

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas



TRABAJO FINAL DE LA MATERIA INTEGRADORA

"Caracterización de mezclas de diésel-biodiesel a diferentes proporciones con el fin de minimizar los impactos ambientales generados por el consumo de combustibles fósiles"

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:

Víctor Vinicio Borbor Domínguez
Jorge Luis Velasteguí Montesdeoca

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios, nuestros padres y maestros que han sido pieza fundamental para lograr uno de los objetivos más importantes de nuestras vidas, por su apoyo incondicional, siendo un pilar esencial en nuestro desarrollo personal y profesional, pues constituyen el motor que impulsa y motiva a seguir cosechando éxitos y alegrías.

A la Dra. Olga González por guiarnos y ser un apoyo vital en el desarrollo de este proyecto y al Dr. César Moreira ya que siempre estuvo presto a compartir sus conocimientos y brindar su ayuda para alcanzar la meta trazada.

A los ingenieros Eduardo Sandoval, Tyrone Alcívar y amigos por ser un soporte durante la realización de este proyecto.

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a nuestros padres, por ellos y para ellos, este logro sin su apoyo incondicional, ejemplo y guía hoy no estuviéramos llenos de felicidad por el objetivo logrado.

A nuestros hermanos ya que de una u otra manera siempre estuvieron alimentando nuestras ganas de llegar a la meta de esta carrera profesional.

Sin olvidar a nuestros familiares y amigos por todo el cariño brindado y por formar parte de las distintas etapas de nuestras vidas, ser un pilar y soporte constante para no decaer en medio del camino y así cosechar todo el esfuerzo a lo largo de nuestra carrera universitaria.

A los maestros, por su preocupación de formar buenos profesionales dedicando gran parte de su tiempo a la formación académica, gracias.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este proyecto nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL."

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Víctor Vinicio Borbor Domínguez

Jorge Luis Velasteguí Montesdeoca

RESUMEN

En este trabajo se realizaron pruebas físico-químicas de mezclas de diésel-biodiesel con el fin de disminuir las emisiones contaminantes generadas por fuentes móviles.

El biodiesel se lo obtuvo de la empresa La Fabril que al mezclarlo con diésel premium de venta nacional se procedió a caracterizar estas muestras en proporciones de 5 -10 – 15 y 20%.

Estas pruebas se las efectuaron en el laboratorio de hidrocarburos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral junto con el laboratorio de calidad de la Refinería de La Libertad.

Se concluye que la mezcla más óptima para nuestro medio es la del 10%, puesto que posee buenas propiedades de ignición y combustión, observado directamente en el índice de cetano, punto de anilina y poder calorífico.

Esta mezcla se convierte en un reto para el país ya que se debe aumentar la producción nacional de biodiesel para satisfacer la demanda nacional, y además, cumplir con el propósito de introducir biocombustibles al medio local así reduciendo la importación de diésel y convertirnos en una nación que se preocupa por el bienestar del medio ambiente.

Palabras clave: Diésel, biodiesel, ignición, combustión.

ABSTRACT

In this work, physico-chemical tests were done on diesel and biodiesel blends with the objective of reducing pollutant emissions produced by mobile sources.

The biodiesel was obtained from the company La Fabril. It was mixed with premium diesel sold domestically, to characterize these samples in proportions of 5, 10, 15, and 20%.

These procedures were done in the Hydrocarbon Laboratory of the Escuela Superior Politécnica del Litoral along with the Quality Laboratory of the La Libertad Refinery.

It is concluded that the most optimal mixture of diesel and biodiesel for our environment is 10%, since it has good ignition and combustion properties, observed directly in the cetane number, aniline point and calorific power.

This mixture is a challenge for the country because it becomes necessary to increase the national production of biodiesel to satisfy the national demand, and also, fulfill the purpose of introducing biofuels to the local environment, reducing the importation of diesel, and becoming a nation concerned with the welfare of the environment.

Keywords: *Diesel, biodiesel, ignition and combustion.*

GLOSARIO

Combustible: Material capaz de liberar energía en una reacción de combustión la cual puede ser aprovechada para distintos procesos mecánicos o químicos.

Combustión: Reacción química que se efectúa entre un compuesto carburante y oxígeno mediante una fuente de ignición.

Biodiesel: Ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadenas largas derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales que se emplean en motores de ignición de compresión

Diésel: Fracción obtenida del procesamiento de crudo compuesto fundamentalmente por parafinas, cuyos usos principales son como combustible de calefacción y en motores de vehículos.

Ésteres: Compuestos formados por la unión de ácidos con alcoholes, generando agua como subproducto

Transesterificación: Proceso que consiste en cambiar el grupo alcoxi de un alcohol, estas reacciones son posibles en presencia de un catalizador mediante la adición de una base o ácido.

Combustibles fósiles: Depósitos geológicos de materiales orgánicos, como animales y plantas que al ser expuestos a altas temperaturas se convierten en crudo, carbón o a su vez gas natural.

Lubricidad: Calidad de lúbrico.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA	III
DECLARACIÓN EXPRESA	IV
RESUMEN.....	V
<i>ABSTRACT</i>	VI
GLOSARIO	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I.....	16
1.1 Problema	17
1.2 Justificación del problema.....	18
1.3 Hipótesis.....	19
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1 Objetivo General.....	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
CAPÍTULO II.....	20
MARCO TEÓRICO	20

MARCO TEÓRICO	21
2.1 Diésel	21
2.1.1 Normas Legales del Diésel.....	21
2.1.2 Tipos de Diésel.....	23
2.1.3 Propiedades	23
2.1.4 Diésel en el Ecuador	27
2.2 Biodiesel	28
2.2.1 Mecanismo de reacción para obtención de biodiesel.....	29
2.2.2 Características del biodiesel.....	29
2.2.3 Ventajas	30
2.2.4 Desventajas.....	30
2.2.5 Normas legales.....	30
2.2.6 Biodiesel en Ecuador.....	32
2.3 Mezcla Diésel-Biodiesel: historia, especificaciones, experiencia a nivel mundial y en Ecuador	33
2.3.1 Mezclas Diésel-Biodiesel en Ecuador.....	36
2.3.2 Normas legales	37
CAPÍTULO III.....	39
METODOLOGÍA.....	39
3.1 Preparación de mezclas	40
3.2 Procedimiento.....	40
CAPÍTULO IV	42

RESULTADOS	42
4.1 Presentación de resultados	43
4.2 Discusión de resultados	48
CAPÍTULO V	51
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1 Conclusiones	52
5.2 Recomendaciones	55
Bibliografía.....	56
ANEXOS.....	58

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica I. Densidad a @15,6° C.....	43
Gráfica II. Punto de Inflamación.....	43
Gráfica III Punto de anilina.....	44
Gráfica IV Índice de refracción.....	44
Gráfica V. Contenido de Azufre.....	45
Gráfica VI Índice de cetano calculado.....	45
Gráfica VII. Viscosidad cinemática @37.8 °C.....	46
Gráfica VIII. Punto de fluidez.....	46
Gráfica IX Poder calórico calculado neto.....	47
Gráfica X. Destilación ASTM.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I. Norma NTE INEN 1489:2012. Requisitos diésel No.1	21
Tabla II. Norma NTE INEN 1489:2012. Requisitos diésel No.2	22
Tabla III. Norma NTE INEN 1489:2012. Requisitos diésel N° 2 de bajo contenido de azufre.....	22
Tabla IV. Cifras del sector petrolero ecuatoriano en miles de barriles de diésel en el 2016.....	27
Tabla V. Norma ASTM D6751-12. Especificación biodiesel.....	31
Tabla VI. Norma EN 14214-08. Especificación biodiesel	31
Tabla VII. Norma NTE INEN 2482 (2009). Requisitos biodiesel.....	32
Tabla VIII. Mandatos de biocombustibles en el mundo	35
Tabla IX. Caracterización de Biodiesel La Fabril y Palmar de Río.....	36
Tabla X. Norma ASTM D7467-10. Especificación estándar para diésel-biodiesel mezcla (B6-B20).	37
Tabla XI. Resumen de los ensayos y métodos utilizados.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Sectores que utilizan diésel en Ecuador	27
Figura II. Grupo de clientes que consumían la mayor parte del subsidio...	28
Figura III. Mecanismo de reacción para obtención de biodiesel	29
Figura IV. Preparación de mezclas	58
Figura V. Diésel No. 2.....	58
Figura VI. Biodiesel de La Fabril (temperatura ambiente)	59
Figura VII. Biodiesel de La Fabril (refrigeración)	59
Figura VIII. Gravedad API @ 60°F	59
Figura IX. Punto de inflamación	60
Figura X. Poder calorífico calculado.....	60
Figura XI. Punto de Anilina (sistema, homogéneo, turbidez).....	60
Figura XII. Punto de fluidez o escurrimiento (Sistema agua con hielo y sistema hielo seco)	61
Figura XIII. Prueba contenido de azufre en las instalaciones de la Refinería de La Libertad.....	61

INTRODUCCIÓN

El consumo de combustibles fósiles ha sido uno de los más importantes aliados en el desarrollo de la humanidad, sin embargo, ha representado uno de los problemas con mayor impacto en la salud del globo terráqueo, por lo que día a día se busca nuevas alternativas para que dichos impactos sean mínimos y una de éstas es el uso de mezclas diésel-biodiésel en motores de combustión.

En la actualidad muchos productos de consumo diario como los combustibles, solventes y otros se derivan del petróleo, por lo que su dependencia es alta y obliga a las naciones a utilizar medidas que afectan de manera significativa en el medio ambiente, deteriorando la calidad de los recursos naturales y destruyendo la flora y fauna.

El biodiésel nace como un aliado importante para preservar y cuidar la salud del planeta, ya que químicamente está compuesto por una mezcla de ésteres de alquilo (etilo y metilo principalmente) con largas cadenas de ácidos grasos. Estas cadenas al encontrarse oxigenadas le otorgan al motor una combustión más limpia y le proporciona una mejora importante de lubricidad sobre el diésel inclusive en mezclas a niveles debajo de 1%. Además, presenta cualidades envidiables de degradación que lo convierte en el combustible deseable para cuidar al medio ambiente.

Por el año 1900 Rudolf Diésel experimentó por primera vez el alcance de este recurso al utilizar aceite de cacahuate para impulsar un motor que él mismo habría construido; sin embargo, en estas épocas no se prestó total importancia al uso de biocombustibles ya que se creía que los recursos fósiles eran inagotables.

Por el año 2011 el gobierno ecuatoriano centra su preocupación en la calidad de combustible de consumo y exportación ya que el diésel que se comercializaba contenía 7000 partes por millón (ppm) de azufre, que representa una cantidad superior a las medidas europeas y a los distintos países de la región, tan solo igual por Uruguay según un informe presentado por Petroecuador (Boletín No. 048- EP-Petroecuador, 2011).

La empresa pública EP-Petroecuador pone en marcha el Plan de Mejoramiento de la Calidad con el fin de reducir las emisiones contaminantes y por ende la mejora de calidad de vida de la ciudadanía ecuatoriana al colocar en el mercado Diésel Premium que contiene bajos niveles de azufre y reemplazar la gasolina tradicional extra por ecopaís (5% en volumen de etanol).

Esta medida es un gran paso en el desarrollo del país, lo que impulsa una mayor conciencia ambiental no solo al consumo de nuevos productos, si no, que opta por la utilización de nuevas fuentes de energía como las mezclas de combustibles fósiles con biocombustibles.

Debido a las razones antes mencionadas, en el presente trabajo se propone mezclas de diésel-biodiesel con diferentes proporciones de biodiesel (5, 10,15, y 20%), las que fueron sometidas a una caracterización mediante pruebas físico-químicas realizadas en los laboratorios del Departamento de Química-FCNM con el fin de evaluar el comportamiento y definir la proporción óptima para el uso en motores de combustión y por lo tanto, la más amigable con el medio ambiente.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 Problema

A través de los años la humanidad ha sido testigo de cómo los cambios ambientales han ido generando deterioro en la salud del planeta, por lo que la preocupación de distintas naciones se ha disparado generando nuevas ideas y proyectos a gran escala para combatir el mal que aqueja en la actualidad.

Hoy en día las pequeñas y grandes naciones se encuentran abarrotadas por medios de transporte ya sea masivos o individuales y Ecuador no es la excepción, aunque la idea del transporte ecológico se ha convertido en un tema del siglo actual. Sin embargo, la contaminación se mantiene y la preocupación de las diferentes instituciones a nivel mundial va en aumento.

Un vehículo genera contaminación a través de los gases que son expulsados del tubo de escape como son: CO, CO₂, SO_x, NO_x, material particulado y compuestos orgánicos volátiles.

Otro factor que impacta de forma negativa es el efecto invernadero, los gases que lo conforman se encuentran presentes de forma natural en la atmósfera en función del equilibrio de la temperatura del planeta tierra, pero el aumento de los mismos provoca daños irremediables en la salud del planeta. De todo lo antes mencionado, el componente que más contribuye a estos cambios climáticos es el CO₂, este elemento nocivo constituye el 80% de las emisiones totales siendo su principal fuente la quema de combustibles fósiles como el petróleo, gas y carbón. Además, es importante señalar que los gases de efecto invernadero poseen la característica ser de larga permanencia por lo que sus efectos se manifiestan en forma de lluvia ácida y el calentamiento global, que impacta en la economía y la salud de los seres vivos.

La búsqueda de nuevas fuentes de energía se ha convertido en un tópico de vital importancia sumando medidas alternas para reemplazar o minimizar el consumo de combustibles fósiles.

El precio inestable del crudo más el costo-producción de derivados de petróleo es una consecuencia de gran impacto en la economía de un país, por lo que, en el último año, varios países atraviesan graves crisis que repercute fuertemente en el desarrollo de una nación junto con su población.

Sumando el hecho de que el crudo se lo considera un recurso no renovable, surge en este proyecto la búsqueda de alternativas para reducir su consumo por medio de la investigación de mezclas de diésel con biodiesel como una posible solución a su consumo desmandado y contaminación provocada por el petróleo y sus derivados.

1.2 Justificación del problema

El parque automotor en Ecuador ha crecido en los últimos años por lo cual el consumo de hidrocarburos ha aumentado a un ritmo que se convierte en insostenible por lo limitado de los recursos naturales.

Desde tiempo atrás se considera fuertemente a los biocarburantes como una alternativa viable que aporta de manera positiva a la economía, salud y desarrollo de una nación.

De acuerdo con un estudio que se realizó en Estados Unidos por el Departamento de Energía la producción y uso de biodiesel reduce al menos el 78,5% de emisiones de CO₂ que el diésel; además EPA define que una mezcla B20 (20% de biodiesel con 80% de diésel) reduce emisiones de monóxido de carbono alrededor de un 20%. (Manual de biocombustibles IICA, 2009)

El biodiesel es un recurso que se obtiene a partir de aceite vegetal o animal lo cual se ha convertido en un posible sustituto de los combustibles fósiles con la ventaja de que proviene de una fuente renovable y se ha comprobado que se reducen los gases del efecto invernadero en un 35% con respecto a los carburantes fósiles (Gil, 2010).

1.3 Hipótesis

Las mezclas de diésel con biodiesel a diferentes proporciones pueden sustituir al diésel como combustible en el uso de motores de vehículos debido a sus propiedades, siempre dentro de los rangos permisibles de la norma que rige en Ecuador.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Optimizar las proporciones de mezclas de diésel-biodiesel para su uso en motores a diésel con el propósito de reducir las emisiones contaminantes.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar mezclas de diésel-biodiesel con el fin de determinar las proporciones adecuadas de las mezclas diésel-biodiesel de acuerdo a las normas vigentes en el medio nacional o internacional.
- Analizar los beneficios que se obtienen del uso de biodiesel y mezclas con diésel fósil.
- Comparar los resultados obtenidos con investigaciones realizadas en otros países y las variaciones de acuerdo a las normativas vigentes
- Conocer las propiedades del diésel, biodiesel y sus mezclas, para un correcto transporte, almacenamiento y manipulación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

MARCO TEÓRICO

2.1 Diésel

El diésel es un derivado del petróleo que se obtiene junto con el kerosene y naftas que poseen 10 a 21 átomos de carbono, se obtiene en las refinerías por medio de destilación atmosférica a temperaturas entre 215 a 338 °C.

Es un combustible que tiene un color verdoso con densidad superior a 850 Kg/m³, contiene principalmente un 75% de parafinas, isoparafinas y cicloparafinas y el restante de hidrocarburos aromáticos, es empleado en la industria y campo automotriz. Los tipos de diésel generalmente se distinguen por su contenido de azufre y otras propiedades como el índice de cetano.

2.1.1 Normas Legales del Diésel

A nivel mundial y local las normas que rigen para refinación del diésel son:

- Norma ASTM D975. Especificación estándar para combustible diésel.
- Norma EN 590:2004. Especificación para diésel (Unión Europea)
- Norma NTE INEN 1489:2012. Productos derivados del petróleo. Diésel. (Ecuador). (Tablas I, II y III).

Tabla I. Norma NTE INEN 1489:2012. Requisitos diésel No.1

Análisis	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	40	-	NTE INEN 1047
Contenido de agua	% en volumen	-	0,05	NTE INEN 1494
Índice de cetano calculado	-	40	-	NTE INEN 1495
Viscosidad cinemática @ 37,8°C	cSt	1,3	3,0	NTE INEN 810
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	288	NTE INEN 926
Contenido de azufre	% en peso	-	0,3	NTE INEN 1490
Corrosión lámina de cobre	-	-	No. 2	NTE INEN 927
Contenido de Cenizas	% en peso	-	0,01	NTE INEN 1492

Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	% en peso	-	0,15	NTE INEN 1491
---	-----------	---	------	---------------

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

Tabla II. Norma NTE INEN 1489:2012. Requisitos diésel No.2

Análisis	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1047
Contenido de agua	% en volumen	-	0,05	NTE INEN 1494
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Viscosidad cinemática @ 37,8°C	cSt	2,5	6,0	NTE INEN 810
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Contenido de azufre	% en peso	-	0,7	NTE INEN 1490
Corrosión lámina de cobre	-	-	No. 3	NTE INEN 927
Contenido de Cenizas	% en peso	-	0,01	NTE INEN 1492
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	% en peso	-	0,15	NTE INEN 1491

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

Tabla III. Norma NTE INEN 1489:2012. Requisitos diésel N° 2 de bajo contenido de azufre

Análisis	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1047
Contenido de agua	% en volumen	-	0,05	NTE INEN 1494
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Viscosidad cinemática @ 37,8°C	cSt	2,0	6,0	NTE INEN 810
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Contenido de azufre	% en peso	-	0,05	NTE INEN 1490
Corrosión lámina de cobre	-	-	No. 3	NTE INEN 927
Contenido de Cenizas	% en peso	-	0,01	NTE INEN 1492
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	% en peso	-	0,15	NTE INEN 1491

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

Si bien bajo la amenaza de agotamiento del petróleo sumado a la necesidad de buscar nuevas energías más limpias ha generado un salto importante al uso de otras fuentes de energía y biocombustibles, pero aún se encuentra lejos de eliminar por completo la dependencia de los combustibles fósiles.

En el año 2009 la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo) menciona que la demanda mundial de combustible destilado crecerá más rápido principalmente diésel en comparación a otro producto refinado de petróleo en proyección hacia el año 2030.

2.1.2 Tipos de Diésel

Diésel N°1.- Es el combustible empleado en máquinas que requieren cambios frecuentes de velocidad y carga, así como también para usos domésticos.

Diésel N°2.- Es el combustible utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna de auto ignición.

Diésel N°2 de bajo contenido de azufre. - Es el combustible utilizado en automotores de diésel, que requieren de bajo contenido de azufre y alta velocidad.

2.1.3 Propiedades

Los parámetros que determinan la calidad del diésel y que se han considerado dentro del desarrollo del presente trabajo se describen a continuación.

Punto de fluidez: Es un indicador aproximado de la parafinidad y aromaticidad relativa del crudo. Un punto de fluidez bajo nos indica un mínimo contenido en parafinas, pero un máximo contenido en aromáticos.

Contenido de azufre: Es una propiedad de mayor influencia en el precio del crudo, la cual se expresa en un tanto por ciento en peso de azufre y varía según la región de origen del petróleo.

Punto de inflamación: Es la temperatura mínima a la cual los vapores emitidos por un producto se inflaman cuando se los pone en contacto con una llama; así mismo nos da una idea de la cantidad de compuestos volátiles, además se puede estimar las condiciones será almacenado el combustible. Esta prueba se la puede realizar en vaso abierto de Cleveland o en vaso cerrado Pensky-Martens.

Punto de anilina: es la temperatura crítica de solución de una mezcla en volúmenes iguales de anilina y producto. Esta prueba nos ayuda en la evaluación del poder de solvencia de las naftas del petróleo.

Residuo de carbón: Se utiliza para cuantificar el material sólido carbonoso que queda después de que el combustible ha sido sometido a evaporación completa, seguida de un proceso de pirolisis o quemado. Este ensayo se lo ejecuta mediante dos métodos convencionales: el método Conradson (ASTM D189) y el método Ramsbottom (ASTM D524)

Contenido de cenizas: indica la cantidad de material no combustible, como la sílice y residuos metálicos que están presentes en el producto.

Corrosión a la lámina de cobre: Según indica la norma ASTM D130 este ensayo se lo realiza para descubrir la presencia de azufre libre y sus compuestos en los crudos y derivados los cuales producen corrosividad. Se clasifica de la siguiente manera:

- No. 1 Cobre color claro
- No.2 Coloración roja o latón
- No.3 Coloración negra o parpada

Índice de cetano: Es un parámetro que guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el inicio de la combustión. Una combustión eficiente se desarrolla cuando la ignición es rápida seguida de un quemado total del carburante.

Si el índice de cetano es mayor, el retraso en la ignición es menor y por lo tanto, es mejor la calidad de combustión. Mientras, si es menor provoca un ruido excesivo, las emisiones aumentan y el rendimiento del vehículo es menor.

Para mejorar el índice de cetano se emplean mejoradores o aditivos en pequeñas proporciones, entre los más comunes están los nitratos, peróxidos y aldehídos. Una desventaja es el aumento de emisiones de NO_x .

Densidad: En los combustibles se mide la Gravedad API, que está relacionada directamente con la densidad, para esto se utiliza un hidrómetro. En el caso particular el diésel está en un rango de 25 a 35 °API.

Las siguientes comparaciones son importantes:

- Si la Gravedad API disminuye, el punto de ebullición es más alto y, el producto se hace menos parafínico.
- Gravedad API alta, indica una buena ignición y mayor será su capacidad calorífica.

Volatilidad: Es la capacidad que tienen los líquidos para cambiar al estado gaseoso. Es muy volátil si se evapora fácilmente a temperatura ambiente como el caso de los combustibles.

Permite conocer características como la combustión, transporte y los cuidados con la manipulación de los combustibles. Para el biodiesel se determina la curva de destilación ASTM y el punto de inflamación.

El punto inicial de destilación del gasóleo está entre 160 a 190 °C y el punto final máximo de 370°C.

Fluidez: Es una propiedad que tienen los fluidos para moverse en un espacio, mientras mayor sea la facilidad. Para los combustibles se controla este parámetro, de lo contrario puede ocasionar problemas en el transporte y se utilizan anticoagulantes.

Corrosión: Sirve para determinar los compuestos de azufre que pueden provocar corrosión y emisiones de SO_x , existen métodos cualitativos y cuantitativos, para el primero se utiliza una lámina de cobre pulida que debe permanecer en la muestra y en un baño durante tres horas, el resultado es un cambio de color de la barra de cobre. Otro método cualitativo es mediante la prueba doctor, mientras que los métodos cuantitativos son por la lámpara, horno de alta temperatura y por medio del analizador de azufre de baja concentración.

Aromáticos: Son moléculas que poseen al menos un anillo de benceno, afecta la combustión, aumenta la formación de material particulado y las emisiones de NO_x .

Lubricidad: Las bombas de diésel dependen de la lubricidad del combustible. Al reducir el contenido de azufre, las propiedades lubricantes naturales también disminuyen.

2.1.4 Diésel en el Ecuador

En el país, según datos del balance energético nacional 2015 (figura I), la energía consumida por diésel representa el 31%, el 28% corresponde a las gasolinas y el restante a electricidad.

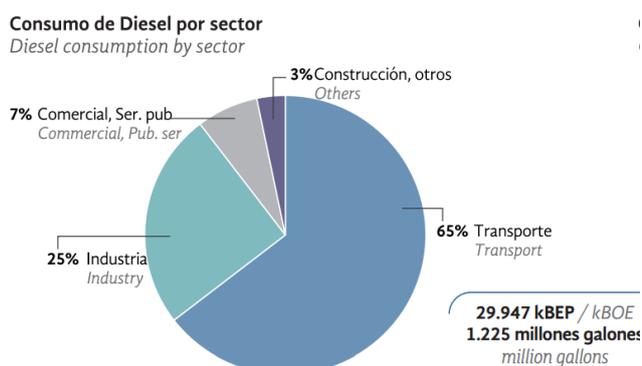


Figura I. Sectores que utilizan diésel en Ecuador

Fuente: Balance Energético Nacional, 2015 (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos).

En la tabla IV, se presenta la producción, consumo e importación de diésel, siendo el mes de agosto donde se importó la mayor cantidad.

Tabla IV. Cifras del sector petrolero ecuatoriano en miles de barriles de diésel en el 2016.

Año 2016	Producción	Consumo interno	Importación de derivados
Enero	1240,4	2.729,2	1.821,9
Febrero	1.044,2	2.477,3	1.549,0
Marzo	1.308,5	2.488,1	1.258,2
Abril	1.141,3	2.416,1	1.034,9
Mayo	1.139,1	2.455,2	743,9
Junio	1.094,6	2.474,6	1.526,7

Julio	1.053,5	2.467,4	1.279,3
Agosto	801,9	2.640,6	2.043,5
Septiembre	933,2	2.650,2	1.565,1
Octubre	1.122,1	2.666,5	1.559,6
Noviembre	1.102,3	2.731,6	1.572,2

Fuente: Banco Central del Ecuador

“El 90% del diésel 2 importado se destinaba al sector industrial, es decir, que obtenía grandes beneficios por parte del Estado”, (Merizalde, 2015). Mediante Decreto Ejecutivo 799 suscrito el 15 de octubre de 2015. El subsidio se retira para aquellas empresas cuyo consumo sea más de 2000 galones al mes. El impacto depende de la fuente de energía de las empresas, para aquellas que utilizan biomasa o GLP no se verán afectadas, mientras que las industrias cafetaleras que en promedio emplean entre 1500 a 5000 galones por mes tendrán un gran impacto. El 4% del total de las empresas que usan diésel industrial se beneficiaban del 52% de subsidio (figura II).

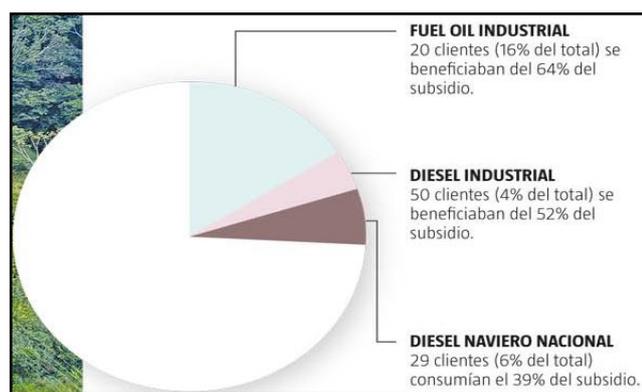


Figura II. Grupo de clientes que consumían la mayor parte del subsidio

Fuente: ARCH, PEC, Min. Hidrocarburos

2.2 Biodiesel

Es un combustible renovable que contiene ésteres etílicos o metílicos de ácidos grasos derivados de aceites vegetales nuevos o usados, grasas animales y provenientes de los restaurantes. Se obtiene mediante esterificación y trans-esterificación.

Los aceites vegetales más utilizados para la obtención de biodiesel son de palma, girasol, piñón, colza y soya.

2.2.1 Mecanismo de reacción para obtención de biodiesel

La trans-esterificación es una reacción entre un triglicérido contenido en el aceite vegetal o grasa animal y metanol o etanol, utilizando como catalizador NaOH o KOH, obteniendo como producto ésteres y como subproducto glicerol (figura III).

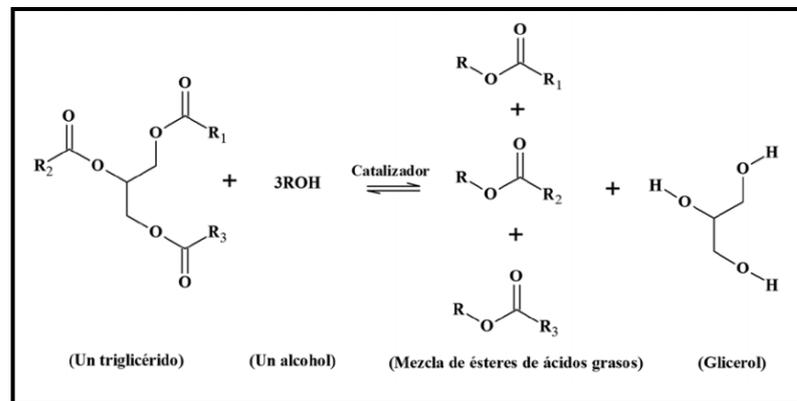


Figura III. Mecanismo de reacción para obtención de biodiesel

Fuente: Grey C. Castellar Ortega, Edgardo R. Angulo Mercado y Beatriz M. Cardozo Arrieta (2014).

2.2.2 Características del biodiesel

Las propiedades del biodiesel son similares a las del diésel, presenta ciertas ventajas por ser un combustible renovable y limpio, incide directamente en el medio ambiente al producir menos emisiones de carbono y otros contaminantes atmosféricos. El 85% se degrada en 28 días aproximadamente en comparación con los combustibles fósiles que tardan años.

Es un líquido a temperatura ambiente donde el color varía de marrón a dorado dependiendo del proceso de obtención.

2.2.3 Ventajas

- Posee mayor índice de cetano.
- No contiene azufre.
- La combustión es buena con menor consumo de aire.
- Puede utilizarse en mezclas con diésel.

2.2.4 Desventajas

- Degrada el caucho natural, este material debe ser sustituido por elastómeros sintéticos.
- Posible corrosión por trazas de metanol o etanol.
- En algunos casos aumento de emisiones de aldehídos por restos de glicerina en un proceso de obtención ineficiente.
- Puede haber precipitación de mono, di y triglicéridos.
- Contiene restos de metales Na, K, Ca y Mg, que resultan de residuos de catalizador o por jabones insolubles.
- La viscosidad puede aumentar con disminución de temperatura.
- El punto de fluidez puede ser alto.

2.2.5 Normas legales

A nivel mundial y local las normas que rigen para el biodiesel como combustible son:

- Norma ASTM D 6751:2012. Especificación estándar para mezclas de combustible biodiesel (B100) para los combustibles destilados medios. (Tabla V)

- Norma EN 14214:2008. Especificación para biodiesel (Unión Europea) (Tabla VI).
- Norma NTE INEN 2482:2009. Requisitos biodiesel (Ecuador), (Tabla VII)
 - ANP 7/08 (Brasil)

Tabla V. Norma ASTM D6751-12. Especificación biodiesel

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

Fuente: American Society for Testing Materials (ASTM).

Tabla VI. Norma EN 14214-08. Especificación biodiesel

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

Metales grupo II (Ca+Mg)	mg/Kg	-	5,0
Contenido en fósforo	mg/Kg	-	10

Fuente: Comité Europeo de Normalización (EN)

Tabla VII. Norma NTE INEN 2482 (2009). Requisitos biodiesel

Análisis	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de análisis
Densidad @ 15,6°C (60 °F)	Kg/m ³	860	900	ASTM D 1298
Punto de inflamación	°C	120	-	ASTM D 93
Punto de turbidez	°C	Reportar		-
φ Agua y sedimento	%	-	0,05	ASTM D 1796
Contenido de agua	mg/Kg	-	500	ASTM D 95
Viscosidad cinemática @ 40°C	mm ² /S	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ASTM D 874
Contenido de azufre	mg/Kg	-	10	ASTM D 1552
Índice de cetano calculado	-	49	-	ASTM D 613
Temperatura de ebullición al 90% de destilado	°C	-	360	ASTM D 1160
W Glicerina libre	%	-	0,02	ASTM D 6584
W Glicerina total	%	-	0,25	ASTM D 6584
W Contenido de ésteres	%	96,5	-	EN 14103
Índice de yodo	G yodo/100 g	-	120	EN 14111
W Contenido de metanol	%	-	0,20	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fósforo	mg/Kg	-	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na + K)	mg/Kg	-	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca + Mg)	mg/Kg	-	5	prEN 14538
Número de acidez	mg KOH/g	-	0,5	ASTM D 664

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN)

2.2.6 Biodiesel en Ecuador

En 2013 se dispuso mediante el Decreto Ejecutivo 1303 que el diésel debe contener 5% de biodiesel y se irá incrementando hasta una mezcla de 10%, con fines medioambientales y estimular la actividad agrícola.

Para alcanzar una mezcla de 5% y satisfacer la demanda interna, se requieren 240 millones de litros de biodiesel al año, sin embargo, considerando como materia prima el aceite de palma para la producción

de biodiesel, sólo se cubriría un 30% del requerimiento. Se espera además sustituir la materia prima para producir biodiesel por piñon de tempate, aceite de cocina usado, biomasa y sebo animal.

El ministerio de agricultura identificó 332.75 hectáreas donde se puede cultivar la palma aceitera para producción de biodiesel de una forma agroecológica, para este caso la inversión privada estimada es de USD 130 millones y pública de USD 1 millón.

La producción anual de biodiesel es de 140 millones de litros, de los cuales 85 millones de litros pueden ser destinados para el programa de biodiesel.

En el país hay empresas que producen biodiesel, la más importante es La Fabril que utiliza aceite de palma como materia prima, pero se pueden presentar problemas potenciales como la presencia alta de estearinas, que tienden a solidificarse y precipitar a cierta temperatura constituyendo un problema de transporte, por lo tanto, se requiere tomar medidas como el uso de aditivos anticoagulantes logrando así el proceso de winterización, es decir la preparación para el frío. Estos puntos tratados influyen directamente en el costo del biodiesel. (Barriga, 2007).

2.3 Mezcla Diésel-Biodiesel: historia, especificaciones, experiencia a nivel mundial y en Ecuador

Las mezclas diésel-biodiesel pueden tener diferentes concentraciones, donde B100 significa que es biodiesel puro. Otras proporciones son usadas comúnmente en otros países como Estados Unidos entre ellas B5, B10, B15 y B20 (5, 10, 15 y 20% en volumen de biodiesel respectivamente y el volumen restante diésel).

En Europa el uso de mezclas diésel-biodiésel en vehículos depende de los fabricantes, permitiendo usar mezclas B100 o B30 en pocos, pero en la mayoría existe aprobaciones sólo para B5 y que cumpla con la norma EN 590, el incremento del porcentaje conlleva a realizar modificaciones en los vehículos.

En Estados Unidos, la mezcla B5 debe cumplir la norma D 6751 para ser utilizado, donde la calidad del combustible es importante por temas de estabilidad de mezclas y variación de sus propiedades. En vehículos fabricados antes de 1994 pueden utilizarse mezclas hasta B20 sin mostrar variaciones significativas, pero debe evitarse el uso de porcentajes mayores porque pueden contener elastómeros que sensibles al deterioro. Actualmente el sitio web del Centro de Datos de Combustibles Alternativos (AFDC) posee información sobre sitios de abastecimiento de mezclas B20 y superiores (U. S. Department of Energy, 2015).

Para el uso de este combustible se necesita de aditivos anticoagulantes o mejoradores de flujo, ya que permiten un buen comportamiento a bajas temperaturas, pero debe ser selectivo dependiendo de la materia prima para obtener biodiésel porque puede tener efectos invertidos. Además, se realizaron ensayos para determinar las variaciones de las mezclas B5, 15 y B30, destacando las siguientes conclusiones:

- Torque máximo: No existen diferencias significativas
- Potencia máxima: Se asemejan a la magnitud de B100
- Temperatura de los gases de escape: No se presentan diferencias significativas
- Opacidad: Con la mezcla B5 la opacidad máxima es incrementada, mientras que con las demás mezclas disminuye.

En Bogotá se efectuó una investigación en dos etapas con mezclas B5, 10, 20, 30 y 50, la primera a escala de laboratorio para comprobar los beneficios del biodiésel de palma puro y las mezclas, reduciendo las emisiones de material particulado, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono. En la segunda

etapa se evaluó el desempeño en 12 buses con motores diésel a 2600 m sobre el nivel del mar con un recorrido de 100.000 Km.

El nivel de opacidad promedio resultó inferior comparado con el diésel convencional y revisiones posteriores del motor afirman que no hay variabilidad, por lo que no se requieren modificaciones y las mezclas pueden ser utilizadas sin afectaciones. (Ganduglia, 2009)

En un trabajo previo, se caracterizaron las mezclas 20, 30, 50 y 70%, buscando una correlación, trazando las curvas respectivas y tratar de predecir el comportamiento de otras proporciones de mezcla sin necesidad de analizarlas usando los métodos correspondientes. Como resultados la densidad, punto de escurrimiento, viscosidad, calor de combustión, contenido de aromáticos y parafinas, poseen un coeficiente de correlación superior a 0.95, siendo posible predecir los resultados de diferentes proporciones de mezcla. (Schumacher, 1995)

La procedencia del biodiesel es un factor importante que influye en las mezclas con diésel, así lo demuestra un estudio de la Universidad Nacional de Colombia, donde se analizó el biodiesel procedente de la palma, higuera y aceite de fritura. Los resultados evidencian que una mezcla de diésel de palma/ diésel de higuera/petrodiésel (PB10/HB10/D80) es beneficiosa porque consume menos combustible y genera baja composición de CO, a diferencia de otras mezclas que tienen efectos perjudiciales y generan más contaminación que el diésel convencional. (Flores y Rojas, 2009).

Tabla VIII. Mandatos de biocombustibles en el mundo

País	Porcentaje de mezcla (%)	Año (Mandato)
Argentina	8	2013
Chile	5	Sin mandato
Costa Rica	20	Sin mandato
Ecuador	5	2013
Brasil	7	2016
Canadá	2	2011
Noruega	3,5	2012
Indonesia	10	2014

Corea del Sur	2,5	2015
Taiwán*	1	2008
Sudáfrica	5	2015

* Se incrementó a 2%, pero se redujo nuevamente a 1% porque se culpó a la mezcla de obstruir los tanques como consecuencia del incremento microbiano que resultó del clima húmedo y el bajo contenido de azufre.

Fuente: *Biofuels Mandates around the world*, (Jim Lane, 2016)

2.3.1 Mezclas Diésel-Biodiesel en Ecuador

Un trabajo previo realizado en Quito, describe los análisis de las propiedades y caracterización de la composición química para mezclas diésel-biodiesel a 2, 5, 8, 10 y 15% en volumen y se menciona que la mezcla 5% es apropiada para el consumo por cumplir las especificaciones de la Norma NTE INEN 1489:2012.

Las emisiones contaminantes provocadas por esta mezcla son inferiores en comparación al uso de diésel, pues se muestra una significativa disminución de NO_x, HC, CO, CO₂ y material particulado.

Para este estudio se utilizó biodiesel de Palmar del Río y de La Fabril, el primero según la tabla N°2 no cumple con las especificaciones de la norma INEN, mientras que el segundo posee baja viscosidad, esto permite conocer que hay una diferencia entre la materia prima y el proceso utilizado.

Tabla IX. Caracterización de Biodiesel La Fabril y Palmar de Río

Ensayo	Unidad	Min.	Máx.	Biodiesel La Fabril	Biodiesel PDR	Método de ensayo
Densidad a 15°C	Kg/m ³	860	900	875,31	900,4	ASTM D287
Punto de inflamación	°C	120	-	130	90	12TM D93
Agua y sedimentos	%	-	0,05	<0,025	<0,025	ASTM D96
Contenido de agua	mg/Kg	-	500	330,11	2911,13	ASTM D95
Viscosidad	mm ² /s	3,5	5	1,94	6,35	ASTM D445

cinemática a 40°C						
Contenido de azufre	%	-	0,02	0,0145	0,0155	ASTM D4294
Corrosión lámina de cobre	Clasif.	-	3	1 ^a	1a	ASTM D130
Número de cetano	-	49	-	48,56	39,71	ASTM D976
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	-	360	337	339	ASTM D86
Cont. Metales alcal (Na+K)	mg/Kg	-	5	0,62	1,09	EN 14108
Poder calórico	KJ/Kg	-	-	39,3927	38,8681	ASTM D240

Fuente: Valencia Lyanne, (2013)

Las emisiones por el uso de biodiesel disminuyen considerablemente, aunque hay un ligero aumento de los óxidos de nitrógeno, la reducción de material de particulado se debe a una menor presencia de fracción orgánica volátil.

2.3.2 Normas legales

A nivel mundial única norma para mezclas de diésel y biodiesel es:

- ASTM D7467. Especificación estándar para mezclas de combustible diésel-biodiesel (B6 a B20). (Tabla x)

Tabla X. Norma ASTM D7467-10. Especificación estándar para diésel-biodiesel mezcla (B6-B20).

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo
Punto de inflamación	°C	52	-
Agua y sedimentos	% Vol	-	0,05
Ceniza	% (m/m)	-	0,01
Azufre			
- S15	ppm	-	0,0015
- S500	ppm	-	0,05
Corrosión en lámina de cobre	Clasificación	-	No. 3
Índice de cetano	-	40	-
Residuo carbonoso	% (m/m)	-	0,35
Valor ácido	mg KOH/g	-	0,3
Estabilidad a la oxidación	Horas	6	-
Lubricación	Micrones	-	520
Contenido de biodiesel	% Volumen	6	20

Fuente: American Society for Testing Materials (ASTM).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

METODOLOGÍA

3.1 Preparación de mezclas

- Materiales y reactivos
- 2 probetas graduadas de 1000 ml
- Embudos
- Reactor (caneca común)
- Termómetros
- Diésel Premium
- Biodiesel de La Fabril

3.2 Procedimiento

B5:

1. Para realizar la mezcla de diésel-biodiesel se debe tomar a consideración que se la realizará con un 95% de diésel y un 5% de biodiesel del volumen total a utilizar.
2. Medimos la temperatura de los reactivos y ambiente. Lo óptimo es desarrollar este procedimiento a temperatura ambiente.
3. Colocamos la mitad del volumen a utilizar de diésel en el reactor para luego añadir el total de biodiesel y formar la mezcla, sellamos con un tapón para evitar fugas, y se procede a una correcta agitación manual por un lapso de cinco a diez minutos.
4. Posteriormente añadimos a la mezcla en partes iguales el diésel restante, sellamos y se procede con la agitación.
5. Se repite el paso 4 hasta finalizar con el total del volumen a utilizar.

6. La mezcla final (B5) se almacena en refrigeración.

7. El procedimiento antes mencionado se aplica para las mezclas restantes B10, B15 y B20.

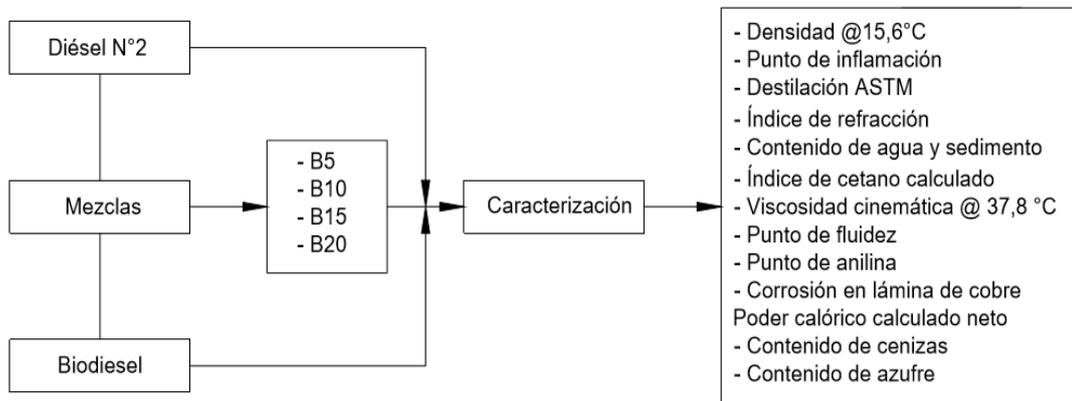


Figura 5. Esquema de la metodología para caracterización de mezclas de diésel-biodiésel.

Elaborado por: (Borbor y Velasteguí, 2017)

Tabla XI. Resumen de los ensayos y métodos utilizados

Ensayo	Método	Equipos	Lugar
Densidad @ 15.6 °F	ASTM D 287 INEN 2319	Hidrómetro	Laboratorio de Hidrocarburos DCQA_FCNM
Punto de inflamación	ASTM D 93 INEN 0808	Aparato Cleveland de vaso abierto	
Índice de refracción			
Temperatura de destilación al 90% recuperado	ASTM D 86 INEN 926	Matraz Engler, Equipo destilación ASTM, probeta y termómetro.	
Agua y sedimentos	ASTM D 96 INEN 1494	Centrífuga y tubos	
Viscosidad cinemática @ 37.8 °C	ASTM D 445 INEN 0810	Viscosímetro y baño	
Punto de fluidez	ASTM D97-93 INEN 1982	Baño de enfriamiento y termómetros	
Índice de cetano calculado	ASTM D 976	-	
Punto de anilina	ASTM 611 INEN 2321	Baño de calentamiento y enfriamiento, termómetro	
Índice de diésel	-	-	
Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D 130 INEN 0927	Baño de calentamiento, cilindro de ensayo, lámina de cobre	
Poder calorífico calculado neto	ASTM D 240	Calorímetro IKA C 200	Refinería La Libertad
Contenido de azufre	ASTM D 5453	Analizador de azufre de baja concentración ANTEK	

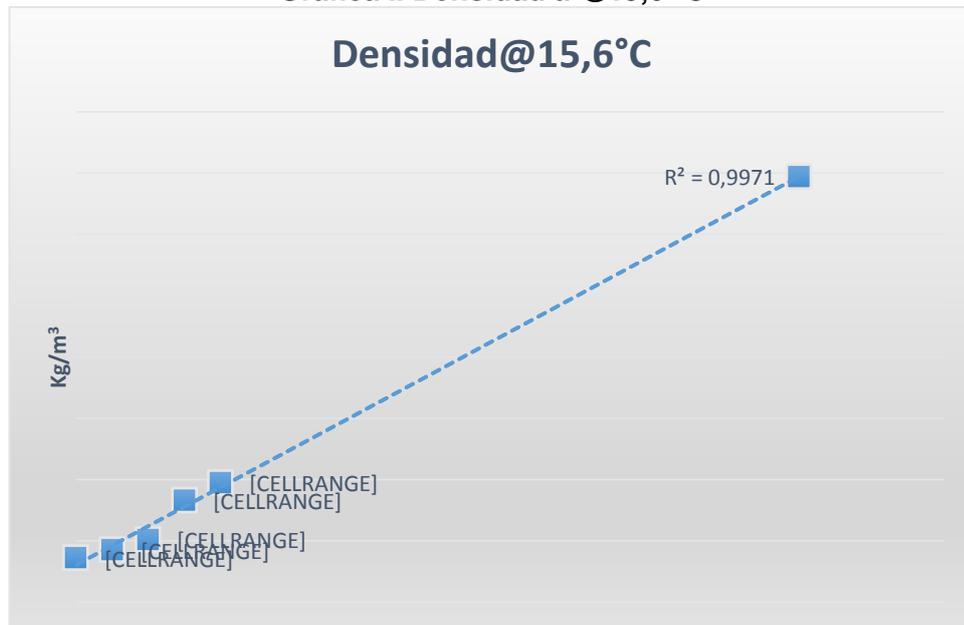
Elaborado por: (Borbor y Velasteguí, 2017)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Presentación de resultados

Gráfica I. Densidad a @15,6° C



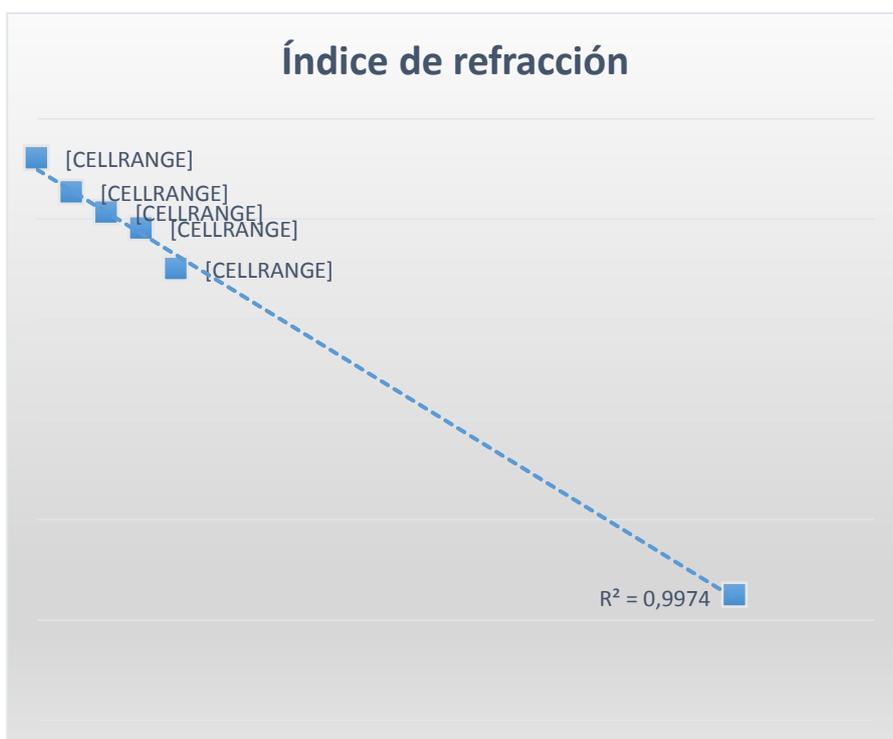
Gráfica II. Punto de Inflamación



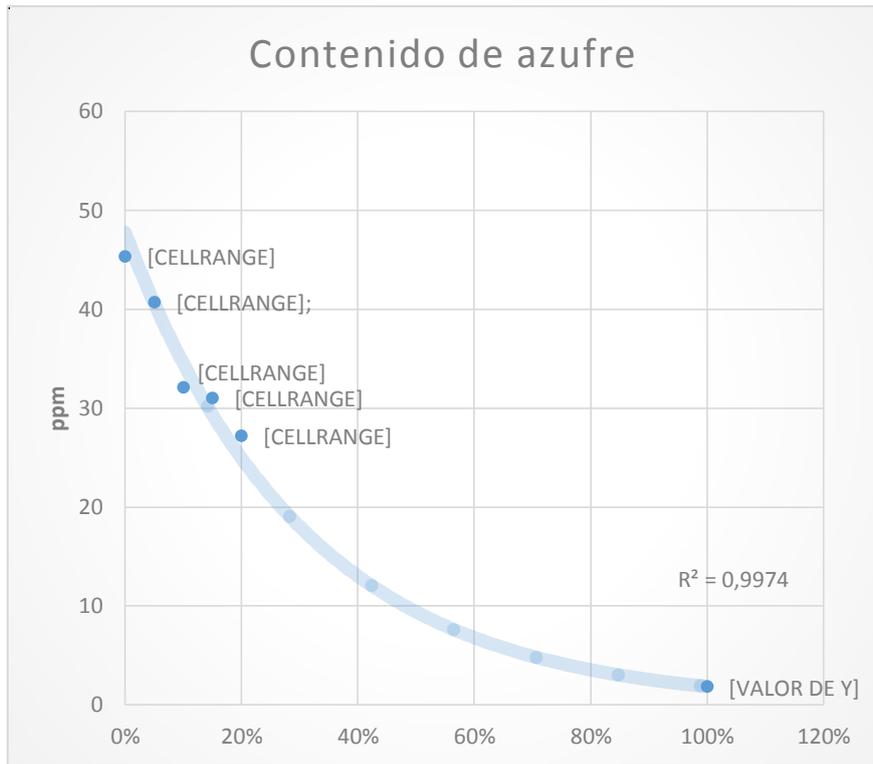
Gráfica III Punto de anilina



Gráfica IV Índice de refracción



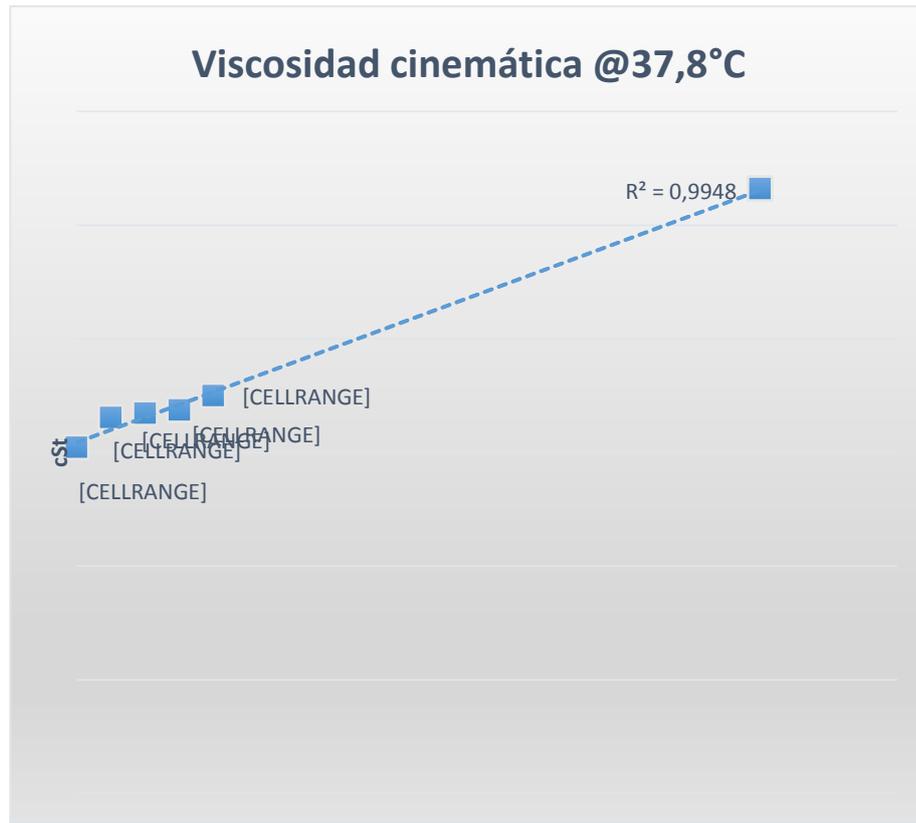
Gráfica V. Contenido de Azufre



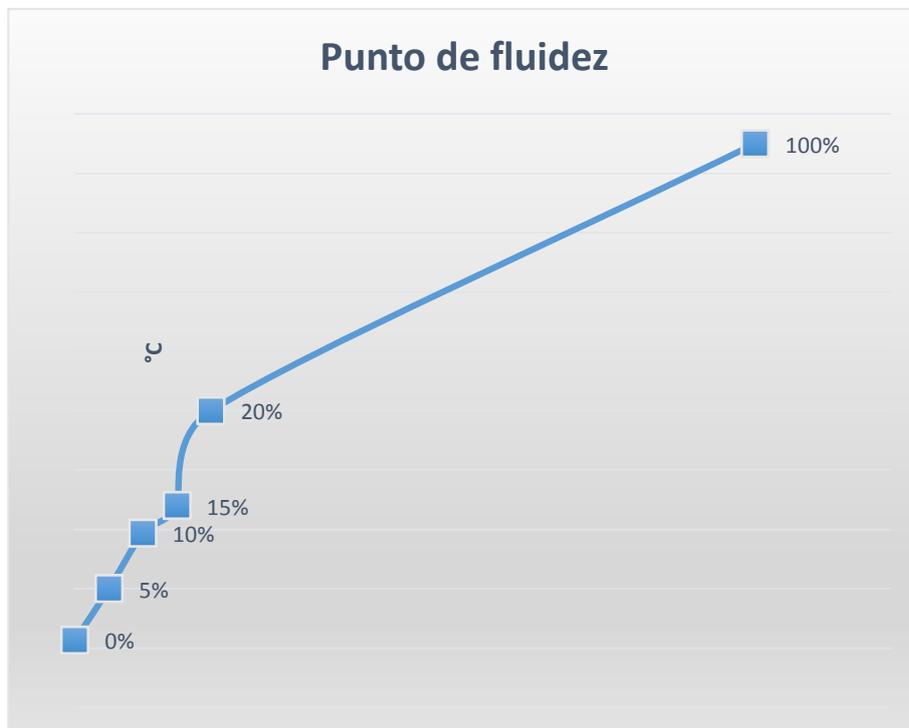
Gráfica VI Índice de cetano calculado



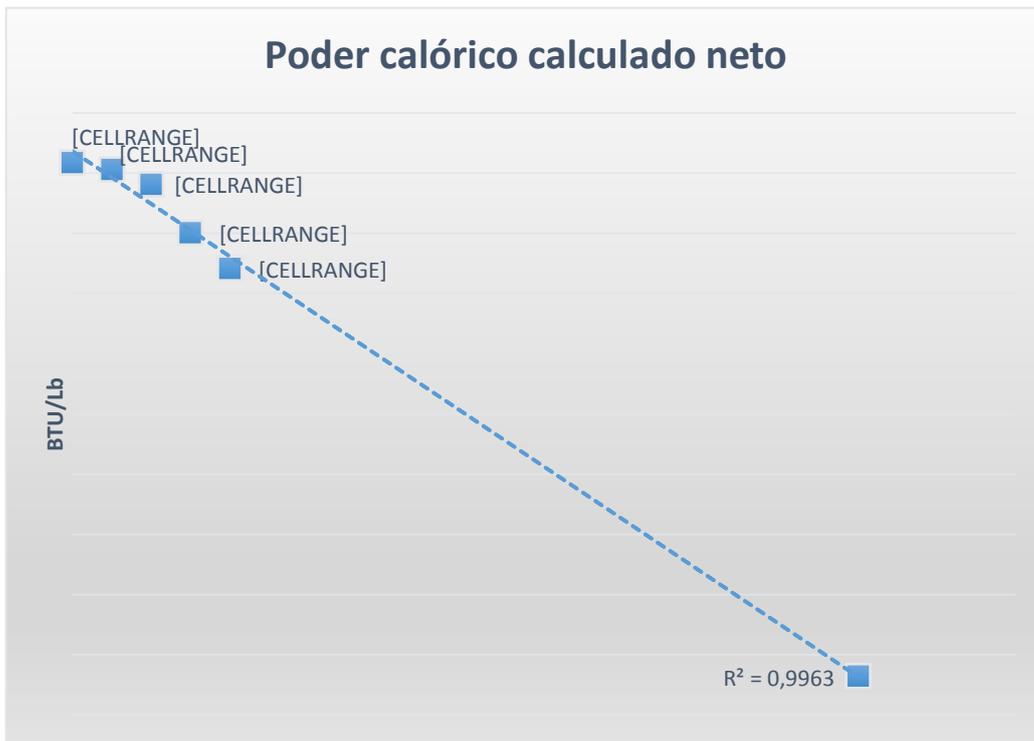
Gráfica VII. Viscosidad cinemática @37.8 °C



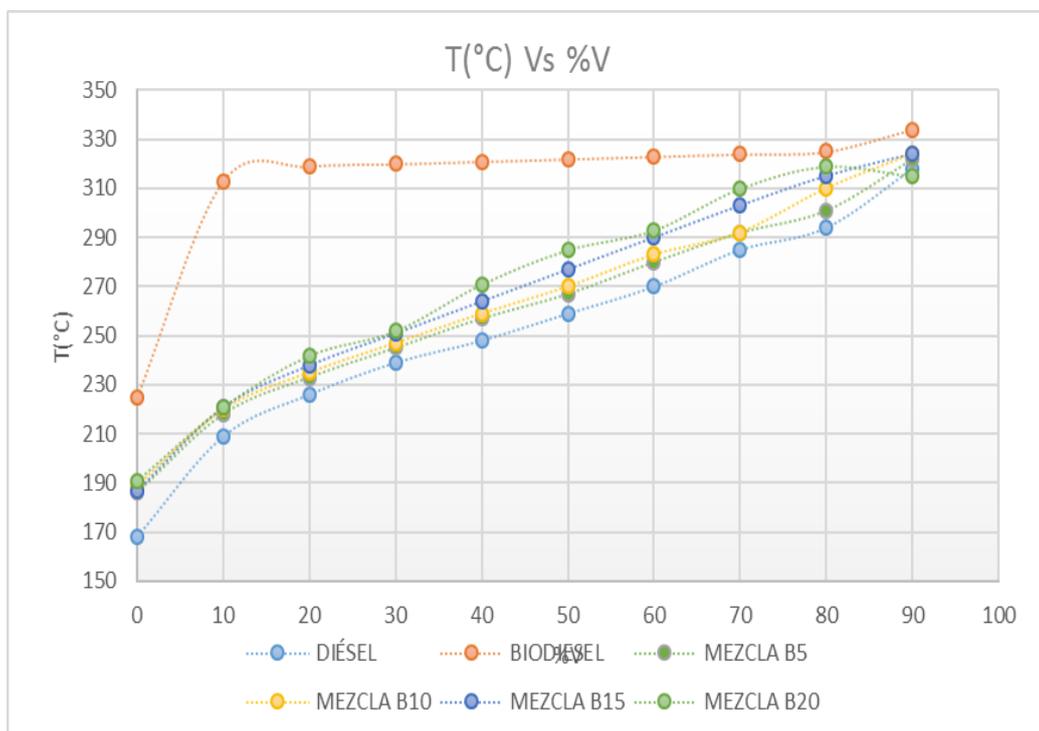
Gráfica VIII. Punto de fluidez



Gráfica IX Poder calórico calculado neto



Gráfica X. Destilación ASTM



4.2 Discusión de resultados

- Aquellos parámetros que posean un coeficiente de regresión lineal superior a 0,95 serán de utilidad para predecir los resultados de diferentes mezclas por simple interpolación.
- Como podemos observar, la densidad del biodiesel es mucho mayor que la del diésel por lo tanto esta propiedad es aditiva; es decir; la densidad irá en aumento en las mezclas a medida que el porcentaje de biodiesel crece.
- Los valores registrados en el punto de inflamación entre el biodiesel y el diésel presentan un amplio rango de diferencia, por lo que, a medida que aumenta la proporción en volumen de biodiesel en una mezcla, su punto de inflamación crecerá.
- El punto de anilina es un referente del contenido de parafinas; el diésel va a necesitar menos energía para su ignición por ende su combustión será mejor en comparación al biodiesel; en las mezclas no es recomendable grandes proporciones de biodiesel ya que el punto de anilina va a disminuir y la combustión no será buena.
- El biodiesel por ser una fuente de energía limpia y renovable aportará en las mezclas a la reducción de las emisiones contaminantes que son arrojadas por el tubo de escape de un vehículo; el contenido de azufre y compuestos de azufre disminuyen mientras las proporciones de biodiesel son mayores en las mezclas.
- El índice de cetano con la temperatura de ignición guardan una estrecha relación ya que son inversamente proporcionales, a medida que el índice de cetano aumenta, la temperatura de ignición disminuye por lo que reduce las emisiones contaminantes, mejora la calidad del combustible y aumenta la eficiencia de un motor.
- La curva de destilación ASTM, no denota diferencia significativa entre el diésel N°2 y las mezclas B5, B10, B15, sin embargo, presenta una variación

de temperatura del 90% de volumen recuperado en la mezcla B20, mostrando un valor inferior a las mezclas antes mencionadas. Además, no existe diferencia alguna en la temperatura de las mezclas B10 y B15; esto puede ser observado con facilidad en la gráfica X.

- La densidad es una propiedad que en el caso del biodiesel reflejará variaciones según la materia prima del cual se haya obtenido sumándole su proceso de transesterificación, un valor bajo es sinónimo de presencia de metanol.
- El punto de fluidez es una propiedad importante que nos permite conocer el límite mínimo de temperatura a la que se puede manipular el combustible, para el caso de biodiesel, la temperatura de escurrimiento es 12.50°C.
- El contenido de agua y sedimentos sumando la corrosión a la lámina de cobre no presentan diferencias, esto se debe a que las cantidades en las muestras analizadas son pequeñas e inferiores a la capacidad de lectura en los instrumentos que han sido utilizados para caracterizarlas.
- No es posible observar el punto de anilina en el biodiesel ya que presenta una mezcla homogénea lo que dificulta apreciar la turbidez.
- Los hidrocarburos aromáticos poseen puntos de anilina más bajos, esto quiere decir que el diésel N°2 contiene más parafinas que el biodiesel.
- El índice de refracción, la viscosidad cinemática muestra una regresión lineal, es decir que se pueden predecir con facilidad para cada mezcla mediante técnica de interpolación, pero es aconsejable tener la certeza de los resultados de los combustibles antes de efectuar las mezclas.
- La reducción de emisiones contaminantes ya que el contenido de azufre y compuestos disminuye en las mezclas es un logro importante para el ámbito ambiental, sin embargo, no es recomendable ya que a menos componentes de azufre presentes disminuye la lubricidad por lo que ocasiona daños en los

componentes del motor, un comportamiento idéntico a lo que en su debido momento ejercía el plomo en la gasolina.

- La mayoría de las propiedades no presentan una tendencia lineal y varían una de otras de la materia prima que haya sido utilizada para la obtención del biodiesel.
- El índice de cetano es más alto en las mezclas de 10 y 15%, es decir que el tiempo de encendido del combustible es menor en estas proporciones, sin embargo, para el biodiesel el tiempo es mayor.
- En la destilación ASTM, se observa que para las mezclas B10, B15 y B20, la temperatura inicial de destilación tiene una diferencia mínima, es decir que sería importante reproducir esta propiedad en un motor, para analizar las posibles variaciones y el tiempo que tarda en el arranque.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se debe considerar la incorporación de aditivos anticoagulantes para aumentar el punto de fluidez del biodiesel y las mezclas.
- Un alto índice de cetano nos indica que las mezclas se inflamarán con mayor facilidad, por lo que reduce el tiempo de encendido de un motor por ende las emisiones contaminantes bajan.
- A mayores proporciones de biodiesel en la mezcla su contenido de azufre tiende a disminuir, por lo que se está obteniendo un combustible amigable con el medio ambiente en comparación con el diésel convencional.
- Para elaborar el biodiesel se necesita controlar el contenido de agua, puesto que una cantidad elevada ocasionaría problemas como la hidrólisis, corrosión y proliferación microbiana. Además, que la presencia de sedimentos indicaría impurezas, jabones y sustancias insaponificables que afectan y obstruyen los filtros.
- La viscosidad cinemática puede resultar ventajosa o perjudicial. El contenido de agua y sedimentos se debe analizar conjuntamente con la viscosidad. Si esta es alta, es probable que exista degradación térmica y oxidativa, caso contrario puede contener exceso de metanol.
- El uso de biodiesel en mezclas tiene ciertas desventajas en las propiedades como disminución de la lubricidad provocada por la baja concentración de azufre y desmejoramiento de las propiedades en frío.
- Para obtener un resultado más preciso de índice de cetano se requiere efectuar el ensayo en un motor de diésel. En este caso mientras el punto de anilina disminuye, el índice de cetano aumenta.
- La caracterización de mezclas diésel-biodiesel, proporciona resultados que nos permite conocer un perfil de sus propiedades, como la manipulación,

transporte, almacenamiento, propiedades de fluidez que dependen del ambiente, emisiones y rendimientos. Todo esto nos permite elegir a nuestro criterio la mejor opción para economizar y colaborar con el medio ambiente, además es importante conocer la procedencia del combustible, ya que su comportamiento es diferente y puede provocar perjuicios.

- El diésel N°2 cumple con la norma INEN, mientras que el biodiesel posee una viscosidad mayor que el límite máximo permitido, pero puede reducirse cuando se mezcla con diésel fósil.
- La presencia de compuestos de azufre tiene como consecuencia la corrosividad, pero el combustible posee buena lubricidad. Sin embargo, la cantidad de azufre en la muestra de diésel empleada para este proyecto es baja, por lo tanto, el efecto corrosivo y lubricidad también, pero se puede mejorar mezclando con biodiesel sin necesidad de aditivos. Cuando el diésel empleado contenga una cantidad importante de azufre, este también se reducirá.
- Los resultados obtenidos nos permiten interpretar las ventajas y desventajas que posee cada mezcla, y nos ayuda a recomendar el uso de proporciones de 10 y 15%, donde el combustible puede ser utilizado sin necesidad de un aditivo. La desventaja es que en el país no se emplean motores diseñados para utilizar mezclas superiores al 5%, pero según los ensayos se puede utilizar la mezcla de 10% como máximo porque no existe diferencia mayor.
- Los aceites que contienen en su composición una mayor proporción de ácidos grasos saturados (girasol, soja, oliva) son sinónimo de un biodiesel de menor número de cetano y más baja temperatura de congelación, a diferencia de los aceites que contienen mayor cantidad de ácidos grasos saturados y mono saturados (palma, coco, grasa animal) ocurre todo lo contrario.
- Finalmente, la mezcla que se recomienda utilizar después de la caracterización es la del 10%, puesto que posee buenas propiedades de

ignición y combustión, observado directamente en el índice de cetano, punto de anilina y poder calorífico. La última es importante ya que mientras más bajo sea, el consumo de combustible es mayor, siendo una desventaja, pues afectaría directamente el bolsillo del consumidor, pero se contribuiría con el medio ambiente por la menor cantidad de emisiones contaminantes, es aquí donde se debe tomar una decisión basándonos en la relación impacto ambiental-economía y la disponibilidad que tiene el país para producir biodiesel y satisfacer la demanda para usar mezclas de gran proporción.

- Otra propiedad relevante para elegir la mezcla de 10%, es el comportamiento a bajas temperaturas, representado por el punto de fluidez, donde el biodiesel utilizado deja de fluir a 12,5 °C, lo que constituye un problema cuando se está en un ambiente frío. La mezcla recomendada posee un punto de fluidez de -20,3 °C, es decir que puede predecirse un buen comportamiento en frío. Además que se analizaron las curvas de destilación ASTM, mostrando que se necesita mayor temperatura en el biodiesel para el arranque, mientras que para mezclas de 5, 10, 15 y 20%, la diferencia no es muy significativa, por lo tanto la elección es correcta.
- Con respecto a las emisiones de SO_x , como consecuencia de la combustión de los compuestos de azufre presentes en el combustible, la disminución es muy notable en proporciones bajas y no existe mucha diferencia con la mezcla de 15%. Mientras mayor sea la proporción de mezcla, la disminución de azufre será menor.

5.2 Recomendaciones

- Cumplir a cabalidad el proceso para realizar las mezclas pertinentes, tomando a consideración un aseo adecuado de cada instrumento a utilizar como un correcto almacenamiento de la muestra final.
- Una correcta filtración del biodiesel asegurará una mayor calidad en los resultados de experimentación, ya que se presenciaron sólidos suspendidos en el biocombustible lo cual, en gran cantidad puede ocasionar resultados erróneos.
- Al momento de la obtención de la materia prima es importante la correcta identificación de su origen, ya que el país importa diésel Premium de distintos lugares como Asia, Estados Unidos y Europa, por lo que cada uno posee características distintas y a la hora de replicar este estudio sus resultados pueden arrojar diferencias considerables.
- Realizar futuras experimentaciones con biodiesel a partir de otros productos, como el de la soja.
- Es aconsejable que el biodiesel tenga un contenido muy bajo de agua ya que un alto contenido tiene efectos importantes en los distintos análisis a desarrollar.

Bibliografía

- Alejandro, F., & Rojas, A. (2009). Efecto de la proporción de mezclas biodiesel/petrodiesel en el desempeño mecánico-ambiental de motores. *Ingeniería y competitividad*, 63-78.
- Barriga, A. (2007). *Producción y Uso de Aceites Vegetales y Biodiesel en Ecuador*. Guayaquil: ESPOL.
- Benavides, A., Benjumea, P., & Pashova, V. (2017). El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diésel. *Dynal*, 141-150.
- C, G., Castellar, O., R, E., Mercado, A., M, B., & Arrieta, C. (2014). Transesterificación de aceites vegetales empleando catalizadores heterogéneos. *Prospect*, 90-104.
- Chellappa, A., Wetherell, W., & D. Russell, M. (s.f.). The Physical & Chemical Characterization of Biodiesel Low Sulfur Diesel Fuel Blends. *National Biodiesel Board*. University of Missouri.
- COVENIN. (s.f.). Especificaciones e instrucciones de operación para viscosímetros cinemáticos capilares de vidrio. *Norma Venezolana*.
- Delgado, D. (2015). *Balance Energético Nacional*. Quito: Coordinador de Sectores Estratégicos.
- Ecuador, B. C. (2016). *Cifras del sector petrolero ecuatoriano en miles de barriles de diésel en el 2016*. Quito: Banco Central del Ecuador. Obtenido de www.bce.fin.ec/
- Erazo, O. (2015). ¿Es posible el buen uso del combustible subsidiado en el Ecuador? Quito.
- Ganduglia, F. (2009). *Manual de biocombustibles*. IICA Y ARPEL.
- Gil, F. (2010). El biodiesel como sustituto del diesel del petróleo. *Ambientum*.
- Goswami, A. K., & Usmani, G. A. (2014). Characterization of Biodiesel Obtained From Pure Soybean Oil and Its Various Blends with Petro-Diesel. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 16287-16293.
- Guillaume. (2016). *¿Autos con biodiesel puro o mezcla con diésel convencional?* Obtenido de <http://ecodesarrollo.cl/portal1/content/view/59/2/>.

- Hoon, G., Sharffbillig, Ahlberg, C., & Clark, E. (2012). A Biodiesel Blend Handling Guide. *Minnesota*, 1-17.
- Indhumathi, P., Syed Shabudeen, P. S., & Shoba, U. S. (2014). A Method for Production and Characterization of Biodiesel from Green Micro Algae. *International Journal of Bio-Science and Bio-Technology*, 111-122.
- Lane, J. (2016). *Biofuels Mandates Around the World*. Obtenido de <http://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2016/01/03/biofuels-mandates-around-the-world-2016/>.
- Mosesane, M., Kalombo, L., Mhaya, R., & Tshabalala, L. (2015). Characterization of Fuel Properties for the Biodiesel-PetroDiesel Blends Dosed with the FPC. *Global Journal of Researches in Engineering*, 1-7.
- ProEcuador. (2013). *Biocombustibles*. Grupo Spurrier.
- Universo, E. (8 de Agosto de 2011). Petroecuador anuncia programa para mejorar la calidad de los combustibles. pág. 2.
- Valencia, L. (2013). Caracterización de Mezclas de Diésel-Biodiesel orientadas a disminuir las emisiones contaminantes provocadas por fuentes móviles (Tesis de pregrado). Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

ANEXOS



Figura IV. Preparación de mezclas



Figura V. Diésel No. 2



Figura VI. Biodiesel de La Fabril (temperatura ambiente)



Figura VII. Biodiesel de La Fabril (refrigeración)



Figura VIII. Gravedad API @ 60°F



Figura IX. Punto de inflamación



Figura X. Poder calorífico calculado



Figura XI. Punto de Anilina (sistema, homogéneo, turbidez)



Figura XII. Punto de fluidez o escurrimiento (Sistema agua con hielo y sistema hielo seco)



Figura XIII. Prueba contenido de azufre en las instalaciones de la Refinería de La Libertad