICE DE HIDROXILO	164	Cd 13 - 60 AOCs
INDICE DE REFRACCIÓN 25 °C	1.477	Cc 7 - 25 AOCs
INDICE DE SAPONIFICACIÓN	178 mg KOH/g	Cd 3 - 25 AOCs
IMPUREZAS INSOLUBLES	0.01 % MAX	Ca 3 - 46 AOCs
ASPECTO	CLARO Y BRILLANTE	
OLOR	CARACTERISTICO A RICINO	

 ING. VICTOR ALVAREZ JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	 ING. ROBIN ALAVA A. JEFE DE PLANTA
---	---

Figura A2. 3 Certificado de análisis del aceite de higuerilla



Figura A2. 4 Certificado otorgado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano

ANEXO 3

Anexo 3: Datos técnicos

NÚMERO	DESIGNACIÓN	DESCRIPCIÓN
0	Sin mancha	Casi igual
1	Ligeramente manchada	a) anaranjado claro b) anaranjado oscuro
2	Mancha moderada	a) rojo claro b) azul suave c) colores múltiples d) plateado e) bronceado dorado
3	Mancha oscura	a) tornasol oscuro b) múltiples con rojo y verde sin gris
4	Corrosión	a) negro claro b) negro opaco c) negro brillante

Figura A3. 1 Corrosión a la lámina de cobre

Fuente: (Katherine Romero, 2015, pág. 4)