



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**PROYECTO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

TEMA:

**OBTENCIÓN Y APLICACIÓN DEL ACEITE VEGETAL
(BIODIESEL) COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN
UN MOTOR DIESEL**

ELABORADO POR:

**SANDRO DAVID GUALOTUÑA CAJAS
JAIME JAVIER MOPOSITA TISALEMA**

LATACUNGA, OCTUBRE DEL 2006

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La utilización de combustibles vegetales, en motores Diesel, es casi tan antigua como el mismo motor. El inventor del motor Diesel, Rudolf Diesel utilizó en el año 1900 aceite de maní como combustible, para una demostración de la adaptabilidad del motor.

Cabe destacar que el motor Diesel por su concepción es capaz de funcionar con diversas sustancias combustibles, tomando en cuenta su calidad y combustión pero si cumplen con valores de características como: viscosidad, número de cetano, puntos de ebullición, entre otras.

Los combustibles que utilizan la mayor parte de los vehículos no son renovables (el diesel y la gasolina); una vez que los quemamos no los podemos recuperar y además al quemarse en los motores de combustión interna generan contaminantes y gases tóxicos.

El calentamiento de la atmósfera es el principal desafío medioambiental que hoy afronta la humanidad a nivel mundial, las reservas de petróleo son agotables, ello obliga a buscar fuentes de energías alternativas que sean renovables y con efectos beneficiosos para el medio ambiente.

Un combustible ecológico llamado Biodiesel llega como una interesante alternativa, es de origen vegetal y además reúne características mejores a las del diesel.

Al sustituirse los combustibles actuales (naftas, gasoil, fuel oil), por este puede lograrse un balance de emisiones mucho mas favorable para la humanidad y el medio ambiente.

El Biodiesel es un proyecto que tomó como base una conocida reacción que procede entre un aceite vegetal y un alcohol primario, denominada **transesterificación**.

Lograr esta finalidad es nuestro trabajo de investigación, en este proyecto se considerará además de afinar una técnica de laboratorio, la posibilidad de implementar una tecnología de producción a mayor escala.

1.1 COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS

Gracias a los nuevos avances en tecnología (como la recirculación de los Gases de escape la inyección diesel controlada, el sistema de conducto común o el sistema OBD de diagnosis a bordo, etc), se reducen las emisiones, pero no es suficiente para evitar los gases nocivos para el medioambiente.

Hoy en día existe una búsqueda continua para obtener combustibles alternativos, la razón de estos combustibles es el de buscar opciones que permitan minimizar los efectos nocivos al ambiente que se producen al quemar combustibles de origen fósiles.

Entre los combustibles alternativos se destacan el gas natural, electricidad, hidrógeno, etanol y el Biodiesel, tienen muchos beneficios cuando son comparados con los combustibles regulares más comúnmente usados.

Generalmente los combustibles alternativos son mejores para el ambiente y también pueden beneficiar a la economía del país. A continuación se describen los que han pasado pruebas técnicas y económicas, son por ende los más utilizados a nivel mundial

1.1.1 Gaseosos

Gas natural comprimido

El gas natural es una mezcla de hidrocarburo principalmente metano (CH₄) y es producido de los pozos de gas o junto con la producción de petróleo.

No libera grandes emisiones a la atmósfera, por lo que constituye el combustible alternativo menos contaminante. Pero a la vez, su pequeño tamaño molecular implica que no contiene tanta energía, así que necesitamos más gas natural que gasolina para recorrer la misma distancia.

El gas natural tiene muchos beneficios que se relacionan con la economía, emisiones, el efecto invernadero, seguridad, creación de trabajo, y la abundancia doméstica. Debido a que es más liviano que el aire, se disipa rápidamente evitando acumularse y producir explosiones

Puede utilizarse de dos formas, comprimido o licuado (líquido); las únicas diferencias son su estado físico y la manera de cómo fueron empacados.

Hidrógeno

Gas de hidrógeno (H₂) es un elemento químico que está formado por un electrón y un protón. Cuando se introduce este átomo en una celda electroquímica se fragmenta el hidrógeno y se libera por un lado el electrón y por otro el protón.

El electrón liberado corre por un circuito y genera una corriente eléctrica, esta electricidad es la que hace funcionar el motor del automóvil.



Fig. 1.1 Composición del hidrógeno

Esta nueva tecnología no contamina, puesto que la única emisión es el vapor de agua, y es muy eficiente. Sin embargo, el hidrógeno es difícil de obtener.

El hidrógeno constituye un gas muy peligroso, ya que es inflamable, así que a pesar de que al coche se le puede suministrar hidrógeno líquido como combustible, se prefiere utilizar combustibles ricos en hidrógeno, como el etanol o el metanol.

Propano

Gas de petróleo licuado (GLP) consiste principalmente en propano, propileno, butano, y butylene en varias mezclas. Sin embargo, para uso doméstico, comercial y vehicular, la mezcla es principalmente propano. Se

produce como un derivado del gas natural, procesando este o por medio de la refinación del petróleo.

Es producido de dos fuentes: del procesamiento del gas natural y la refinación de petróleo. Cuando el gas natural se produce, contiene metano y otros hidrocarburos que son separados mediante una planta de procesamiento. Los vehículos impulsados con propano emiten en la combustión menos carbón al compararlos con los que utilizan diesel y gasolina.

1.1.2 Líquidos

Etanol (CH₃CH₂OH)

Es un líquido claro, incoloro con un olor característico agradable, también conocido como alcohol etílico. En solución con agua, tiene un sabor dulce, pero en soluciones más concentradas tiene un sabor ardiente.

El etanol es inflamable, y es el alcohol de menor toxicidad, se hace a partir del éter del ethyltertiary-butyl, que tiene propiedades interesantes para la oxigenación de la gasolina y combustibles reformulados.

Posee un alto octanaje y una mayor solubilidad en gasolina que el metanol. En general, los beneficios de usar etanol son: reducir la necesidad de importación de petróleo y prevenir la contaminación.

Metanol (CH₃OH)

Es un combustible proveniente del alcohol, el más utilizado es M-85. En el futuro, se programa un metanol más limpio o M-100. El metanol también se puede

obtener a partir de un éter, MTBE (metilterbutileter) que está mezclado con gasolina para reforzar el octanaje y crear gasolina oxigenada.

Denominado como alcohol metálico, es el más simple de los alcoholes, se caracteriza por ser incoloro y se utiliza en combustibles alternativos para reducir las emisiones exhaustivas de contaminantes.

Como combustibles de motores, el etanol y el metanol tienen similares características químicas y físicas.

Biodiesel

El Biodiesel es un combustible líquido que se obtiene a partir de materias primas renovables, como aceites y grasas vegetales y/o aceites de fritura usados.

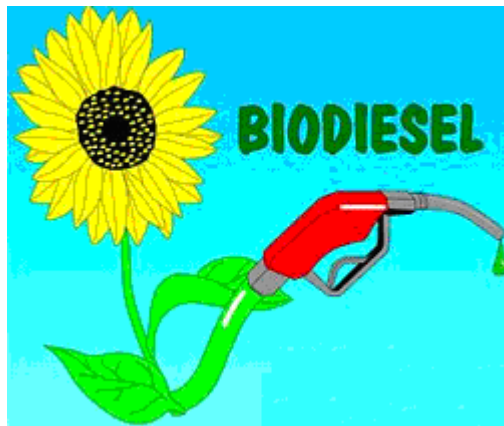


Fig. 1.2 Biodiesel de aceites vegetales

Los aceites vegetales que se utilizan para su elaboración suelen ser la soya, la colza, la palma y el girasol. (ver fig. 1.2), mediante un proceso denominado transesterificación, los aceites derivados orgánicamente se combinan

con el alcohol (etanol o metano) y son químicamente alterados para formar estéres grasos, como etil o metilester.

Con el consumo de Biodiesel se reduce el nivel de emisiones de CO₂ y de sulfuros, el humo visible y los olores nocivos. Funciona con normalidad en motores diesel sin modificar y puede ser empleado también mezclado con gasoil convencional, consiguiendo así reducciones substanciales en las emisiones.

Como su punto de inflamación es superior, la manipulación y el almacenamiento son más seguros que en el caso del combustible diesel convencional.

1.1.3 Otras Fuentes

Electricidad

Es el único entre los combustibles alternativos en que su poder mecánico es derivado directamente de él, al considerar que los otros combustibles alternos guardan energía química y que al producirse la combustión proporcionan su poder mecánico. La electricidad usada para impulsar los vehículos normalmente es proporcionada por baterías que son dispositivos de almacenamiento de energía.

Los motores eléctricos tienen una muy alta eficiencia, no producen gases nocivos, son silenciosos en su operación y pueden tener suficiente potencia y torque para mover cualquier cantidad de peso.

Combustible solar

Se emplean celdas fotovoltaicas para recolectar la energía solar y alimentar ciertos dispositivos auxiliares del vehículo. (Ver Fig. 2.3)



Fig. 1.3 Vehículo Solar

Actualmente, el mercado para esta energía en vehículos es muy limitado y ninguna empresa constructora de vehículos esta produciéndolos. Sin embargo, existen prototipos. Un vehículo movido con esta energía no emitirá contaminantes.

Los combustibles alternativos, al ser de cadenas más cortas, tienen menos energía, de ahí que necesitemos más combustible para recorrer una misma distancia.

Sin embargo, teniendo en cuenta los problemas relacionados con la contaminación ambiental y la crisis energética mundial, se hace necesario cada vez más el empleo de los combustibles alternativos en los vehículos.

1.1.4 Propiedades de los Combustibles Alternativos

Nombre	Metano	Gas licuado	Metano líquido	Nafta	Gasoil	Hidrogeno	Alcohol metílico	Alcohol etílico
Formúla	CH ₄	C ₃ H ₈	CH ₄	C ₉ H ₁₈	C ₁₂ H ₂₆	H ₂	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH
HI* RON	130	112	130	91-98	N.D.	N.D.	112	111
HI* ROM	130	97	130	83-90	N.D.	N.D.	91	92
Densidad del líquido (Kg/lit)	-----	0.509	0.421	0.746	0.808	0.0708	0.79	0.783
Densidad del gas (Kg/m ³)	0.6515	0.508	-----	-----	-----	0.0838	-----	-----
Punto de ebullición (°C)	-162	-42	-162	27-240	-----	-252.7	-----	-----
Poder calorífico inferior (KJ/lit)	49.913	46.238	49.913	42.861	43.419	119.444	19.859	26.855
Energía comparada con la nafta(% a igualdad de vol.	25%	74%	66%	100%	110%	0.06%	49%	66%
Energía comparada con el gasoil (%)	22%	67%	60%	91%	100%	5.50%	45%	60%
Rel. Esteoquím. De Aire/Comb (en peso)	17.3:1	15.7:1	17.3:1	14.6:1	15.0:1	34.3:1	6.5:1	9:1
Calor de vaporización (KJ/Kg)	507	423	507	355	286	-----	1186	842
Temperatura de ignición (°C)	450	540	450	220	225	585	-----	-----
Máxima Temperatura de llama (°C)	1790	1990	1790	1977	2045	2054	-----	-----

Tabla 1.1 Propiedades físicas y químicas de los combustibles alternativos

1.1.5 Ventajas de los combustibles alternativos

COMBUSTIBLE	VENTAJAS
ETANOL	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones muy bajas de hidrocarburos • Está hecho de maíz, madera o desperdicios de papel
METANOL	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones muy bajas de hidrocarburos • Se puede hacer de una variedad de material no elaborado de productos del petróleo, gas natural, carbón y madera
GAS NATURAL	<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones muy bajas (80% más bajas) de hidrocarburos que forman ozono, toxinas, y monóxido de carbono • Excelente para los vehículos y camiones de flotillas

PROPANO	<ul style="list-style-type: none"> • Es más barato que la gasolina • Combustible limpio de fácil disponibilidad • Emisiones más bajas de hidrocarburos
BIODIESEL	<ul style="list-style-type: none"> • Se produce de aceites vegetales como: soya, canola, girasol, grasas animales, etc. • Se puede usar en su forma pura o mezclado con el diesel (el más común es B20 – 20% biodiesel y 80% diesel) • Reduce las emisiones de monóxido de carbono, partículas, hidrocarburo, y sulfato. • Es biodegradable y no tóxico
CELULAS DE COMBUSTIBLE (HIDROGENO)	<ul style="list-style-type: none"> • Usa la energía química del hidrógeno y el oxígeno para generar la electricidad que utiliza • Se eliminan las emisiones de gases tóxicos y del gas invernadero (dióxido de carbono), sólo calor y agua son producidos • Disminuye la importación de petróleo
ELECTRICIDAD	<ul style="list-style-type: none"> • Posibilidad de cero emisiones del vehículo • Puede recargarse en la noche cuando la demanda de energía es baja
GASOLINA REFORMULADA	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede usar en todos los vehículos • Emite menos hidrocarburos, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, y toxinas que la gasolina convencional

Tabla 1.2. Ventajas de los combustibles alternativos

1.2 Aceites Vegetales

El aceite vegetal (fig.1.4) es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas. Algunos no son aptos para consumo humano, como el de colza, castor o algodón y al igual que todas las grasas esta constituido por glicerina y tres ácidos libres.



Fig. 1.4 Aceite vegetal comestible

El aceite vegetal puede provenir de frutos o semillas como:

- la aceituna (fruto del olivo)
- la soya
- la palma, tanto del fruto como del hueso.
- el sésamo
- el girasol
- el maíz
- almendra
- avellana, etc.

Los aceites vegetales son ricos en ácidos grasos mono o poli saturados, el más usado para consumo humano es el de girasol y el aceite de palma, que es sólido a temperatura ambiente, se usa especialmente para jabones y cosméticos.

El aceite vegetal se puede obtener mecánica o químicamente; en el **método mecánico** las semillas y frutos oleaginosos se someten a un proceso de prensado. Los residuos de este prensado se aprovechan como alimento para el ganado, por ser un producto muy rico en proteínas.

El **método químico** utiliza disolventes químicos que resultan más rápidos y baratos. Los aceites hidrogenados se forman a partir del aceite e hidrógeno. La combinación de ambos se realiza en caliente y a presiones elevadas, donde el aceite líquido se transforma en grasa con la que se elaboran las margarinas.

1.2.1 Aceite de Palma

Se obtiene a partir de los frutos y las semillas de la palma de Guinea o palma de aceite. (Fig. 1.5)



Fig. 1.5 Palma africana

Es un aceite muy parecido al de coco. Su punto de fusión elevado indica un contenido alto de ácidos grasos saturados.

Los usos son en su gran mayoría culinarios, bien directamente empleado como aceite de freír o aliñar, bien como producto añadido a otros alimentos como los helados, las margarinas, se puede elaborar derivados equivalentes como la manteca de cacao, jabones, etc.

Composición

El aceite de palma es saturado solamente en un 50%, sus composiciones en promedio es:

- 50% ácidos grasos saturados (principalmente ácido palmítico)
- 40% ácidos grasos mono insaturados (principalmente ácido oléico)
- 10% ácidos grasos poliinsaturados.

1.2.2 Aceite de Girasol

Es un aceite extraído de las semillas de girasol, debe ser extraído en frío y de primera presión para que mantenga sus propiedades.

Propiedades

- Su principal cualidad de este aceite es su alto contenido en vitamina E y en ácidos grasos no saturados.

- La calidad de sus ácidos grasos (mono y poliinsaturados) junto a su riqueza en ácido linoléico, oleico y vitamina E ayuda a reducir el riesgo de sufrir problemas circulatorios, infartos y diferentes tipos de problemas cardiovasculares.
- Reduce, pues, eficientemente el nivel de colesterol total, LDL y los niveles de triglicéridos.

Composición

- 64 % de ácidos grasos monoinsaturados.
- 23 % de ácidos poliinsaturados.
- 12 % de ácidos saturados.
- 50-65 % de ácido linoléico.
- 15 al 20 % de ácido oleico

1.3 Biodiesel

Es un combustible producido a partir de materias renovables, ya que se obtiene de aceites vegetales, como: colza, girasol, algodón, palma africana, aceites comestibles ya usados, etc. ó bien de grasas animales, o combinados.

El término Biodiesel no tiene una definición estricta, sino que se trata de aceites vegetales, grasas animales y sus ésteres metílicos para ser utilizados como combustibles.

Este combustible se obtiene por transesterificación, proceso que combina aceites vegetales o grasa de animales con alcohol en presencia de un catalizador con el fin de formar ésteres grasos.

El producto recuperado es separado en fases para eliminar la glicerina, que es un subproducto muy valioso para la industria.

Posteriormente los ésteres son sometidos a un proceso de purificación que consiste en el lavado con agua, secado al vacío y posterior filtrado. (Ver Fig. 1.6)

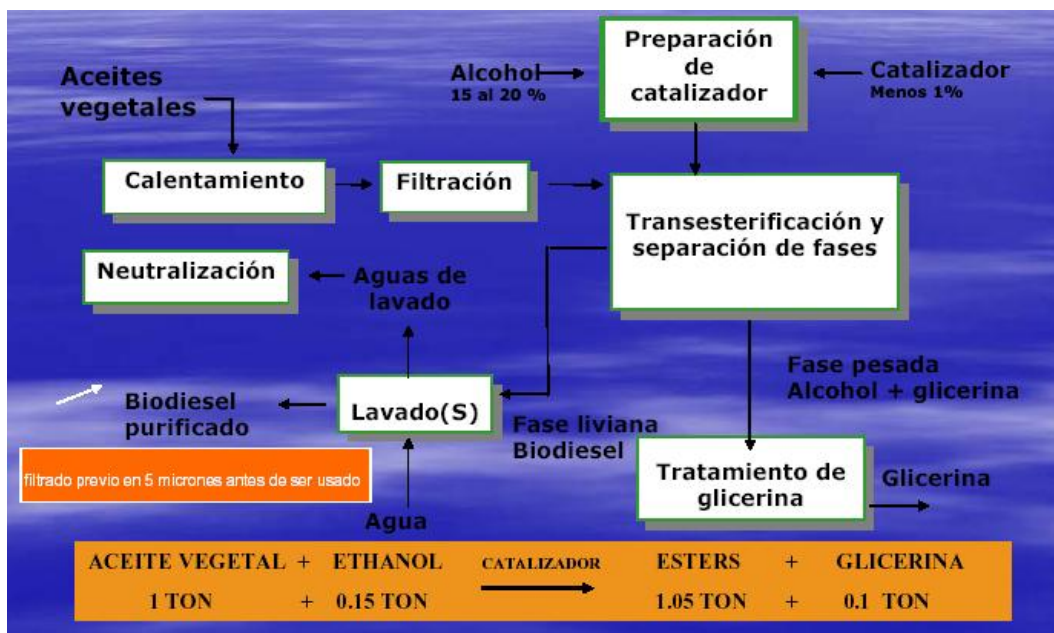


Fig. 1.6 proceso de obtención del biodiesel

Por ese motivo la ASTM (American Society for Testing and Materials) define al Biodiesel como “el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel”.

1.3.1 Propiedades del Biodiesel

Los motores Diesel de hoy requieren un combustible que sea limpio al quemarlo, además de permanecer estable bajo las distintas condiciones en las que opera.

Podemos mencionar las siguientes propiedades:

- Libre de contaminación
- Lubrica los motores
- Sencillo de elaborar
- Es Biodegradable
- Su producción es renovable
- Puede emplearse puro o combinado
- No se degrada con el tiempo
- No contiene azufre
- Mejora la combustión
- No es altamente inflamable
- No emite gases nocivos
- Es menos irritante para la epidermis
- Tiene un aroma agradable

1.3.2 Tipos de Biodiesel

Fundamentalmente existe Biodiesel a base de aceite vegetal puro y de aceite vegetal usado.

1.3.2.1 Biodiesel a base de aceite vegetal puro.

Para la elaboración de 1 litro de aceite vegetal o para elaborar una cantidad mayor, simplemente multiplicamos las cantidades indicadas a continuación por el número de litros que queramos producir.

- Calentamos 1 litro del aceite vegetal a una temperatura de 35°C
- Pesamos 3.5 gr. de Hidróxido de sodio
- En otro recipiente limpio y seco, ponemos 200 centímetros cúbicos de Metanol o Etanol.
- Mezclamos el hidróxido de sodio con el etanol hasta que se disuelva por completo.
- Mezclamos hasta lograr la disolución completa de la sosa.
- Colocamos sobre el aceite vegetal la solución de metóxido de sodio poco a poco y mezclamos por unos minutos.
- Se lo debe dejar reposar por el lapso de algunos minutos, y luego se observara dos fases; en la parte superior una fase liquida y dorada (biodiesel) y en la parte inferior una parte café (glicerina y jabón).

- Luego de esta fase debemos separar el biodiesel de la glicerina mediante decantación.

1.3.2.2 Biodiesel a base de aceite vegetal usado

Los Aceites Vegetales Usados de cocina son una fuente atractiva de biodiesel, pero son más difíciles de convertir porque contienen un 2-10% de ácidos grasos libres y pueden provocar grandes problemas.

- Primero retiramos cualquier presencia de agua presente en el aceite usado calentándolo a 100 °C durante un tiempo hasta que no se puedan ver burbujas además es necesario valorar el aceite para determinar qué cantidad de ácidos grasos libres contiene.
- Para medir la cantidad de ácidos grasos libres del aceite mezclamos 1 ml de aceite con 10 ml de alcohol isopropílico más 2 gotas de solución de fenolftaleína.
- Poco a poco vamos añadiendo la solución de sosa al 0,1% (1 g. de sosa en 1 litro de agua) mediante agitación, hasta que la solución adquiera otro color durante 10 segundos y registramos los mililitros de solución de sosa al 0,1% usados.

En resumen, por cada litro de Aceite Vegetal Usado necesitamos:

- Un gramo de sosa por cada ml de solución de sosa al 0,1% utilizado para valorar los ácidos grasos libres.
- Se la añada los 3,5g necesarios como catalizador tal como se lo hace para el aceite nuevo.

- Procedemos a disolver completamente la cantidad apropiada de sosa en el metanol o etanol.
- Mezclamos el alcohol y la sosa con el aceite, y agitamos por un tiempo y separamos de acuerdo con los pasos para el aceite nuevo.

Métodos de elaboración del Biodiesel.

Existen tres métodos fundamentales para la obtención del biodiesel a partir del aceite vegetal.

1. Método Acido – Base
2. Método Base – Base
3. Método Alcalino

El Método que aplicaremos para la obtención de combustible Biodiesel es el Método Alcalino de una Etapa que se detalla en el Capítulo II.

1.3.3.1 Método ácido-base

Este Método consiste en realizar el siguiente procedimiento detallado a continuación.

1. Filtramos el aceite para evitar algún tipo de sustancia extraña.
2. Separamos el agua existente en el aceite mediante dos métodos:
 - a) **Calentamiento del aceite:** el aceite se calienta hasta una temperatura aproximada de 60° C, y mantenemos la temperatura durante 15 minutos para luego dejar que repose por lo menos 24 horas

- b) **Evaporación del agua:** este método no es recomendable porque hace falta más energía y se forman más ácidos grasos libres. Calentamos el aceite hasta 100° C, el calor hace que el agua se hunda hasta el fondo. Drenamos el agua del fondo para evitar las burbujas de vapor y mantenemos la temperatura constante hasta que dejen de formarse burbujas.
3. Medimos la cantidad de aceite y grasas que vamos a elaborar.
 4. Calentamos el aceite hasta 35° C verificando que las grasas sólidas se fundan y se mezclen con el aceite. (Ver Fig.1.6)



Fig.1.6 Mezcla fundida después de calentarla

5. Procedemos a añadir 0,08 litros de metanol en 1 litro de aceite caliente y realizamos la mezcla.
6. Mezclamos durante unos minutos hasta que se volvió turbia formándose así una emulsión. (Ver Fig.1.7)



Fig.1.7 Suspensión formada después de añadir el metanol.

7. Por cada litro de aceite debemos colocar 1 ml de ácido sulfúrico al 85% de concentración.
8. Mezclamos despacio y con cuidado, manteniendo la temperatura a 35° C, durante una hora y luego dejamos de calentar pero no de agitar.
9. Debemos seguir agitando por una hora mas y luego dejamos que repose.
10. Mientras tanto preparamos el metóxido de sodio: medimos 0,12 litros de metanol por cada litro de aceite y 3,1 gr. de NaOH por cada litro de aceite, los mezclamos hasta que se disuelvan por completo.
11. Colocamos la mitad del metóxido en la mezcla y agitamos durante 5 minutos esto neutraliza el ácido sulfúrico y se produce la catálisis alcalina.
12. Calentamos la mezcla hasta 55° C y mantenemos la temperatura hasta el final.
13. Colocamos el resto del metóxido de sodio y agitamos.

14. El color de la muestra debe ser amarillo que es el color del biodiesel. La glicerina marrón y viscosa (Ver Fig. 1.8) se hundirá hasta el fondo del recipiente. Cuando tenga ese color dejamos de calentar y de agitar.



Fig.1.8 Glicerina

15. Los ácidos grasos libres son esterificados y algunos triglicéridos son transesterificados. (Ver Fig. 1.9)



Fig.1.9 Biodiesel terminado

16. Finalmente Colocamos un poco de ácido fosfórico en el agua, con el fin de que no queda lejía.

1.3.3.2. Método base – base

1. Medimos la cantidad de aceite que vamos a elaborar y lo colocamos dentro de un recipiente limpio. (Fig. 1.10)



Fig.1.10 Equipo utilizado

1. Medimos una cantidad de metanol equivalente al 25% del volumen de aceite y lo mezclamos con 6,25 gr./litro de aceite de lejía (NaOH).
2. Calentamos el aceite hasta 48-52 °C.
3. Colocamos con el aceite las $\frac{3}{4}$ partes del metóxido
4. Mezclamos entre 50 y 60 minutos manteniendo la temperatura inicial.
5. Dejamos que la mezcla repose por algún tiempo.
6. Separamos la glicerina del Biodiesel.

7. Colocamos nuevamente el biodiesel obtenido en la primera etapa en el reactor.
8. Calentamos el Biodiesel de la primera fase hasta 48-52° C,
9. Colocamos el resto del metóxido aproximadamente $\frac{1}{4}$.
10. Mezclamos entre 50 y 60 minutos manteniendo la temperatura inicial.
11. Dejamos que repose.
12. Separamos la glicerina del biodiesel. (Ver Fig.1.11)



Fig. 1.11 Separación glicerina

CAPITULO II

OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

2.1 OBTENCIÓN DEL BIODIESEL EN LABORATORIOS UTILIZANDO EL MÉTODO ALCALINO

El presente trabajo tiene como principal objetivo el estudio y aplicación de una de las tantas investigaciones realizadas para la obtención del Biodiesel.

La industria del Biodiesel tiene un futuro promisorio, se obtiene a partir de aceites vegetales con un simple proceso de refinamiento denominado Método Alcalino, el cual vamos a utilizar para obtener el combustible dentro de los laboratorios del Colegio Hermano Miguel de la Ciudad De Latacunga.

2.1.1 Materia Prima

El Biodiesel es uno de los combustibles ecológicos que puede ser elaborado con facilidad dentro de el laboratorio, para su fabricación es necesario considerar detenidamente los ingredientes a utilizar, para obtener los mejores resultados.

Estos son:

- Soda cáustica (catalizador hidróxido de sodio)
- Etanol (alcohol etílico)
- Aceite vegetal (Soya y Palma)

2.1.2 Características y Propiedades

2.1.2.1 Catalizador Hidróxido de Sodio (NaOH)

Es un hidróxido cáustico usado en la industria (principalmente como una base química) en la fabricación de papel, tejido y detergentes. (Ver Fig. 2.1)



Fig.2.1 Hidróxido de sodio

A temperatura ambiente, el hidróxido de sodio es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe humedad del aire. Es muy corrosivo y generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. Cuando se disuelve en agua o se neutraliza con un ácido libera una gran cantidad de calor que puede ser suficiente como para encender materiales combustibles.

2.1.2.2 Etanol.

Esta hecho a base de la alcohol etílico (caña de azúcar) por medio de la destilación una simple, la obtención de este alcohol fue realizada dentro de los laboratorios del Colegio Hermano Miguel.

El etanol (C_2H_5OH), también conocido como alcohol etílico o de grano, se obtiene a partir de tres tipos de materia prima: los productos ricos en sacarosa, como la caña de azúcar, la melaza y el sorgo dulce; las fuentes ricas en almidón, como cereales (maíz, trigo, cebada, etc.) y tubérculos (yuca, camote, papa); y mediante la hidrólisis de los materiales ricos en celulosa, como la madera y los residuos agrícolas. (Ver Fig. 2.2)



Fig.2.2 Etanol obtenido en el laboratorio

El etanol tiene un punto de fusión de $-114,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, un punto de ebullición de $78,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una densidad relativa de $0,789$ a $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

El etanol es un líquido inflamable, incoloro y es el alcohol de menor toxicidad. Se utiliza en las bebidas alcohólicas, al igual que como desinfectante o disolvente. Posee un alto octanaje y una mayor solubilidad en gasolina que el metanol.

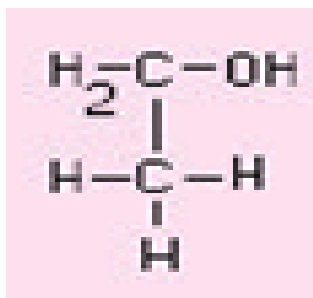


Fig.2.3 Estructura molecular de etanol

2.1.2.3 Aceite Vegetal de Soya y Palma (el cocinero)

El aceite vegetal más usado para consumo humano es el de girasol. El aceite de palma, que es sólido a temperatura ambiente, se usa especialmente para jabones y cosméticos. Fig. 2.4



Fig.2.4 Aceite vegetal (el cocinero)

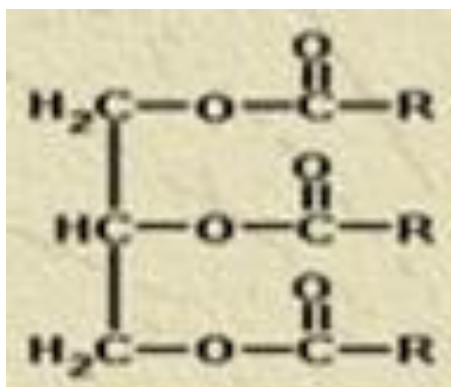


Fig.2.5 estructura molecular del aceite

Propiedades

- Calorías 120
- Calorías del aceite 120
- Grasa total 14 gr. %VD 22%
- Aceite saturado 2.8 gr. %VD 14%

2.1.3 Pretratamiento y Acondicionamiento de la Materia Prima.

2.1.3.1 Obtención del etanol en el laboratorio

Para la obtención del etanol mediante la destilación simple se utilizó los laboratorios de Química del Colegio Hermano Miguel. En este proceso se utilizó el equipo detallado a continuación: (Ver Fig.2.6)

- 1 Mechero
- 1 Balón de destilación
- 1 Condensador
- 1 Vaso de precipitación

- Varias Tuberías de goma
- 2 Soportes universales
- Tapones de caucho
- Pinzas de Sujeción
- Termómetro
- 1 Trípode
- Malla de Amianto



Fig.2.6 Equipo utilizado en el laboratorio

Mediante las tuberías de goma conectamos el condensador a una toma permanente de agua para enfriar el vapor (etanol) que recorre internamente por el condensador.

Sujetamos el balón y el condensador mediante pinzas a los soportes universales, conectamos el condensador al balón que se encuentra ya con aguardiente y con un termómetro para verificar su temperatura, verificamos el caudal correcto de agua que atraviesa por el condensador.

A continuación encendemos el mechero hasta hacer hervir el alcohol (aguardiente). (Ver Fig.2.7)



Fig. 2.7 Encendido del mechero



Fig. 2.8 Punto de ebullición del alcohol

Una vez que a comenzado la ebullición tenemos que estar pendiente de la temperatura que esta mas o menos entre 70°C luego se desecha el residuo que esta dentro del balón y lo que obtuvimos en el vaso de precipitación es el etanol necesario para la obtención del Biodiesel. (Ver Fig. 2.9)



Fig. 2.9 obtención del etanol

2.1.3.2 Hidróxido de Sodio y Aceite Vegetal de Soya Y Palma

Estos dos elementos necesarios para la obtención del Biodiesel, simplemente fueron comprados por lo cual no necesitaron de algún pretratamiento o acondicionamiento inicial.

2.1.4. Proceso de elaboración del Aceite Vegetal a Biodiesel (Método Alcalino)

El método alcalino es utilizado para realizar Biodiesel de aceite vegetal sin usar o usado.

La única diferencia es que con el usado primero se realiza un filtrado con el fin de eliminar las impurezas y se aumenta una cantidad adicional de catalizador (hidróxido de sodio), y luego el proceso es el mismo detallado a continuación.

Equipo necesario para la conversión

Para la obtención del Biodiesel utilizando el Método Alcalino es necesario el siguiente material de laboratorio. (Ver Fig. 2.10)

- 1 Vaso de Precipitación de 500cc
- 1 Vaso de Precipitación de 100cc
- Termómetro
- 1 Trípode
- Malla de Amianto
- 1 Mechero
- 1 Balanza electrónica
- 1 Varilla de agitación
- 1 Pipeta de 10cc



Fig. 2.10. Equipo para la obtención del Biodiesel

De igual forma utilizamos los laboratorios de Química del Colegio Hermano Miguel.

Una vez preparada toda la materia prima y lista la instrumentación necesaria para la elaboración del combustible procedemos a realizar lo siguiente: (Ver fig. 2.11)

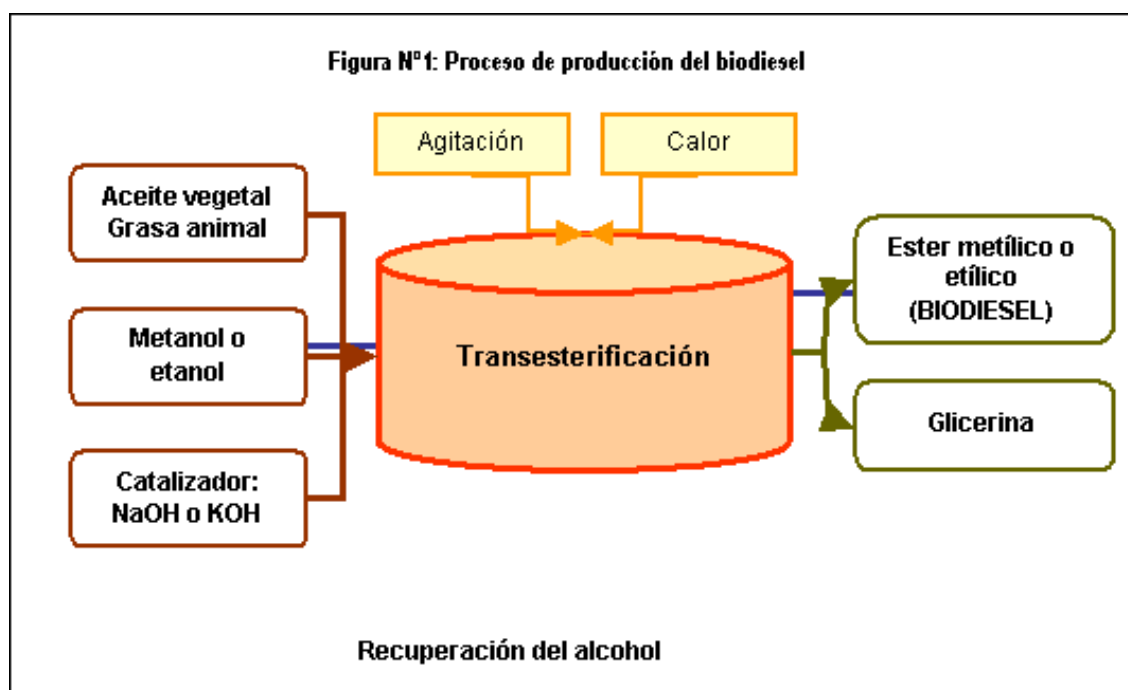


Fig.2.11 Proceso de elaboración del biodiesel

2.1.4.1 Eliminación del Agua

Calentamos 1/2 litro de aceite nuevo en el vaso de precipitación de 1000cc con la ayuda del mechero hasta una temperatura de unos 50 °C, para hacerlo más fluido, la temperatura no es crítica, pero no dejamos que se caliente demasiado con el fin de sacar el agua existente en el aceite vegetal. (Ver Fig. 2.12)



Fig.2.12 Calentamiento del aceite

2.1.4.2 Valoración para la mezcla con la Materia Prima.

El catalizador usado en la transesterificación de aceites vegetales; puede ser hidróxido de sodio (NaOH, sosa cáustica) o hidróxido de potasio (KOH), en nuestro caso utilizamos el hidróxido de sodio.

Las investigaciones realizadas nos indicaron que es necesario 3,5 gr. de NaOH por litro de aceite para catalizar la transesterificación (para el aceite nuevo).

Ya que el aceite vegetal seleccionado tiene un grado muy alto de ácidos grasos libres, nos causó un poco de dificultad en la separación del Biodiesel y la glicerina formada en la reacción. Pero nosotros realizamos varias pruebas con diferentes cantidades de NaOH para determinar el porcentaje necesario para la elaboración de nuestro Biodiesel.

Entonces llegamos a la conclusión que requerimos de 4.7 gr. de Hidróxido de Sodio por cada litro de aceite vegetal sin usar.

Una vez realizada esta valoración procedimos a realizar nuestro Biodiesel en mayor cantidad tomando en cuenta estos nuevos datos.

2.1.4.4. Preparación del Metóxido

De acuerdo a los datos investigados y realizando comparaciones se logro determinar que la elaboración del metóxido de sodio utiliza los siguientes valores. (Ver tabla 2.1).

MATERIA PRIMA	CANTIDAD
Hidróxido de sodio (NaOH)	4.7 gr. por cada litro de aceite.
Etanol	32 cc. por cada ½ litro de aceite.
Agua (H ₂ O)	17 cc por cada ½ litro de aceite.

Tabla 2.1. Cantidad de Materia Prima para la reacción

Utilizamos esta cantidad de agua para la mejor disolución del hidróxido de sodio con el fin de que la reacción resulte de una mejor forma. (Ver Fig.2.13)



Fig.2.13 preparación del metóxido de sodio

2.1.4.5 Proceso de Transesterificación.

Este proceso combina aceites vegetales con alcohol en presencia de un catalizador (NaOH) con el fin de formar ésteres grasos.

En la transesterificación la lejía y el etanol se unen para formar metóxido de sodio ($\text{Na}^+ \text{CH}_3\text{O}^-$). Cuando se mezcla el metóxido con aceite rompe las uniones entre la glicerina y los ácidos grasos y éstos se unen al etanol formando biodiesel, y un poco de jabón a veces. (Ver Fig. 2.14)

Si se utiliza metanol el producto final se llama metiléster, y si se utiliza etanol se llama etiléster.

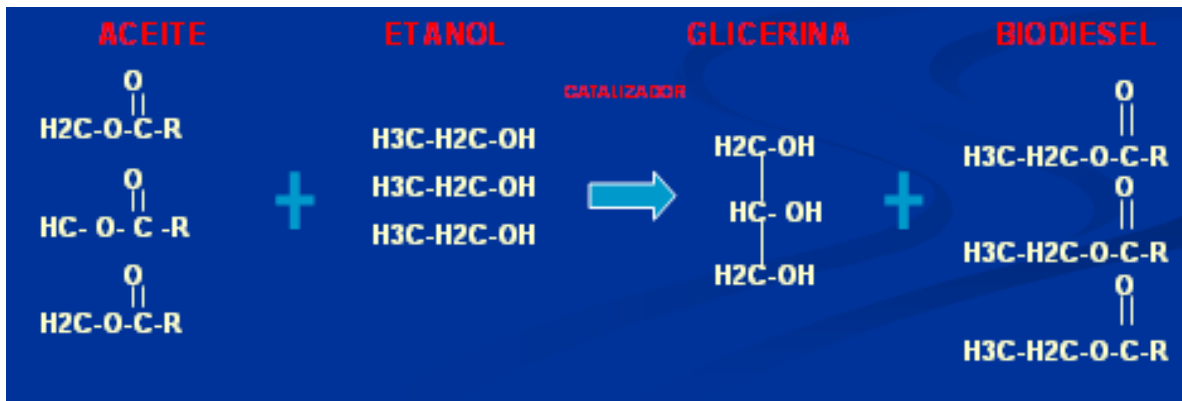


Fig.2.14 Proceso de transesterificacion

Realizamos la mezcla del metóxido de sodio con el aceite vegetal utilizando la varilla de agitación a una temperatura de 65 °C, hasta que hierva y agitándolo por unos 3 a 5 minutos. Aquí se produce la reacción (proceso de transesterificacion).

(Ver Fig.2.15)



Fig.2.15 Proceso de transesterificacion

Se dejó enfriar y se observó que la mezcla rápidamente se separó en un líquido claro y dorado en la parte superior con un sedimento de glicerina marrón en el fondo (Ver Fig. 2.16)



Fig.2.16 Obtención del biodiesel

Una vez realizado este proceso, se deja sedimentar la glicerina para después extraer el biodiesel mediante la decantación.

2.1.5. Características de los elementos resultantes

2.1.5.1. Ácidos grasos libres (AGL)

Los Ácidos Grasos Libres (AGL) son ácidos grasos que formaban parte de los triglicéridos, y se han desprendido dejando diglicéridos, monoglicéridos y glicerina.

Esto ocurre por el calor y por la pequeña cantidad de agua del aceite, o por oxidación. Cuanto más se caliente el aceite y más tiempo se mantenga la temperatura, más cadenas de ácidos grasos se liberarán.

Las grasas y aceites, sean de origen animal o de origen vegetal, son triglicéridos compuestos por tres cadenas de ácidos grasos unidas a una molécula de glicerina. (Ver Fig. 2.17)

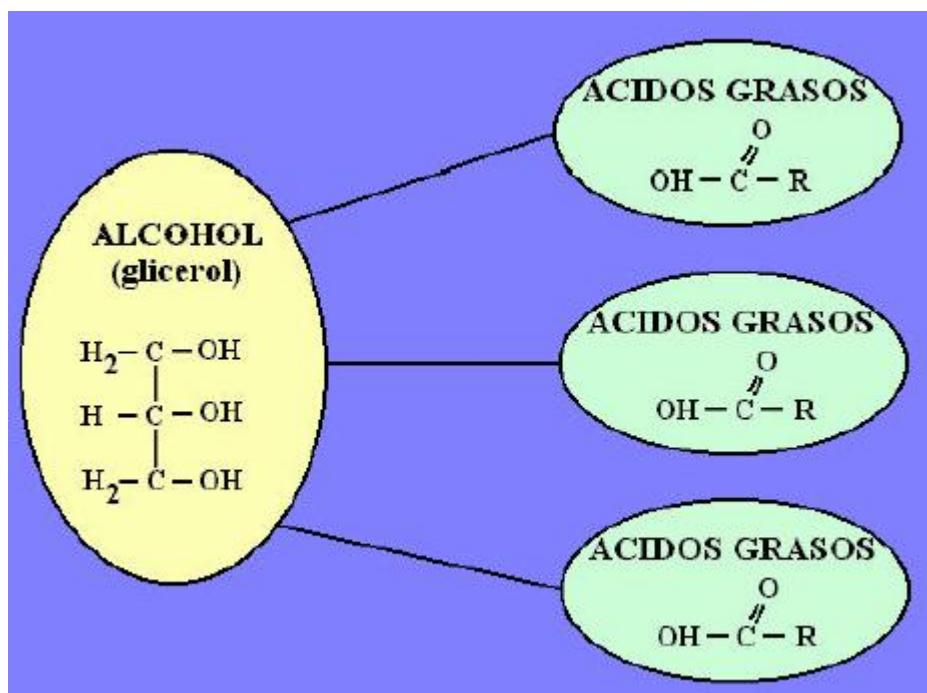


Fig.2.17 Composición de los AGL

En este proceso de transesterificación debemos usar un exceso de lejía para convertir los AGL en jabón, que se hundió en la reacción del Biodiesel. Esa capa, suele llamarse "capa de glicerina", y a veces tiene más jabón que glicerina.

La cantidad básica de lejía actúa como catalizador. La lejía rompe los enlaces de los ésteres y el alcohol se hunde hasta el fondo, quedando una cadena de ácido graso.

El metanol y el etanol se unen a la cadena con más facilidad que la glicerina y eso evita que la glicerina vuelva a unirse a la cadena. El resultado es que se forma un nuevo éster donde el etanol sustituye a la glicerina.

Por eso es importante usar la menor cantidad posible de lejía. La lejía sigue rompiendo los enlaces de los ésteres, incluso los del biodiesel. Si sobra mucha lejía rompe los enlaces del biodiesel. Algunos de esos enlaces se unen a la lejía y forman jabón, pero otros se unen a una molécula de agua y forman nuevos AGL que quedan disueltos en el biodiesel

2.1.5.2. Glicerina.

La glicerina es un alcohol (glicerol); y si tiene alguna cadena de ácido graso unida a ella entonces se forma un éster. En la transesterificación se produce una transformación del éster en otro sustituyendo el alcohol. En el Biodiesel la glicerina es sustituida por metanol o por etanol.

El propanotriol, glicerol o glicerina ($C_3H_8O_3$) es un alcohol con tres grupos hidroxilos (OH). (Ver Tabla 2.2)

Nomenclatura IUPAC	1,2,3-Propanotriol
Otros nombres	Glicerol, Glicerina, Propanotriol, Propan-1,2,3-triol
Fórmula semidesarrollada	$HOCH_2-CHOH-CH_2OH$
Fórmula estructural	$C_3H_8O_3$

Tabla 2.2 Propiedades químicas de la glicerina.

El glicerol, junto con los ácidos grasos, es uno de los componentes de los lípidos simples:

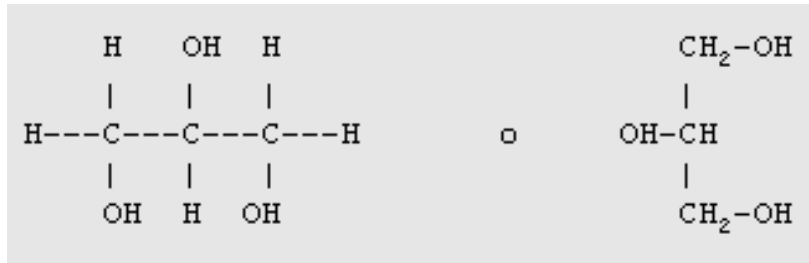


Fig.2.18 Estructura del glicerol

Un lípido simple está formado por una molécula de glicerol al que se unen por enlaces tres moléculas de ácidos grasos.

Los ácidos grasos que forman un lípido simple o triglicérido pueden estar saturados de átomos de hidrógeno, por ejemplo cuando no pueden contener más de estos átomos, de modo que todos los enlaces formados son simples.

Los ácidos grasos que contienen menos hidrógenos se llaman ácidos grasos insaturados y se caracterizan por presentar en su estructura uno o más dobles enlaces y son de origen vegetal. (Ver Fig.2.19)



Fig.2.19 muestras de glicerina luego de la decantación

2.2. PRUEBAS REALIZADAS AL BIODIESEL OBTENIDO.

2.2.1. Medición del PH.

El PH (potencial de hidrógeno) es la expresión de una magnitud química que denota el grado de acidez o alcalinidad de un compuesto químico.



Fig.2.20 PH de algunos compuestos químicos

2.2.1.1 Mediante Papel Tornasol

Son pequeñas tiras de papel especial (Ver Fig. 2.21) que se mojan con la solución a medir, pasados unos segundos estos cambian de coloración y se las compara con el diferente código de colores (Ver Fig. 2.22), para obtener el valor de PH de la solución.

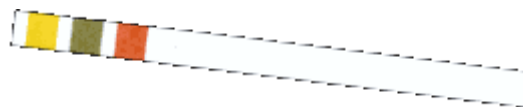


Fig.2.21 Papel tornasol

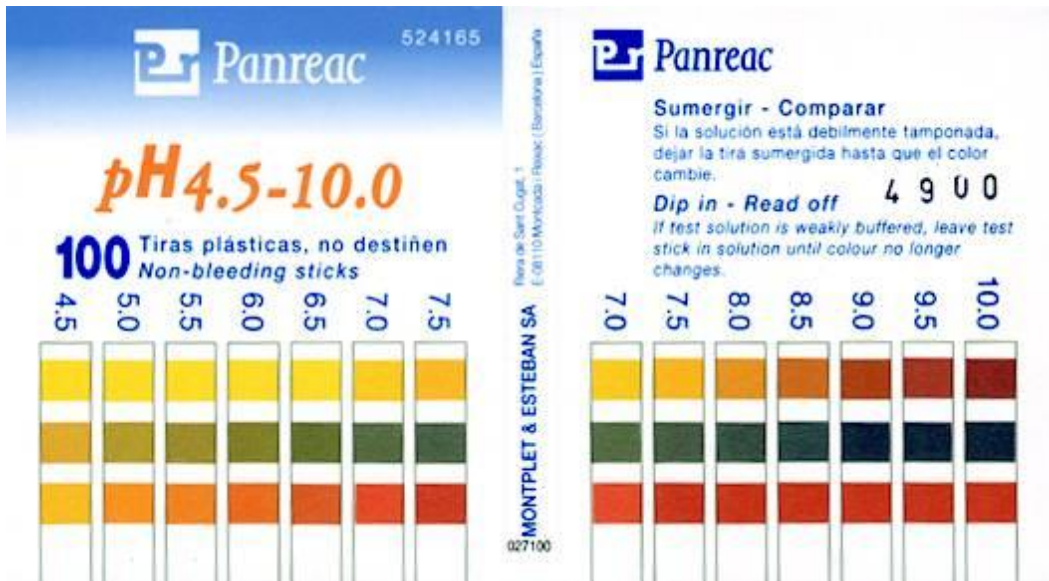


Fig.2.22 Valores de PH

Realizada esta prueba obtuvimos los siguientes resultados.

TIPO DE COMBUSTIBLE	PH
DIESEL	6
BIODIESEL	7

TABLA 2.2 datos del ph con papel tornasol

2.2.1.2. Mediante el Sensor de PH

Utilizamos el Sensor Medidor de PH que existe en los Laboratorios de Física de la Escuela. (Ver Fig. 2.23)



Fig. 2.23 Sensor de medición

El Sensor se encuentra conectado a un computador y mediante un programa de computación se obtiene el valor de PH de cada sustancia.

Simplemente introducimos el Sensor en cada tipo de combustible y el valor de PH se puede observar en la pantalla del computador.

Diesel



Fig.2.24 Combustible Diesel

Biodiesel



Fig.2.25 Combustible Biodiesel

Tabulación de datos:

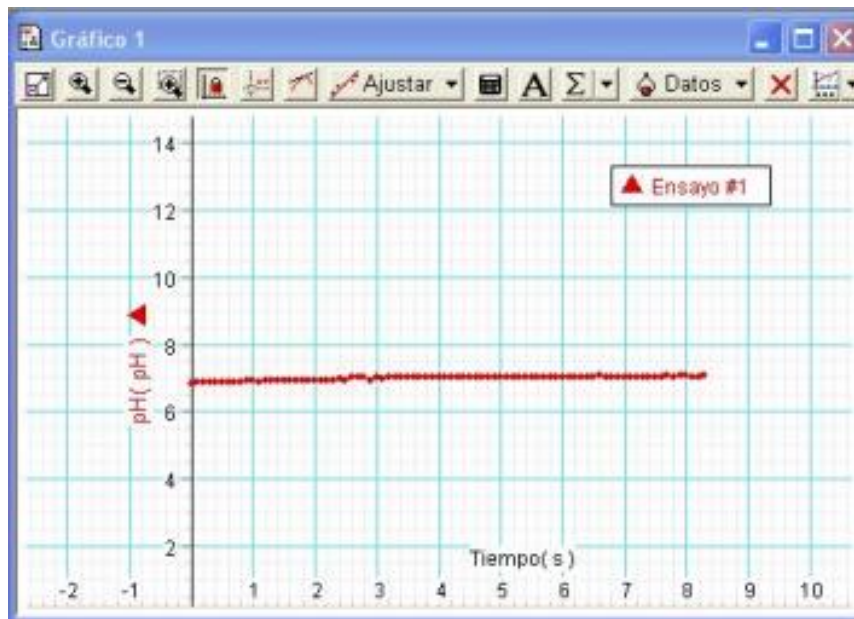


Fig.2.26 Medición del PH Biodiesel

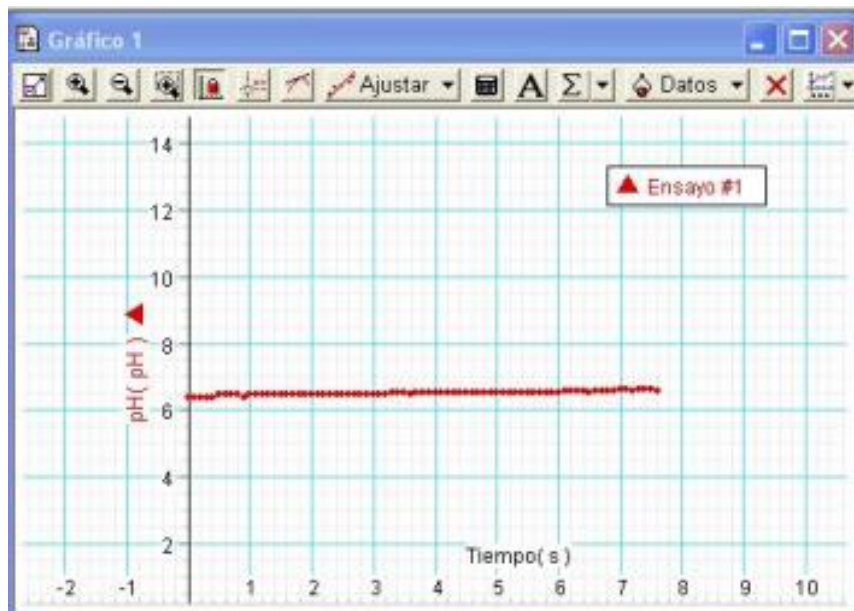


Fig.2.27 Medición del PH diesel

2.2.2. Cálculo de Densidad

Para realizar esta prueba del combustible se necesita del siguiente equipo:

- Balanza Electrónica
- Picnómetro de 25cc
- Sensor para el PH.

Picnómetro

Es un aparato que se utiliza para determinar las densidades de distintas sustancias. También se conoce como frasco de densidades. Consiste en un pequeño frasco de vidrio de cuello estrecho, cerrado con un tapón esmerilado, hueco y que termina por su parte superior en un tubo capilar con graduaciones. (Ver Fig.2.28)



Fig. 2.28 Picnómetro

Antes de calcular la densidad de cada combustible primero debemos conocer el su peso para lo cual utilizamos el picnómetro.

Llenamos el picnómetro con la sustancia (Biodiesel y Diesel) utilizando una pipeta pequeña y la tapamos para que el exceso salga por el interior del tapón determinando de esta forma el volumen del liquido dentro del recipiente.

Colocamos las diferentes muestras en la balanza electrónica para obtener la peso de cada una de ellas. (Ver Fig.2.29)



Fig.2.29 Medición de la peso

Los resultados obtenidos son:

Datos:

- Volumen de combustible..... 25 ml
- Peso del Biodiesel en el picnómetro..... 46.441 gr.
- Peso del diesel en el picnómetro..... 41.461 gr.
- Peso del picnómetro vacío..... 24.478 gr.

Peso Biodiesel:

$$peso = 46.441 \text{ gr} - 24.478 \text{ gr}$$

$$peso = 21.963 \text{ gr}$$

Peso Diesel:

$$peso = 41.461 \text{ gr} - 24.478 \text{ gr}$$

$$peso = 16.983 \text{ gr}$$

Una vez obtenido el peso de cada sustancia procedimos a calcular su densidad.

Densidad del Biodiesel

$$\delta_{biodiesel} = \frac{m}{V}$$

$$\delta_{biodiesel} = \frac{21.963 \text{ gr}}{25 \text{ cm}^3}$$

$$\delta_{biodiesel} = 0.879 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

Densidad del diesel

$$\delta_{diesel} = \frac{m}{V}$$

$$\delta_{diesel} = \frac{16.983 \text{ gr}}{25 \text{ cm}^3}$$

$$\delta_{diesel} = 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

2.2.3. Determinación de Poder Calorífico del Biodiesel y Diesel

Poder Calorífico

Es la máxima cantidad de calor que se puede obtener de una sustancia combustible cuando se quema en forma completa.

Entre los productos de la combustión está presente vapor de agua, el cual, dependiendo de la temperatura de los productos, puede permanecer como vapor, puede condensar parcialmente o condensar completamente.

Como el vapor al condensar libera calor, mientras más condensado se forme mayor calor se estará obteniendo del combustible. Esto permite diferenciar entre Poder Calorífico Inferior y Poder Calorífico Superior.

El Poder Calorífico Inferior indica la cantidad de calor que puede proporcionar el combustible cuando toda el agua en los productos permanece como vapor, mientras el Superior refleja el calor que puede liberar el combustible cuando toda el agua en los productos condensa.

Esta prueba fue realizada en el laboratorio de Termodinámica en la E S P E Matriz en Sangolquí.

Equipo Utilizado.

- Bomba calorimétrica adiabática de Gallenkamp (Ver Fig. 2.30)
- Ácido benzoico
- Diesel
- Biodiesel
- Madeja de mecha
- Alambre conductor
- Termómetro
- Balanza



Fig. 2.30. Bomba Adiabática

Ejecución de las Pruebas.

Pesamos 1 gr. de ácido benzoico utilizando la balanza (Ver Fig.2.31), calentamos agua en un recipiente hasta 15 °C.

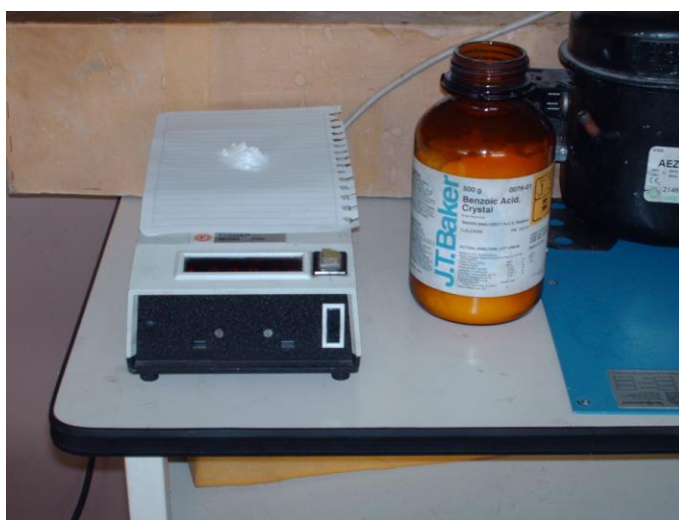


Fig. 2.31 Peso del Ácido Benzoico

Colocamos la muestra de ácido benzoico inicialmente en forma de polvo dentro de una prensa mecánica, procedemos a apretar la prensa hasta conseguir que el ácido tenga forma de una pastilla. (Ver Fig.2.32)

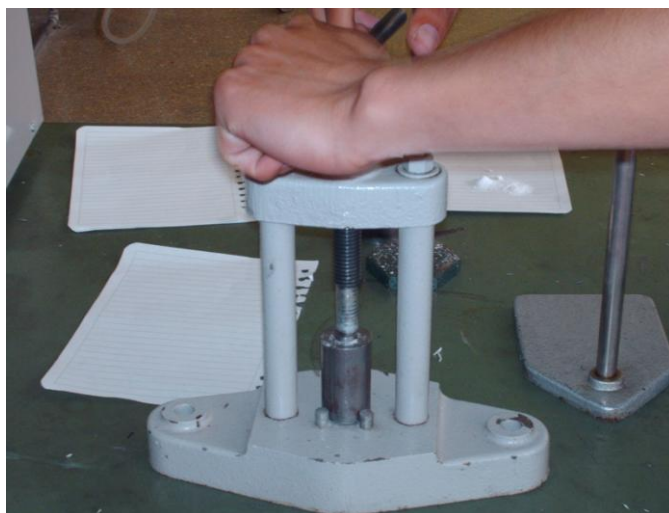


Fig. 2.32 obtención de la pastilla de ácido benzoico

Luego se ata un cordón de algodón al cable conductor que se sujeta a una horqueta de suspensión. Se coloca una gota de agua dentro de la bomba y 0.8 gr de combustible, se lo sella con oxígeno a una presión de 15 bar. (Ver Fig. 2.33)

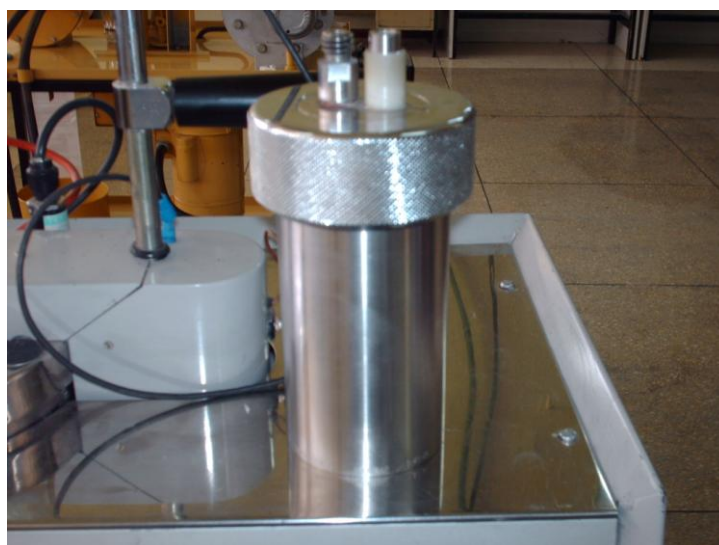


Fig.2.33 Bomba y camisa adiabática

Se introduce la bomba, tapamos el conjunto, colocamos los termómetros del calorímetro y de la camisa, cuando todo esta listo se inicia la combustión y se toma los datos de las temperaturas máxima y mínima por el termómetro especial.

Tabulación de datos.

ACIDO BENZOICO		
1. Valor calorífico del ácido benzoico	J/gr.	26454
2. Peso del acido benzoico quemado	gr.	1
3. Energía liberada por acido (1*2)	J	26454
4. Temperatura inicial	°C	20.8
5. Temperatura final	°C	22.76
6. Elaboración de temperaturas (5-4)	°C	1.96
7. Capacidad calorífica total del aparato (3/6)	J/°C	13496.94

DIESEL		
8. Peso del portamuestras	gr.	7.8
9. Peso del portamuestras + combustible	gr.	8.6
10. Peso del combustible (9-8)	Gr.	0.8
11. Temperatura inicial	°C	20.85
12. Temperatura final	°C	23.84
13. Elevación de temperaturas (12-11)	°C	2.99
14. Energía total liberada(13*7)	J	40355.8469
15. Valor calorífico de la muestra (14/10)	J/g	50444.8087

BIODIESEL		
16. Peso del portamuestras	gr.	7.8
17. Peso del portamuestras + combustible	gr.	8.6
18. Peso del combustible (9-8)	Gr.	0.8
19. Temperatura inicial	°C	21
20. Temperatura final	°C	23.27
21. Elevación de temperaturas (12-11)	°C	2.27
22. Energía total liberada(13*7)	J	30638.051
23. Valor calorífico de la muestra (14/10)	J/g	38297.5638

CAPITULO III

PRUEBAS DE OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL DIESEL Y BIODIESEL A DIFERENTES REVOLUCIONES.

Estas pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Motores de la ESPE matriz tomando en cuenta todos los parámetros necesarios para que no existan problemas y observando el comportamiento del motor así como en las emisiones emitidas por dichos combustibles.

3.1 PRUEBAS A DIFERENTES VELOCIDADES CON DIESEL Y BIODIESEL

Se realizara un análisis comparativo a diferente número de revoluciones de los dos combustibles y observar cual es su comportamiento.

Para las pruebas con el biodiesel se debe realizar una limpieza del tanque y realizar la mezcla en porcentaje del biodiesel con el diesel y después un sangrado de la bomba con el fin de que no exista problemas al momento de encender el motor, además otros parámetros que van detallados a continuación.

Banco de pruebas (ver Fig.3.1)

- Tipo de motor: Diesel
- Aceleración constante del 100 %
- Volumen de prueba 25 cc
- Brazo de Palanca 265 mm
- Numero de revoluciones máximo 3000 rpm

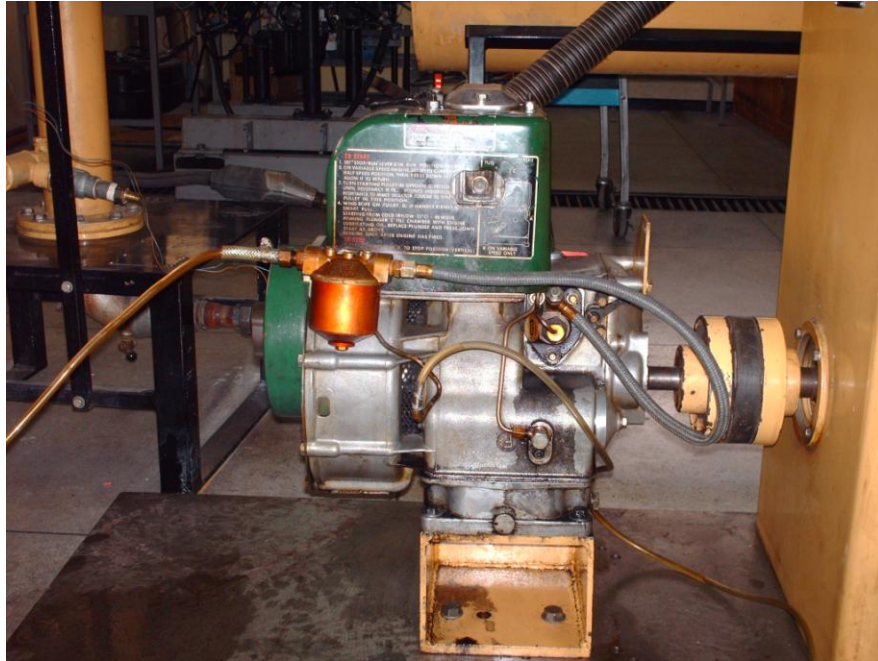


Fig.3.1 Motor diesel de 1 cilindro

Verificamos la preparación del banco de pruebas en general y llenamos el tanque con los combustibles mencionados (ver fig.3.2)



Fig.3.2 Tanques de combustibles

Ponemos en marcha el motor y esperamos hasta que se caliente y adquiera el número de revoluciones al que vamos a empezar las pruebas (ver fig.3.3)

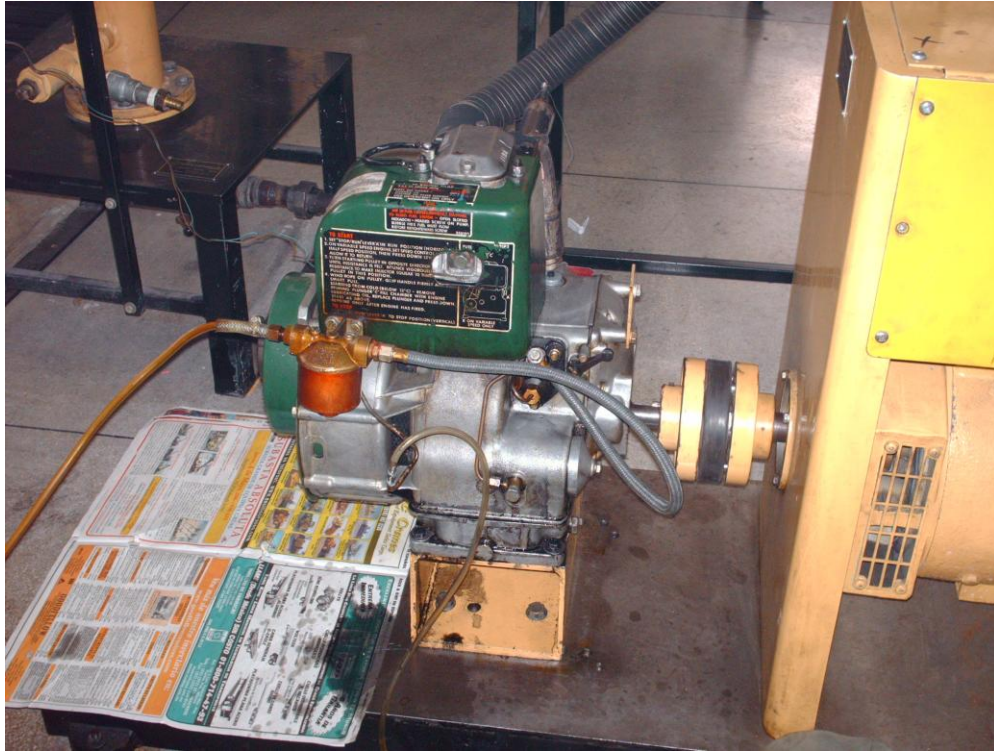


Fig.3.3 Banco de pruebas en funcionamiento

Abrimos la llave de paso de combustible y con las revoluciones establecidas realizamos la toma de datos para cada 25 cc. (Ver fig.3.4)



Fig.3.4 toma de datos a diferentes rpm

Una vez que se ha consumido los 25 cc de combustible realizamos la toma de datos de los otros parámetros ver fig.3.5. Del banco de pruebas y continuamos variando las rpm hasta nuestra velocidad final.



Fig.3.5 Medición de la temperatura del aire

3.2 RESULTADOS OBTENIDOS EN EL BANCO DE PRUEBAS

Tipo de combustible: **BIODIESEL**

Volumen de prueba: 25 cc

Brazo de Palanca: 265 mm.

Aceleración Constante a 100%

Nomenclatura:

Ho = Temperatura de Escape

V = Voltaje

A = Corriente

Prueba	N (RPM)	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Ho (mmH2O)	Temp. Esc °C	V (v)	I(A)
1	1200	82,75	167,7	5	400	130	3,5
2	1400	83,5	150	6,5	350	163	3
3	1600	84,5	124,5	8,5	380	178	3,3
4	1800	85	117,5	10	420	180	3,4
5	2000	85	106,3	13,5	425	180	3,5
6	2200	84,5	96,1	16,5	420	200	3,8
7	2400	85	84,4	20,5	410	205	4
8	2600	88,5	76,3	25	415	185	3,5
9	2800	91,5	69,2	30,5	425	163	3
10	3000	93,5	64,8	33,5	320	140	2,5

RESULTADOS OBTENIDOS EN EL BANCO DE PRUEBAS

Tipo de Combustible: **DIESEL**

Brazo de Palanca: 265 mm

Volumen de prueba: 25 cc

Aceleración constante al 100%

Nomenclatura:

Ho = Temperatura de Escape

V = Voltaje

A = Corriente

Prueba	N (RPM)	Fuerza (N)	Tiempo (s)	Ho (mmH2O)	Temp. Esc °C	V (v)	I(A)
1	1200	83.25	111.6	5	330	120	4.5
2	1400	83	106.4	6.5	350	135	5
3	1600	84.5	101.4	8.5	360	180	3.3
4	1800	85.25	87.4	10.5	390	182	3.4
5	2000	85	81.6	13	40.5	195	3.5
6	2200	85.5	76.7	16	40	200	3.7
7	2400	86.5	69.4	20	39.5	205	3.9
8	2600	88.7	64.2	25	40	198	3.6
9	2800	90	59.9	29	410	190	3.5
10	3000	92.5	55.2	32	410	158	3.2

3.3 CALCULO DE PARAMETROS CARACTERISTICOS

3.3.1. Definición de parámetros a calcularse

Torque: Indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar un motor desde su eje principal, hasta el diferencial del vehículo. El torque es igual a la fuerza multiplicada por el brazo de palanca.

$$Tq = F \times l$$

Donde:

Tq = Torque (N.m)

F = Fuerza (N)

l = Brazo de palanca (m)

El cálculo del Torque no se realiza en este estudio, ya que este dato fue arrojado directamente por el banco de pruebas en cada una de las velocidades.

Potencia al Freno: Es la potencia que se obtiene en el eje del motor, también es denominada potencia en la flecha.

Es el trabajo desarrollado por la fuerza durante el número de revoluciones del motor en un tiempo dado.

$$P_f = \frac{Tq \times 2\pi N}{60}$$

Donde:

P_f = Potencia al freno (W)

Tq = Torque (N.m)

N = velocidad de rotación (rpm)

Flujo Másico de Combustible: Este parámetro nos indica la cantidad de masa de combustible de un motor por unidad de tiempo.

$$m_c = \frac{Vp}{t} \times \delta_{comb.} \times 3600$$

Donde:

m_c = Flujo másico de combustible (g/h)

Vp = Volumen de prueba (cm³)

$\delta_{comb.}$ = Densidad específica del combustible (g/cm³)

Consumo Específico de Combustible: Es la masa de combustible necesaria para generar una unidad de energía por unidad de tiempo:

$$C.E.C = \frac{m_c}{P_f}$$

Donde:

$C.E.C$ = Consumo específico de combustible (g/Kw-h)

m_c = Flujo másico de combustible (g/h)

P_f = Potencia al freno (W)

Relación Aire - Combustible: Es la relación entre consumo de aire y el consumo de combustible en términos de volumen o masa.

$$A/C = \frac{m_a}{m_c}$$

Donde:

A/C = Relación aire - combustible

m_a = Flujo másico de aire (g/h)

m_c = Flujo másico de combustible (g/h)

Flujo Másico de Aire.- Es la masa de aire que ingresa como parte de la carga fresca y que es requerida para una eficiente combustión del combustible.

$$m_a = \frac{\pi D^2}{4} \times C \times \sqrt{\frac{2C_1 h_o P_a}{R_a T_a}} \times 3600$$

Donde:

D = Diámetro del pistón

C_1 = Constante referida al fluido del manómetro

h_o = Altura del manómetro

P_a = Presión atmosférica

R_a = Constante

T_a = Temperatura del ambiente

Eficiencia térmica: Se define el rendimiento térmico para un ciclo, con objeto de mostrar el rendimiento de conversión de calor en trabajo.

$$n_t = \frac{P_f}{m_c \times Q_{neto}} \times 3600$$

Donde:

n_t = Eficiencia térmica

Q_{neto} = Poder calorífico del combustible (KJ/Kg)

3.3.2. Cálculo de parámetros con Biodiesel en todas las velocidades de prueba

Potencia al freno

$$Tq = F \times Brazodepalanca$$

N = 1200 rpm

$$P_f = \frac{Tq \times 2\pi N}{60}$$

$$P_f = \frac{(82.75 \times 0.265) N.m \times 2\pi(1200rpm)}{60}$$

$$P_f = 2755.65W$$

N = 1400 rpm

$$P_f = \frac{(83.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(1400rpm))}{60}$$

$$P_f = 3244.06W$$

N = 1600 rpm

$$P_f = \frac{(84.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(1600rpm))}{60}$$
$$P_f = 3751.899W$$

N = 1800 rpm

$$P_f = \frac{(85 \times 0.265 N.m \times 2\pi(1800rpm))}{60}$$
$$P_f = 4245.86W$$

N = 2000 rpm

$$P_f = \frac{(85 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2000rpm))}{60}$$
$$P_f = 4717.63W$$

N = 2200 rpm

$$P_f = \frac{(84.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2200rpm))}{60}$$
$$P_f = 5158.86W$$

N = 2400 rpm

$$P_f = \frac{(85 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2400rpm))}{60}$$
$$P_f = 5661.15W$$

N = 2600 rpm

$$P_f = \frac{(88.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2600rpm))}{60}$$
$$P_f = 6385.44W$$

N = 2800 rpm

$$P_f = \frac{(91.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2800rpm))}{60}$$
$$P_f = 7109.74W$$

N = 3000 rpm

$$P_f = \frac{(93.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(3000rpm))}{60}$$
$$P_f = 7384.08W$$

Flujo másico de combustible

Densidad del Biodiesel

$$\delta_{biodiesel} = \frac{m}{V}$$
$$\delta_{biodiesel} = \frac{21.963gr}{25cm^3}$$
$$\delta_{biodiesel} = 0.879 \frac{gr}{cm^3}$$

Para 1200 rpm

$$m_c = \frac{VP}{t} \times \delta_{biodiesel} \times 3600$$
$$m_c = \frac{25cm^3}{167.7sg} \times 0.879 \frac{gr}{cm^3} \times \frac{3600sg}{1h}$$
$$m_c = 471.74 \frac{gr}{h}$$

Para 1400 rpm

$$m_c = \frac{25cm^3}{150sg} \times 0.879 \frac{gr}{cm^3} \times \frac{3600sg}{1h}$$
$$m_c = 527.4 \frac{gr}{h}$$

Para 1600 rpm

$$m_c = \frac{25cm^3}{124.5sg} \times 0.879 \frac{gr}{cm^3} \times \frac{3600sg}{1h}$$
$$m_c = 635.42 \frac{gr}{h}$$

Para 1800 rpm

$$m_c = \frac{25cm^3}{117.5sg} \times 0.879 \frac{gr}{cm^3} \times \frac{3600sg}{1h}$$
$$m_c = 673.28 \frac{gr}{h}$$

Para 2000 rpm

$$m_c = \frac{25cm^3}{106.3sg} \times 0.879 \frac{gr}{cm^3} \times \frac{3600sg}{1h}$$
$$m_c = 744.21 \frac{gr}{h}$$

Para 2200 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{96.1\text{sg}} \times 0.879 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 823.21 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 2400 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{84.4\text{sg}} \times 0.879 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 937.32 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 2600 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{76.3\text{sg}} \times 0.879 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 1036.83 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 2800 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{69.2\text{sg}} \times 0.879 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 1173.21 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 3000 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{64.8\text{sg}} \times 0.879 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 1220.83 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Consumo Específico de Combustible

Para 1200 rpm

$$C.E.C = \frac{m_c}{P_f}$$

$$C.E.C = \frac{471.74 \frac{gr}{h}}{0.27557 Kw}$$

$$C.E.C = 1711.87 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 1400 rpm

$$C.E.C = \frac{527.4 \frac{gr}{h}}{0.32441 Kw}$$

$$C.E.C = 1625.74 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 1600 rpm

$$C.E.C = \frac{635.42 \frac{gr}{h}}{0.37519 Kw}$$

$$C.E.C = 1693.596 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 1800 rpm

$$C.E.C = \frac{673.28 \frac{gr}{h}}{0.42459 Kw}$$

$$C.E.C = 1585.72 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2000 rpm

$$C.E.C = \frac{744.21 \frac{gr}{h}}{0.47176Kw}$$

$$C.E.C = 1577.51 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2200 rpm

$$C.E.C = \frac{823.21 \frac{gr}{h}}{0.51589Kw}$$

$$C.E.C = 1595.72 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2400 rpm

$$C.E.C = \frac{937.32 \frac{gr}{h}}{0.56612Kw}$$

$$C.E.C = 1655.71 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2600 rpm

$$C.E.C = \frac{1036.83 \frac{gr}{h}}{0.63854Kw}$$

$$C.E.C = 1623.74 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2800 rpm

$$C.E.C = \frac{1173.21 \frac{gr}{h}}{0.71097Kw}$$

$$C.E.C = 1650.15 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 3000 rpm

$$C.E.C = \frac{1220.83 \frac{gr}{h}}{0.73841 Kw}$$

$$C.E.C = 1653.33 \frac{gr}{Kw.h}$$

Flujo Másico de Aire

Para 1200 rpm

$$m_a = \frac{\pi D^2}{4} \times C \times \sqrt{\frac{2C_1 h_o P_a}{R_a T_a}} \times 3600$$

$$m_a = \frac{\pi (0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 78.56 \frac{Kg}{h}$$

Para 1400 rpm

$$m_a = \frac{\pi (0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 6.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 89.58 \frac{Kg}{h}$$

Para 1600 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 8.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 102.44 \frac{Kg}{h}$$

Para 1800 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 10 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 111.11 \frac{Kg}{h}$$

Para 2000 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 13.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 129.10 \frac{Kg}{h}$$

Para 2200 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 16.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 142.72 \frac{Kg}{h}$$

Para 2400 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 20.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 159.08 \frac{Kg}{h}$$

Para 2600 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 25 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 175.68 \frac{Kg}{h}$$

Para 2800 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 30.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 194.04 \frac{Kg}{h}$$

Para 3000 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 33.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 203.36 \frac{Kg}{h}$$

Relación Estequiométrica Aire-Combustible Real

Analizando los datos obtenidos en el banco de pruebas y según los cálculos realizados se procede a tomar un valor promedio del flujo másico de combustible para realizar este cálculo:

$$A/C = \frac{m_a}{m_c}$$

$$A/C = \frac{138567 \frac{g}{h}}{8243.45 \frac{g}{h}}$$

$$A/C = 16.8$$

Rendimiento Térmico

Para 1200 rpm

$$n_t = \frac{P_f}{m_c \times Q_{neto}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = \frac{2855.65W}{471.74 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 56.90\%$$

Para 1400 rpm

$$n_t = \frac{P_f}{m_c \times Q_{neto}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = \frac{3244.06W}{527.4 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 57.82\%$$

Para 1600 rpm

$$n_t = \frac{3751.899W}{635.42 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 55.50\%$$

Para 1800 rpm

$$n_t = \frac{4245.86W}{673.28 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 59.28\%$$

Para 2000 rpm

$$n_t = \frac{4717.63W}{744.21 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 59.59\%$$

Para 2200 rpm

$$n_t = \frac{5158.86W}{823.21 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 58.91\%$$

Para 2400 rpm

$$n_t = \frac{5661.15W}{937.32 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 56.77\%$$

Para 2600 rpm

$$n_t = \frac{6385.44W}{1036.83 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 57.89\%$$

Para 2800 rpm

$$n_t = \frac{7109.74W}{1173.21 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 56.97\%$$

Para 3000 rpm

$$n_t = \frac{7384.08W}{1220.83 \frac{g}{h} \times 38297.56 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 56.85\%$$

3.3.3. Calculo de parámetros con Diesel en todas las velocidades de prueba

Potencia al freno

$$Tq = F \times Brazodepalanca$$

N = 1200 rpm

$$P_f = \frac{Tq \times 2\pi N}{60}$$
$$P_f = \frac{(83.25 \times 0.265) N.m \times 2\pi(1200rpm)}{60}$$
$$P_f = 2772.298W$$

N = 1400 rpm

$$P_f = \frac{(83 \times 0.265 N.m \times 2\pi(1400rpm))}{60}$$
$$P_f = 3224.635W$$

N = 1600 rpm

$$P_f = \frac{(84.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(1600rpm))}{60}$$
$$P_f = 3751.89W$$

N = 1800 rpm

$$P_f = \frac{(85.25 \times 0.265 N.m \times 2\pi(1800rpm))}{60}$$
$$P_f = 4258.350W$$

N = 2000 rpm

$$P_f = \frac{(85 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2000rpm))}{60}$$
$$P_f = 4717.63W$$

N = 2200 rpm

$$P_f = \frac{(85.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2200rpm))}{60}$$
$$P_f = 5219.913W$$

N = 2400 rpm

$$P_f = \frac{(86.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2400rpm))}{60}$$
$$P_f = 5761.053W$$

N = 2600 rpm

$$P_f = \frac{(88.7 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2600rpm))}{60}$$
$$P_f = 6399.875W$$

N = 2800 rpm

$$P_f = \frac{(90 \times 0.265 N.m \times 2\pi(2800rpm))}{60}$$
$$P_f = 6993.185W$$

N = 3000 rpm

$$P_f = \frac{(92.5 \times 0.265 N.m \times 2\pi(3000rpm))}{60}$$
$$P_f = 7700.829W$$

Flujo másico de combustible

Densidad del Biodiesel

$$\delta_{diesel.} = \frac{m}{V}$$
$$\delta_{diesel.} = \frac{16.983gr}{25cm^3}$$
$$\delta_{diesel.} = 0.679 \frac{gr}{cm^3}$$

Para 1200 rpm

$$m_c = \frac{Vp}{t} \times \delta_{biodiesel.} \times 3600$$
$$m_c = \frac{25cm^3}{111.6sg} \times 0.679 \frac{gr}{cm^3} \times \frac{3600sg}{1h}$$
$$m_c = 547.59 \frac{gr}{h}$$

Para 1400 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{106.4\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 574.34 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 1600 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{101.4\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 602.66 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 1800 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{87.4\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 699.20 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 2000 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{81.6\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 750.74 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 2200 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{76.7\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 796.74 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 2400 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{69.4\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 888.55 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 2600 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{64.2\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 951.87 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 2800 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{59.9\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 1020.20 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Para 3000 rpm

$$m_c = \frac{25\text{cm}^3}{55.2\text{sg}} \times 0.679 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times \frac{3600\text{sg}}{1\text{h}}$$

$$m_c = 1107.67 \frac{\text{gr}}{\text{h}}$$

Consumo Específico de Combustible

Para 1200 rpm

$$C.E.C = \frac{m_c}{P_f}$$

$$C.E.C = \frac{547.59 \frac{gr}{h}}{0.27723 Kw}$$

$$C.E.C = 1975.22 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 1400 rpm

$$C.E.C = \frac{574.34 \frac{gr}{h}}{0.32246 Kw}$$

$$C.E.C = 1781.101 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 1600 rpm

$$C.E.C = \frac{602.66 \frac{gr}{h}}{0.37519 Kw}$$

$$C.E.C = 1606.280 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 1800 rpm

$$C.E.C = \frac{699.20 \frac{gr}{h}}{0.42584 Kw}$$

$$C.E.C = 1641.95 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2000 rpm

$$C.E.C = \frac{750.74 \frac{gr}{h}}{0.4717.63Kw}$$

$$C.E.C = 1591.35 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2200 rpm

$$C.E.C = \frac{796.74 \frac{gr}{h}}{0.52199Kw}$$

$$C.E.C = 1526.347 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2400 rpm

$$C.E.C = \frac{888.55 \frac{gr}{h}}{0.57611Kw}$$

$$C.E.C = 1542.21 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2600 rpm

$$C.E.C = \frac{951.87 \frac{gr}{h}}{0.63999Kw}$$

$$C.E.C = 1487.33 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 2800 rpm

$$C.E.C = \frac{1020.20 \frac{gr}{h}}{0.69932 Kw}$$

$$C.E.C = 1458.849 \frac{gr}{Kw.h}$$

Para 3000 rpm

$$C.E.C = \frac{1107.67 \frac{gr}{h}}{0.77009 Kw}$$

$$C.E.C = 1438.38 \frac{gr}{Kw.h}$$

Flujo Másico de Aire

Para 1200 rpm

$$m_a = \frac{\pi D^2}{4} \times C \times \sqrt{\frac{2C_1 h_o P_a}{R_a T_a}} \times 3600$$

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O.m^2} \times 5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m.sg^2} P_a}{287 \frac{N.m}{Kg.^{\circ}K} \times 294^{\circ}K}} \times 3600$$

$$m_a = 78.56 \frac{Kg}{h}$$

Para 1400 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 6.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 89.58 \frac{Kg}{h}$$

Para 1600 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 8.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 102.44 \frac{Kg}{h}$$

Para 1800 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 10.5 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 113.85 \frac{Kg}{h}$$

Para 2000 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 13 mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 126.68 \frac{Kg}{h}$$

Para 2200 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 16mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 140.54 \frac{Kg}{h}$$

Para 2400 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 20mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 157.13 \frac{Kg}{h}$$

Para 2600 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 25mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 175.68 \frac{Kg}{h}$$

Para 2800 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.055)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 29mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 189.21 \frac{Kg}{h}$$

Para 3000 rpm

$$m_a = \frac{\pi(0.070)^2}{4} \times 0.62 \times \sqrt{\frac{2 \times 9.807 \frac{N}{mmH_2O \cdot m^2} \times 32mmH_2O \times 71976.71 \frac{Kg}{m \cdot sg^2} P_a}{287 \frac{N \cdot m}{Kg \cdot ^\circ K} \times 294^\circ K}} \times 3600$$

$$m_a = 198.75 \frac{Kg}{h}$$

Relación Estequiométrica Aire-Combustible Real

Analizando los datos obtenidos en el banco de pruebas y según los cálculos realizados se procede a tomar un valor promedio del flujo másico de combustible para realizar este cálculo:

$$A/C = \frac{m_a}{m_c}$$

$$A/C = \frac{137242 \frac{g}{h}}{7939.56 \frac{g}{h}}$$

$$A/C = 17.28$$

Rendimiento Térmico

Para 1200 rpm

$$n_t = \frac{P_f}{m_c \times Q_{neto}} \times 100 \times 3600$$

$$n_t = \frac{2772.298W}{547.59 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$

$$n_t = 47.59\%$$

Para 1400 rpm

$$n_t = \frac{3223.635W}{574.34 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$

$$n_t = 55.36\%$$

Para 1600 rpm

$$n_t = \frac{3751.899W}{602.66 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$

$$n_t = 58.52\%$$

Para 1800 rpm

$$n_t = \frac{4258.350W}{699.20 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$

$$n_t = 57.25\%$$

Para 2000 rpm

$$n_t = \frac{4717.63W}{750.74 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$

$$n_t = 59.07\%$$

Para 2200 rpm

$$n_t = \frac{5219.913W}{67.48 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$

$$n_t = 17.62\%$$

Para 2400 rpm

$$n_t = \frac{5761.053W}{888.55 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 60.95\%$$

Para 2600 rpm

$$n_t = \frac{6399.875W}{951.87 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 63.20\%$$

Para 2800 rpm

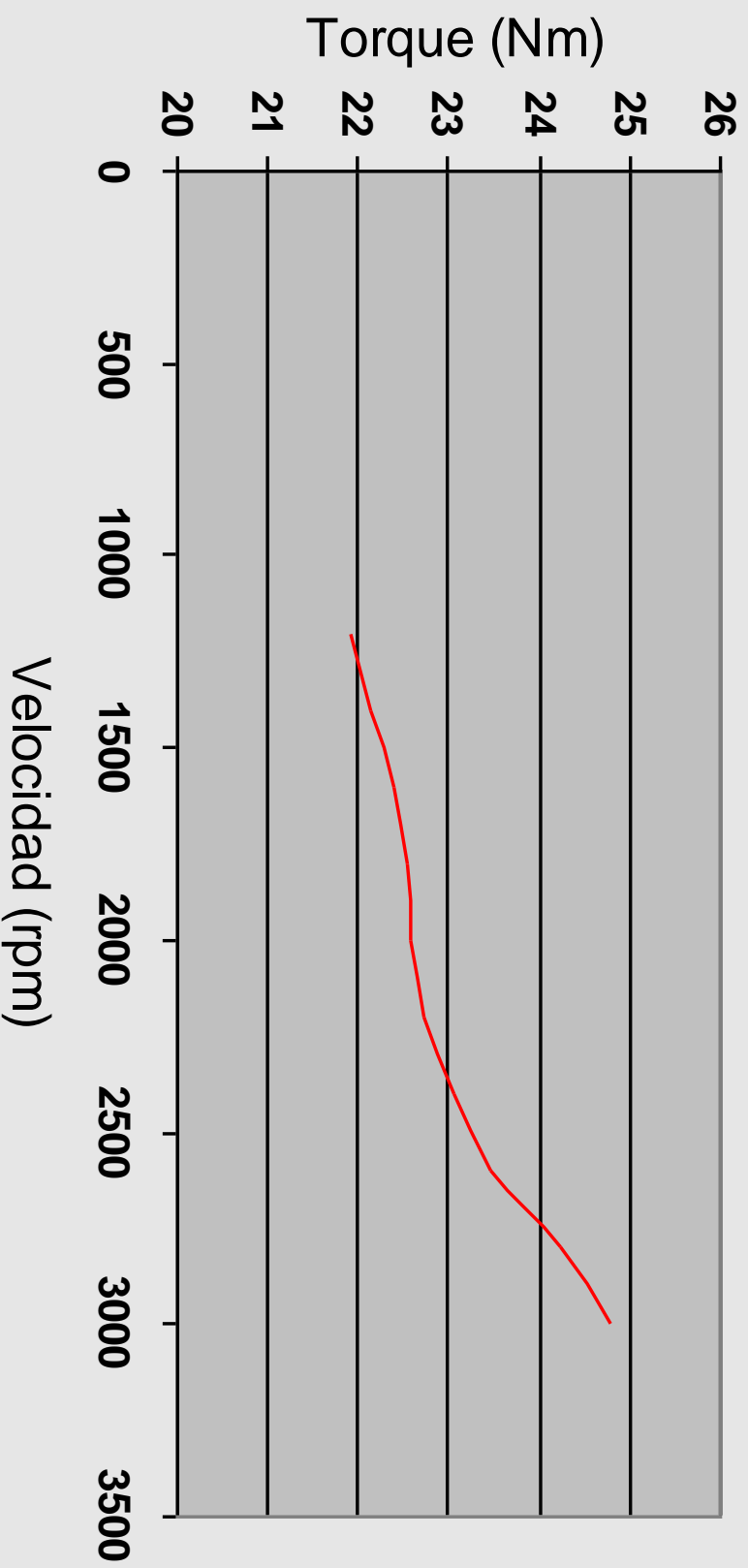
$$n_t = \frac{6993.185W}{1020.20 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 64.43\%$$

Para 3000 rpm

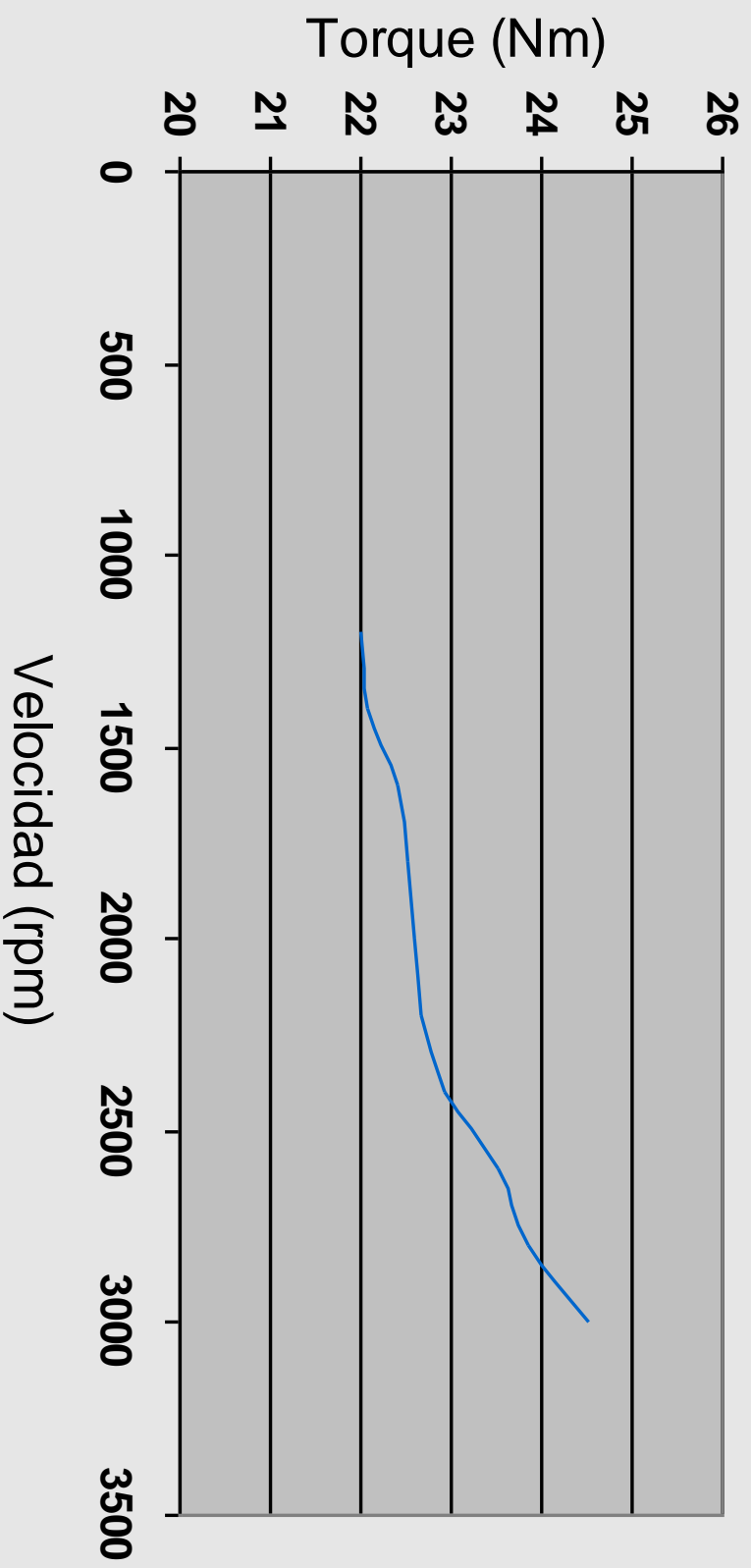
$$n_t = \frac{7700.829W}{1107.67 \frac{g}{h} \times 50444.81 \frac{KJ}{Kg}} \times 100 \times 3600$$
$$n_t = 65.35\%$$

3.3.4 Gráficas comparativas de resultados

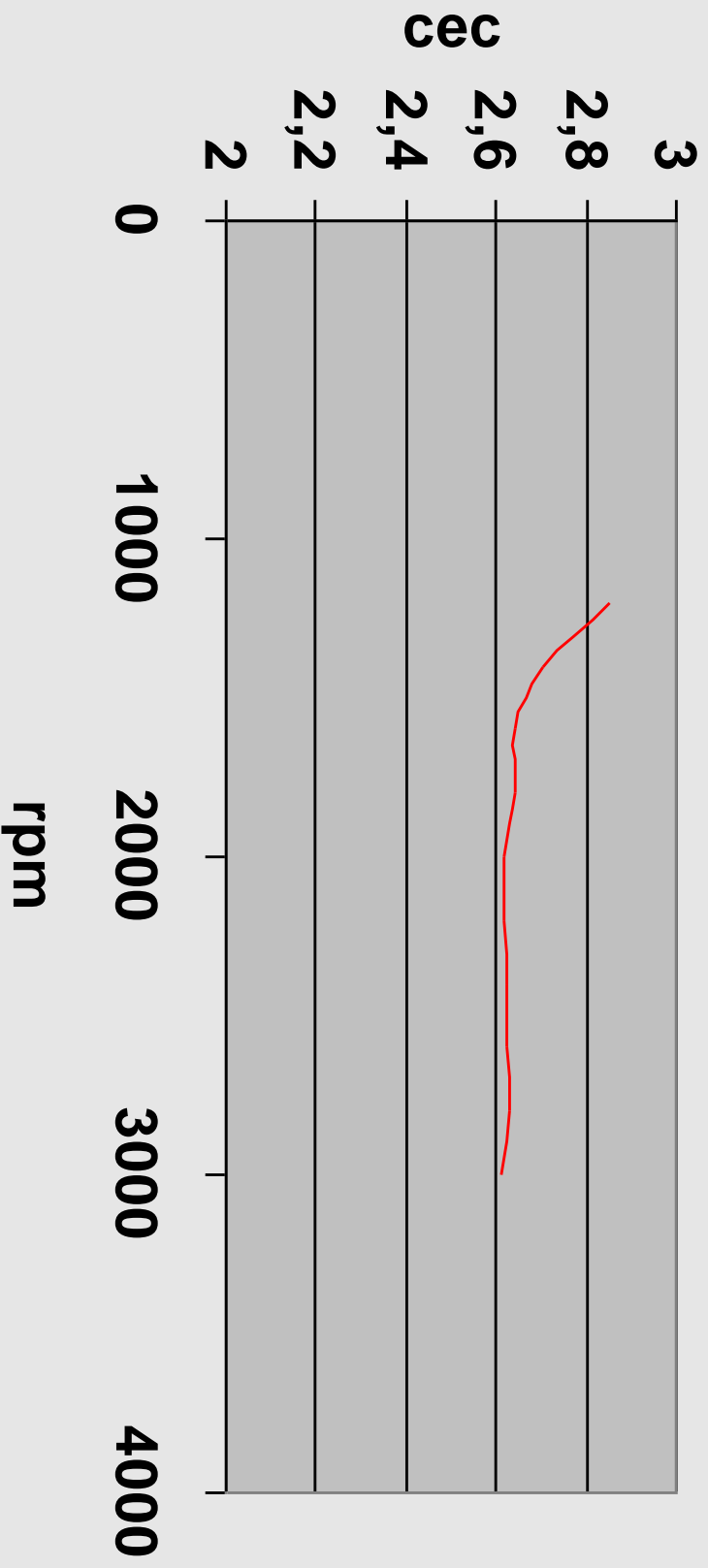
Torque vs RPM (BIODIESEL)



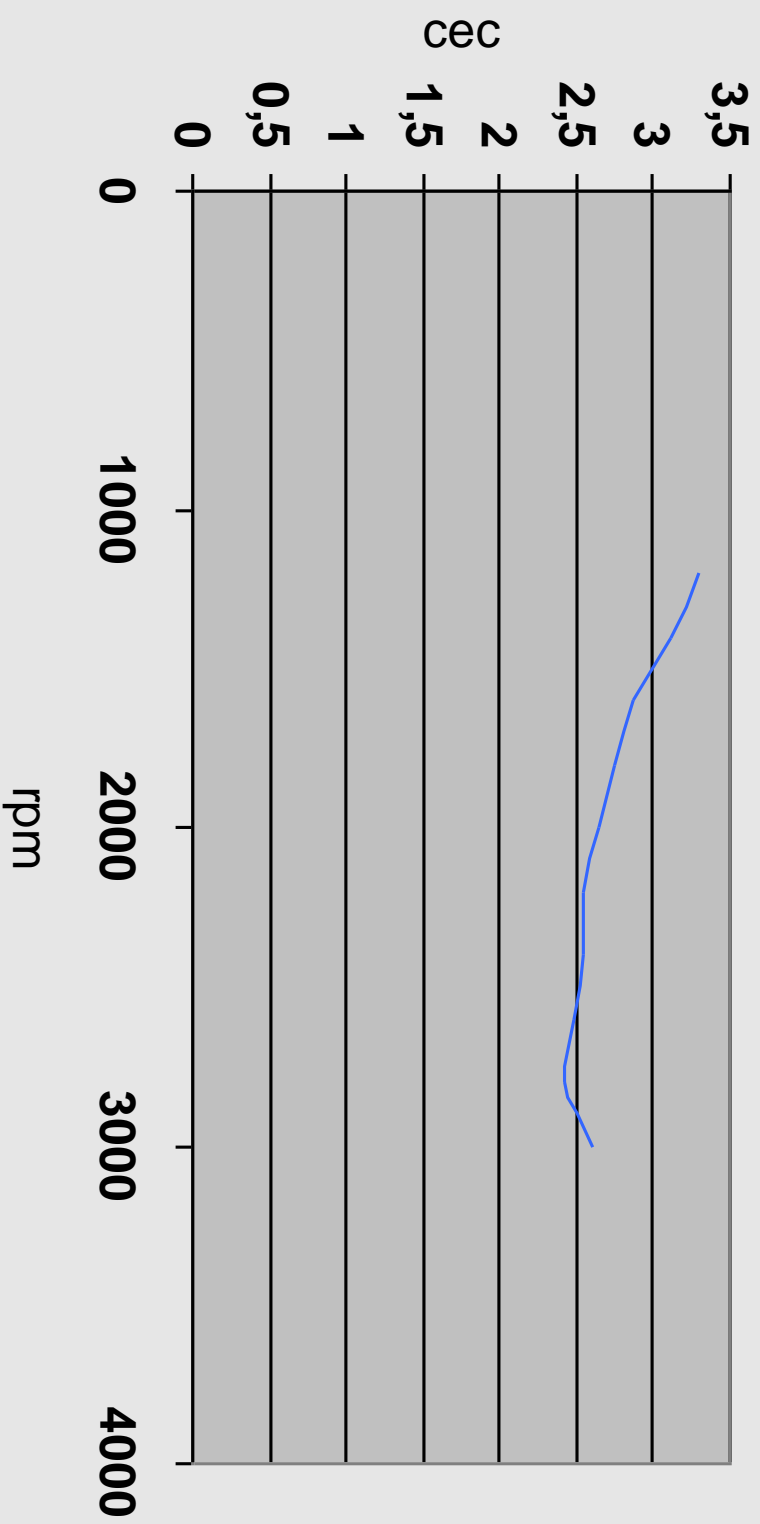
Torque vs RPM (DIESEL)



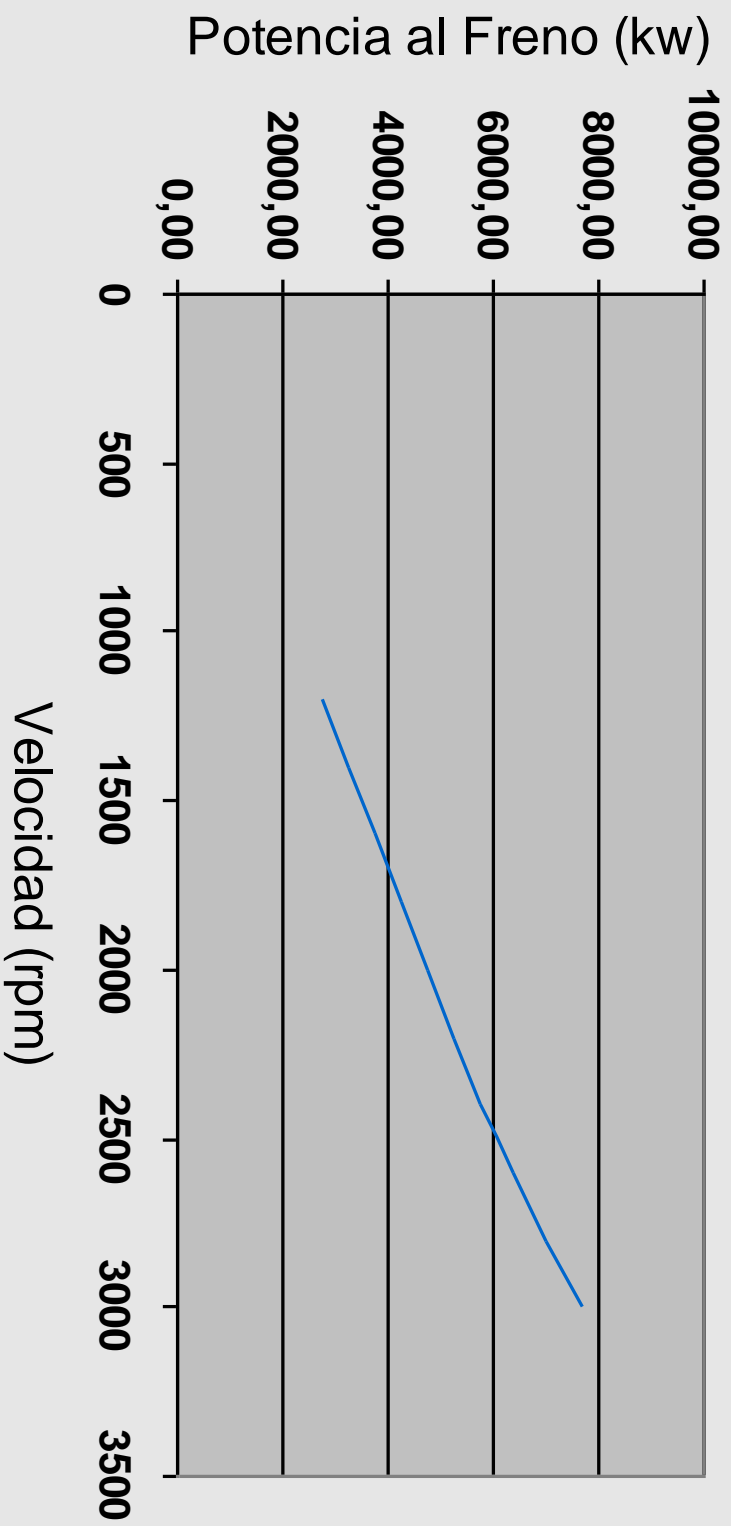
cec vs rpm biodiesel



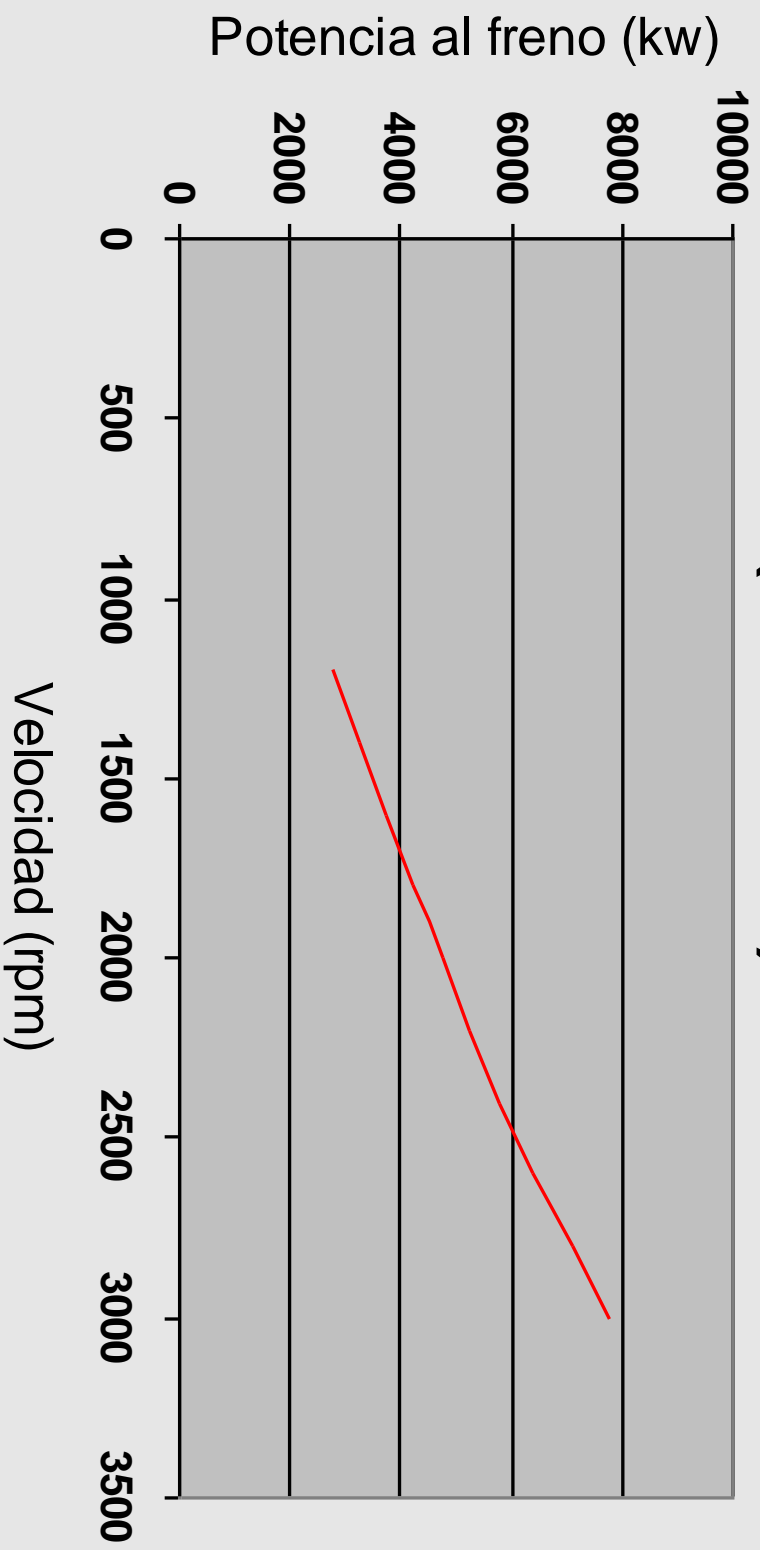
cec vs rpm diesel



Potencia al Freno vs RPM (DIESEL)



Potencia al Freno vs RPM (BIODIESEL)



3.4. Análisis comparativo de los resultados obtenidos

Parámetros para el Biodiesel.

RPM	Torque	Potencia al freno	CEC
N (rpm)	Tq (N.m)	Pf (W)	CEC (g/Kw-h)
1200	21,93	2755,65	1711.87
1400	22,13	3244,07	1625.74
1600	22,39	3751,91	1693.59
1800	22,53	4245,87	1585.72
2000	22,59	4731,51	1577.51
2200	22,72	5235,19	1595.72
2400	23,06	5794,37	1655.71
2600	23,45	6385,46	1623.74
2800	24,25	7109,75	1650.15
3000	24,78	7784,10	1653.33

Parámetros para el Diesel.

RPM	Torque	Potencia al freno	CEC
N (rpm)	Tq (N.m)	Pf (W)	CEC (g/Kw-h)
1200	21,99	2763,98	1975.22
1400	22,06	3234,36	1781.10
1600	22,39	3751,91	1606.28
1800	22,52	4245,87	1641.95
2000	22,57	4728,74	1591.35
2200	22,65	5219,93	1526.35
2400	22,92	5761,07	1542.21
2600	23,50	6399,89	1487.33
2800	23,85	6993,20	1458.85
3000	24,51	7700,85	1438.38

Conclusiones.

En base a los cálculos encontrados podemos realizar un análisis comparativo entre los dos combustibles.

- En el momento de utilizar el biodiesel se puede observar un reducido aumento del torque y potencia al freno.
- Al utilizar Biodiesel como combustible el consumo específico de combustible es menor ya que depende de la densidad de los combustibles.
- Se puede notar una gran disminución de los gases de escape con respecto al diesel, el cual nos da como resultado una disminución de los niveles de contaminación.

CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS CONTAMINANTES DEL BIODIESEL

4.1 CONTAMINANTES DEL BIODIESEL.

Los contaminantes más frecuentes en el biodiesel incluyen materia no saponificable (proceso de elaboración del jabón), agua, glicerina libre, alcohol, ácidos grasos libres, jabones, catalizador remanente o residual y productos de oxidación.

Toda materia contenida en los aceites que no sea materia grasa se denomina insaponificable. Se conocen con el nombre genérico de gomas y comprende una larga lista de sustancias: polipéptidos, fosfáticos, lecitina, proteínas, mucilágenos, esteroides, hidrocarburos, etc. Al no participar en las reacciones de transesterificación, forman compuestos indeseados en el biodiesel. Esto puede alterar el funcionamiento del motor. En general, son tratados con algún ácido que luego se neutraliza junto con los ácidos grasos libres.

4.1.1 AGUA.

La presencia de agua durante la reacción es tal vez uno de los mayores focos de contaminación, ya que favorece la saponificación y no la transesterificación, produciendo jabones y mermando el rendimiento.

En forma de emulsión, su presencia es indeseada en el producto final, más cabe aclarar que el agua es muy soluble en determinados ésteres, pudiendo alcanzar concentraciones superiores a las 1500 ppm. El agua así disuelta no parece presentar inconvenientes para el motor.

El biodiesel tiene la ventaja de ser muy biodegradable, pero el revés de la moneda lo constituye el hecho que justamente por esto, es muy susceptible de ser contaminado por microorganismos, más aún en lugares en que se espera pueda entrar en contacto con agua.

4.1.2 GLICERINA

La glicerina libre es un producto de la reacción de transesterificación, y en general no se encuentra presente si el éster es lavado con agua (la glicerina es polar y tiene mayor afinidad por el agua). Sin embargo, puede aparecer producto de decantados cortos y malos lavados, y se sospecha podría causar depósitos en el motor.

Los glicéridos son el conjunto de monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos que pudieran existir. La utilización de un exceso de alcohol en un 100% en general asegura su ausencia. Sin embargo, pueden presentarse tras reacciones incompletas. Los triglicéridos constituyen los aceites y lípidos en general que conforman la materia prima, por lo que en forma menos técnica, podríamos decir que éstos constituyen "el aceite que no reaccionó".

El uso de aceites vegetales como combustibles en motores diesel también ha sido estudiado desde hace ya muchos años, pero en ese caso, deben adaptarse los mismos. Por ejemplo, deben ser adaptados con sistemas de calentamiento de la línea de combustible (para disminuir la viscosidad del aceite), y debe ajustarse el sistema de inyección.

En motores no preparados, la presencia de aceites puede llevar a la aparición de depósitos y otros problemas.

4.1.3 ACIDOS GRASOS LIBRES Y JABONES

Los ácidos grasos libres y los jabones son compuestos relacionados. En general el biodiesel es producido utilizando un catalizador como el metóxido de sodio, hidróxido de sodio o hidróxido de potasio. Cualquier ácido graso presente reaccionará con el catalizador en presencia de agua para formar jabones.

Éstos suelen ser removidos en la etapa de lavado, aunque su presencia en exceso dificulta enormemente ésta etapa. Durante el funcionamiento del motor, el metal proveniente del jabón o catalizador puede formar cenizas.

Resulta prudente hacer una breve explicación del proceso de auto oxidación del biodiesel. Éste proceso no se da por la presencia de contaminantes, sino por la naturaleza misma de los ácidos grasos constitutivos, pero vale aclarar los inconvenientes que conlleva.

El aceite de soja, por ejemplo, contiene un nivel de insaturaciones más alto que muchos otros aceites, y pueden existir catalizadores metálicos en los tanques de almacenaje. Esto produce una autooxidación del éster. Cuando ésta reacción ocurre a temperatura ambiente, los compuestos inicialmente formados son hidroperóxidos resultantes de la adición de átomos de oxígeno a carbonos adyacentes a dobles ligaduras. En éste punto en general la insaturación no se ve afectada. A medida que avanza la oxidación, los peróxidos pueden descomponerse para dar aldehídos y ácidos de cadena corta.

Los hidroperóxidos son muy inestables y tienden además a atacar los elastómeros. Además, pueden inducir la polimerización de los ésteres formando gomas y sedimentos insolubles, lo que causa problemas en el motor.

4.2 IMPACTO AMBIENTAL DE LOS CONTAMINANTES

Como sabemos el biodiesel es un combustible sobre la base de oleaginosas y por ello tiene como ventaja sobre los combustibles derivados del petróleo, que no genera gases contaminantes.

Por esta razón explicaremos que consecuencias trae aparejado el uso de los combustibles derivados del petróleo.

4.2.1 Smog fotoquímico

En líneas generales, se aplica el término *smog* para designar los procesos de polución atmosférica caracterizados fundamentalmente por la opacidad y elevada densidad del aire.

Cuando esos procesos se van intensificando debido a la acción catalítica de la luz solar, lo que ocurre en general en urbanizaciones densas y con ciertas características geográficas, se habla de smog fotoquímico.

4.2.2 Evolución temporal de los procesos de smog fotoquímico

Los primeros compuestos que aparecen cronológicamente en un episodio de smog son los asociados con los escapes de automóviles: monóxido de carbono y de nitrógeno.

Este último, al comenzar las horas de calor, se oxida a NO₂; el pico en su concentración aparece un par de horas después que el de monóxido.

Al bajar las concentraciones de este último aumenta las de ozono, produciéndose el valor pico al cabo de 5 a 6 horas.

Por lo tanto, si se asocian los fenómenos de smog con las emisiones vehiculares, puede deducirse el horario de los picos de los contaminantes secundarios adicionando de 2 y 6 horas a la hora de mayor tráfico, siempre y cuando se den las condiciones para que la luz solar actúe como catalizador.

4.2.3 Gases de efecto invernadero

Reciben este nombre aquellos gases que son capaces de absorber radiación infrarroja y colaborar así al calentamiento de la tierra.

Es importante remarcar que es deseable que existan estos gases y el efecto invernadero como tal, para posibilitar entre otras cosas la vida en sus formas actuales. Lo que se considera un proceso problemático y que de hecho viene siendo encarado a nivel internacional es la intensificación del efecto invernadero natural, asociado con el incremento anormalmente rápido de los contenidos de tales gases en la atmósfera y de sus consecuencias reales y posibles- a nivel del clima y de la vida en la Tierra en general.

Entre los gases que colaboran a la intensificación del efecto invernadero son: dióxido de carbono, metano, ozono, óxido nitroso, compuestos sobre la base de clorofluorcarbono CFC, CO, NO y el dióxido de azufre.

El más preocupante de todos ellos es el dióxido de carbono, pues su concentración crece a razón de 0,5% anual, pudiendo llegar a duplicarse al cabo de 100 años.

El crecimiento de los niveles de dióxido de carbono se asocia principalmente a la quema de **combustibles fósiles** y a la deforestación masiva. Se lograría muy poco reforestando, pues la mayor incidencia proviene del aporte de las emisiones creadas por el hombre(vehículos, fábricas, etc.).

4.2.4 Posibles consecuencias del calentamiento global

En los últimos 150 años se ha registrado un calentamiento de aproximadamente 1°C. Se puede esperar un calentamiento global de entre 1° a 5° C para una concentración de dióxido de carbono del doble de la actual. Importa señalar que las predicciones se hacen en función de las concentraciones de dióxido de carbono y no en escala de tiempo, porque el desafío mundial actual es retrasar difícilmente retener- el crecimiento de dichas concentraciones.

Entre los múltiples efectos que cabe esperar en el mediano plazo a causa del calentamiento global de la superficie terrestre, cabe citar:

- El ascenso de los niveles del mar; es quizás el más inmediato y más comentado, lo que se relaciona con que la mayor parte de la población mundial habita sobre o en las proximidades de las costas.
- El corrimiento de las zonas climáticas; esto condiciona fuertemente las posibilidades de supervivencia de la vida, ya que pone en juego la capacidad adaptación al cambio de los distintos seres vivos.
- Las modificaciones en el clima y la circulación atmosférica marina.

- A continuación presentamos algunos gráficos representativos de la contaminación del CO₂ en vehículos en un futuro.

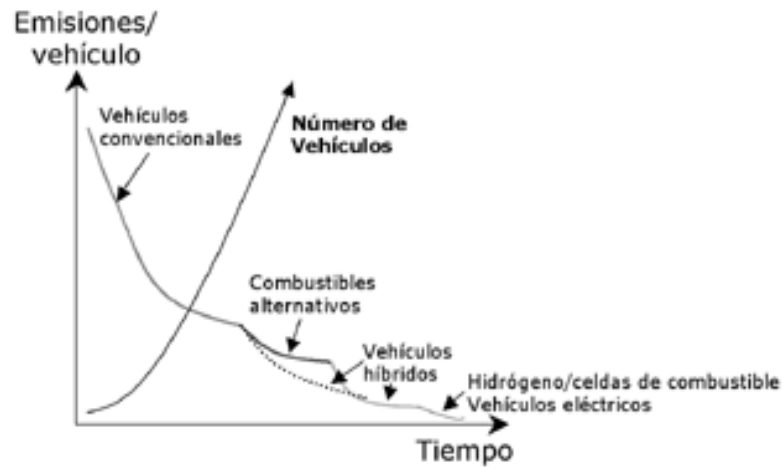


Fig. 4.1. Evolución estimada de los contaminantes emitidos por un vehículo en el futuro (sin CO₂) y crecimiento del número de vehículos en el mundo

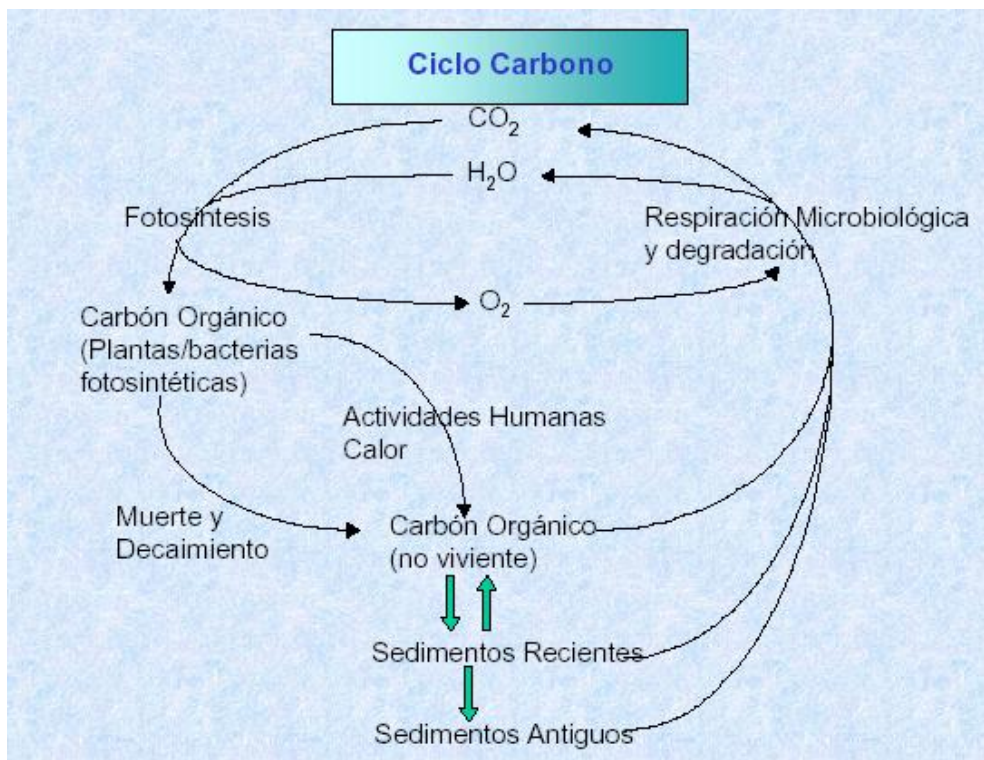


Fig. 4.2. Ciclo del carbono

IMPACTO AMBIENTAL

- Reduce en los escapes la fracción de carbono en partículas
- Reduce la cantidad de monóxido de carbono ver fig.
- Reduce la cantidad de hidrocarburos no quemados
- Quema mejor, reduciendo el humo visible en el arranque en un 30% cualquiera de sus mezclas reduce, en proporción equivalente a su contenido, las emanaciones de CO₂, CO, Partículas e hidrocarburos aromáticos, estas reducciones están, en el orden del 15% para los hidrocarburos, del 18% para las partículas en suspensión, del 10% para el óxido de carbono y del 45% para el dióxido de carbono²³. Estos indicadores se mejoran notablemente si se adiciona un catalizador

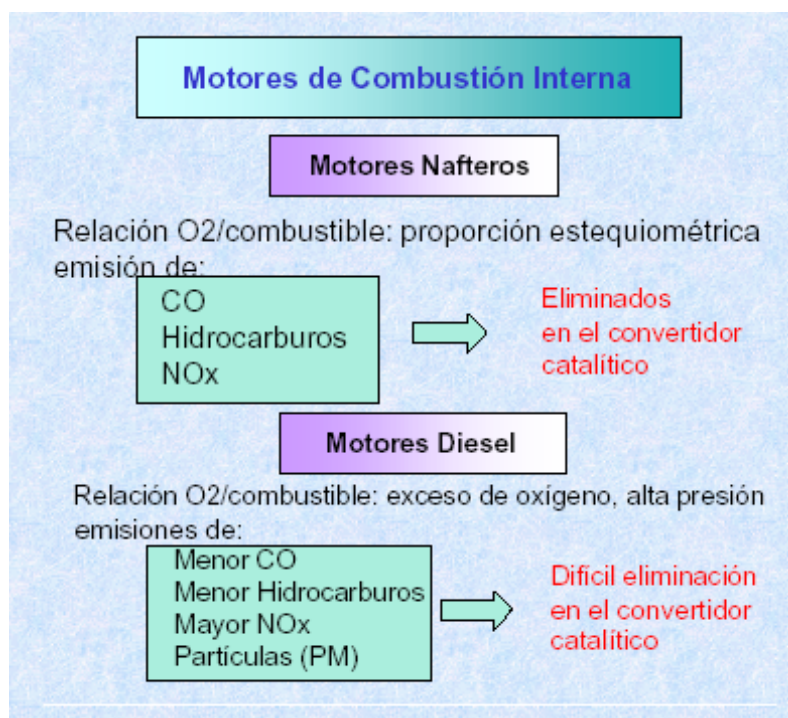


Fig. 4.3. Mejoramiento con catalizador

- Los derrames de este combustible en las aguas de ríos y mares resultan menos contaminantes y letales para la flora y fauna marina que los combustibles fósiles.

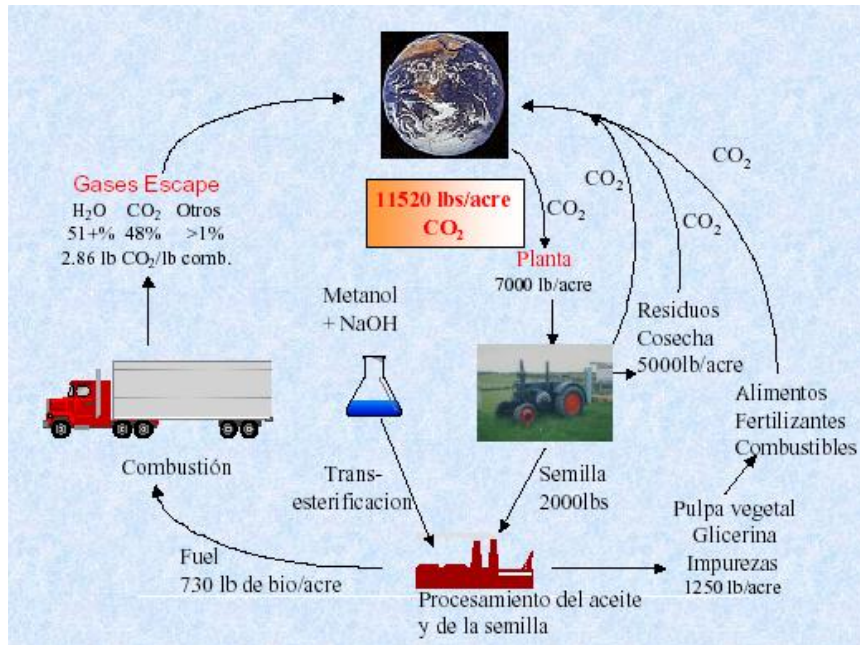


Fig. 4.4. Ciclos de los gases de escape

- Volcados al medio ambiente se degradan mas rápidamente que los petrocombustibles
- Reduce la emisión de hidrocarburos aromáticos policíclicos
- Reduce la cantidad de óxidos de azufre.
- Es menos irritante para la epidermis humana
- Los motores diesel ofrecen un beneficio neto de 45 a 71 % menos de emisiones de CO₂ en comparación con la gasolina.

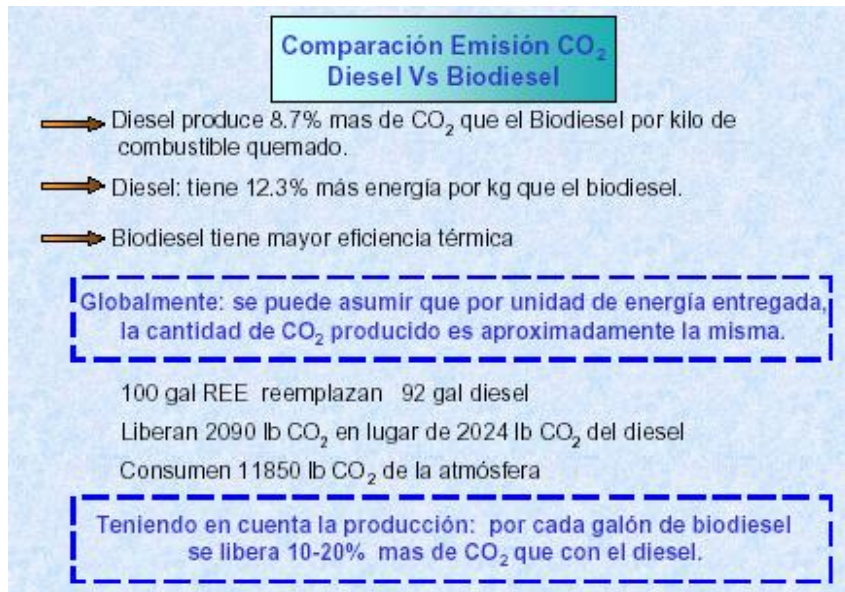


Fig. 4.4. Comparación de emisiones

- Los cultivos de semillas de aceite vegetal absorben el CO₂ mientras crecen, por lo que en el balance no hay aumento en las emisiones.
- Su combustión genera menos elementos nocivos que los combustibles tradicionales reduciendo las posibilidades de generar cánceres

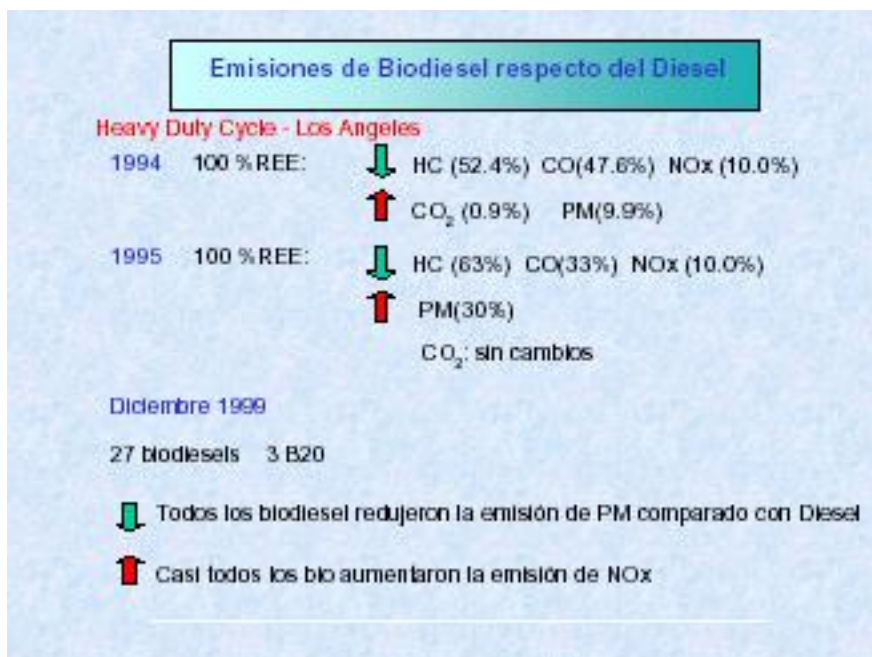


Fig. 4.5. Reducción de emisiones

4.3 PRUEBAS DE ANALISIS DE CONTAMINACION DEL BODIESEL

Los gases de escape se analizaron con un opacímetro DIESELTUNE (Ver fig.4.6). El análisis de opacidad de humos consiste hacer pasar un haz de luz a través de una cámara llena de los gases de muestra.



Fig.4.6 Opacímetro utilizado para el análisis.

Una celda fotoeléctrica mide la intensidad de luz recibida en el extremo opuesto, que será inversamente proporcional a la densidad de humos de combustión.

El análisis de opacidad de humos es el único requerido para la determinación de emisiones de motores de ciclo diesel.

Para realizar una comparación, es necesario ajustar éstos valores a una escala de 0-10, para los cuales el biodiesel arrojó un valor de 5, y el diesel de 6,5.

Estas pruebas se las realizo en el laboratorio de motores diesel ESPE Latacunga en el motor ISUZU. (Ver fig.4.7)



Fig.4.7 Realización de la prueba en el motor Isuzu

Nivel de opacidad del diesel (Ver fig.4.8)



Fig.4.8 Nivel de opacidad diesel

Nivel de opacidad del biodiesel.(Ver Fig. 4.9)



Fig.4.9 Nivel de opacidad del biodiesel

Menor contribución al calentamiento global de la atmósfera, el CO₂ de la combustión del éster no contribuye a aumentar la concentración de CO₂ en la atmósfera, ya que el CO₂ liberado por los motores corresponde al que es retirado de la atmósfera en la fase de cultivos por el proceso de fotosíntesis

4.4 EMISIONES GASEOSAS

La emisión de partículas de un motor diesel convencional puede ser dividida en tres componentes. Cada componente se presenta en diversos grados dependiendo de las propiedades del combustible, el diseño del motor y los parámetros operativos.

El primer componente y el más estrechamente relacionado con el humo visible, usualmente asociado con el escape de diesel, son las partículas de carbono.

Este material se encuentra en la forma de partículas de carbón de tamaño sub-micrón, que se forman durante el proceso de combustión y que especialmente prevalecen cuando la relación combustible-aire es muy rica.

Esto puede suceder como resultado de insuficiente aire de combustión, sobreabastecimiento de combustible o una pobre mezcla de combustible-aire en el cilindro.

El segundo componente es materia de hidrocarburos (PAH) absorbidos en las partículas de carbono. Una parte de este material es el resultado de la combustión incompleta del combustible y el resto deriva del aceite lubricante del motor.

El tercer componente son partículas de sulfatos comprimidos con agua ocluida (SOF). La cantidad de este material esta directamente relacionada con el contenido de azufre del combustible.

La utilización de biodiesel disminuye la fracción de carbono sólido de las partículas de materia y elimina la fracción de sulfatos (al no haber azufre en el biodiesel). La fracción de hidrocarburos (normalmente llamada la fracción soluble) se mantiene igual o se incrementa ligeramente.

Por lo tanto, el biodiesel trabaja muy bien con las nuevas tecnologías tales como catalizadores (que reducen la fracción soluble de la emisión de partículas), trampas de partículas y recirculación de los gases de escape (aumenta potencialmente la vida del motor debido a menores cantidades de carbono).

No se pudo realizar los ensayos de niveles de gases de combustión (NO_x, SO_x, CO, CO₂, etc.), pero la bibliografía cita en general los siguientes valores

Características	Diesel	Biodiesel (B-20)
Número de Cetano	40/48	48/52
Azufre (% en peso)	0,3/0,05	0,02/0,03
Oxígeno (%en peso)	0	2/2,5
Poder calorífico (BTU/LB)	18.500	17.900
Densidad (G/ML)	0,84/0,865	0,85/0,86
Viscosidad	2/3,2	3/3,5

Tabla. 4.1 Propiedades del combustible utilizado por el Southwest Research Institute

4.5 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UTILIZAR BIODIESEL

VENTAJAS

El biodiesel presenta una larga variedad de ventajas, que será útil mencionar:

- No requiere mayores modificaciones para su uso en motores diesel comunes.
- Es obtenido a partir de aceites vegetales, totalmente renovables.
- Permite al productor agropecuario autoabastecerse de combustible.
- Permite a países agrícolas independizarse de los países productores de petróleo.
- Tiene un gran poder de lubricación y minimiza el desgaste del motor.

- Presenta un menor nivel de emisiones gaseosas de combustión nocivas.
- Su rendimiento en motores es similar al del gasoil derivado de petróleo.
- Puede utilizarse en mezclas con gasoil común en cualquier proporción.
- Reduce en gran medida los humos visibles durante el arranque.
- Posee una gran biodegradabilidad, comparable a la de la dextrosa.
- Es aproximadamente diez veces menos tóxico que la sal común de mesa.
- Puede producirse a partir de cultivos abundantes en el país, como la soja.
- No contiene azufre, y permite el uso de catalizadores.
- El olor de combustión asemeja el olor a fritura, a diferencia del olor del gasoil.
- Rendimiento similar al del combustible diesel
- Mejora notablemente la lubricación en el circuito y en la bomba de inyección

DESVENTAJAS

- Presenta elevados costos de materia prima en comparación con el diesel.

- Su combustión puede acarrear un aumento de óxidos de nitrógeno (NO_x).
- Presenta problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C)
- Presenta escasa estabilidad oxidativa, y su almacenamiento no es aconsejable por períodos superiores a 6 meses.
- Su poder solvente lo hace incompatible con una serie de plásticos y elementos derivados del caucho natural, y a veces obliga a sustituir mangueras en el motor.
- Su carga en tanques ya sucios por depósitos provenientes del gasoil puede presentar problemas cuando por su poder solvente "limpia" dichos depósitos, acarreándolos por la línea de combustible

CAPITULO V

INFLUENCIA DE UTILIZAR EL BIODIESEL Y ANALISIS DE COSTO DE ELABORACION

5.1 Variación de la relación aire/combustible en la combustión.

La densidad del combustible, puede afectar la masa del combustible inyectado a la cámara de combustión, y de este modo también a la proporción aire/combustible.

Esto es debido a que las bombas de inyección de combustible miden el combustible por volumen, no por masa y el combustible más denso contiene mayor masa en el mismo volumen.

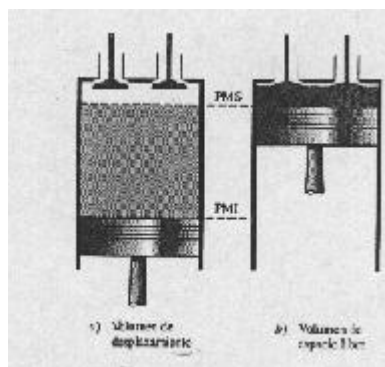


Fig.5.1. Volumen desplazado dentro de la cámara

La viscosidad del combustible también puede afectar las características de inyección de combustible, y, por ende la proporción de mezcla. La corrosividad, limpieza y propiedades lubricantes del combustible también pueden afectar la vida útil del equipamiento de inyección de combustible posiblemente contribuyendo a excesivas emisiones en uso, si el equipamiento se desgasta prematuramente.

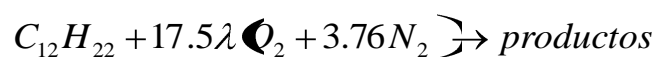
Puede que el Biodiesel se solidifique por debajo de 4 °C. Para este caso los consejos son: guardar y utilizar el vehículo por encima de esta temperatura, utilizar el Biodiesel mezclado con diesel.

Los combustibles más ligeros pueden reducir la expectativa de vida de componentes del sistema de combustible porque su baja viscosidad reducirá el nivel de lubricación. Los combustibles más pesados pueden reducir la vida útil del revestimiento y los anillos de los cilindros debido a los mayores depósitos en la cámara de combustión.

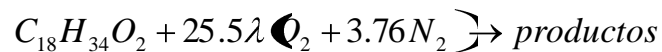
5.2 Ecuaciones en los productos de la combustión

Los efectos en los productos de la combustión se analizan para combustible diesel, biodiesel puro (B100) y mezclas B20 y B50 respectivamente, (con la ayuda de softwares especializados como Stanjan y CpropepShell), la cual permite determinar la concentración de equilibrio de los productos de la combustión.

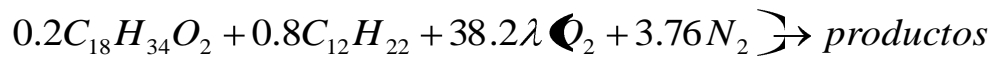
Para Diesel :



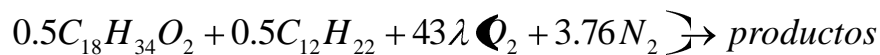
Para Biodiesel puro (B100):



Para B20:



Para B50:



5.3 Influencia sobre materiales plásticos

En principio se considera que el biodiesel afecta de igual manera que el diesel a los materiales que se utilizan en la fabricación de los depósitos de combustible

Los materiales deben ser estables dimensionalmente, retener sus propiedades mecánicas de forma que soporten cargas físicas y vibracionales y evitar micropérdidas de combustible a través de pequeñas fisuras.

Los plásticos son utilizados en la fabricación de sistemas de combustible ya que en comparación con los metales son más ligeros, se ajustan fácilmente y hacen posibles complicadas geometrías en las tapas de los depósitos, tanques, válvulas, juntas y otros componentes del sistema de alimentación del combustible.

5.3.1 Características de los plásticos más utilizados

5.3.1.1 Polioxido de metileno (POM)

Este polímero es habitualmente utilizado por los fabricantes de piezas de automoción para sistemas de combustibles debido a sus características

- Alta tenacidad (-40 °C)
- Alta dureza y rigidez
- Excelente estabilidad dimensional al calor
- Favorable comportamiento eléctrico y dieléctrico
- Gran estabilidad química frente a disolventes, combustibles y álcalis fuertes
- Fácil transformación
- Alta elasticidad de recuperación
- Alta estabilidad dimensional

5.3.1.2 Polisulfuro de fenileno (PPS)

Este es un material que se utiliza debido a sus excelentes propiedades en aplicaciones que requieren estabilidad a altas temperaturas (hasta 240°C en uso continuo y hasta 270°C durante cortos periodos de tiempo), insoluble a temperaturas menores de 200°C, amplia resistencia química, alta resistencia a tracción y alargamiento, resistencia a aceites y combustibles y baja absorción de agua

Sus excelentes propiedades hacen que sea utilizado en un gran rango de aplicaciones entre las que se incluye su aplicación en sistemas de combustible para automoción: componentes de bombas de combustible, válvulas, conexiones rápidas, carcasa de inyector.

5.3.2 Variación Dimensional de los plásticos.

Conviene destacar que los materiales empleados sufren variaciones dimensionales que están dentro de los límites fijados para aceptar su uso en contacto con los distintos biodiesel empleados en el estudio.

La tendencia general es la de aumento del volumen según va aumentando el tiempo de exposición y la temperatura pero dentro de unos rangos aceptables para su uso en la fabricación de piezas para los sistemas de combustible.

El biodiesel no afecta de forma diferente a los materiales, se puede considerar que el comportamiento de la estabilidad dimensional de los materiales es independiente del tipo de biodiesel que estemos utilizando

5.3.3 Resistencia a la tracción, alargamiento y modulo de tracción.

En todos los materiales ensayados el valor de la tracción máxima y módulo de tracción cumplen los criterios de aceptación impuestos por lo que son aptos para la fabricación de piezas en contacto con biodiesel.

Los tipos de plásticos ensayados muestran que el comportamiento de los tres es similar: el valor de tracción máxima y modulo de tracción prácticamente no sufre variaciones a lo largo del ensayo manteniéndose constante y el valor del alargamiento de rotura sufre una disminución en las primeras 250 horas de ensayo y después se mantiene más o menos constante hasta el final del ensayo

Al ser incompatible con una serie de plásticos y derivados del caucho natural se debe realizar una eventual sustitución de algunos componentes del motor: mangueras, juntas, sellos, diafragmas, partes de filtros y similares. (Ver Fig.5.1)

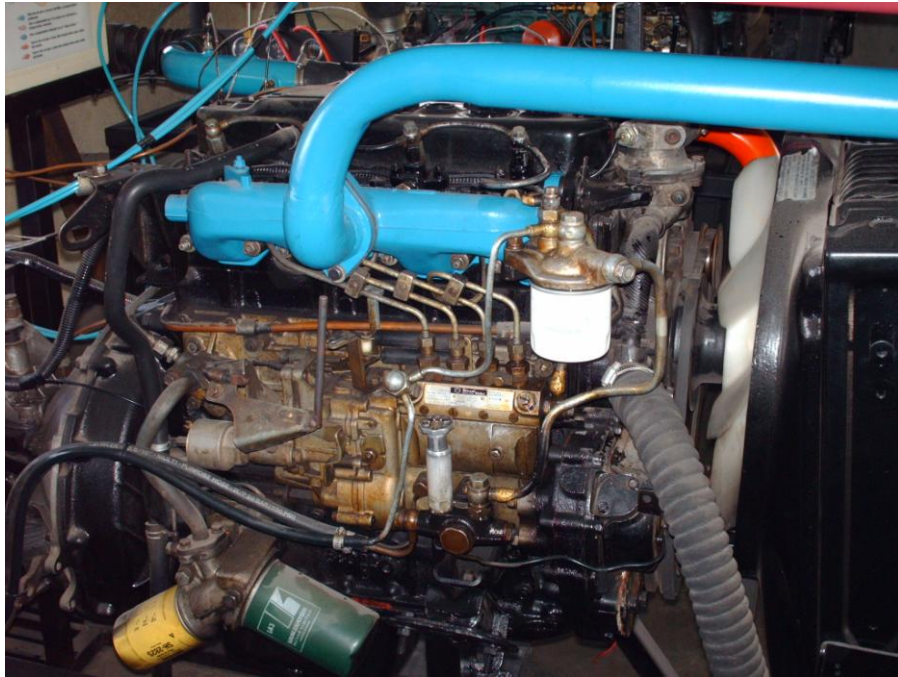


Fig. 5.2 Elementos que pueden ser afectados en el motor

5.4 Problemas en los sistemas del motor diesel

5.4.1 Problemas en el sistema de alimentación.

El Biodiesel debe ser casi perfecto en su proceso de elaboración. Si tiene residuos flotando o en su superficie, hay que volver a lavarlo y puede llegar a obstruir filtros y cañerías del sistema.

Además puede generar, problemas en los inyectores y pueden llegar a obstruirse, y generar problemas dentro del sistema de inyección y por lo tanto generar problemas a la bomba de inyección.

5.4.2 Filtros

El diesel mineral es un producto sucio. Además del humo, el mismo combustible deja manchas pegajosas por donde pasa. El biodiesel no ensucia, y mejor aún, sirve como limpiador; limpia muy bien los restos de diesel mineral del depósito y el sistema de distribución.

Cuando sustituyas el diesel mineral por biodiesel, al principio inspecciona con frecuencia los filtros del combustible, y cámbialos cuando sea necesario. En las primeras semanas la vigilancia de los filtros debe ser constante para evitar que se obturen.

Cuando un coche ha estado parado mucho tiempo (con diesel mineral dentro), puede que aparezca agua en el depósito y lo oxide (el agua es un problema frecuente del diesel mineral). Si luego se llena el depósito de biodiesel, desprenderá las partículas de óxido, que podrían atascar los filtros. Lo peor que puede ocurrir es que el motor se pare por falta de combustible. No es lo normal, pero a veces ocurre.

5.4.3 Encendido

Opcional: retarda el tiempo de inyección 2 ó 3 grados para compensar que el biodiesel tiene mayor **número de cetanos**. El motor pierde un poco de la potencia extra del biodiesel, pero es más silencioso y se calienta menos, reduciendo las emisiones de óxidos de nitrógeno.

5.4.4 Cambios en el rendimiento del motor

El biodiesel posee mayores propiedades lubricantes en los motores. El B20 muestra mejora en lubricidad, bajando los niveles de sulfuros y aromáticos contenidos en el gasoil. El poder de arranque y el comportamiento ante bajas temperaturas son similares al diesel.

- Hay q tomar en cuenta que el momento de utilizar el biodiesel se debe realizar un sangrado de la bomba con el fin de lograr un funcionamiento optimo.
- En el momento de realizar las pruebas con biodiesel y una vez realizado el sangrado, el motor empieza a trabajar de manera normal pero luego existe una disminución de las revoluciones.

5.5 ANALISIS DE COSTOS DE ELABORACION.

En nuestro análisis de los productos utilizados realizaremos una tabla de precios y observar cual fue el costo.

Costo de la materia prima.

- Aceite de cocina \$ 1 c/litro (3 litros)
- Etanol \$0.50
- Hidróxido de sodio \$ 1.15 para un galón

Tipo de combustible	Precio por galón en \$
Diesel	1.15
Biodiesel elaborado	4.65

Podemos concluir que el proceso de elaboración es un poco costoso en comparación con el diesel que se vende en las gasolineras.

Se va a realizar un análisis tomando en cuenta el consumo, el tiempo y el volumen que va a ser consumido.

Diesel

Volumen de prueba: 25 cc

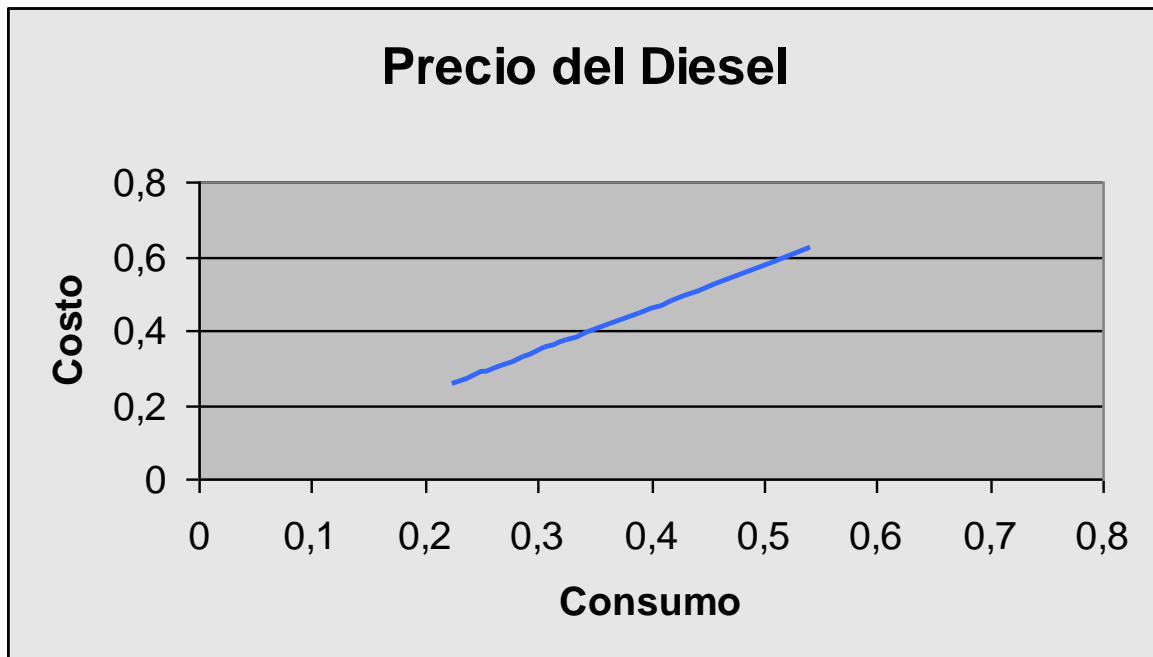
Precio por galón: \$1.15

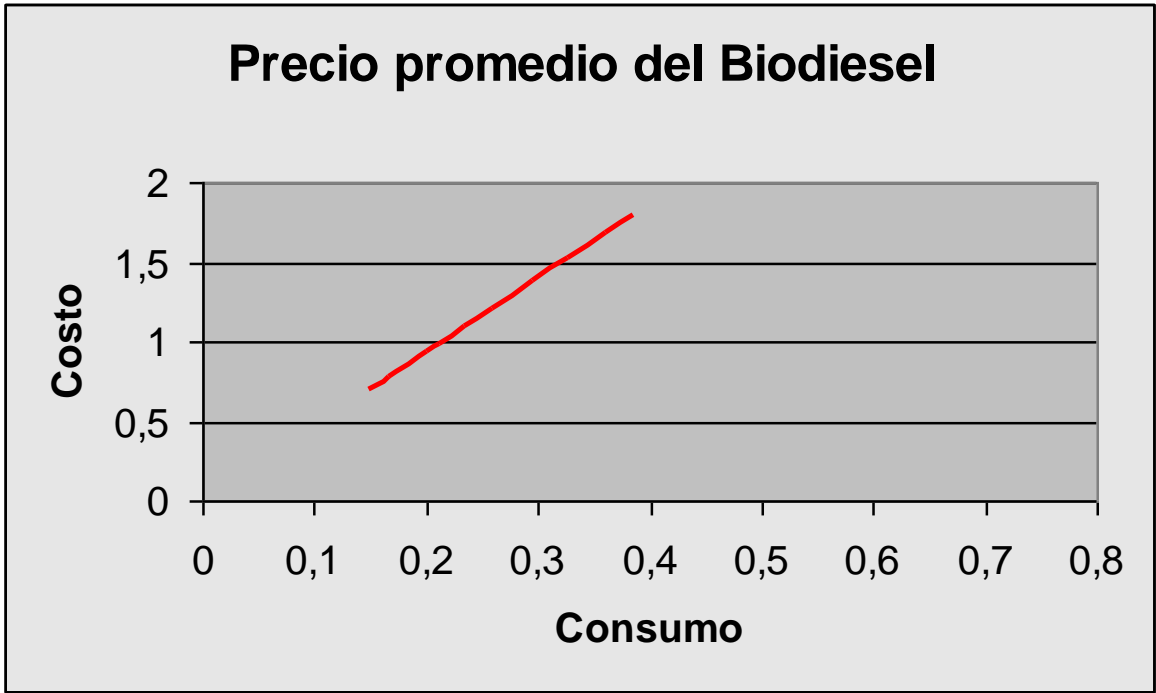
RPM	Tiempo (seg.)	Consumo cc/seg.	Costo (\$)
1200	111,6	0,224014337	0,25761649
1400	101,4	0,246548323	0,28353057
1600	101,4	0,246548323	0,28353057
1800	87,4	0,28604119	0,32894737
2000	81,6	0,306372549	0,35232843
2200	76,7	0,325945241	0,37483703
2400	69,4	0,360230548	0,41426513
2600	64,2	0,3894081	0,44781931
2800	59,9	0,41736227	0,47996661
3000	46,1	0,542299349	0,62364425
	Total	3,344770231	3,84648577

Biodiesel

Precio por galón: \$ 4.65

RPM	Tiempo (seg.)	Consumo cc/seg.	Costo (\$)
1200	167,7	0,14907573	0,69320215
1400	150	0,16666667	0,775
1600	124,5	0,20080321	0,93373494
1800	117,5	0,21276596	0,9893617
2000	106,3	0,23518344	1,09360301
2200	96,1	0,26014568	1,20967742
2400	84,4	0,29620853	1,37736967
2600	76,3	0,327654	1,52359109
2800	69,2	0,36127168	1,67991329
3000	64,8	0,38580247	1,79398148
	Total	2,59557737	12,0694348





CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

6.1 CONCLUSIONES.

- El biodiesel es un combustible que puede ser utilizado en estado puro o mezclado en diferentes porcentajes con el diesel común.
- A lo largo de este proyecto se ha intentado averiguar, además de las características básicas del producto, por que razón teniendo resultados positivos su uso es tan minoritario respecto al diesel de petróleo.
- El costo de elaboración del biodiesel es más elevado que el diesel debido al proceso de elaboración y la materia prima utilizada pero si se produce en grandes cantidades por medio de una planta de elaboración su costo seria más accesible.
- El biodiesel utilizado presenta una reducción de las emisiones de gases de escape evitando que se genere mayor contaminación al ambiente.
- El proceso de elaboración del biodiesel debe ser casi perfecto ya que si existen presencia de sustancias extrañas, va a generar problemas dentro del sistema de alimentación del motor diesel.

- Para la utilización del biodiesel no se necesita realizar modificaciones al motor, puede existir daños en mangueras ya que el biodiesel ataca a estos elementos.
- La implantación del biodiesel en nuestro país puede generar fuentes de trabajo para el sector agrícola y por lo tanto podemos sacar provecho a las diferentes variedades de donde se puede obtener el aceite vegetal.
- En el momento de realizar las pruebas de funcionamiento se puede observar que existe una diferencia mínima entre torque, potencia.
- Los olores de la combustión en los motores que utilizan diesel son reemplazados por otro aroma más agradable como es la de caña (etanol).
- Este tema verdaderamente es muy importante, puesto que si no desarrollamos este tipo de fuentes energéticas renovables la vida a la que estamos acostumbrados no sería posible dentro de unas décadas.

RECOMENDACIONES.

- Para la utilización del biodiesel primero debemos ver que alcance su temperatura normal de funcionamiento para luego de esto realizar un sangrado del sistema y proceder a la utilización del biodiesel.
- Se recomienda empezar la utilización del biodiesel en motores diesel, en un porcentaje de 20% de biodiesel y 80% de diesel hasta llegar a la utilización del 100 % de biodiesel.
- En el momento de realizar la obtención del biodiesel se debe utilizar una pequeña cantidad de agua para la disolución del catalizador con el fin de que la reacción se produzca de mejor manera.

- Manejar los productos químicos con mucho cuidado ya que la sosa puede quemar los dedos o dejarnos ciego. ¡ Lea las advertencias de los envases !
- Usar mandil o delantal, guantes y anteojos al momento de realizar la reacción de todos los elementos .
- Al momento de realizar el cambio de combustible (Biodiesel x diesel) se debe purgar la bomba de alimentación revisar cañerías y filtros de combustible.

BIBLIOGRAFIA

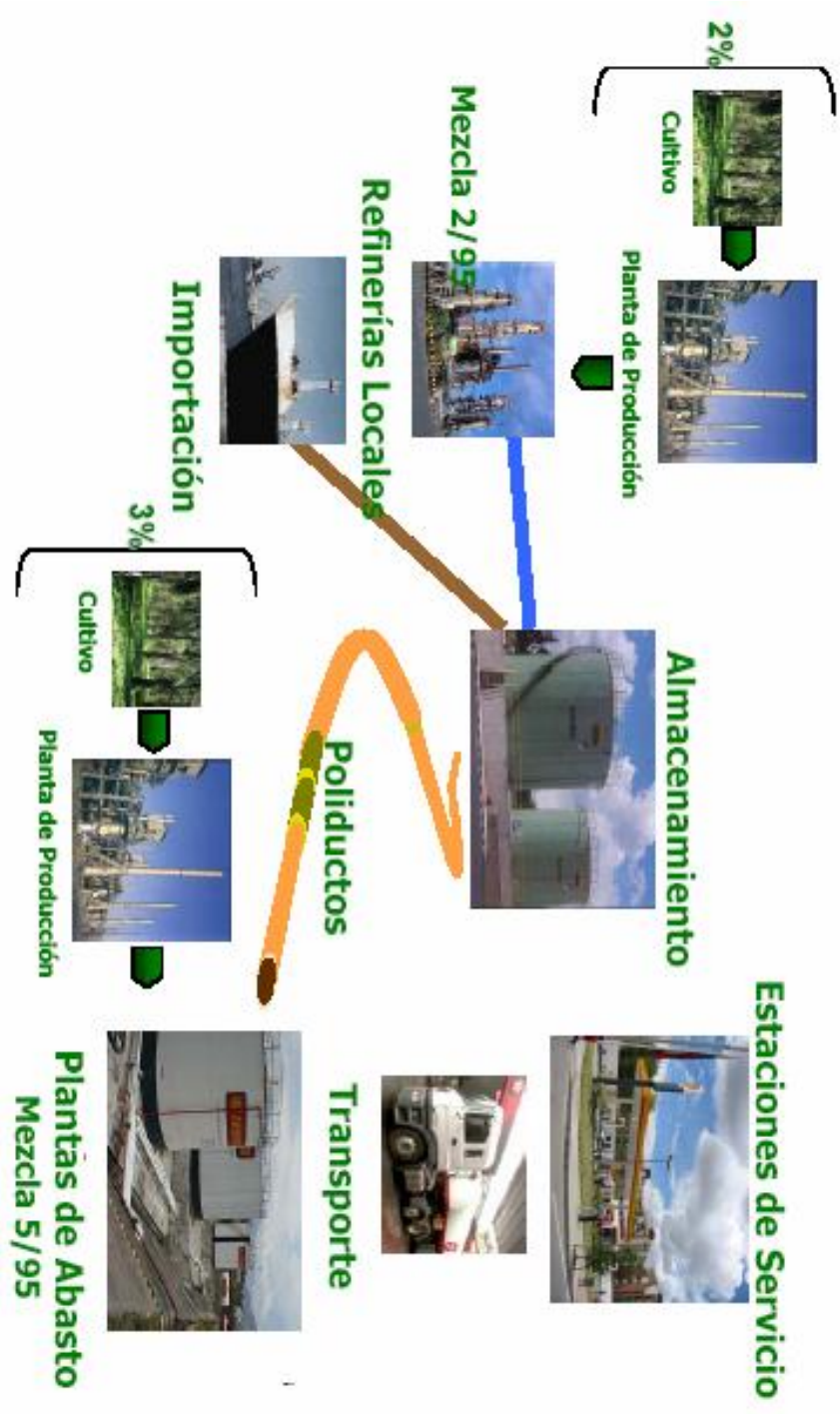
- **CARLOS MARTÍNEZ ACOSTA**, nomenclatura química general y potencial hidrogeno, 2da edición, ecuador, 1965, 165 páginas.
- **WILLIAM H CROUSE**, Sistemas de alimentación de combustible, lubricación y refrigeración del Automóvil, primera edición, España, 1985, 338 paginas.
- **K. MOROSOV, R CHOY PEREZ, J. L. REYES**, Teoría de los motores de combustión interna, 1 edición, Cuba, 1990, 407 paginas.
- **RICHARD FELDER Y RONALD**, Principios Elementales de los procesos Químicos, 1997.
- **BARBOR – IBARZ**, Química General Moderna, 8 edición, España, 1983, 1144 paginas.

Internet.

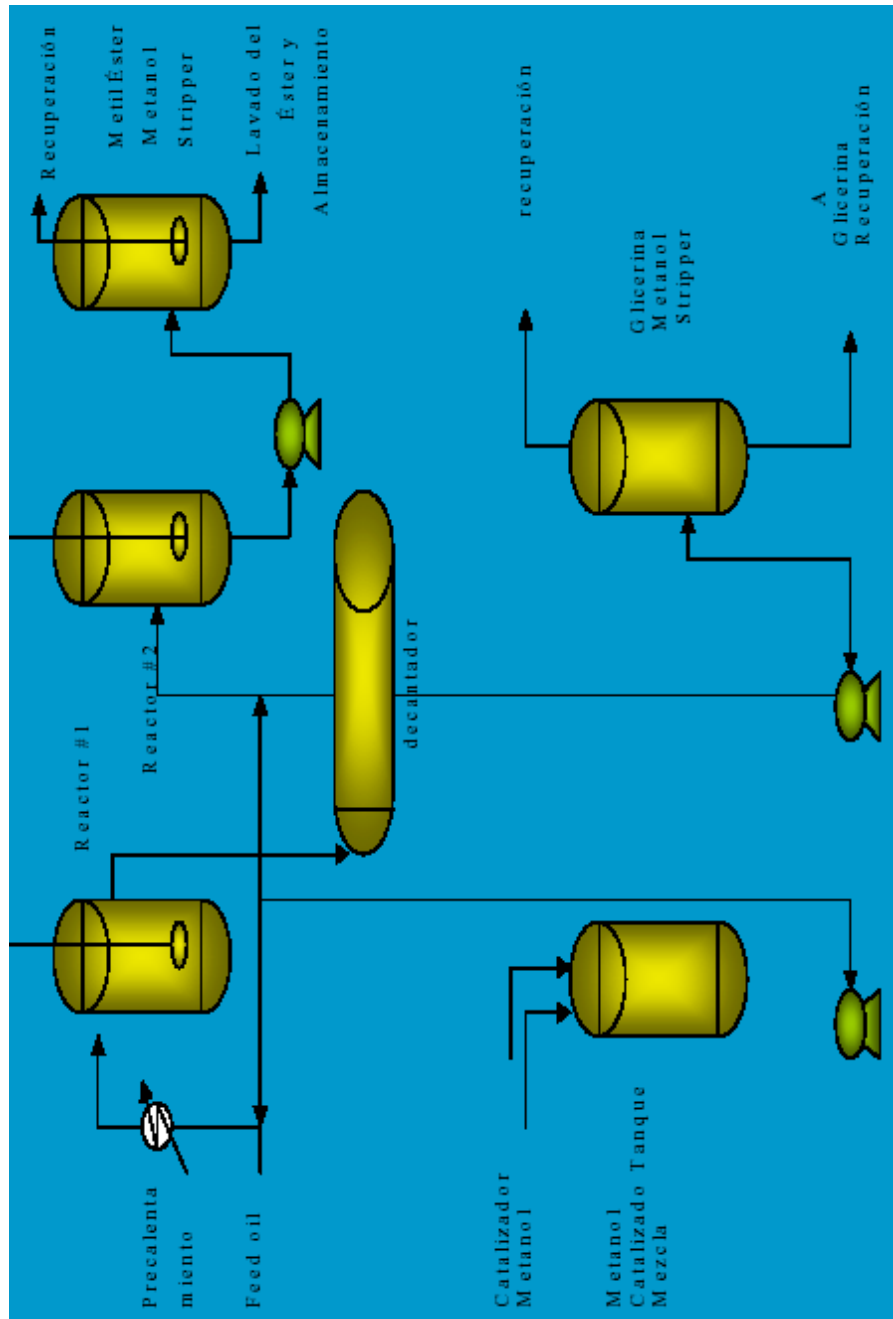
- [www.Biodiesel.com/energía limpia/ WASTE/ actualidad ambiental y científica/](http://www.Biodiesel.com/energía%20limpia/WASTE/actualidad%20ambiental%20y%20científica/)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible"](http://es.wikipedia.org/wiki/Biocombustible)
- <http://journeytoforever.org/>
- [http://biodiesel.de/biodiesel2000.](http://biodiesel.de/biodiesel2000)
- [http://biodiesel-intl.com.](http://biodiesel-intl.com)
- [http://dieselnet.com.](http://dieselnet.com)
- [http://biodiesel.org.](http://biodiesel.org)

ANEXOS

ANEXO A. ESQUEMA DE UNA PLANTA PARA ELABORAR BIODIESEL



ANEXO B. ESQUEMA DE UNA PLANTA DE TRANSESTERIFICACION



ANEXO C. Innovaciones con biodiesel (motor)

Se trata de un motor adiabático, es decir, que intercambia muy poco calor con el medio y evita entre el 25 y el 50 % de las pérdidas de energía a través del sistema de refrigeración. No dispone del convencional sistema de enfriamiento y esto le permite trabajar a una temperatura más alta y, por tanto, con un rendimiento termodinámico más grande. Por otra parte, tiene la característica de quemar la totalidad del combustible y por esto se puede considerar un motor prácticamente limpio. Además, el hecho de quemar aceite vegetal no libera dióxido de azufre.

Es un motor preparado para la combustión de aceite vegetal crudo, sin refinar y sin esterificar, que no carboniza ni deja sustancias residuales, que tiene una eficiencia térmica superior al 40 % (recordemos que un motor de gasolina convencional o diesel no supera el 30 %). Esto quiere decir que este rendimiento más grande le permite proporcionar más energía mecánica útil. Los elementos mecánicos que le distinguen de un motor diesel convencional son:



La forma esferoidal de la cámara de combustión del motor *elsbetizado* y la posición de los inyectores favorece que la mezcla genere una estratificación en espiral de fuera hacia dentro. Así hay menos concentración de aire y no se forman óxidos de nitrógeno.

- Un pistón articulado con la parte superior aislada térmica y acústicamente situado dentro de una cámara de combustión de forma esferoidal.
- Uno o dos inyectores por cilindro, de un solo agujero y autolimpiables, que inyectan el aceite vegetal a la cámara de combustión tangencialmente y esto permite una perfecta nebulización, es decir, que la mezcla aire combustible sea muy fina y esto evita que se hagan depósitos carbonosos.
- La tapa de los cilindros dispone de una pequeña cámara anular por la cual circula el aceite lubricante que se emplea como refrigerante. Ya que el sistema de refrigeración no es con agua, la tapa del cilindro no lleva junta. Un pequeño radiador de aceite permite cerrar el circuito del aceite lubricante refrigerante.

El hecho de que no necesite agua para la refrigeración ahorra piezas, peso y volumen al motor. Otro aspecto importante a destacar es la cámara de combustión esferoidal, la cual permite que haya un exceso de aire en la quema del aceite vegetal y que se estratifique la temperatura del motor.

Así, mientras el núcleo de la combustión puede llegar a los 1300 °C, en cambio, la zona del contacto del pistón no supera los 650 °C normales de cualquier motor. La temperatura final de los gases de escape solamente es un poco superior a la de los motores diesel convencionales.

Asimismo, la combustión se hace con menos cantidad de aire y, por tanto, se reduce la emisión de óxidos de nitrógeno.

Las modificaciones del motor Elsbett permiten a los vehículos diesel funcionar tanto con gasóleo como con aceite vegetal con un buen rendimiento

termodinámico y sin que se den problemas que afecten al buen funcionamiento del motor.

El motor Elsbett no es el único de los motores conocidos como policarburantes y semiadiabáticos, sin embargo, sí es el único sistema que se puede aplicar en cualquier motor diesel. La intervención consiste, básicamente, en anular la cámara de agua del bloque, cambiar la tapa de los cilindros y los pistones y añadir un pequeño radiador para el aceite refrigerante.

La única condición es que el motor no disponga de elementos cerámicos. Entre los mecánicos se ha creado el neologismo “elsbetizar” para designar cuando un motor se ha convertido en policarburante. Esta es una de las posibilidades que tenemos para mejorar la calidad del aire.