

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Arquitectura e Ingenierías

Ingeniería Mecánica Automotriz

Estudio de los efectos de la mezcla de biodiésel y aditivos en la eficiencia de motores diésel.

David Alejandro Suárez

Nota de autor:

David Alejandro Suarez, facultad de arquitectura e ingeniería, Universidad Internacional SEK

Director: Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos, Msc.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo dirigirse a:

dsuarez.mec@uisek.edu.ec

Declaración Juramentada

Yo, David Alejandro Suárez Chilibingua, con cédula de identidad 0401883038, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado de calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento. Pertenecé al Programa de Desarrollo Tecnológico Línea Investigación Eficiencia, Impacto Ambiental e Innovación Industrial.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

David Alejandro Suárez Chilibingua

C.I.: 0401883038

Dedicatoria

A mis padres Sergio y María Lorena quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y trabajo, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos Jessica y Josué por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañaron en este proceso hasta alcanzar mis sueños y metas.

Todo este esfuerzo está dedicado especialmente a mi Madre querida porque me ayudó en las buenas y en las malas y lo sigue haciendo, además de haberme dado la vida, siempre confió en mí y nunca me abandonó.

Tabla de contenido

Lista de tablas	5
Lista de figuras	5
Abstract.....	8
Introducción.....	9
Problema	9
Planteamiento	9
Objetivo general:.....	9
Objetivos específicos:	9
Estado del arte	14
Aceite de frituras.....	14
Catalizador para combustible FEROX.....	16
Caracterización para combustible Diésel.....	16
Punto de inflamación.....	17
Contenido de Agua y sedimentos.....	18
Residuo de carbón	19
Porcentaje de cenizas	20
Destilación.....	21
Viscosidad cinemática a 40°C	22
Contenido de azufre	23
Corrosión a lámina de cobre.....	24
Índice de cetano.....	24
Método.....	26
Materiales.....	26
Ensayos a los que se sometieron las mezclas.....	26
Resultados.....	35
Discusión de Resultados	44
Conclusiones.....	53
Trabajos citados.....	54
Anexos	58

Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación de sustancias por su punto de inflamación	17
Tabla 2 Normas a las que se sometieron los ensayos para la caracterización de las muestras	26
Tabla 3 Especificaciones de dispositivo Pensky - Martens	27
Tabla 4 Especificaciones técnicas tester residuo de carbono	32
Tabla 5 Características del diésel Premium	35
Tabla 6 Características de la mezcla B5	36
Tabla 7 Características de la mezcla B15	38
Tabla 8 Características de la mezcla B5A	39
Tabla 9 Características de la mezcla B15A	40
Tabla 10 Características de la mezcla Diésel + Ferox	42

Lista de figuras

Figura 1 Ejemplo de transesterificación	11
Figura 2 Comparación de eficiencia por cada tipo de biodiésel	12
Figura 3 Eficiencia total de cada mezcla de biodiésel	13
Figura 4 Torque vs Rpm utilizando biodiésel y en función del número de cetano	13
Figura 5 comparación de consumo de combustible por cada mezcla de biodiesel.	14
Figura 6 Pastillas Ferox 1 gr	16
Figura 7 Liberación de calor neta por cada mezcla de biodiesel	18
Figura 8 Longitud de levantamiento de la llama por volumen de agua tomado en un lapso de tiempo	19
Figura 9 a) residuos de carbón en la cabeza del cilindro, b) residuos de carbón en la cabeza del pistón, c) residuos de carbón en los inyectores	20
Figura 10 Contenido de cenizas vs horas de uso	21
Figura 11 Viscosidad cinemática vs horas de uso	22
Figura 12 Efecto del azufre en la vida útil del motor	23
Figura 13 Índice de corrosión por cada mezcla de biodiésel	24
Figura 14 Retraso a la inyección de cada mezcla de biodiésel	25
Figura 15 Dispositivo Pensky-Martens copa cerrada	27
Figura 16 Mecanismo espectral para determinar la cantidad de azufre	28
Figura 17 Escala de colores ASTM para la corrosión al cobre	29
Figura 18 Máquina para destilación ASTM	31
Figura 19 Analizador automático de residuos de carbono	31
Figura 20 Analizador de contenido de cenizas	32
Figura 21 Medidor de viscosidad cinemática	33
Figura 22 Centrifugadora de combustibles	34
Figura 23 Gráfico para destilación de mezcla B5	37
Figura 24 Gráfico para destilación de mezcla B5A	40
Figura 25 Gráfico para destilación de mezcla Diésel + Ferox	43
Figura 26 Punto de inflamación de las muestras	44

Figura 27 Contenido de azufre de las muestras	45
Figura 28 Corrosión de lámina de cobre de las muestras	46
Figura 29 Índice de cetano en las muestras	47
Figura 30 Destilación de las muestras	48
Figura 31 Residuo de carbón en las muestras.....	49
Figura 32 Contenido de cenizas en las muestras	50
Figura 33 Viscosidad cinemática de las muestras	51
Figura 34 Contenido de agua y sedimentos en las muestras	52

Resumen

Con el fin de reducir las emisiones contaminantes, y poder prolongar la vida útil de los motores diésel, el biodiésel ha protagonizado una de las más grandes revoluciones en la industria automotriz, ya que ha sido utilizado con este fin.

La mezcla de aceites vegetales o grasas animales con esterres metílicos de ácidos grasos se conoce como biodiésel, y al ser mezclado con diésel convencional, se presenta como una opción válida dentro del mercado, que permite alcanzar estos objetivos.

El estudio de los efectos del biodiésel sobre el motor de combustión diésel ha sido muy poco cuestionado, por lo que el objetivo principal de esta investigación es analizar las mezclas de biodiésel con 5% y 15% en su concentración que se llamaran B5 y B15 respectivamente, al igual que las mezclas de B5 + 0.02% de aditivo ferox que se denominara B5A, y la mezcla de B15 + 0.02% de aditivo ferox que será B15A, también la mezcla DF que es la mezcla de diésel convencional + ferox, para aproximar a la eficiencia en los motores que utilizan estos tipos de combustible.

Llegando a obtener que mezcla posee las mejores características después de comparar sus propiedades tales como el punto de inflamación, contenido de agua y sedimentos, contenido de azufre, porcentaje de cenizas, residuo de carbón, destilación, viscosidad, corrosión a la lámina de cobre e índice de cetano.

La mezcla de biodiesel B5A y la mezcla DF, son las mezclas que cumplieron con todas las normas, mejorando sus características ya que lograron un mejor desempeño en las pruebas realizadas, cumpliendo con las expectativas de que se han planteado para esta investigación.

Palabras clave: Biodiésel, aditivos, caracterización, eficiencia

Abstract

In order to reduce pollutant emissions, and to extend the life of diesel engines, biodiesel has started in one of the largest revolutions in the automotive industry, as it has been used for this purpose.

The mixture of vegetable oils or animal fats with fatty acid methyl esters is known as biodiesel, and when mixed with conventional diesel, it is presented as a valid option in the market, which allows these objectives to be achieved.

The study of the effects of biodiesel on the diesel combustion engine has been very little questioned, so the main objective of this research is to analyze the biodiesel blends with 5% and 15% in their concentration that are called B5 and B15 respectively, like the mixtures of B5 + 0.02% of ferox additive that would be called B5A, and the mixture of B15 + 0.02% of ferox additive that will be B15A, also the DF mixture that is the conventional diesel mixture + ferox, to approximate to the efficiency in engines that use these types of fuel.

Getting to get that mixture has the best characteristics after comparing its properties such as flash point, water and sediment content, sulfur content, ash percentage, carbon residue, distillation, viscosity, corrosion to the copper foil and cetane index

The B5A biodiesel mixture and the DF mixture, are the mixtures that met all the standards, improving their characteristics since they achieved a better performance in the tests performed, meeting the expectations that have been raised for this research.

Keywords: Biodiesel, additives, characterization, efficiency

Introducción

Problema

La limitación de los recursos derivados del petróleo, la excesiva contaminación y la necesidad de motores mucho más eficientes, han generado el interés en la industria automotriz, que se ha visto obligada a buscar un reemplazo al diésel, que cumpla con los parámetros exigidos.

La utilización de biodiesel es cada vez más común dentro del transporte pesado, puesto que son ellos quienes utilizan en mayor parte el diésel tradicional para el funcionamiento de sus motores y que es este combustible el que mayor cantidad de emisiones contaminantes emite (Arbeláez & Rivera, 2007), ayudando así a conservar el medio ambiente y cumpliendo con las normativas ambientales de cada región.

Planteamiento

Objetivo general:

Analizar los efectos de las mezclas de biodiésel y aditivos a través de las propiedades de los combustibles para aproximar la eficiencia de estos en los motores diésel.

Objetivos específicos:

- Evaluar la caracterización de cada muestra de combustible para establecer su validez según la normativa vigente.
- Elaborar tablas comparativas entre las características de cada combustible, y según el desempeño en las pruebas de laboratorio.

Justificación

El biodiésel como tal al ser una derivación de aceites vegetales y mezclado en proporciones al diésel convencional, se ha convertido en la pieza clave de los combustibles, cumpliendo todos los objetivos señalados, y sin necesidad de modificar los motores para alcanzar su alto desempeño (Lafont, Páez, & Torres, 2011) y que la potencia y consumo no se vean afectados (Flores Montoya & Rojas, 2009).

En nuestro país, la normatividad INEN 2849: 2009 clasifica los biocombustibles según su origen:

Aceite Vegetal. - Es aquel obtenido a partir de plantas oleaginosas mediante procesos de presión u otros procedimientos, crudo o refinado, el cual puede ser usado como combustible cuando sea compatible con el tipo de motor diesel y las exigencias correspondientes en materia de emisiones.

Grasa Animal. - Es aquella obtenida de tejidos adiposos de animales mediante procesos térmicos, extracción u otros;

Biodiésel. - Es un combustible compuesto de mezclas de esteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadenas de carbonos medias y largas, derivados de aceites vegetales o grasas animales;

Biodiésel BX: Denominación de la mezcla entre Diésel y Biodiésel, la "X" determina la concentración porcentual de biodiésel en la mezcla, como, por ejemplo: B10 significa que la mezcla tiene 10 % de biodiésel;

Varios estudios realizados en base a biodiesel han originado el interés de buscar cuál de estas sería la más eficiente en el mercado, según Benjunea, 2009, en su investigación "Biodiesel: Producción, calidad y caracterización" en la universidad de Medellín, Colombia detalla la gran ventaja del uso de este tipo de aceite para evitar la contaminación de redes de agua potable. Por su parte Álvarez, 2013 nos dice en su tesis "obtención de biodiesel a partir de aceite usado en casa" en la Universidad de Chihuahua, que el aceite usado es una alternativa con mejores perspectivas en la producción de biodiésel, ya que es la materia prima más barata para la producción de este combustible y que la utilización de aceites usados contribuye a una buena gestión y uso del residuo, dado que estos tipos de aceites no se pueden usar directamente como combustibles, se han realizado algunas modificaciones tales como dilución con solvente adecuado, transesterificación, pirolisis y emulsificación.

La transesterificación es la reacción química más comúnmente utilizada para obtener biodiésel, en la cual un alcohol reacciona reversiblemente con los triacilgliceroles de ácidos grasos en presencia de un catalizador para formar ésteres alquílicos de ácidos

grasos y glicerina. En la figura 1 podemos apreciar un ejemplo de los componentes involucrados en este proceso.

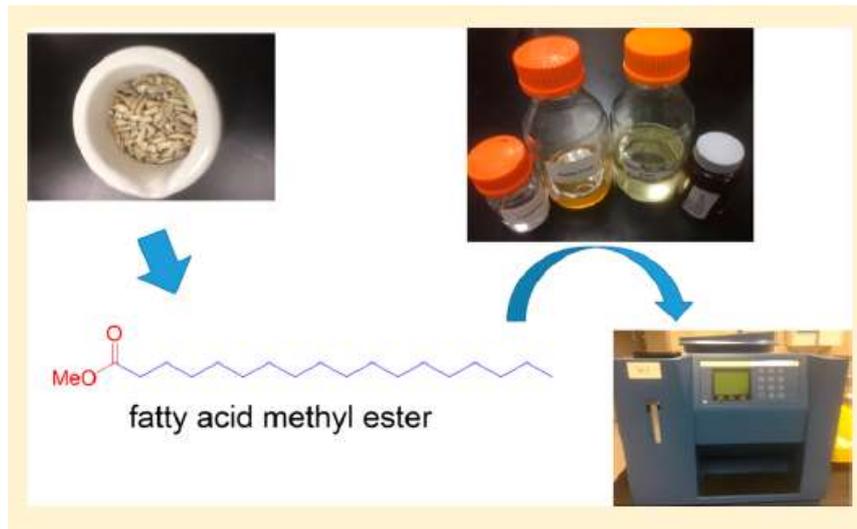


Figura 1 Ejemplo de transesterificación

Fuente: (Knoerzer, y otros, 2018)

Los parámetros usados para definir la calidad del biodiésel se dividen en dos grupos: El primero incluye determinaciones de densidad, viscosidad, punto de inflamación, contenido de azufre, residuo carbonoso, cenizas sulfatadas, número de cetano y número ácido, similares a las realizadas al diésel; el segundo grupo corresponde básicamente a determinaciones de metanol, glicerol libre, glicerol total, fósforo, agua y ésteres.

La utilización de reactores ultrasónicos continuos de baja frecuencia en el proceso de transesterificación da un rendimiento de 99% de ésteres metílicos de ácidos grasos en un tiempo de 15 h, a temperatura ambiente (Arbeláez & Rivera, 2007).

De otra parte, en estudio a materiales provenientes de restaurantes y hogares se determinó el contenido y distribución de compuestos polares totales, donde la producción de biodiésel a partir de sebo ha registrado unos valores de 93-99% de ésteres metílicos de ácidos grasos, obtenido de grasa residual de pollo, luego de 24h en presencia de ácido sulfúrico. Se han usado mezclas de biodiésel de grasa residual de res o aceite vegetal residual con diésel y biodiésel de aceites vegetales residuales, para mejorar propiedades fisicoquímicas del combustible obtenido solo a partir de sebo de res (Ordoñez, y otros, 2013).

Varios países están desarrollando políticas activas para el desarrollo de los biocombustibles, a través de la utilización de mezclas con los combustibles fósiles. Es así, que la producción de los principales biocombustibles, bioetanol y biodiésel, viene aumentando significativamente en nuestra región como es el caso de Perú (Petroperu, 2014) y Colombia (Ecopetrol, 2017), como en el resto del mundo. Como ejemplo también podemos citar que la Comisión de la Unión Europea sugirió el uso de biocombustibles para asegurar y diversificar la oferta de energía y a su vez disminuir las emisiones de CO₂ para el transporte terrestre en Europa.

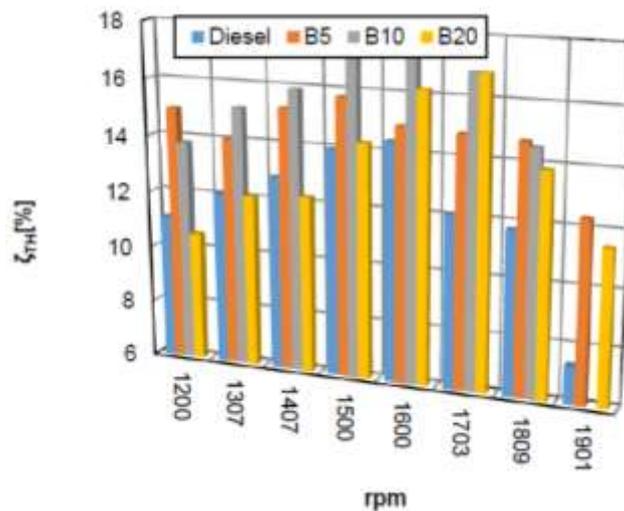


Figura 2 Comparación de eficiencia por cada tipo de biodiésel

Fuente: (Torres Aldaco, y otros, 2015)

Como se puede apreciar en la figura 2, se compara la eficiencia del biodiésel evaluando varios parámetros en el motor, para este tipo de investigaciones los primordiales son el torque, la potencia y el consumo específico de combustible (Torres Aldaco, y otros, 2015). Y en los resultados que han sido publicados, se ha demostrado que el uso del biodiésel en los motores diésel genera en promedio una disminución en el torque y en la potencia, con un aumento de consumo de combustible (Krishna, Salam, Tongroon, & Chollacoop, 2019) y se afirmó que el desempeño de los vehículos que usan biocombustibles no se ve afectado notablemente (Fonseca Gonzalez, Casanova Kindelan, & Betancourt Astete, 2011). Solo se aprecian mínimas diferencias entre sus condiciones normales de funcionamiento, tal como se aprecia en la figura 3, donde la eficiencia no presenta un cambio tan notorio.

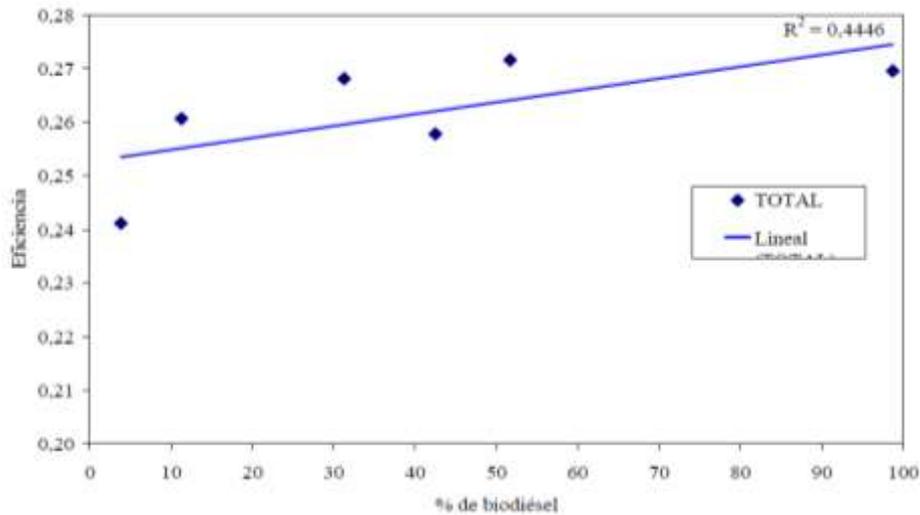


Figura 3 Eficiencia total de cada mezcla de biodiesel

Fuente: (Torres Aldaco, y otros, 2015)

La figura 4 nos ayuda a entender el comportamiento del combustible en función del número de cetano donde se puede apreciar que a medida que este índice aumenta, el torque comienza a reducirse bajo ciertas condiciones de carga y de revoluciones por minuto.

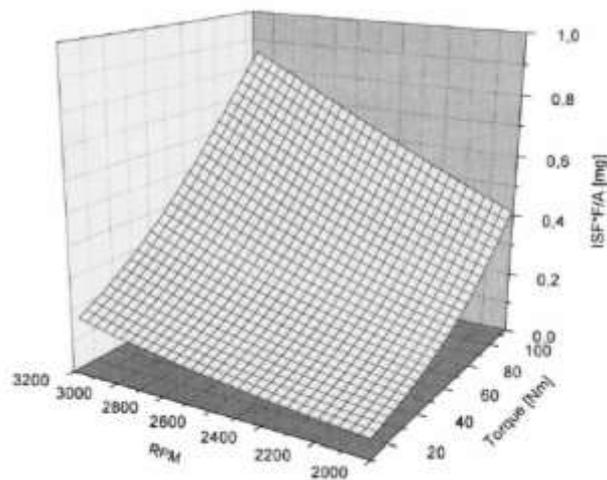


Figura 4 Torque vs Rpm utilizando biodiésel y en función del número de cetano

Fuente: (De Lucas, Durán, Carmona, & Lapuerta, 2001)

Por otra parte, se asegura que una mayor concentración de biodiésel eleva la densidad en las mezclas y da como resultado un tiempo de inyección más corto. (Agarwal, y otros, 2015) y como se puede observar en la figura 5 el consumo de combustible también se ve afectado, aumentando gradualmente según sea la mezcla porcentual de biodiesel.

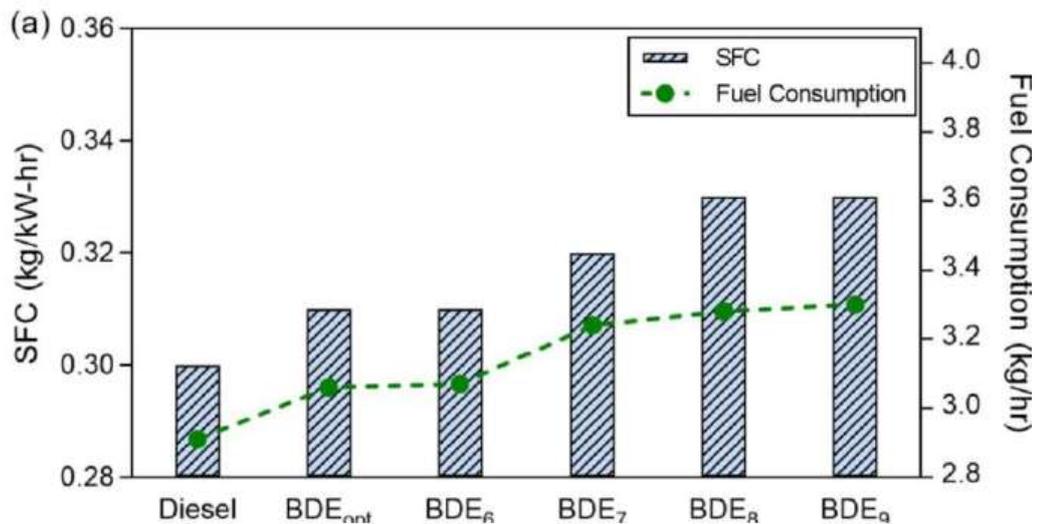


Figura 5 comparación de consumo de combustible por cada mezcla de biodiésel.

Fuente: (Krishna, Salam, Tongroon, & Chollacoop, 2019)

Esta investigación se realizó con el fin de mostrar el efecto de las mezclas de diferentes porcentajes de biodiésel con diésel tradicional (en 5% y 15%) sobre el desempeño mecánico, y ambiental, de motores diésel. Además, se establece la mezcla diésel + aditivo (ferox), que cumpla con la reglamentación vigente, proporcione mejor desempeño mecánico y ambiental, permitiendo la entrada al mercado energético de otras fuentes alternas de generación de energía.

Estado del arte

Aceite de frituras

Otra alternativa interesante para la producción de biodiésel, es la utilización de aceites usados de cocina, o también denominados aceites de fritura, ya que es la materia prima más barata y con su utilización se evita la contaminación del medio ambiente, ya que generalmente éstos aceites usados, se tiran a las redes cloacales o a las redes de agua corriente, sin efectuarles ningún tratamiento previo, siendo su destino final los ríos o mares a donde se descargan las cloacas citadas, con la consiguiente contaminación indeseable. Con la utilización de aceites usados, se logra una buena solución al

problema de estos residuos, ya que el aceite vertido de este modo, contamina las aguas y provoca serios problemas para depurar el agua (Arbeláez, & Rivera, 2007).

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima para obtener biodiesel, y para obtenerlo a partir de aceite de frituras, se utiliza el proceso transesterificación, proceso en el cual se convierten los aceites y grasas en biodiésel, mediante una reacción química que consiste en la mezcla de un triglicérido con un alcohol para formar alquil-ésteres y glicerol.

La reacción química como proceso industrial utilizado en la producción de biodiésel, es la transesterificación, que consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicéridos, monoglicéridos y glicerina (Ordoñez, y otros, 2013).

En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

El conocido método “Batch” o por lotes, es el método más simple y el convencional para la producción de biodiésel. Se trata de un proceso “discontinuo” o de producción por lotes, mediante reactores con agitación y/o recirculación de los fluidos, donde las condiciones de operación más habituales son a temperaturas del orden de los 55 °C. El aceite vegetal es reaccionado con el alcohol metanol y conjuntamente con un catalizador (que actúa como acelerador del proceso) que comúnmente es el Hidróxido de Sodio (NaOH), aunque también se utiliza el Hidróxido de Potasio (KOH), en rangos del 0.3% al 1.5% Es necesario para el proceso, una firme agitación de los fluidos, para una correcta mezcla en el reactor. (Dávila Barrera & Cortes Lopez, 2017).

Hacia el fin de la reacción, se procede a la separación de las distintas fases por diferencia de densidades, mediante la decantación del producto en reposo. Cuando la muestra de biodiésel se encuentra lista para usar, se procede a la caracterización física y química junto con un análisis de poder calorífico.

Catalizador para combustible FEROX

Es un aditivo catalizador para combustible, presentado en tabletas de un gramo, figura 6, que facilitan su manipulación, dosificación y uso. Actúa modificando las partículas de combustible y los depósitos de carbón, permitiendo que el combustible se quemara más rápido y a una temperatura de operación más baja. Al volver la combustión más eficiente, se logra aprovechar toda la energía disponible y sin tener residuos durante el proceso.

Se puede utilizar en todo tipo de combustible proveniente de hidrocarburos, es decir en cualquier tipo de vehículo o motores estacionarios.

Cada tableta de 1 gr se puede aplicar en 50 – 60 litros de combustible.



Figura 6 Pastillas Ferox 1 gr
Fuente:(FEROX, 2018)

Caracterización para combustible Diésel

En nuestro país el diésel Premium es producido en las plantas de refinación de crudo, donde los combustibles antes de salir al mercado deben cumplir con las normas establecidas para comercializarse en las estaciones de servicio de todo el país y ser utilizados en el mercado automotor correspondiente.

En nuestro caso, la norma que ampara las características del combustible es la NTE INEN 1489:2012 - Séptima revisión donde detalla los límites máximos y mínimos de diferentes aspectos del combustible y que lo determinan como tal.

Dentro de los motores, los ductos, depósitos y bombas han sido diseñados con ciertas propiedades físicas y químicas de los combustibles para evitar el desgaste prematuro y corrosión de los mismos, así como pérdidas de presión y evaporación del combustible. Por lo que es necesario reconocer cuales son estas propiedades antes de aplicarlo al motor. Estas propiedades se las obtiene mediante pruebas de laboratorio bajo normas vigentes, proceso que se conoce como caracterización de un combustible.

A continuación, se detalla cuáles son las pruebas más utilizadas en la caracterización del combustible diésel.

Punto de inflamación

Es la temperatura a la cual los vapores de la superficie del combustible se encienden cuando se exponen a una llama. El punto de inflamación generalmente se especifica para la seguridad de manipulación y almacenamiento de combustible.

Cuando el punto de inflamación no cumple con las especificaciones mínimas, indica que está contaminado con otra sustancia más volátil y está afectando al índice de cetano negativamente, al igual que el rendimiento del motor (Hughey, 2015).

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 1493 procedimiento A y a nivel internacional bajo la norma ASTM D93.

Tabla 1 Clasificación de sustancias por su punto de inflamación

CLASIFICACIÓN	MARGEN
Extremadamente inflamable	P.I. < 0°C Y P.E. <= 35°C
Fácilmente inflamable	0°C <= P.I. < 21°C
Inflamable	21°C <= P.I. <= 55°C
Combustible	P.I. > 55°C

Fuente: (hughey, 2015)

Según (Chiatti, Chiavola, Palmieri, & Albertini, 2014), el biodiésel tiene menor valor de calentamiento que el diésel convencional. Con lo que las mezclas de biodiésel

muestran una fase tardía de combustión con una aceleración superior en la combustión con respecto al combustible diésel debido a mayor contenido de oxígeno presente en el biodiésel. Lo que indica la combustión rápida que aumenta progresivamente según la cantidad de biodiésel (Elkelawy, y otros, 2019) liberando deficientemente el calor necesario durante el proceso, así lo muestra la figura 7 que indica el calor liberado de las mezclas de biodiésel según la posición del cigüeñal durante el proceso de combustión.

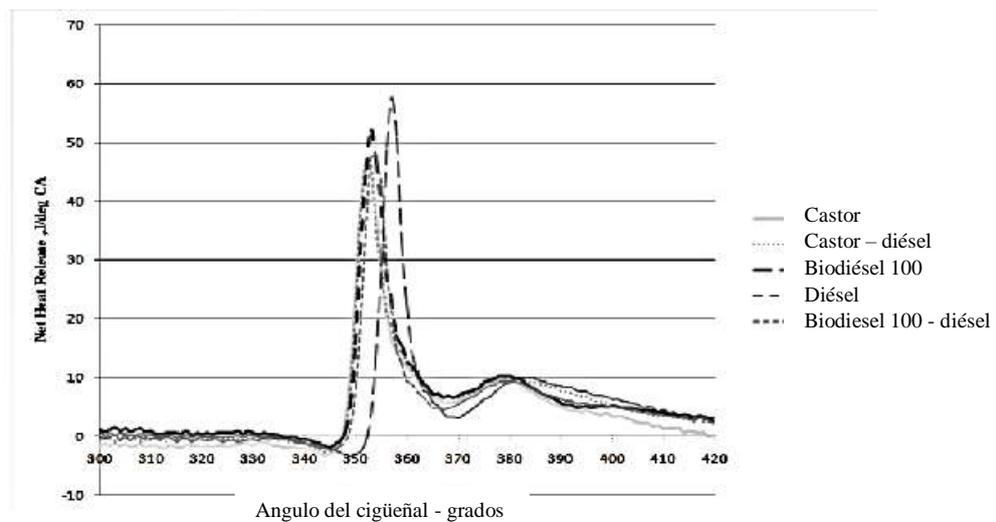


Figura 7 Liberación de calor neta por cada mezcla de biodiesel

Fuente: (Chelladurai & Geo, 2016)

Contenido de Agua y sedimentos

Este análisis mide la cantidad de agua libre y los sedimentos presentes en el combustible, y nos ayuda a tomar las precauciones para prevenir desgastes prematuros y corrosión dentro del sistema de inyección, problemas que se ven relacionados con el agua. Ya que demasiada agua deteriora la propiedad de lubricación del diésel. Al igual que un índice elevado de sedimentos podría evolucionar en un problema de obstrucción de ductos, filtros y otros elementos como los inyectores que comenzaran a presentar fallas en su desempeño (Hughey, 2015).

Se conoce que la utilización de biodiésel en un Motor de Combustión Interna (MCI) puede traer algunos problemas de desgaste y problemas de depósitos en los inyectores por la presencia de más compuestos de origen vegetal que podrían originar sedimentos y

varios elementos que no aportarían durante la combustión. (Piloto Rodriguez, Sierens, Verhelst, & Ferrer Frontela, 2008)

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 1494 y a nivel internacional bajo la norma ASTM D1796.

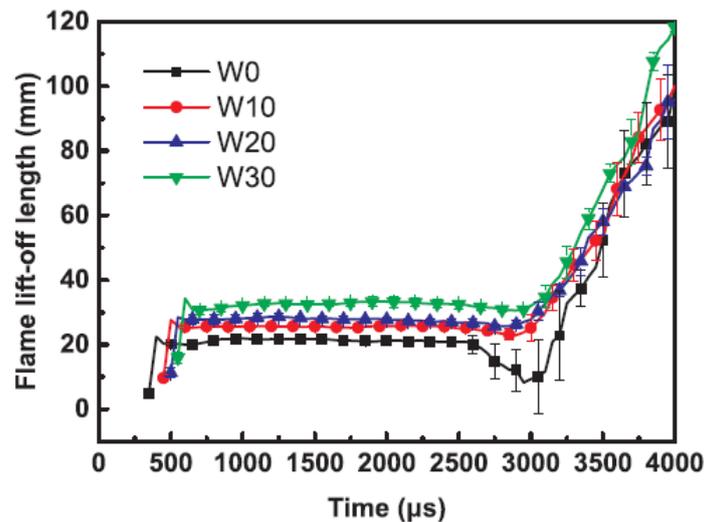


Figura 8 Longitud de levantamiento de la llama por volumen de agua tomado en un lapso de tiempo

Fuente: (Wang, y otros, 2018)

En la figura 8 podemos apreciar que a medida que el porcentaje de agua presente en el diésel va incrementando, la longitud de la llama y su tiempo de duración decrecen en comparación al diésel tradicional. Lo que nos lleva a concluir que el combustible no libera la cantidad de energía requerida por el motor (Wang, y otros, 2018).

Residuo de carbón

La cantidad de residuo de carbono proporciona una medida de la tendencia de coquización del combustible y se puede utilizar para estimar el potencial de carbono a depositar del combustible. Los depósitos de carbón pueden conducir a problemas de rendimiento y desafíos de mantenimiento. La figura 9 indica un ejemplo de las consecuencias del excesivo residuo de carbón dentro del proceso de combustión.

Un análisis efectuado a los biocombustibles arrojó que impurezas como glicéridos, glicerol, ácidos grasos libres y residuos de catalizador traen consecuencias

desfavorables para el desempeño del motor, por ejemplo, depósitos de carbonilla – hollín– en los inyectores. (Agudelo , Benjumea, Gómez Meneses, & Pérez Bayer, 2003) que va aumentando según sea la concentración de biodiésel presente en la mezcla (Ferrarese & Uehara, 2009).

El análisis de residuos de carbono implica rápidamente el calentamiento de una muestra hasta el punto en el que toda la materia volátil se evapora con o sin descomposición mientras que el residuo restante más pesado se somete a craqueo y reacciones de coque. El residuo remanente a la conclusión de la prueba se calcula como un porcentaje de la muestra original (Hughey, 2015).

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 1491 y a nivel internacional bajo la norma ASTM D4530.

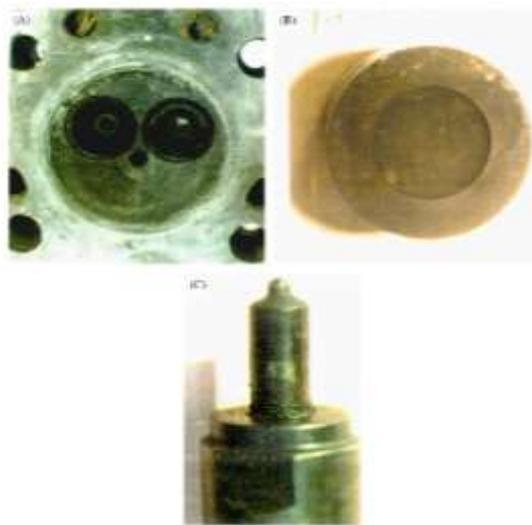


Figura 9 a) residuos de carbón en la cabeza del cilindro, b) residuos de carbón en la cabeza del pistón, c) residuos de carbón en los inyectores

Fuente: (Agarwal, 2007)

Porcentaje de cenizas

La determinación de cenizas proporciona una medición de los materiales que forman cenizas que están presentes en el combustible y a medida que la presencia de biodiesel aumenta, este factor lo hace de igual manera, figura 10, se determina pesando la ceniza que queda después de la quema de una cantidad predeterminada del combustible.

Los materiales que forman cenizas se consideran generalmente ser resultados de contaminación o impurezas. La formación de cenizas de materiales se puede encontrar a partir de una variedad de fuentes que están normalmente presentes en el combustible en

forma de jabones metálicos solubles y/o sólidos abrasivos, que pueden provocar un aumento de los residuos en el motor, así como afectaciones en la bomba, inyector, y el desgaste del pistón (Hughey, 2015).

Al tener un valor elevado de contenido de cenizas se puede desarrollar desgaste prematuro en el motor y un aumento de consumo de combustible ya que el combustible no se está combustionando en su totalidad (Agarwal, 2007).

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 1492 y a nivel internacional bajo la norma ASTM D482.

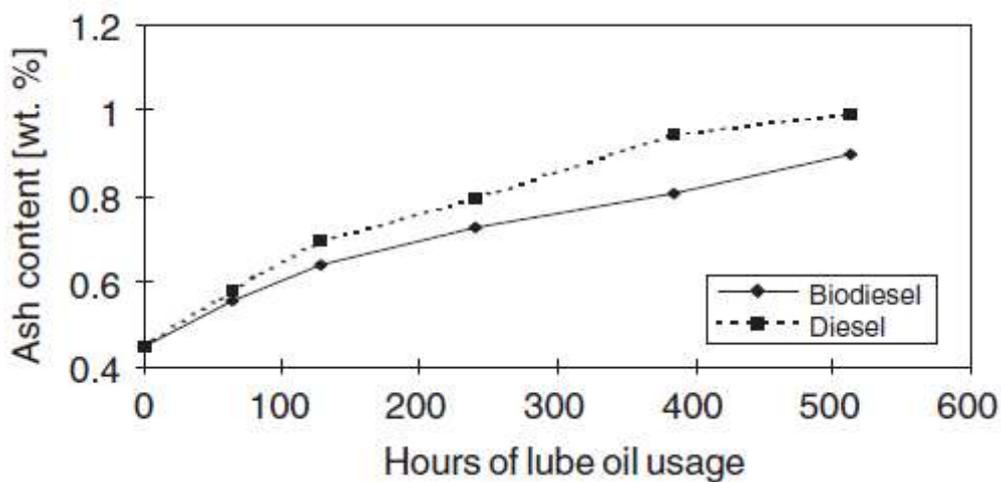


Figura 10 Contenido de cenizas vs horas de uso

Fuente: (Agarwal, 2007)

Destilación

Es la medida de rango de ebullición y fraccionamiento del combustible diésel. Se indica una medida de la volatilidad del combustible proporcionando así una indicación de la calidad del mismo. Generalmente el diseño del motor dicta los requerimientos de volatilidad de combustible aceptable para mantener un buen rendimiento del motor (Hughey, 2015).

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 926 y a nivel internacional bajo la norma ASTM D86-15.

Viscosidad cinemática a 40°C

La viscosidad es el indicador del tiempo que recorre por gravedad un volumen. La viscosidad afecta la capacidad del combustible para lubricar los componentes del sistema de combustible, así como la atomización (Hughey, 2015), donde a medida que el tiempo de uso aumenta, este factor tiende a decrecer, figura 11.

La viscosidad cinemática influye en el tiempo de inyección ya que está relacionado a la fluidez del combustible dentro de los inyectores. Donde una atomización del combustible inadecuada puede dar lugar a una mala combustión, lo que puede producir una variedad de fallas, incluyendo la pérdida de potencia y aumento en el consumo de combustible.

Una viscosidad baja de combustible puede resultar en fuga de combustible desde la bomba e inyector (Agarwal, 2007). También una desventaja de usar biodiésel es la mala fluidez a bajas temperaturas debido a su composición de origen orgánico (Agudelo, Benjumea, Gómez Meneses, & Pérez Bayer, 2003)

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 810 y a nivel internacional bajo la norma ASTM D445.

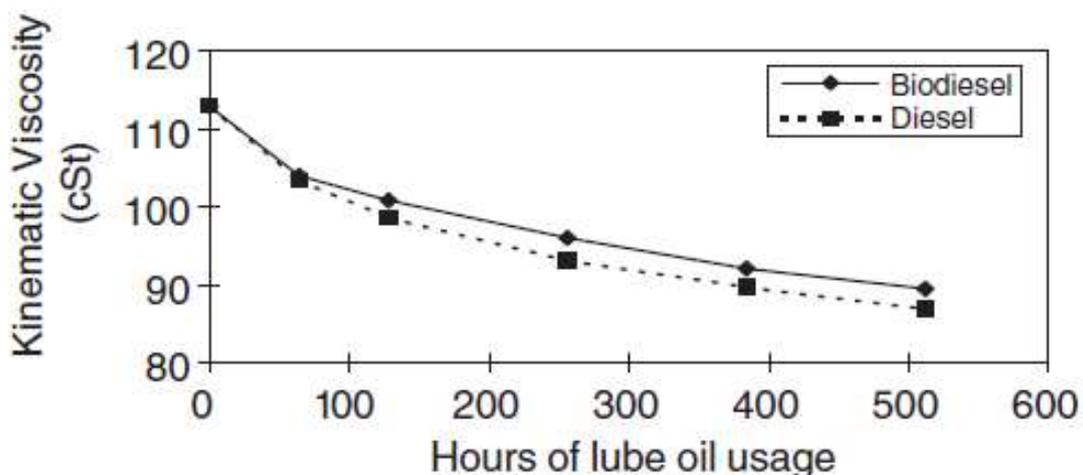


Figura 11 Viscosidad cinemática vs horas de uso

Fuente: (Agarwal, 2007)

Contenido de azufre

Hoy en día, las limitaciones en la cantidad de azufre permitido en el diésel son impulsados por las normas de emisiones que son más estrictas que en el pasado. Los combustibles que no cumplan con el requisito de azufre requerido pueden afectar catalizadores usados en algunos de los dispositivos de control de emisiones avanzados resultando en un aumento de los costes de mantenimiento. El azufre se mide comúnmente en ppm (Hughey, 2015).

La presencia de azufre en el combustible es la principal causa de emisiones contaminantes y producción de sulfatos que afectan directamente al motor. Los depósitos de estos sulfatos deterioran los inyectores, disminuyendo en un 30% el flujo del combustible durante la inyección, desgastan notablemente los rines, pistones y cilindros a medida que la concentración de estos sulfatos esté presente (CEPAL, 2005) disminuyendo la vida útil del motor según lo muestra la figura 12.

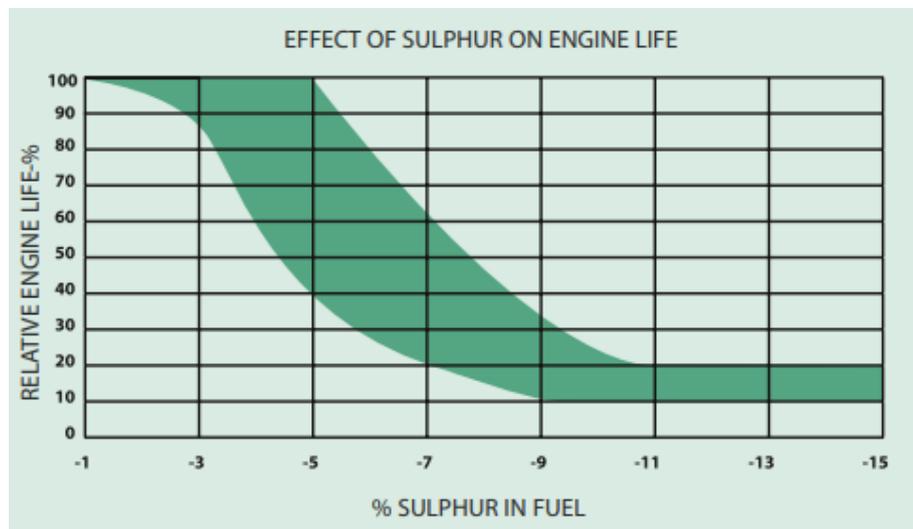


Figura 12 Efecto del azufre en la vida útil del motor
Fuente: (CEPAL, 2005)

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 1490 y a nivel internacional bajo la norma ASTM D4294-16.

Corrosión a lámina de cobre

Este análisis proporciona una indicación de los problemas que pueden surgir con componentes de cobre en el sistema de combustible y, en general, proporciona un grado relativo de la corrosividad del combustible (Hughey, 2015).

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 927 y a nivel internacional bajo la norma ASTM D130-12.

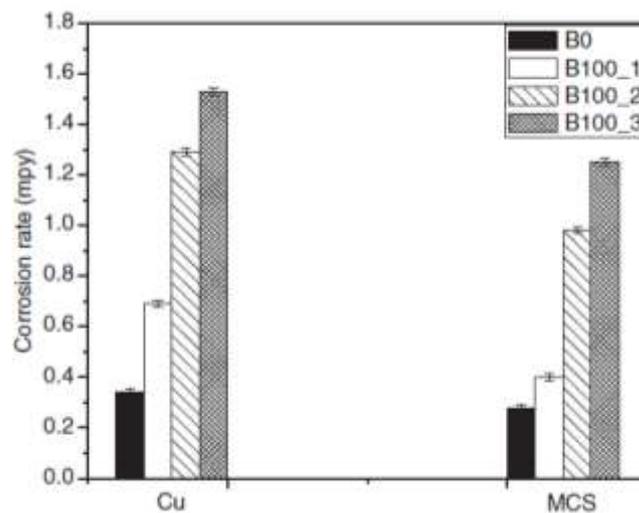


Figura 13 Índice de corrosión por cada mezcla de biodiésel

Fuente: (Cursaru, y otros, 2018)

Como se puede apreciar en la figura 13. A medida que la concentración de biodiésel aumenta, la corrosión también comienza a elevarse (Yang, y otros, 2013). Lo que daría como resultado un desgaste prematuro de nuestros motores (Cursaru, y otros, 2018).

Índice de cetano

Es una medida de la calidad de ignición del combustible diésel que se refiere a la facilidad de combustión. El índice de cetano es esencialmente una medida de retardo de la ignición de un combustible; el período de tiempo entre el inicio de la inyección y el inicio real de la quema de combustible en un tipo de cámara de prueba de motores de encendido por compresión de pre combustión. En general, los combustibles con un mayor número de cetano proporcionan un periodo de retardo de encendido más corto

que los combustibles con un número de cetano más bajos, un ejemplo de ello se puede visualizar en la figura 14. El combustible diésel que posee buena calidad de ignición debe proporcionar un buen rendimiento de arranque en frío (Hughey, 2015).

Un alto número de cetano influye de modo que se pueda aumentar el tiempo entre revisiones, también produce un aumento progresivo en el consumo de combustible específico y en la cantidad de humo de escape (Malyavinskii & Rossinskii, 1976).

Para conocer esta propiedad se debe realizar la prueba correspondiente amparada en la norma nacional NTE INEN 1495 y a nivel internacional bajo la norma ASTM D976-06.

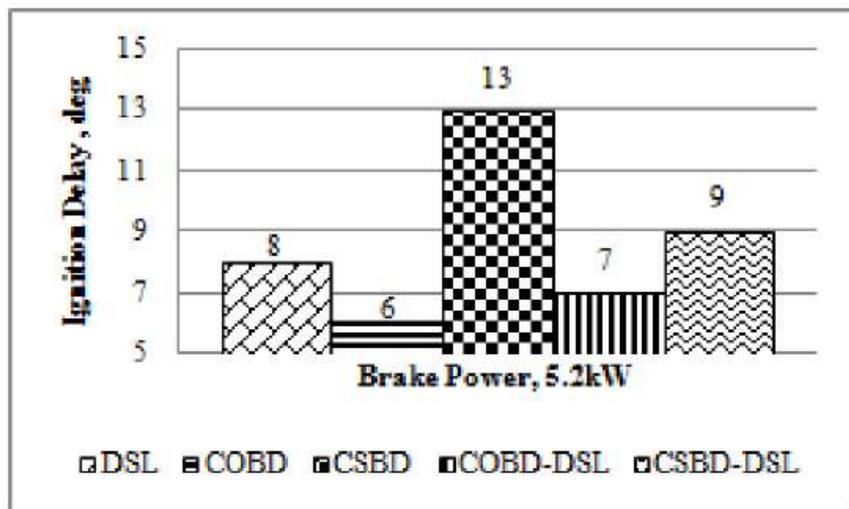


Figura 14 Retraso a la inyección de cada mezcla de biodiésel
Fuente: (Chelladurai & Geo, 2016)

Método

Materiales

El diésel tradicional fue la base para obtener nuestros materiales. Se prepararon mezclas de biocombustible derivadas de aceite de frituras, con 5% y 15% en su concentración que se llamaran B5 y B15 respectivamente, al igual que las mezclas de B5 + 0.02% de aditivo ferox que se denominara B5A, y la mezcla de B15 + 0.02% de aditivo ferox que será B15A, también la mezcla DF que es la mezcla de diésel convencional + ferox.

Se organizaron muestras de un litro por cada mezcla y se presentaron en botellas de vidrio color ámbar debidamente rotuladas para su entrega, las pruebas se realizaron en los Laboratorios de combustible, biocombustible y aceites lubricantes (LABCAL) de la Escuela Politécnica Nacional de la ciudad de Quito en Ecuador, basándose en normativas certificadas actuales que son vigentes en el país (INEN).

Ensayos a los que se sometieron las mezclas

Tabla 2 Normas a las que se sometieron los ensayos para la caracterización de las muestras

ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO
Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 min
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	%	500 máx.
Corrosión de lámina de cobre	ASTM D130-12		No. 3 máx.
Índice de cetano calculado	INEN 1495: 2013 (1R)		45 min
Ensayo de destilación: temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	360 máx.
Residuo de carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0.15 máx.
Contenido de cenizas	INEN 1492: 2013 (1R)	%	0.01 máx.
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D445 - 15a	mm ² /s	2.0 a 5.0
Agua y sedimentos	ASTM D1796- 11	%	0.05 máx.

Punto de inflamación

Según la norma ASTM D93, Estos métodos de prueba abarcan la determinación del punto de inflamación de los productos derivados del petróleo en el rango de temperatura de 40 °C a 370 °C con un aparato Pensky-Martens manual de vaso cerrado o un aparato Pensky-Martens automatizado de vaso cerrado, y la determinación de un punto de inflamación de biodiésel en el rango de temperatura de 60 °C a 190 °C con un aparato Pensky-Martens automatizado de vaso cerrado. (ASTM D93, 2019)



Figura 15 Dispositivo Pensky-Martens copa cerrada
Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Tabla 3 Especificaciones de dispositivo Pensky - Martens

método de ignición	flama de gas natural o chispa eléctrica
temperatura ambiente	10 a 40 °C
potencia total	300 w
voltaje	220 v
temperatura de pruebas	hasta 300 °C
resolución	0.1
precisión	0.5 %

Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Contenido de azufre

Según la norma ASTM D4294-16, Este método de prueba cubre la determinación de azufre total en petróleo y productos derivados del petróleo que son monofásicos y líquidos en condiciones ambientales, licuables con calor moderado, o solubles en solventes de hidrocarburos. Estos materiales pueden incluir combustible diésel, combustible para aviones, querosín, otro aceite destilado, nafta, aceite residual, aceite base lubricante, aceite hidráulico, aceite crudo, gasolina sin plomo, mezclas de gasolina y etanol, biodiésel y productos petroleros similares. (ASTM D4294-16, 2019)

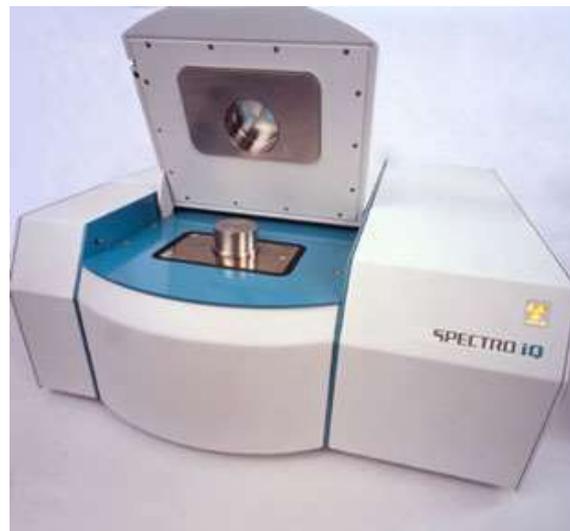


Figura 16 Mecanismo espectral para determinar la cantidad de azufre
Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Especificaciones Analíticas

- Introducción de muestra: módulo para líquidos (jeringa) / módulo para sólidos (canao)
- Rango de trabajo: 0.05 – 10000 mg/kg (líquidos) / 0.5 – 5000 mg/kg (sólidos)
- Matriz de muestra: Hidrocarburos livianos (líquidos) / hidrocarburos pesados, sólidos
- Cantidad de muestra: 1 – 100 ul (líquidos) / 0.1 – 100 mg (sólidos)
- Tiempo de análisis: 3-6 minutos (líquidos) / 4-10 minutos (sólidos)
- Desviación estándar relativa: <2% (>1ppm) líquidos / <5% (> 1ppm) sólidos
- Cumplimientos de regulación: ASTM D4294-16, ASTM D6667, ASTM D7183, ASTM D7551, ISO 20846

Corrosión de lámina de cobre

Según la norma ASTM D130-12, Este método de prueba cubre la determinación de la corrosión al cobre de la gasolina de aviación, el combustible de la turbina de aviación, la gasolina para automóviles, el solvente de limpieza (Stoddard), el queroseno, el combustible diésel, el aceite de destilación, el aceite lubricante y la gasolina natural u otros hidrocarburos que tengan vapor. Presión no mayor que 124 kPa (18 psi) a 37.8 ° C.

La prueba consiste en la oxidación acelerada a altas temperaturas en la lámina de cobre electrolítico, evaluación visual durante 48 horas a 150 °C (Método A: 19 horas a 140 °C) (ASTM D130-12, 2019)

Los datos se expresan en escala de colores ASTM que va desde 1A hasta 4C donde el valor máximo para este combustible es 3A una muestra de ello es la figura 17.

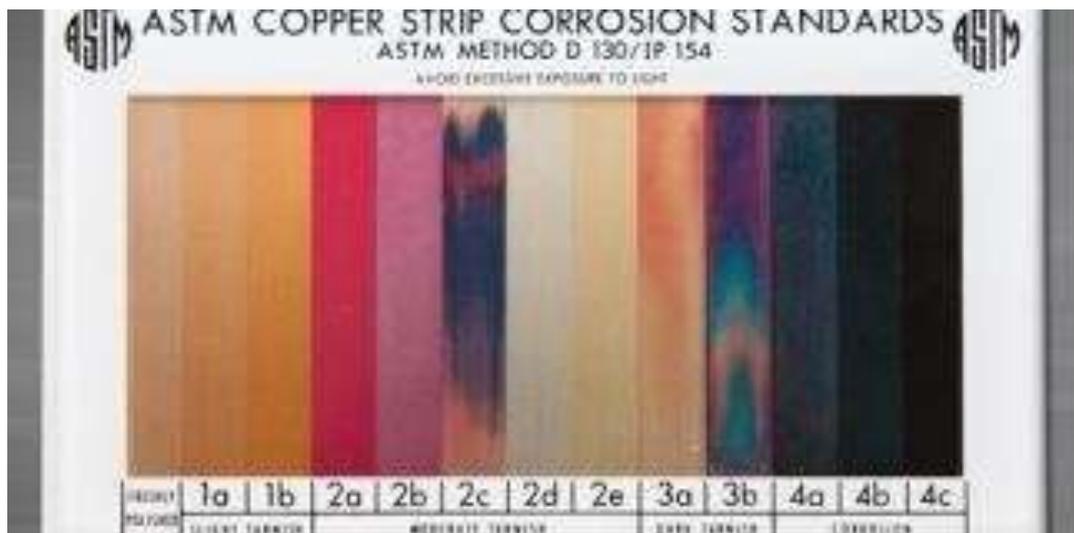


Figura 17 Escala de colores ASTM para la corrosión al cobre

Fuente: (Yang, y otros, 2013)

Índice de cetano calculado

Según la norma ASTM D976-06, Este método de prueba abarca la fórmula de Índice de cetano calculado, que representa un medio para estimar directamente el número de cetano de ASTM de combustibles destilados a partir de la gravedad API y del punto de ebullición promedio. (ASTM D976-06, 2019)

Formula de índice de cetano:

$$IC = 45.2 + 0.0892 T10N + [0.131 + 0.901B] T50N + [0.0523 - 0.420B] T90N + 0.00049 [(T10N)^2 - (T90N)^2] + 107B + 60(B)^2$$

Siendo:

D = Densidad a 15 °C [g/ml] determinada según método ASTM D 1298.

$$B = [e^{(-3.5)(D - 0.85)}] - 1$$

T10 = Temperatura (°C) a la que destila el 10% según Método ASTM D 86.

$$T10N = T10 - 215.$$

T50 = Temperatura (°C) a la que destila el 50% según Método ASTM D 86.

$$T50N = T50 - 260.$$

T90 = Temperatura (°C) a la que destila el 90% según Método ASTM D 86.

$$T90N = T90 - 310.$$

T10, T50 y T90 han de corregirse para la presión atmosférica normalizada

Destilación

Según la norma ASTM D86-15, Este método de prueba cubre la destilación atmosférica de productos de petróleo y combustibles líquidos utilizando una unidad de destilación por lotes de laboratorio para determinar cuantitativamente las características del rango de ebullición de productos como los destilados medios y ligeros, combustibles para motores de encendido por chispa de automóviles con o sin compuestos oxigenados, gasolinas de aviación, combustibles de turbinas de aviación, combustibles diésel, mezclas de biodiésel hasta 20%, combustibles marinos, aguardientes especiales de petróleo, naftas, aguardientes blancos y querosines (ASTM D86-15, 2019).



Figura 18 Maquina para destilación ASTM
Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Residuo de carbón

Según la norma ASTM D4530, Este método de prueba abarca la determinación de la cantidad de residuos de carbono que se formó después de la evaporación y pirolisis de materiales derivados del petróleo en determinadas condiciones, y tiene por finalidad proporcionar alguna indicación de la tendencia relativa de dichos materiales a formar coque. (ASTM D4530, 2019)



Figura 19 Analizador automático de residuos de carbono
Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Tabla 4 Especificaciones técnicas tester residuo de carbón

Fuente de alimentación	AC 220 +- 10% 50 HZ	Soplete	Antorcha de gas
Porcelana Crisol	30 ml	Estándar	ASTM D189, ASTM D4530
Ronda cubierta de hierro	Inferior: 20 – 53 mm Cono: 25 +- 2 mm Superior: 50 +- 3 mm	Rango de medición	0 – 100 %

Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Contenido de cenizas

Según la norma ASTM D482, Este método de prueba abarca la determinación de ceniza en el rango de 0.001 a 0.180 % en masa de combustibles destilados y residuales, combustibles de turbinas a gas, aceites crudos, aceites lubricantes, ceras y otros productos derivados del petróleo en los cuales cualquier material presente que genere ceniza se considera normalmente como impureza o contaminante indeseable. Este método de prueba se limita a productos derivados del petróleo que estén libres de aditivos que generen ceniza, incluyendo ciertos compuestos fosforados. (ASTM D482, 2019)



Figura 20 Analizador de contenido de cenizas

Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Especificaciones analizador de cenizas

- Fuente de alimentación: AC 220v +- 10% 50 Hz
- Potencia nominal: 2.5 kw
- Temperatura nominal: 1000°C
- Tiempo de aumento de temperatura: 50 min
- Consumo de energía para horno vacío: +- 800 Kw
- Tamaño de la cámara del horno: 200 mm x 120mm x 80mm
- Dimensión: 575mm x 3850mm x 480mm

Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Viscosidad cinemática a 40°C

Según la norma ASTM D445, Este método de prueba especifica un procedimiento para la determinación de la viscosidad cinemática, de los productos derivados del petróleo líquidos, tanto transparentes como opacos, mediante la medición del volumen de un líquido que fluye por gravedad a través de un viscosímetro capilar de vidrio calibrado. La viscosidad dinámica, puede obtenerse mediante la multiplicación de la viscosidad cinemática, por la densidad, del líquido. (ASTM D445, 2019)



Figura 21 Medidor de viscosidad cinemática
Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Especificaciones medidor de viscosidad

- Fuente de alimentación: AC 220v +- 10% 50 Hz
- Potencia nominal: 2.5 kw
- Rango de sensor de presión: 0 – 16 MPa +- 2%
- Rango de control de temperatura: 200 – 150°C en uso común
- Velocidad de rotación: 100 +- 5 rpm
- Volumen de baño de aceite: 30 l
- Dimensión: 575mm x 3850mm x 480mm

Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Agua y Sedimentos

Según la norma ASTM D1796, Este método de prueba describe la determinación en laboratorio del agua y los sedimentos en fuelóleos dentro del rango del 0 al 30 % en volumen por medio del procedimiento de centrifugación. (ASTM D1796, 2019)



Figura 22 Centrifugadora de combustibles
Fuente: (Alibaba Group, S.F.)

Resultados

Características para Diésel

Los datos presentados en la tabla 5. Se obtuvieron de reportes de calidad de Petroecuador para combustible diésel Premium, que es el diésel comercializado en las estaciones de servicio del país para uso automotriz.

Tabla 5 Características del diésel Premium

ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO	VALOR DIÉSEL
Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 min	48
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	%	500 máx.	100
Corrosión de lámina de cobre	ASTM D130-12		No. 3 máx.	1A
Índice de cetano calculado	INEN 1495: 2013 (1R)		45 min	48.1
Ensayo de destilación: temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	360 máx.	322
Residuo de carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0.15 máx.	0.7
Contenido de cenizas	INEN 1492: 2013 (1R)	%	0.01 máx.	0
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D445 - 15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	2.5
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 máx.	<0.025

Fuente: (Petroecuador, 2012).

Resultados para mezcla B5

Después de un exitoso proceso de ensayos se obtuvieron los resultados reflejados en la tabla 6. Para la mezcla de biodiésel B5 que muestra que este tipo de combustible se encuentra dentro de la norma ecuatoriana y para ser comercializado debería corregir los residuos de carbón y de cenizas que exceden sus valores en 1.831 y 0.229 respectivamente.

Tabla 6 Características de la mezcla B5

ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO	VALOR OBTENIDO DIÉSEL B5
Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 min	62
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	%	500 máx.	84
Corrosión de lámina de cobre	ASTM D130-12		No. 3 máx.	1A
Índice de cetano calculado	INEN 1495: 2013 (1R)		45 min	51.9
Ensayo de destilación: temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	360 máx.	351
Residuo de carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0.15 máx.	1.831
Contenido de cenizas	INEN 1492: 2013 (1R)	%	0.01 máx.	0.229
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D445 - 15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	4.056
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 máx.	<0.05

Fuente: (LABCAL, 2019).

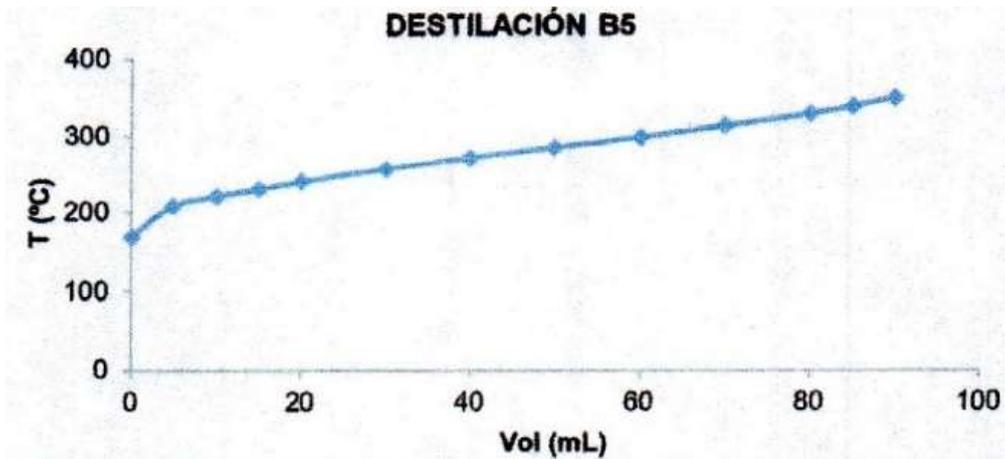


Figura 23 Gráfico para destilación de mezcla B5

Fuente: (LABCAL, 2019).

En la figura 23 se puede apreciar como fue el comportamiento de la muestra B5 durante el proceso de destilación.

Resultados para mezcla B15

Las pruebas presentaron contratiempos durante el ensayo de destilación, se presume la presencia de alcohol proveniente del proceso de obtención del biodiésel, con lo que la temperatura máxima de ebullición en la prueba fue excedida de la norma a la cual se estaba trabajando, según se manifestó en el informe final de las pruebas (LABCAL, 2019).

En la tabla 7. Se presentan los resultados de las pruebas que no requerían el dato de destilación y que se realizaron satisfactoriamente donde muestra que este tipo de combustible no se encuentra dentro de la norma ecuatoriana y para ser comercializado debería corregir el punto de destilación que es la base para poder evaluar otros parámetros como el residuo de carbón y el índice de cetano, que son parámetros fundamentales a medir en un combustible de este tipo.

Tabla 7 Características de la mezcla B15

ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO	VALOR OBTENIDO DIÉSEL B15
Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 min	53
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	%	500 máx.	45
Corrosión de lámina de cobre	ASTM D130-12		No. 3 máx.	1A
Índice de cetano calculado	INEN 1495: 2013 (1R)		45 min	FALTA DATO DE DESTILACION
Ensayo de destilación: temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	360 máx.	MUESTRA FUERA DE RANGO
Residuo de carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0.15 máx.	FALTA DATO DE DESTILACION
Contenido de cenizas	INEN 1492: 2013 (1R)	%	0.01 máx.	0.46
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D445 - 15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	4.677
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 máx.	<0.05

Fuente: (LABCAL, 2019).

Resultados para mezcla B5A

Después de un exitoso proceso de ensayos se obtuvieron los resultados reflejados en la tabla 8. Para la mezcla de biodiésel B5A que muestra que este tipo de combustible se encuentra dentro de la norma ecuatoriana y para ser comercializado debería corregir los residuos de carbón y de cenizas que exceden sus valores en 0.309 y 0.287 respectivamente.

Tabla 8 Características de la mezcla B5A

ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO	VALOR OBTENIDO DIÉSEL B5A
Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 min	63
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	%	500 máx.	73
Corrosión de lámina de cobre	ASTM D130-12		No. 3 máx.	1A
Índice de cetano calculado	INEN 1495: 2013 (1R)		45 min	49.8
Ensayo de destilación: temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	360 máx.	351
Residuo de carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0.15 máx.	0.309
Contenido de cenizas	INEN 1492: 2013 (1R)	%	0.01 máx.	0.287
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D445 - 15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	4.2
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 máx.	<0.05

Fuente: (LABCAL, 2019).

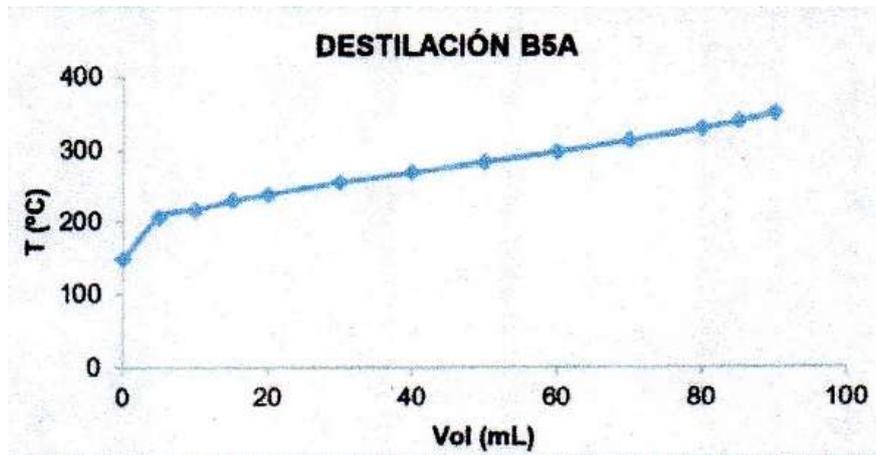


Figura 24 Gráfico para destilación de mezcla B5A
Fuente: (LABCAL, 2019).

En la figura 24 se puede apreciar como fue el comportamiento de la muestra B5A durante el proceso de destilación.

Resultados para mezcla B15a

Las pruebas presentaron contratiempos durante el ensayo de destilación, la temperatura de ebullición de la muestra se encontró fuera del rango de destilación que se dicta en la norma por lo que no se pudo realizar la prueba.

En la tabla 9. Se muestra que este tipo de combustible no se encuentra dentro de la norma ecuatoriana y para ser comercializado debería corregir el punto de destilación que es la base para poder evaluar otros parámetros como el residuo de carbón y el índice de cetano, que son parámetros fundamentales a medir en un combustible de este tipo.

Tabla 9 Características de la mezcla B15A

ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO	VALOR OBTENIDO DIÉSEL B15A
Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 min	52
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	%	500 máx.	36

Corrosión de lámina de cobre	ASTM D130-12		No. 3 máx.	1A
Índice de cetano calculado	INEN 1495: 2013 (1R)		45 min	FALTA DATO DE DESTILACION
Ensayo de destilación: temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	360 máx.	MUESTRA FUERA DE RANGO
Residuo de carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0.15 máx.	FALTA DATO DE DESTILACION
Contenido de cenizas	INEN 1492: 2013 (1R)	%	0.01 máx.	0.536
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D445 - 15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	4.843
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 máx.	<0.05

Fuente: (LABCAL, 2019).

Resultados para mezcla Diésel + ferox

Después de un exitoso proceso de ensayos se obtuvieron los resultados reflejados en la tabla 10. Para la mezcla de Diésel + ferox que muestra que este tipo de combustible se encuentra dentro de la norma ecuatoriana y puede ser comercializado tomando en cuenta un elevado contenido de azufre que podría derivar en un aumento de emisiones contaminantes.

Tabla 10 Características de la mezcla Diésel + Ferox

ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO	VALOR OBTENIDO DIÉSEL + FEROX
Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 min	72
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	%	500 máx.	93
Corrosión de lámina de cobre	ASTM D130-12		No. 3 máx.	1A
Índice de cetano calculado	INEN 1495: 2013 (1R)		45 min	50.9
Ensayo de destilación: temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	360 máx.	350
Residuo de carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0.15 máx.	0.007
Contenido de cenizas	INEN 1492: 2013 (1R)	%	0.01 máx.	0.006
Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D445 - 15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	3.928
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 máx.	<0.05

Fuente: (LABCAL, 2019).

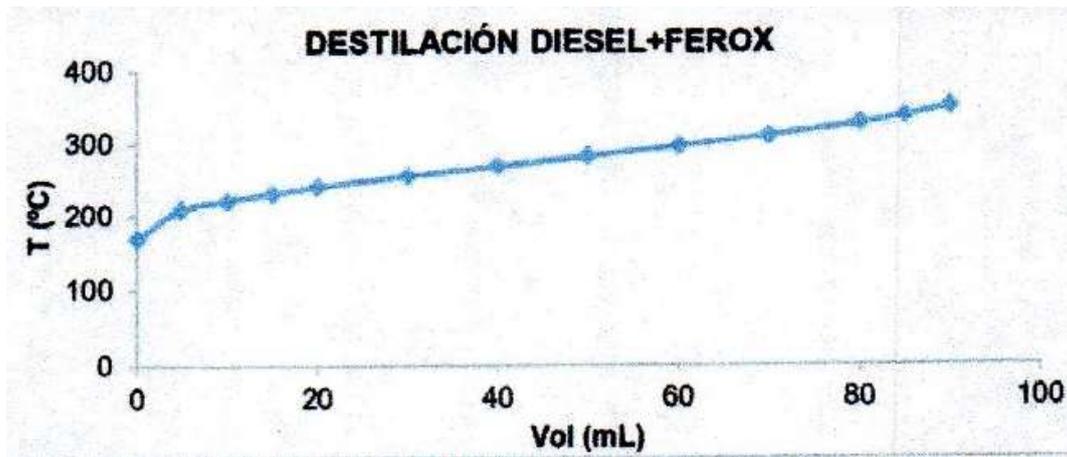


Figura 25 Grafico para destilación de mezcla Diésel + Ferox

En la figura 25 se puede apreciar como fue el comportamiento de la muestra Diésel + Ferox durante el proceso de destilación.

Discusión de Resultados

Punto de inflamación

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran el grado de punto de inflamación de cada mezcla, los datos se expresan en grados centígrados ya que es la temperatura donde el combustible se comienza a inflamar (Hughey, 2015), tal y como se puede visualizar en la figura 26.

Se puede apreciar la notable diferencia entre el mayor valor del punto de inflamación y el resto de las muestras. La muestra de Diésel + Ferox presento 72°C con lo que sobrepasa por mucho a los 48°C del diésel tradicional. Teniendo que las mezclas se encuentran en los valores permitidos dentro de la norma europea (UNE, 2015), colombiana (Ecopetrol, 2017), peruana (Petroperu, 2014) y ecuatoriana (Petroecuador, 2012) a excepción del diésel tradicional que no alcanza el valor en ninguna norma.

Dando lugar a que un mayor punto de inflamación, diésel + ferox con 72°C, según Venu, 2018, quien en su investigación utiliza al diésel convencional con un punto de inflamación de 68°C, detalla que se libera más energía del combustible a medida que este índice aumenta, cuando se compara con el biodiesel de jhatropa con 130°C aumento la eficiencia del motor en un 34,86% en promedio cuando se retarda 22° la inyección, con lo que se observa una mejor liberación de energía del combustible y que se pueda realizar una combustión completa durante el proceso, evitando que se formen depósitos en el motor, reduciendo las emisiones contaminantes y dando una mejor seguridad en el funcionamiento del motor (Santillana & Salinas , 2017).

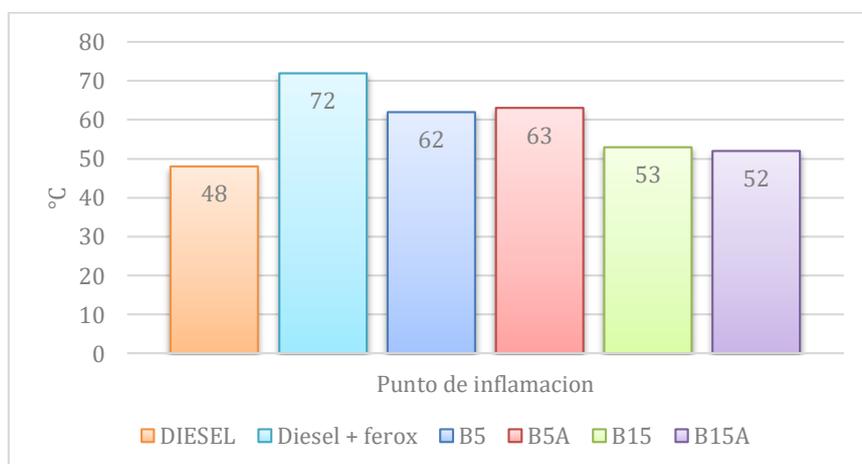


Figura 26 Punto de inflamación de las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Contenido de azufre

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran el contenido de azufre de cada mezcla, como podemos visualizar en la figura 27. Los datos se expresan en partes por millón ya que es la cantidad de azufre presente por cada masa de combustible, con un máximo de 500 ppm presente en la muestra para el Ecuador (Petroecuador, 2012) siendo la más permisiva de la región frente a los 50 ppm que se exigen en Perú (Petroperu, 2014) y Colombia (Ecopetrol, 2017), y mucho más en la norma europea que solamente permite 10 ppm (UNE, 2015). Dejando fuera de norma a las mezclas analizadas.

El diésel tradicional presenta en su concentración 100 ppm de azufre, y para el resto de las muestras se tornó decreciente a medida que el porcentaje de biodiésel iba en aumento, como se puede verificar en los 36 ppm de la muestra B15A, lo que indica que se producirá menos desgaste durante el proceso de admisión y alargará la vida útil del motor al no estar en contacto con los sulfatos (CEPAL, 2005).

Según Sinay, 2018, las emisiones contaminantes reducen en un 40% a medida que el porcentaje de azufre disminuye ya que este es el principal elemento de emisión de gases nocivo, y con la reducción de este porcentaje en nuestras mezclas podemos ayudar a disminuir este factor contaminante.

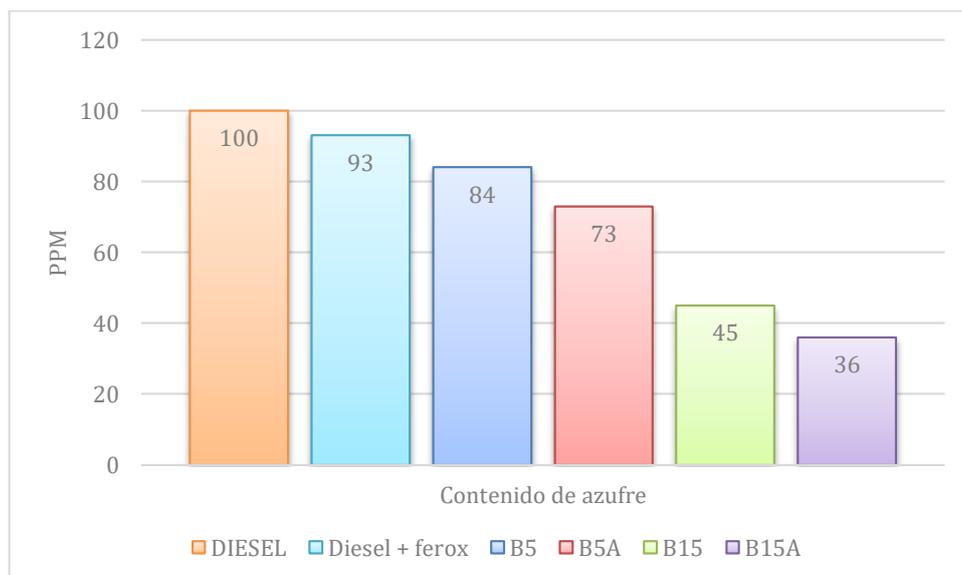


Figura 27 Contenido de azufre de las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Corrosión de lámina de cobre

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran el grado de corrosión que puede causar al cobre en cada mezcla, como se puede visualizar en la figura 28.

Todas las muestras evaluadas presentaron el índice de corrosión en 1A que es un índice aceptado para todo tipo de diésel en la norma ecuatoriana, con lo que se previene un desgaste prematuro por corrosión en las partes móviles de nuestros motores (Yang, y otros, 2013), alargando la vida útil de los mismos mientras se utilice este tipo de mezclas (Cursaru, y otros, 2018).

La norma colombiana (Ecopetrol, 2017) exige un máximo de 2, la norma peruana (Petroperu, 2014) alcanza un valor máximo de 3, por la presencia más notoria de alcoholes en su composición. Por su parte la norma europea (UNE, 2015) permite 1b como su valor máximo. Estando así las muestras analizadas dentro de todas estas normas.

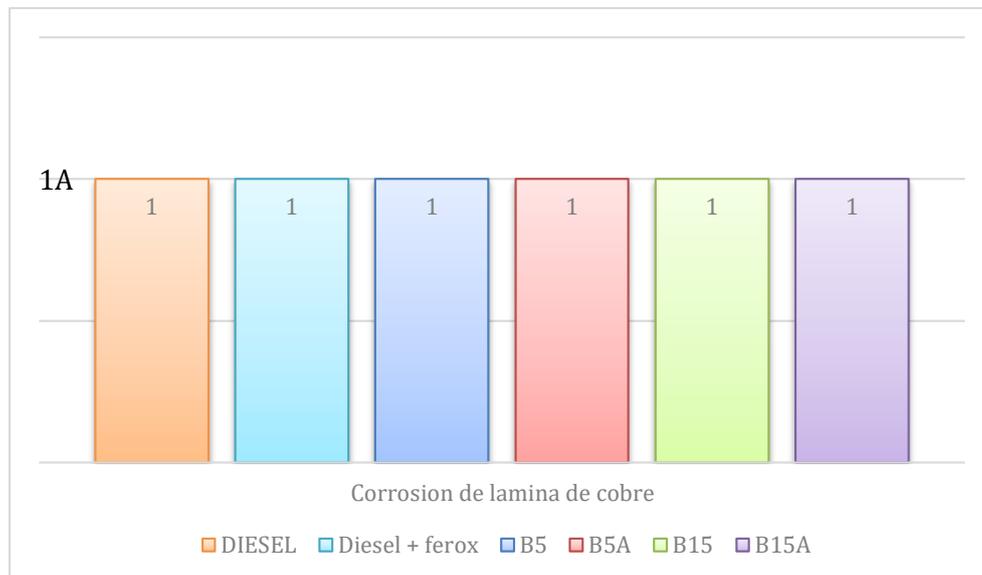


Figura 28 Corrosión de lámina de cobre de las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Índice de cetano

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran el índice de cetano en cada mezcla, como se puede visualizar en la gráfica 29. Un aumento en el número de cetano de 40 a 46 del combustible diésel conduce a una disminución en la eficiencia del ciclo de operación en motores en un 34 a 44% por lo que su consumo de combustible aumentaría en un 2% al igual que la emisión de gases de escape que aumentaría en un 8 a 10% (Malyavinskii & Rossinskii, 1976).

El diésel tradicional posee un índice de 48, presentando el mejor comportamiento para esta prueba, frente a un valor máximo de 51.9 obtenido para la muestra B5, evidenciando una diferencia no tan amplia entre las muestras que pudieron ser evaluadas, B5A (49.8) y diésel + ferox (50.9).

Las mezclas se encuentran dentro de norma ecuatoriana (Petroecuador, 2012), colombiana (Ecopetrol, 2017) y peruana (Petroperu, 2014) con valores mínimos de 45, 45 y 40 respectivamente y no alcanzan la norma europea para combustibles (UNE, 2015), con 51, a excepción de la mezcla B5 (51.9).

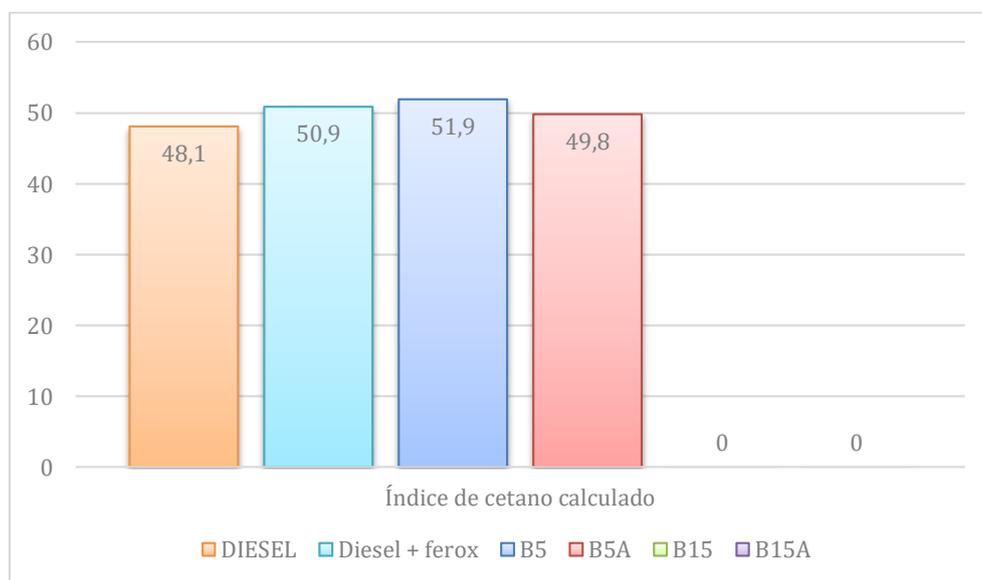


Figura 29 Índice de cetano en las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Ensayo de destilación: Temperatura del 90%

Los resultados obtenidos en esta prueba nos muestran la temperatura a la que se puede destilar cada mezcla, como se puede visualizar en la gráfica 30. Los datos se expresan en °C según lo especifica la norma correspondiente para este tipo de pruebas (ASTM, 2019).

Las muestras B5 y B5A presentaron una temperatura de destilación de 351 °C frente a 350 °C y 322°C del diésel + ferox y diésel tradicional respectivamente, indicando una mínima diferencia entre las muestras que pudieron ser evaluadas.

En comparación de los resultados ya amparados por la norma ecuatoriana con las normas colombiana (Ecopetrol, 2017), peruana (Petroperu, 2014) y europea (UNE, 2015), se encuentra a las mezclas dentro de los valores permitidos teniendo como valor máximo para cada una de estas normas 360°C.

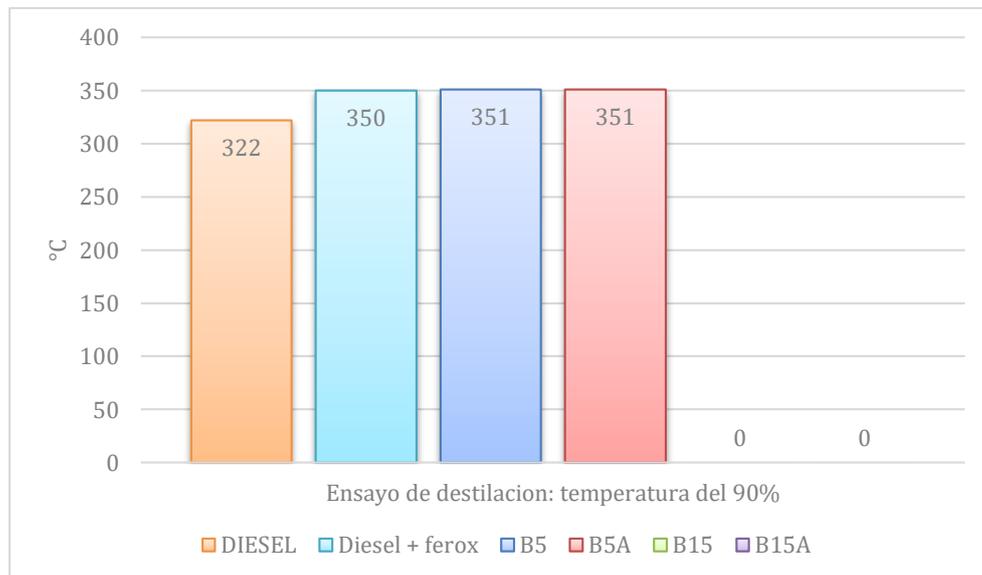


Figura 30 Destilación de las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Residuo de carbón Conradson al 10% de residuo

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran la cantidad de carbón presente en los residuos de cada mezcla. Y se puede visualizar en la gráfica 31. Los datos se expresan porcentaje de masa, teniendo como valor máximo permitido de 0.15 % según lo establece la norma ecuatoriana (Petroecuador, 2012).

La muestra B5 excedió los límites de esta prueba presentando un valor de 1.831 % frente a un evidente 0.06 % de la mezcla Diésel + Ferox indicando que el carbón se combustiona casi en su totalidad durante el proceso de combustión del combustible. Mientras que en los otros casos donde la concentración de carbón es mayor, este produciría depósitos en inyectores y dentro de la cámara de combustión restringiendo el desempeño con normalidad del motor (Agudelo, & otros, 2003).

Las muestras evaluadas en esta prueba evidenciaron un alto contenido de residuo de carbono con lo que la mezcla B5 y el diésel tradicional quedan fuera de las normas comparadas, colombiana (Ecopetrol, 2017) (0.2), peruana (Petroperu, 2014) (0.35) y europea (UNE, 2015) (0.3), ya que su composición se combustiona solamente la parte más volátil del combustible.

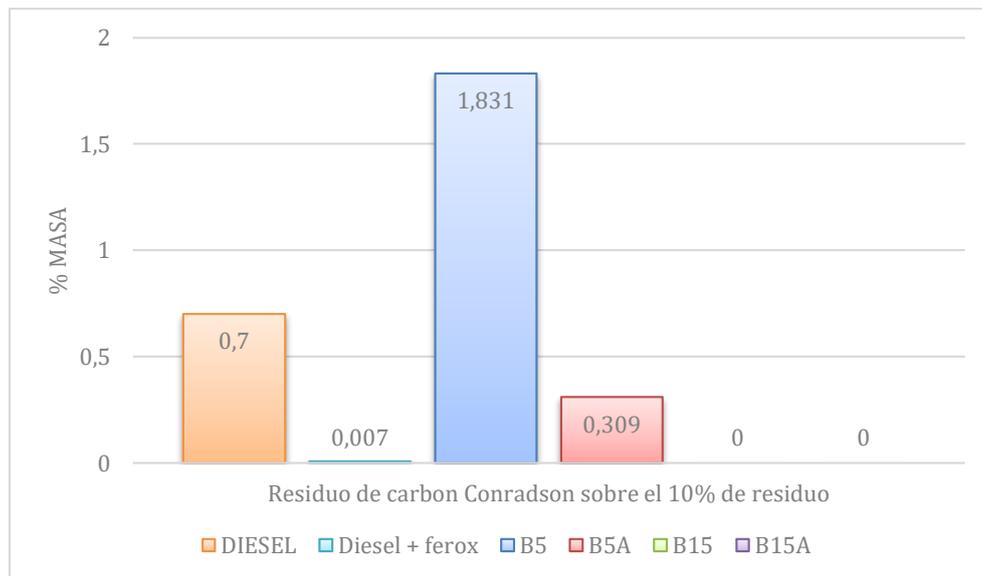


Figura 31 Residuo de carbón en las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Contenido de cenizas

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran el porcentaje de cenizas presente en cada mezcla como se lo puede visualizar en la gráfica 32. Los datos se expresan porcentaje de masa que se mide en el combustible con un valor máximo permitido de 0.1 % (Petroecuador, 2012).

El diésel convencional no presenta cenizas en su composición, así como el diésel + ferox donde la presencia de cenizas es ínfima con un 0.006%, la muestra B15A mostro un 0.536 % que excede los valores máximos. Con lo que se podría decir que el biodiésel es el que presenta cenizas por su contenido de origen vegetal y que no se están combustionando en su totalidad y que podrían derivar en un desgaste prematuro del motor y un aumento en el consumo de combustible (Agarwal, 2007).

Las muestras con presencia de biodiésel tales como B5, B15, B5A, B15A no cuentan con valores permitidos en las normas ecuatoriana (Petroecuador, 2012), peruana (Petroperu, 2014), colombiana (Ecopetrol, 2017) y europea (UNE, 2015) ya que su valor máximo permitido es solamente 0.1%.

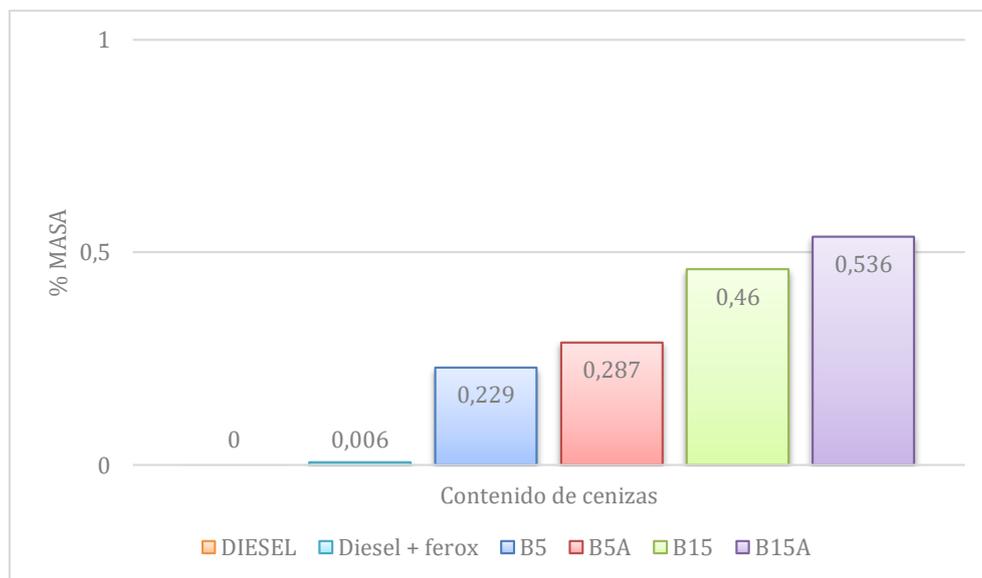


Figura 32 Contenido de cenizas en las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Viscosidad cinemática a 40°C

Los resultados obtenidos en esta prueba muestran la viscosidad cinemática para cada mezcla, como se puede visualizar en la gráfica 33. Los datos se expresan en mm²/s y se establece límites de 2 a 5.

Se tiene un valor de 4.843 mm²/s para la muestra de B15A frente a un 2.5 mm²/s del diésel convencional, se puede notar que todas las muestras están dentro de los límites permitidos pero cabe resaltar que una baja viscosidad podría influenciar en la pérdida de potencia y aumento de consumo de combustible ya que afecta directamente al tiempo de inyección (Agarwal, y otros, 2015) y la calidad de mezcla a combustionar (Agarwal, 2007).

En la norma colombiana (Ecopetrol, 2017) se tienen como límites de 1.9 a 5; la norma europea (UNE, 2015) por su parte de 2 a 4.5; y la peruana (Petroperu, 2014) de 1.7 a 4.1. Donde nuestras mezclas B5A, B15, B15A quedarían fuera de la norma peruana y europea mas no de la colombiana y en la norma nacional (Petroecuador, 2012) todas las mezclas se encuentran en los límites permitidos.

Según Jian, 2014, el tiempo de inyección aumenta de 0.5 a 1 us y la presión de inyección disminuye de 17 a 38.9% trabajando a 1500 rpm a medida que la viscosidad cinemática va en aumento, reduciendo la eficiencia del motor en un 4.6% debido a que el proceso de combustión no se realiza adecuadamente.

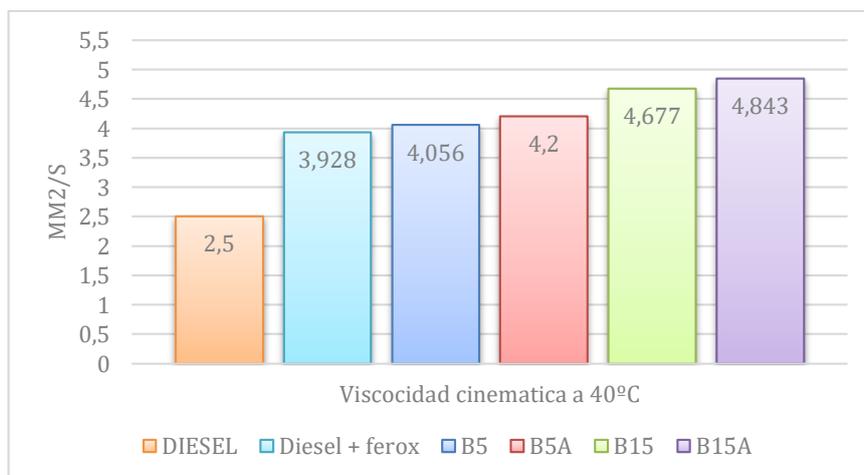


Figura 33 Viscosidad cinemática de las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Agua y sedimentos

Los resultados obtenidos en esta prueba nos muestran el contenido de agua presente en el diésel al igual que los sedimentos existentes en cada mezcla, como se puede visualizar en la gráfica 34. Los datos se expresan en porcentaje de volumen con un valor máximo de 0.05 %.

Todas las muestras se encuentran bajo los límites que exige la norma teniendo como más relevante el diésel tradicional con valores menores a 0.025%. Las normas: europea (UNE, 2015), colombiana (Ecopetrol, 2017) y peruana (Petroperu, 2014) admiten los valores que se presentan en las mezclas dando como resultado positivo para la evaluación ya que un excesivo volumen de estos elementos provocarían desgaste prematuro en el motor (Piloto Rodriguez, & otros, 2008).

Según Wang, 2018, el retraso de encendido se prolonga a medida que la concentración de agua aumenta, de 0 a 30%, la calidad de mezcla disminuye por lo que se necesita más energía para aprovechar en su totalidad el combustible, el motor reduce su eficiencia en un 20% en promedio.

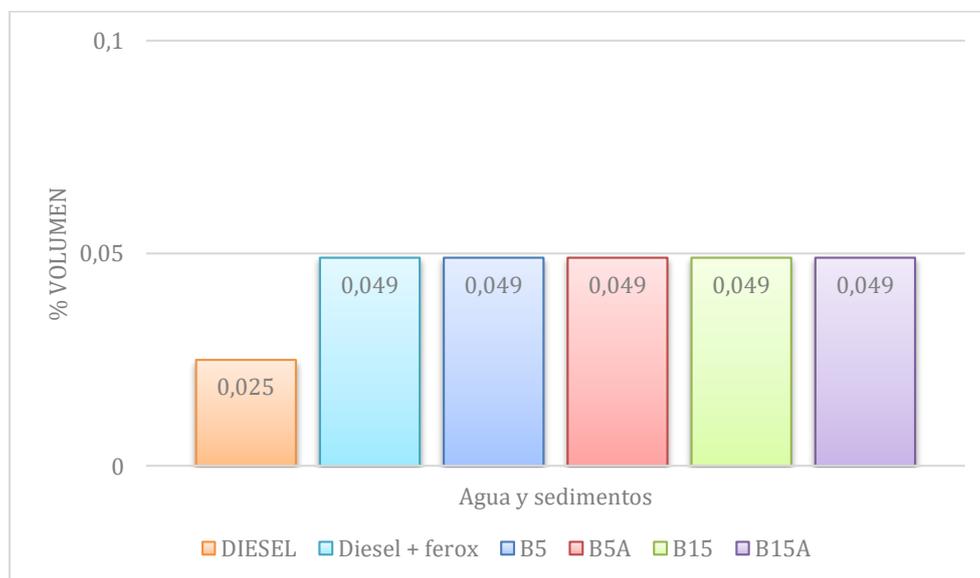


Figura 34 Contenido de agua y sedimentos en las muestras

Fuente:(Autor, 2019)

Conclusiones

La norma ecuatoriana NTE INEN 1489:2012 - Séptima revisión, es muy permisiva con los elementos contaminantes ya que al comparar con otras normas vigentes como la europea y otras de la región como la colombiana y peruana, admite límites muy altos y poco ecológicos, con lo que se restringe el desarrollo de un biodiésel totalmente amigable con el ambiente.

Al analizar varios estudios de uso y producción de biodiesel de países como Colombia y Perú, se evidencia un retraso en la labor de reducción de emisiones contaminantes en Ecuador, debido a la baja calidad de diésel tradicional que se produce y comercializa en el país. Mientras que nuestros países vecinos continúan con la labor de investigación de combustibles amigables con el ambiente y eficientes en los motores sin perjudicar la vida útil de los mismos, nuestro país no se ha visto tan involucrado en este tema.

Ciertas mezclas evaluadas en la presente investigación demostraron que logran cumplir con cada una de las pruebas a excepción de la prueba de destilación que debido a la presencia de alcoholes en las muestras B15 y B15A no se logró establecer un valor aceptado, por lo tanto, no se pudo obtener valores de residuos de carbón, índice de cetano que son los parámetros que estamos tomando en cuenta para aproximar su eficiencia.

A medida que el porcentaje de biodiésel fue aumentando, las mezclas iban acercándose a los límites máximos permitidos e inclusive saliendo de norma en algunos casos como lo fue en el contenido de carbón (1.831 %) y el contenido de cenizas (0.229%) de la muestra B5 y del residuo de carbón (0.309 %) y el contenido de cenizas (0.287%) en la B5A.

Las mezclas que se mantuvieron un comportamiento aceptable y amparado por la normativa nacional e inclusive en algunos aspectos en normas de los países vecinos fueron la mezcla B5A y la mezcla DF, teniendo en cuenta su favorable combustión completa, al no presentar altos números de residuos de carbón y cenizas, podemos decir que son estas las indicadas para poder reemplazar al diésel tradicional en nuestro campo automotor local.

Trabajos citados

Agarwal, A. K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, 233-271.

Agarwal, A. K., Dhar, A., Gupta, J. G., Kim, W. I., Choi, K., Lee, C. S., & Park, S. (2015). Effect of fuel injection pressure and injection timing of Karanja biodiesel blends on fuel spray, engine performance, emissions and combustion characteristics. *Energy Conversion and Management*, 302-314.

Agudelo, J., Benjumea, P., Gómez Meneses, E., & Pérez Bayer, J. F. (2003). Biodiésel: Una revisión del desempeño mecánico y ambiental. *Ingeniería & desarrollo*, 1-14.

Alvarez, J. A. (2013). *Obtención de biodiésel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio*. Chihuahua.

Arbeláez Marín, Á. M., & Rivera Quiroz, M. P. (2007). *Diseño conceptual de un proceso para la obtención de biodiésel a partir de algunos aceites vegetales colombianos*. Medellín: Universidad EAFIT. <https://www.astm.org/search/fullsite-search.html?query=&resStart=0&resLength=10&>

Chelladurai, P., & Geo, E. (2016). *Experimental Investigation to Study the Effect of Properties of Coconut Oil Biodiesel and Castor Oil Biodiesel and its Blending with Diesel on the Performance in a CI Engine*. SAE Technical Paper.

Chiatti, G., Chiavola, O., Palmieri, F., & Albertini, S. (2014). Combustion and Emissions Characterization of Biodiesel Blends in a City-Car Engine. *Energy Fuels*, 5076-5085.

Cursaru, D. L., Nassreddine, S., Riachi, B., Neagu, M., Mihai, S., Matei, D., & Branoiu, G. (2018). Impact of moisture on the corrosion behavior of copper and mild carbon steel in corn biodiesel. *Corros*, 1-16.

Dávila Barrera, J. D., & Cortes Lopez, C. C. (2017). *Obtención de biodiesel a partir de aceite de fritura*. Bogotá: Universidad Libre de Colombia.

De Lucas, A., Durán, A., Carmona, M., & Lapuerta, M. (2001). Modeling diesel particulate emissions with neural networks. *Fuel* 80, 539-548.

Ecopetrol. (2017). *Especificaciones técnicas diesel corriente B2, B4*. Colombia.

Elkelawy, M., Bastawissia, H. A.-E., Esmaeil, K. K., Radwan, A. M., Panchal, H., Sadasivuni, K. K., . . . Walvekar, R. (2019). Experimental studies on the biodiesel production parameters optimization of sunflower and soybean oil mixture and DI engine

combustion, performance, and emission analysis fueled with diesel/biodiesel blends.

Fuel.

FEROX, f.-t. (2018). *Catalizador para combustible*. RENNSLI.

Ferrarese, A., & Uehara, S. (2009). *Influence of Biodiesel on Powercell Components*. Brasil: Mahle Tech center.

Flores Montoya, A., & Rojas, A. (2009). Efecto de la proporción de mezclas biodiesel, petrodiesel en el desempeño mecánico-ambiental de motores. *Ingeniería y competitividad*, 63-78.

Fonseca Gonzalez, N., Casanova Kindelan, J., & Betancourt Astete, R. (2011). *Influencia del contenido de biodiesel en gasoleo en el rendimiento termico de un motor diesel ligero ensayado en trafico real*. Bilbao: Universidad politecnica de Madrid.

Hughey, A. (julio de 2015). *ALS tribology*. Obtenido de Resumen especificacion ASTM para diesel | parte 2:

http://esource.alstribology.com/se016_july2015/Parte%20II.html

Hughey, A. (junio de 2015). *ALS tribology*. Obtenido de Resumen de especificaciones ASTM para diesel | parte 1:

http://esource.alstribology.com/SE015_June2015/Resumen.html

Hughey, A. (Agosto de 2015). *ALS tribology*. Obtenido de Especificacion ASTM combustible diesel | parte 3:

http://esource.alstribology.com/se017_aug2015/Parte%20III.html

Knoerzer, T., Hill, E., Todd, D., Iacono, S., Johnson, J., & Balaich, G. (2018). Comparative analysis of fuel composition and physical properties of biodiesel, kerosene, and Jet fuel. *Journal of Chemical education*, A-F.

Krishna, S. M., Salam, A., Tongroon, M., & Chollacoop, N. (2019). Performance and emission assessment of optimally blended biodiesel-diesel-ethanol in diesel engine generator. *Applied Thermal Engineering*.

Lafont, J., Páez, M., & Torres, Y. (2011). Análisis Químico de mezclas biodiesel de aceite de cocina usado y diesel por espectroscopia infrarroja. *Informacion Tecnologica*, 35-42.

Malyavinskii, L. V., & Rossinskii, V. M. (1976). INFLUENCE OF DIESEL FUEL CETANE NUMBER ON OPERATING INDICES OF ENGINE. *Kimiya i Teknologiya Topliv i Masel*, 144-146.

Mejía, A., & Lastra, L. (2017). Influencia de las mezclas diesel biodiesel en el comportamiento de los parametros efectivos y medio ambientales de un motor de combustion interna diesel de 6.11 Kw. *Tecnia*, 15-19.

Montero, J. A. (2011). *ESTUDIO DE LA COMBUSTIÓN DE UN MOTOR MONOCILÍNDRICO DE IGNICIÓN ALIMENTADO CON MEZCLAS GASOLINA-ETANOL ANHIDRO E HIDRATADO A DISTINTAS CONCENTRACIONES*. Xalapa.

Murcia Ordoñez, B., Andredy Murcia, M., Chavez, L. C., Alvarado, E. R., & Rodriguez Perez, w. (2013). Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina. *Colombia Biotecnológica*, 61-70.

Petroecuador. (2012). *Especificaciones tecnicas para diesel premiium*. Ecuador.

Petroperu. (2014). *Especificaciones tecnicas diesel corriente*. Peru.

Piloto Rodriguez, R., Sierens, R., Verhelst, S., & Ferrer Frontela, N. (2008). Evaluacion del funcionamiento de motores de combustion interna trabajando con biodiesel. *Ingenieria Mecanica*, 33-38.

Rodriguez Fernandez, J., Hernandez, J. J., Calle Asensio, A., Ramos, Á., & Barba, J. (2019). Selection of blends of diesel fuel and advanced biofuels based on their physical and Thermochemical properties. *Energies*, 1-13.

Santillana , J., & Salinas , J. (junio de 2017). *Energia (hidrocarburos), Medio Ambiente y Educación en Ingeniería Química*. Obtenido de <https://www.ssecoconsulting.com/pmrt-evalua-produccion-diesel-euro-vi.html>

Sarvestany, N. S., Farzad, A., Ebrahimnia-Bajestan, E., & Mir, M. (2014). Effects of Magnetic Nanofluid Fuel Combustion on the Performance and Emission Characteristics. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 1745-1750.

Sinay, J., Puskar, M., & Kopas, M. (2018). Reduction of the NOx emissions in vehicle diesel engine in order to fulfill future rules concerning emissions released into air. *Science of the Total Environment*, 1421-1428.

Smolenskaya, N., & Smolenskii, V. (2018). *Influence of the type of fuel on the toxicity of exhaust gases in SI engines*. Togliatti: Togliatti State University.

Soriano, A., Reyes García, C., Leiva Candia, D., & Soto, F. (2018). Influence on performance and emissions of an automotive diesel engine fueled with biodiesel and paraffinic fuels: GTL and bio-jet fuel Farnesane. *Energy & Fuels*, 1-32.

Torres Aldaco, A., Castillo Barragan, V., Lugo Leyte, R., Lugo Méndez, H., Cervantez Ruiz, J., & Aguilar Valdivia, R. (2015). *Poder calorifico inferior de biodiesel*

de distintas fuentes y su desempeño en el motor. Pachuca: Sociedad Mexicana de termodinámica.

UNE. (2015). *Especificaciones técnicas para Gasoleo tipo A.* Europa.

Venu, H., & Babu, M. D. (2018). Improvement of ternary fuel combustion with various injection pressure strategies in a toroidal re-entrant combustion chamber. *Environmental Science and Pollution Research.*

Wang, Z., Shi, S., Huang, S., Tang, J., Du, T., Cheng, X., . . . Chen, J.-Y. (2018). Effects of water content on evaporation and combustion characteristics of water emulsified diesel spray. *Applied Energy*, 397-407.

Yang, Y., Brammer, J. G., Ouadi, M., Samanya, J., Hornung, A., Xu, H. M., & Li, Y. (2013). Characterisation of waste derived intermediate pyrolysis oils for use as diesel engine fuels. *Fuel* 103, 247-257.

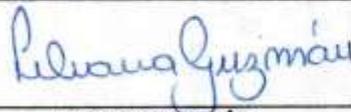
Yin, A., Zuo, F., & Li, L. (2019). *Analysis and simulation study on economy of biodiesel engine.* Nanjing: Nanjing Forestry University.

Zhang, J., Wang, X., Han, Q., Han, M., & Li, S. (2015). Physicochemical Properties, Combustion and Emission Performance of a Novel Zanthoxylum Bungeanum Seed Oil Methyl Ester Biodiesel. *International Journal of Green Energy*, 1255-1262.

Zhou, F., Fu, J., Li, D., Liu, J., Lee, C.-f. F., & Yin, Y. (2019). Experimental study on combustion, emissions and thermal balance of high compression ratio engine fueled with liquefied methane gas. *Applied Thermal Engineering.*

Anexos

		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS			Revisión: 00 Fecha: 03-Sep-2018 Página: 2 de 14	
		I-LACBAL-2019-019				
		INFORMACIÓN CLIENTE:		NOMBRE/EMPRESA UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK DIRECCIÓN EL CALVARIO 5/N Y FRANCISCO COMPTÉ NÚMERO DE MUESTRAS 13		FPT0401-00
INFORMACIÓN GENERAL:						
RESPONSABLE DEL INFORME		ING. TANIA PARRA		ORDEN DE TRABAJO		EPN DQ-OT0061-2019 LACBAL OT-LACBAL-2019-019
FECHA		RECEPCIÓN 17-05-2019 INICIO DE ENSAYO 29-05-2019 ENTREGA DE INFORME 25-06-2019		PROFORMA		EPN DQ-P0210-2019 LACBAL COT-LACBAL-2019-019
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:						
IDENTIFICACIÓN		CÓDIGO LABORATORIO		TIPO MUESTRA		TIPO ENVASE
B5		M-LACBAL-2019-019-02		Diésel		Vidrio
CANTIDAD		1 L				
CONDICIONES AMBIENTALES:						
TEMPERATURA [°C]		18.4		HUMEDAD RELATIVA [%]		58
PRESIÓN [kPa]		72.9				
RESULTADOS OBTENIDOS:						
MUESTRA		ENSAYO		NORMA MÉTODO		UNIDAD
M-LACBAL-2019-019-02		Punto de inflamación		ASTM D93 - 16a		°C
		Contenido de azufre		ASTM D4294-16		%
		Corrosión lámina de cobre		ASTM D130-12		---
		Índice de cetano calculado		INEN 1495:2013 (1R)		---
		Ensayo de destilación: Temperatura del 90%		ASTM D86-15		°C
		Residuo de Carbón Conradson sobre el 10% de residuo		ASTM D4530-15		%
		Contenido Cenizas		INEN 1492:2013 (1R)		%
		Viscosidad cinemática a 40 °C		ASTM D445-15a		mm ² /s
		Agua y sedimentos		ASTM D1796 - 11		%
		Norma Requisito*				VALOR OBTENIDO
						51 Mín. 500 Máx. No. 3 Máx. 45 Mín. 360 Máx. 0.15 Máx. 0.01 Máx. 2.0 a 5.0 0.05 Máx.
						62 84 1A 51.9 351 1.831 0.229 4.056 <0.05
INFORMACIÓN ADICIONAL:						
						

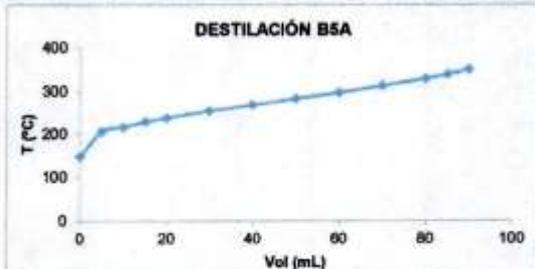

ING. LILIANA GUZMÁN
RESPONSABLE DE LABORATORIO
LACBAL

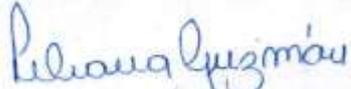


NOTAS ACLARATORIAS

1. Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
2. Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
3. Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
4. Cuando aplica, se realizan los ensayos aun en cumplimiento con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente.
5. El presente es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la forma de muestra.

Laborio de Química E11-258-GBF, Eléctrica Química (Nº 17) - 5to piso

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		Revisión: 00		
			Fecha: 03-Sep-2018		
INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS			Página: 7 de 14		
			FPT0401-00		
I-LACBAL-2019-019					
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK			
	DIRECCIÓN	EL CALVARIO S/N Y FRANCISCO COMPTÉ			
	NÚMERO DE MUESTRAS	13			
INFORMACIÓN GENERAL:					
RESPONSABLE DEL INFORME		ING. TANIA PARRA	ORDEN DE TRABAJO	EPN DQ-OT0061-2019	
FECHA	RECEPCIÓN	17-05-2019	LACBAL	OT-LACBAL-2019-019	
	INICIO DE ENSAYO	29-05-2019	EPN	DQ-P0210-2019	
	ENTREGA DE INFORME	25-06-2019	LACBAL	COT-LACBAL-2019-019	
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
B5A	M-LACBAL-2019-019-06	Diésel	Vidrio	1 L	
CONDICIONES AMBIENTALES:					
TEMPERATURA [°C]	18.4	HUMEDAD RELATIVA [%]	58	PRESIÓN [kPa]	72.9
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO*	VALOR OBTENIDO
M-LACBAL-2019-019-06	Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 Mín.	63
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	%	500 Máx.	73
	Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	No. 3 Máx.	1A
	Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)	---	45 Mín.	49.8
	Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	360 Máx.	351
	Residuo de Carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530-15	%	0.15 Máx.	0.309
	Contenido Cenizas	INEN 1492:2013 (1R)	%	0.01 Máx.	0.287
	Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	4.200
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 Máx.	<0.05	
INFORMACIÓN ADICIONAL:					
					


ING. LILIANA GUZMÁN
RESPONSABLE DE LABORATORIO LACBAL



- NOTAS ACLARATORIAS**
1. Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
 2. Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados.
 3. Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
 4. Cuando aplique, se realizan los ensayos aun en su defecto con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previo aceptación del cliente.
 5. El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Revisión: UU
	LACBAL	Fecha: 03-Sep-2018
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Página: 3 de 14
		FPT0401-00

I-LACBAL-2019-019

INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
	DIRECCIÓN	EL CALVARIO S/N Y FRANCISCO COMPTÉ
	NÚMERO DE MUESTRAS	13

INFORMACIÓN GENERAL:					
RESPONSABLE DEL INFORME		ING. TANIA PARRA	ORDEN DE TRABAJO	EPN	DQ-OT0061-2019
FECHA	RECEPCIÓN	17-05-2019		LACBAL	OT-LACBAL-2019-019
	INICIO DE ENSAYO	29-05-2019	PROFORMA	EPN	DQ-P0210-2019
	ENTREGA DE INFORME	25-06-2019		LACBAL	COT-LACBAL-2019-019

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:				
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD
B15	M-LACBAL-2019-019-03	Diésel	Vidrio	1 L

CONDICIONES AMBIENTALES:					
TEMPERATURA [°C]	18.4	HUMEDAD RELATIVA [%]	58	PRESIÓN [kPa]	72.9

RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO ^a	VALOR OBTENIDO
M-LACBAL-2019-019-03	Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 Mín.	53
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	ppm	500 Máx.	45
	Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	Nº 3 Máx.	1A
	Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)	---	45 Mín.	FALTA DATO DE DESTILACIÓN
	Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	360 Máx.	MUESTRA FUERA DEL RANGO
	Residuo de Carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530-15	%	0.15 Máx.	FALTA DATO DE DESTILACIÓN
	Contenido Cenizas	INEN 1492:2013 (1R)	%	0.01 Máx.	0,460
	Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	4.677
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 Máx.	<0.05	

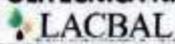
INFORMACIÓN ADICIONAL:

Destilación: se realizó la destilación de las muestras B15 y B15A con resultados no satisfactorios, debido a que el punto de ebullición inicial se encuentra fuera del rango que establece la norma ASTM D86 Grupo 4 (IBP¹ >100 °C). Se presume la presencia de alcohol proveniente del proceso de producción del biodiesel.

¹IBP= Punto de ebullición inicial



Figura 1. Muestra B15A, IBP 62.6 °C se observa la formación y recolección de condensados a dicha temperatura.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  LACBAL	Revisión: 00
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	Fecha: 03-Sep-2018
		Página: 4 de 14
		FPTD401-00

Observaciones Densidad: Para las muestras B15 y B15A se observó dos fases en la copa de ensayos. Fase superior, líquido amarillo claro correspondiente al diésel y fase inferior, líquido amarillo oscuro desconocido (se presume aceite residual del proceso de producción del biodiesel).

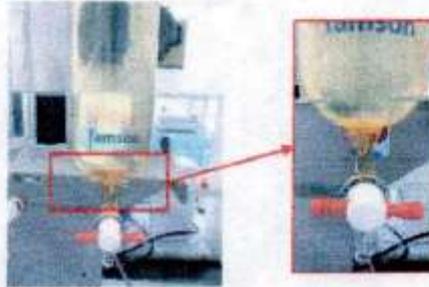
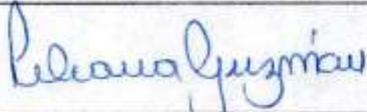


Figura 2. Muestra B15A, se observa separación de fases en la copa de ensayos.

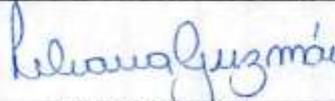

ING. LILIANA GUZMÁN
RESPONSABLE DE LABORATORIO
LACBAL



NOTAS ACLARATORIAS

1. Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
2. Los resultados reportados corresponden únicamente a los items ensayados.
3. Queda prohibida la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
4. Cuando aplique, se realizan los ensayos aun sin cumplir con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente.
5. El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionales por la forma de muestra.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		Revisión: 00		
			Fecha: 03-Sep-2018		
INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS			Página: 6 de 14		
			FPT0401-00		
I-LACBAL-2019-019					
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK			
	DIRECCIÓN	EL CALVARIO S/N Y FRANCISCO COMPTÉ			
	NÚMERO DE MUESTRAS	13			
INFORMACIÓN GENERAL:					
RESPONSABLE DEL INFORME	ING. TANIA PARRA		ORDEN DE TRABAJO	EPN	DQ-OTD061-2019
	RECEPCIÓN	17-05-2019		LACBAL	OT-LACBAL-2019-019
	FECHA	INICIO DE ENSAYO	29-05-2019	PROFORMA	EPN
ENTREGA DE INFORME		25-06-2019	LACBAL		COT-LACBAL-2019-019
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
B15A	M-LACBAL-2019-019-05	Diésel	Vidrio	1 L	
CONDICIONES AMBIENTALES:					
TEMPERATURA [°C]	18.4	HUMEDAD RELATIVA [%]	58	PRESIÓN [kPa]	72.9
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO^a	VALOR OBTENIDO
M-LACBAL-2019-019-05	Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 Mín.	52
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	ppm	500 Máx.	36
	Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	Nº 3 Máx.	1A
	Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)	---	45 Mín.	FALTA DATO DE DESTILACIÓN
	Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	360 Máx.	MUESTRA FUERA DEL RANGO
	Residuo de Carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530-15	%	0.15 Máx.	FALTA DATO DE DESTILACIÓN
	Contenido Cenizas	INEN 1492:2013 (1R)	%	0.01 Máx.	0.536
	Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	4.843
	Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 Máx.	<0.05
INFORMACIÓN ADICIONAL:					
LA MUESTRA NO ES APTA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS DE DESTILACIÓN					


ING. LILIANA GUZMÁN
RESPONSABLE DE LABORATORIO
LACBAL



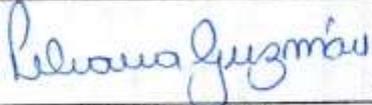
NOTAS ACLARATORIAS

1. Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
2. Los resultados reportados corresponden únicamente a los datos ensayados.
3. Cuando prohibida la reproducción de forma parcial o total del presente Informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
4. Cuando aplique, se realizan los ensayos aun si no cumplen con los criterios de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente.
5. El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.

	ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  LACBAL	Revisión: 00 Fecha: 03-Sep-2018 Página: 5 de 14
	INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	FPT0401-00

I-LACBAL-2019-019					
INFORMACIÓN CLIENTE:	NOMBRE/EMPRESA	UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK			
	DIRECCIÓN	EL CALVARIO S/N Y FRANCISCO COMPTÉ			
	NÚMERO DE MUESTRAS	13			
INFORMACIÓN GENERAL:					
RESPONSABLE DEL INFORME	ING. TANIA PARRA	ORDEN DE TRABAJO	EPN	DQ-OT0061-2019	
FECHA	RECEPCIÓN	17-05-2019	LACBAL	OT-LACBAL-2019-019	
	INICIO DE ENSAYO	29-05-2019	PROFORMA	EPN	DQ-P0210-2019
	ENTREGA DE INFORME	25-06-2019	LACBAL	COT-LACBAL-2019-019	
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:					
IDENTIFICACIÓN	CÓDIGO LABORATORIO	TIPO MUESTRA	TIPO ENVASE	CANTIDAD	
DIESEL + FEROX	M-LACBAL-2019-019-04	Diésel	Vidrio	1 L	
CONDICIONES AMBIENTALES:					
TEMPERATURA [°C]	18.4	HUMEDAD RELATIVA [%]	58	PRESIÓN [kPa]	72.9
RESULTADOS OBTENIDOS:					
MUESTRA	ENSAYO	NORMA MÉTODO	UNIDAD	NORMA REQUISITO ⁴	VALOR OBTENIDO
M-LACBAL-2019-019-04	Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 Mín.	72
	Contenido de azufre	ASTM D4294-16	%	500 Máx.	93
	Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	No. 3 Máx.	1A
	Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)	---	45 Mín.	50.9
	Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	360 Máx.	350
	Residuo de Carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530-15	%	0.15 Máx.	0.007
	Contenido Cenizas	INEN 1492:2013 (1R)	%	0.01 Máx.	0.006
	Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm ² /s	2.0 a 5.0	3.928
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 Máx.	<0.05	
INFORMACIÓN ADICIONAL:					




ING. LILIANA GUZMÁN
RESPONSABLE DE LABORATORIO LACBAL



- NOTAS ACLARATORIAS**
1. Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados.
 2. Los resultados reportados corresponden únicamente a los flujos ensayados.
 3. Queda prohibida la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio LACBAL.
 4. Cuando aplique, se realizan los ensayos con un margen de aceptación y rechazo de las muestras de objeto de ensayo previa aceptación del cliente.
 5. El presente es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra.



Catalizador para Combustible

Ferox Tabletts y Polvo



DESCRIPCION:

Poderoso aditivo-catalizador para combustible patentado en una cómoda presentación en tabletas ó polvo que facilitan su almacenaje, transporte, dosificación y uso, actúan modificando las partículas de combustible y depósitos de carbón existentes para que puedan quemarse más rápido y a temperaturas más bajas, al eficientar la combustión se logra capturar toda la energía disponible. Se disuelven sin dejar residuos y no modifican el combustible por lo que su uso es seguro en cualquier tipo de combustible y en cualquier aplicación.

BENEFICIOS:

Aumenta ahorro del combustible hasta un 20%.
Incrementa la Potencia y Eficiencia.
Disminuye las Emisiones Contaminantes.
Elimina y Previene los depósitos de Carbón.
Aumenta la vida del Motor y sus partes.
Aumenta la vida del Aceite y Bujías.
Aumenta tiempo entre mantenimientos.
Reduce el costo de mantenimientos.
Permite mejor transferencia de calor interna.
Disminuye la temperatura del escape.
Fácil uso, control, manejo y almacenaje.

APLICACIONES:

Aprobado para su uso en todo combustible a base de hidrocarburos. Puede usarse en todos los vehículos o maquinaria que utilicen hidrocarburos para operar, ya sean motores ó quemadores que utilicen gasolina, diesel, biodiesel, E85, queroseno, combustóleo, etc.

MODO DE EMPLEO:

Aplicase primero el producto antes de cargar combustible, para ayudar a disolver y mezclar con el combustible.

- 1 tableta de 0.5g trata de 25 - 30 litros de combustible.
- 1 tableta de 1g trata de 50 - 60 litros de combustible.
- 1 tableta de 3.33g trata de 180 - 190 litros de combustible.
- 1g de polvo trata de 50 - 60 litros de combustible.

PRECAUCIONES:

NO PARA CONSUMO HUMANO.
MANTENGASE FUERA DEL ALCANCE DE LOS NIÑOS.
MANTENGASE EN UN LUGAR FRESCO Y SECO.

DATOS TECNICOS:

APARIENCIA:	VISUAL	Sólido en Polvo o Tabletts
COLOR:	VISUAL	Naranja / Naranja Claro
PUNTO DE EBULLICION:		255 °C
PUNTO DE FUSION:		70 °C
DENSIDAD DE VAPOR:		5.3 (aire=1)
PRESION DE VAPOR:		< 1 psi
GRAVEDAD ESPECIFICA:		1.04
DENSIDAD:		0.992
SOLUBILIDAD EN AGUA:		Insignificante
ESTABILIDAD:		Estable
INCOMPATIBILIDAD:		Agentes Oxidantes Fuertes
POLIMERIZACION PELIGROSA:		No Ocurre
RIESGO DE EXPLOSION O FUEGO INUSUAL:		Ninguno

PRESENTACIONES:

Ferox Fuel Tabs

- Bolsa de Mylar con 10 pastillas de 0.5 g.
- Bolsa de Mylar con 4 pastillas de 1g.
- Bolsa de Mylar con 10 pastillas de 1g.
- Frasco con 50 pastillas de 1g.

Ferox Truck Tabs

- Frasco con 30 pastillas de 3.33g.

Ferox Powder

- Sobre de Mylar con 40g de polvo (trata 2,000 lts)
- Sobre de Mylar con 335g de polvo (trata 18,000 lts)

Presentaciones Especiales

- Se pueden fabricar presentaciones especiales para clientes de alto consumo, esto con un análisis previo.



PO BOX 2150 OREM, UT 84059
TEL USA: (801) 995-3465
TEL INTL: +1 (885) 736-6754

Norma ecuatoriana de combustible para motores diésel (Petroecuador, 2012).



PETROECUADOR
COMERCIO DE TRÁFICO DE PETROLIO Y ALIMENTOS
 REGION TROPICAL DEL CAJON
 LABORATORIO PASCUALES

REPORTE DE CALIDAD

TERMINAL PASCUALES

PRODUCTO: DIESEL PREMIUM

INFORME DE RESULTADOS N° 2012-1557	FECHA DEL REPORTE 21-mar-12	PROCEDENCIA R/T. MARIA DEL CARMEN V
---------------------------------------	--------------------------------	--

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO		ESPECIFICACION	RESULTADOS
		ASTM	NTE		
PUNTO DE INFLAMACION	°C	D-93	INEN 1493	Mín. 51	45
ENSAYO DE DESTILACION					
P.I.E.	°C	D-86	INEN 926	REPORTE	166
10%	°C	D-86	INEN 926	REPORTE	198
50%	°C	D-86	INEN 926	REPORTE	204
90%	°C	D-86	INEN 926	Max. 360	222
P.F.E.	°C	D-86	INEN 926	REPORTE	254
CONTENIDO DE AZUFRE	%p	D-4294		Max. 0,05	0,010
CONTENIDO DE SODIO Y POTASIO	ppm	D-3605		REPORTE	< 0,01
CONTENIDO DE CENIZAS	%p	D-482	INEN 1492	Max. 0,01	0,00
AGUA Y SEDIMENTO	%v	D-2709	INEN 1494	Max. 0,05	< 0,025
CORROSION LAMINA DE COBRE		D-130	INEN 927	Max. 203	14
VISCOSIDAD CINEMATICA A 37,8°C	cSt	D-445	INEN 910	2,5 a 6,0	2,1
INDICE DE CETANO CALCULADO		D-976	INEN 1495	Mín. 45	48,1
COLOR ASTM		D-1500		REPORTE	1,0
DENSIDAD RELATIVA 15,56/15,56°C		D-1290		REPORTE	0,8448
GRAVEDAD API 15,56°C	API	D-1290		REPORTE	96,0

OBSERVACIONES GENERALES:

API Obs. / Temp. Obs.: 37,8 / 04

PRODUCTO: DIESEL PREMIUM INCUMPLE NORMA INEN 1493

BUQUE DE IMPORTACION: ASTILLA - Tercer Alje

FECHA Y HORA DE MUESTREO: 21-mar-12 10:30

FECHA Y HORA DE FINALIZACION DE ANALISIS: 21-mar-12 12:30



ING. FRANCISCO HIDALGO B.
ANALISTA DE LABORATORIO



ING. MARCOS ESTRADA S.
COORDINADOR CONTROL DE CALIDAD

RESPONSABLE POR EL REPORTE

ING. FRANCISCO HIDALGO B.

RESPONSABLE

ING. MARCOS ESTRADA S.



Norma colombiana de combustible para motores diésel (Ecopetrol, 2017).

NUESTROS PRODUCTOS



Especificaciones técnicas

Diesel Corriente B2/B4 (1)

PROPIEDADES / CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	MÉTODO	ESPECIFICACIÓN	
			Mínimo	Máximo
Agua y sedimento	ml/100 ml	ASTM D-1796 ó ASTM D-2709		0,05
Azufre	mg/kg	ASTM D-2622 ó ASTM D-4294 ó ASTM D-5453		50
Contenido de aromáticas	ml/100 ml	ASTM D-1319 ó ASTM D-5186		35
Cenizas	g / 100 g	ASTM D-482		0,01
Contenido de biocombustible	ml/100 ml	EN 14078	1,8	2,2
Color ASTM	Clasificación	ASTM D 1500		3,0
Corrosión lámina de cobre, 3 h a 50°C	Clasificación	ASTM D 130		2 (2)
Destilación	°C	ASTM D 86		
Punto inicial de ebullición				Reportar
Temp. 50% vol. recuperado				Reportar
Temp. 95% vol. recuperado				360
Punto final de ebullición				390
Gravedad API	° API	ASTM D-4052 ó ASTM D-1298		Reportar
Índice de cetano (3)	N/A	ASTM D-4737 ó ASTM D-936	45	
Número de cetano (4)	N/A	ASTM D-613 ó ASTM D-6890	43	
Punto de fluidez	°C	ASTM D 97 ó ASTM D 5949		3
Punto de nube	°C	ASTM D 2500		Reportar
Punto de inflamación	°C	ASTM D 93	52	
Temperatura obturación filtro frío	°C	ASTM D 6371		Reportar
Residuos carbón micro (10% fondo) (5)	g / 100 g	ASTM D 4530		0,20
Viscosidad cinemática a 40°C (6)	mm ² /s	ASTM D 445	1,0	5,0
Estabilidad térmica	% reflectancia	ASTM D 6468	70% a 90 minutos	
Estabilidad a la oxidación	g/100 ml	ASTM D 2274		25
Lubricidad a 60°C (7)	Micrómetros	ASTM D 6079		450

Notas:

- (1) Diesel regular y sus mezclas con biocombustible hasta el 5% vol. (aplica para el producto de las Refinerías de Barrancabermeje y Cartagena).
- (2) El valor 2 se refiere a valores 2a, 2b o 2c. Corrosión: Norma internacional, máximo 3.
- (3) Aplica a diesel producido en destilación atmosférica y productos craqueados y a mezclas de ellos. El método ASTM D-4737 no aplica al diesel mezclado con biodiesel.
- (4) Para diesel que contenga componentes provenientes de procesos de ruptura catalítica y/o térmica, y/o aditivos mejoradores de cetano y/o biocombustibles.
- (5) Residuos carbón micro, la norma ASTM D-4530 no está mencionada en la norma internacional.
- (6) La norma que se utiliza internacionalmente es la ASTM D 524, con valor máximo de 0,35% masa.
- (7) Lubricidad: norma europea, 460; norma americana, 520 máx.

Norma europea de combustible para motores diésel (UNE, 2015).

Especificaciones de producto
GASOLEO A

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LÍMITES (1)	MÉTODOS DE ENSAYO (2)		
			En EN 590 (3)	NORMAS UNE (3)	NORMAS ASTM (3)
Número de cetano (4)		mínimo 51,0	EN ISO 5165 EN 15195	UNE-EN ISO 5165 UNE-EN 15195	D 613
Índice de cetano (4)		mínimo 46,0	EN ISO 4264	UNE-EN ISO 4264	D 4737
Densidad a 15°C	kg/m ³	820 a 845 (5)	EN ISO 3675 EN ISO 12185	UNE-EN ISO 3675 UNE-EN ISO 12185	D 4052 D 1298
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (6)	% m/m	máximo 8	EN 12918	UNE-EN 12918	
Contenido de azufre	mg/kg	máximo 10	EN ISO 20848 EN ISO 20884	UNE-EN ISO 20848 UNE-EN ISO 20884	
Destilación (7): 65 % V/V recogido 85 % V/V recogido 95 % V/V recogido	°C °C °C	mínimo 250 máximo 350 máximo 360	EN ISO 3405	UNE-EN ISO 3405	D 86
Viscosidad dinámica a 40°C	mm ² /s	2,00 a 4,50	EN ISO 3104	UNE-EN ISO 3104	D 445
Punto de inflamación	°C	superior a 55	EN ISO 2719	UNE-EN ISO 2719	D 93
Punto de obstrucción de filtro frío (POFF): Invierno (1 de octubre a 31 de marzo) (8) Verano (1 de abril a 30 de septiembre) (8)	°C °C	máximo -10 máximo 0	EN 116	UNE-EN 116	
Punto de entubamiento: Invierno (1 de octubre a 31 de marzo) (8) Verano (1 de abril a 30 de septiembre) (8)	°C °C	máximo 0 máximo +6	EN 23015	UNE-EN 23015	D 2500 D 5772
Residuo carbonoso (sobre el 10% final destilación)	% m/m	máximo 0,30	EN ISO 10370	UNE-EN ISO 10370	D 4530
Lubricidad (WSD corregido 1,4) a 60°C	µm	máximo 460	EN ISO 12156-1	UNE-EN ISO 12156-1	
Contenido de agua	mg/kg	máximo 200	EN ISO 12937	UNE-EN ISO 12937	
Contaminación total (partículas sólidas)	mg/kg	máximo 24	EN 12662	UNE-EN 12662	
Contenido de cenizas	% m/m	máximo 0,01	EN ISO 6245	UNE-EN ISO 6245	D 482
Corrosión al cobre (3 h a 50°C)	escala ASTM	máximo 1b	EN ISO 2160	UNE-EN ISO 2160	D 130
Estabilidad a la oxidación	g/m ³	máximo 25	EN ISO 12205	UNE-EN ISO 12205	D 2274
Estabilidad a la oxidación (8)	horas	mínimo 20	EN 15751	UNE-EN 15751	
Contenido de FAME (10)	% V/V	máximo 7	EN 14078	UNE-EN 14078	
Color	escala ASTM	máximo 2			D 1500 D 6045
Transparencia y brillo		cumple			D 4176

Norma peruana de combustible para motores diésel (Petroperu, 2014).

CARACTERÍSTICAS	Especificación		Método ASTM / Otros
	Min.	Máx.	
VOLATILIDAD			
Densidad a 15°C, kg/m ³	Reportar		D-1298
Destilación, °C (a 760 mm Hg) 90% recuperado a	282	360	D-86
Punto de inflamación Pensky Martens, °C	52		D-93
FLUIDEZ			
Viscosidad Cinemática a 40°C, cSt	1,7	4,1	D-445
Punto de Escurecimiento, °C		+4	D-97
COMPOSICIÓN			
Número de Cetano	45		D-613
Índice de Cetano	40		D-4737 , D-976
Cenizas, % masa		0,01	D-482
Residuos Carbón Ramsbottom 10% fondos, % masa		0,35	D-524 , D-189
CORROSIVIDAD			
Corrosión Lámina de Cobre, 3 h a 50°C, N°		3	D-130
Azufre Total, % masa		0,5	D-129 , D-2622 , D-4294
CONTAMINANTES			
Aguas y Sedimentos % vol.		0,05	D-1796 , D-2709
BIODIESEL (B100)			
Contenido, % vol.	5		D-7371 , EN-14078