



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**BIODIÉSEL DE HIGÜERILLO (*Ricinus communis L.*) COMO
COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIÉSEL**

JORGE ANTONIO QUINTERO JORDÁN

**Asesorado por Ing.
OTTO ROLANDO RUIZ BALCÁRCEL**

Guatemala, abril de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**BIODIÉSEL DE HIGÜERILLO (*Ricinus communis L.*) COMO
COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIÉSEL**

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

POR

JORGE ANTONIO QUINTERO JORDÁN

Asesorado por Ing.

OTTO ROLANDO RUIZ BALCÁRCEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO

Guatemala, abril de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Videz Leiva
SECRETARIO	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eliseo Flores Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

BIODIÉSEL DE HIGÜERILLO (*Ricinus communis L.*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIÉSEL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 20 de junio de 2003.

Jorge Antonio Quintero Jordán

Guatemala 10 de diciembre de 2004

Ingeniero
José Arturo Estrada Martínez
Director de Escuela
Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Por este medio me permito informar que el suscrito ha asesorado el trabajo de graduación titulado **BIODIÉSEL DE HIGÜERILLO (*Ricinus communis L.*) COMO COMBUSTIBLE EN UN MOTOR DIÉSEL**, elaborado por el estudiante Jorge Antonio Quintero Jordán.

El trabajo presentado por el estudiante Quintero cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo, en tal virtud me permito recomendar su aprobación.

Atentamente,

Ing. Otto Rolando Ruiz Balcárcel
Colegiado No. 407

DEDICATORIA

- A Dios Por ser la mano que me guía y que está en los malos y los buenos momentos de mi vida.
- A La Virgen María por ser la intercesora ante nuestro Dios padre.
- A mis padres Maria Mercedes Jordán Cárcamo de Quintero y Jorge Guillermo Quintero Cajas, por inculcarme valores que los estudios no lo dan.
- A mi esposa Astrid Beatríz Vega Girón, por apoyarme.
- A mi hijo Jorge Antonio Quintero Vega, para que el siguiente trabajo le sirva en poca parte para desarrollar su intelectual y seguir investigando en aras del desarrollo de Guatemala.
- A mis hermanos Claudia, Ana Celia, María Mercedes y José Martín Quintero Jordán.
- A La Universidad de San Carlos de Guatemala por enseñarme a perseverar y por los conocimientos adquiridos en toda mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
OBJETIVOS	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
1. EL MOTOR DIÉSEL	
1.1. El block	1
1.2. Tapa de cilindros	2
1.3. Camisas de los cilindros	2
1.4. Pistón	3
1.5. Aros del pistón	3
1.6. Biela	5
1.7. Cigüeñal	6
1.8. Cojinetes	7
1.9. Válvulas	7
1.10. Guía de válvulas	9
1.11. Balancín	9
1.12. Resortes de las válvulas	9
1.13. Árbol de levas	10
1.14. Sistemas auxiliares	11
1.14.1. sistema de enfriamiento	11
1.14.2. Sistema de combustible	13
1.14.3. Sistema de lubricación	14
1.15 funcionamiento del motor Diésel de cuatro tiempos	15
1.15.1. Primer tiempo – admisión	15
1.15.2. Segundo tiempo – compresión	16
1.15.3. Tercer tiempo – tiempo motor	16
1.15.4. Cuarto tiempo – escape	16

1.16 Diagrama de distribución	17
1.17 Diagrama presión – volumen	18
1.18 El motor Diésel Deutz	20
2. EL TORQUE Y POTENCIA DE UN MOTOR	
2.1. El torque de un motor	23
2.2. La potencia de un motor	24
2.3. El freno de prony	26
3. EL COMBUSTIBLE BIODIÉSEL	
3.1. Parámetros del biodiésel	29
3.2. El biodiésel de higüerillo	30
3.3. El higüerillo como productor de biodiésel	31
4. METODOLOGÍA	33
5. RESULTADOS	35
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	46
CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES FIGURAS

1	Clases de motores por número de cilindro	1
2	Tapa de cilindros	2
3	Pistón	3
4	Aros de pistón	4
5	Biela	5
6	Cigüeñal	6
7	Cojinetes (chumaceras)	7
8	Válvulas	8
9	Sistema de válvula con varilla de empuje	10
10	Árbol de levas	11
11	Sistema de enfriamiento	13
12	Sistema de lubricación	15
13	Tiempos de motor	17
14	Diagrama de distribución	18
15	Diagrama presión-volumen	19
16	Motor Deutz	21
17	Torqué	24
18	Grafica de potencia y torqué	24
19	Comparación de propiedades del biodiésel y Diésel	32
20	Instalación del freno de prony	35
21	Instalación del freno de prony	35
22	Lecturas del tacómetro y báscula utilizando Diésel comercial	37
23	Gráfica fuerza vrs. r.p.m. utilizando combustible Diésel	38

24	Gráfica torque vrs. r.p.m. utilizando combustible Diésel	38
25	Gráfica potencia vrs. r.p.m. utilizando combustible Diésel	39
26	R.p.m, par motor o torque y potencia utilizando 10% de biodiésel	40
27	Gráfica fuerza vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 10%	40
28	Gráfica torque vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 10%	41
29	Gráfica potencia vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 10%	42
30	R.p.m, par motor o torque y potencia utilizando 20% biodiésel	42
31	Gráfica fuerza vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 20%	42
32	Gráfica torque vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 20%	43
33	Potencia vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 20%	43
34	R.p.m, par motor o torque y potencia utilizando 30% biodiésel	44
35	Gráfica fuerza vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 30%	44
36	Gráfica torque vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 30%	45
37	Gráfica potencia vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 30%	45
38	Comparación de torque	46
39	Comparación de potencia	47

GLOSARIO

Árbol de Levas	Es un eje (fig. 9) con salientes, uno para cada válvula.
Biela	Transfiere la fuerza y el movimiento del pistón al cigüeñal, recibiendo intensas cargas cíclicas.
Biodiésel	Transfiere la fuerza y el movimiento del pistón al cigüeñal, recibiendo intensas cargas cíclicas.
Block	Transfiere la fuerza y el movimiento del pistón al cigüeñal, recibiendo intensas cargas cíclicas.
Bureta	Tubo de vidrio largo, calibrado y graduado, provisto de llave en un extremo y abierto por el otro; se usa en los análisis volumétricos y permite salir pequeñas cantidades de líquido y conocer su volumen.
Cigüeñal	Transforma el movimiento rectilíneo alternado de pistón, en rotativo, transmitiendo la potencia y el torque a la transmisión.
Ester	Nombre genérico de los compuestos orgánicos formados por la unión de un ácido y un alcohol con eliminación de agua. Líquidos volátiles; casi todos insoluble en agua, pero solubles en alcohol y en éter.
Inyector	El inyector tiene como función introducir el combustible finamente pulverizado en la cámara de combustión.

Motor	Máquina que transforma energía química en energía mecánica.
Números de cetanos	Mide la facilidad con que se prepara a quemar un combustible.
Pistón	El pistón es el contenido movable del cilindro y recibe toda la carga producida por la combustión.
Tapa de cilindros	La tapa de cilindros, da alojamiento a las partes superiores del motor.
Punto de ignición o inflamabilidad	Temperatura a la cual se enciende un combustible, en presencia del aire, es decir, sin el auxilio de llama o chispa.
Ralentí	Es la velocidad del motor sin presionar el pedal de aceleración.
Termostato	Válvula que abre y cierra según sea la temperatura de operación.
Torque	El torque es la fuerza que producen los cuerpos en rotación.
Válvulas	Controla la entrada de aire y otra de escape, que controla la salida de los gases de la combustión.
Viscosidad	Grado de consistencia comparado con el agua pura o dificultad de paso por un orificio.

RESUMEN

El presente trabajo trata de encontrar el sustituto del combustible Diésel comercial, en el se trata explicar el funcionamiento del motor Diésel y el desempeño del motor por los factores de torque y potencia que son parte fundamental de todo motor.

En el mismo trabajo se fabrica un instrumento para poder medir los factores mencionados, **el freno de Prony**, que se construyó artesanalmente. y que nos sirve para comparar la potencia que produjo el combustible comercial con los porcentajes de biodiésel utilizados.

OBJETIVOS

- **General**

Dar a conocer una alternativa energética a partir de un combustible vegetal que permite reducir costos de operación de los motores Diésel y beneficia al medio ambiente por medio de la reducción de emisiones.

- **Específicos**

1. Establecer de qué manera se altera el funcionamiento del motor Diésel operado con distintas mezclas de biodiésel-Diésel.
2. Realizar las pruebas necesarias para comprobar la mezcla Diésel-biodiésel, que represente las mejores condiciones de operación para el motor Diésel de cuatro tiempos.
3. Describir las características del biodiésel de aceite de higüerillo.

INTRODUCCIÓN

En Guatemala el consumo total de energía está fuertemente concentrado en la biomasa proveniente de la leña y las llamadas fuentes energéticas no renovables, como lo son los hidrocarburos; el consumo se contabiliza a través de los llamados balances energéticos, los cuales son instrumentos que permiten medir el consumo anual de energía en un país y su estructura de distribución en los distintos sectores productivos.

El balance energético mide en unidades homólogas la energía, para lo cual estandariza todo a barriles equivalentes de petróleo, tal y como se realiza a nivel mundial; el balance nacional del año 2000, mostró que un 60% del consumo total corresponde a la leña, y un 36% a los derivados del petróleo, el 4% restante corresponde a electricidad, la cual se genera mayormente con hidrocarburos.

De acuerdo con los balances energéticos de Guatemala para los últimos años, elaborados por entidades como el Ministerio de Energía y Minas, la Comisión Económica para América Latina –CEPAL- y la Organización Latinoamericana de Energía –OLADE-, el consumo energético prácticamente se ha duplicado entre 1980 y 2001, pasando de 25 a 47 millones de barriles equivalentes de petróleo. El promedio de crecimiento anual para el período fue de 3.11 por ciento, con una variación promedio de 2.85.

Esta demanda de energía con la actual tendencia, en un horizonte de diez años, alcanzaría los cerca de 60 millones de barriles equivalentes de petróleo.

Esta proyección en el consumo se hace con base en el comportamiento histórico, y suponiendo que el crecimiento de los actuales sectores de consumo mantengan sus tendencias.

El consumo de hidrocarburos como el Diésel oil y las gasolinas, se destinan principalmente al sector transporte; para uso en motores de combustión interna, la totalidad de estos hidrocarburos son importados, lo que implica la utilización de divisas para su compra. Por aparte, derivado de su combustión, se generan los llamados gases de efecto invernadero.

Como alternativas energéticas para suplir el uso de hidrocarburos, en los últimos años se ha venido desarrollando la posibilidad del llamado biodiésel, que es éster metílico o etílico que dadas sus características se puede utilizar como combustible. La materia prima para su fabricación son esencialmente aceites vegetales, los cuales se pueden obtener prácticamente de todas las plantas, aunque obviamente existen algunas que pueden producir cantidades importantes como la soya, el maní, la palma, el coco y el higüerillo.

Esta última planta que crece en nuestro país, tiene importantes características que la hacen ser un potencial para la producción de aceite de ricino y posteriormente biodiésel. Entre las características se encuentran su facilidad de reproducción, el contenido de aceite de sus semillas, no es muy exigente para los suelos en donde se adapta, y es de crecimiento y producción rápida.

En el presente trabajo se presentan los resultados de las pruebas realizadas cuando se mezcló biodiésel de higüerillo, con aceite Diésel comercial en distintas proporciones a fin de establecer si existen cambios en el comportamiento básico del motor Diésel, utilizando esta mezcla.

El biodiésel fue proporcionado por la Dirección General de Energía, y de acuerdo con lo informado por dicha dependencia, se elaboró con aceite de higüerillo procesado de manera artesanal por productores locales de la Antigua Guatemala. Esto con el fin de determinar si con las condiciones de elaboración de estos artesanos, podría hacerse un combustible vegetal.

La producción de aceite de higüerillo y biodiésel de manera intensiva, podría representar beneficios económicos y ambientales al país, pues contribuiría a reducir la factura petrolera, además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, reforestar zonas degradadas, fomentar las pequeñas empresas artesanales y desarrollar fuentes de empleo rural.

1. EL MOTOR DIÉSEL

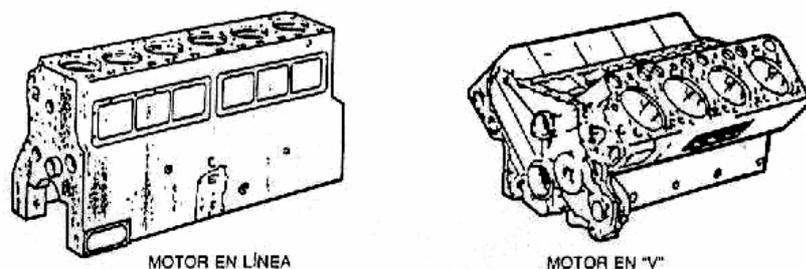
Es una máquina que transforma energía química en energía mecánica, produce la fuerza para mover un vehículo. En términos de operación y componentes, el motor Diésel de un vehículo de carga es en cierta manera, como el motor de gasolina de un auto familiar. Ambos son motores de combustión interna, y usan aire y combustible en el proceso de combustión. Las piezas y su funcionamiento, descritas por Pourbaix y Albertal, (1), se describen a continuación.

1.1 *El block*

El *block* es la estructura en la cual son montadas las piezas del motor y que contiene los pasajes de lubricantes y líquido de refrigeración (figura 1).

Debe ser liviano y al mismo tiempo robusto. Son fabricados de hierro fundido y tratados térmicamente para reducir las tensiones resultantes de la fundición, evitando así posibles ralladuras.

Figura 1. Block de motor

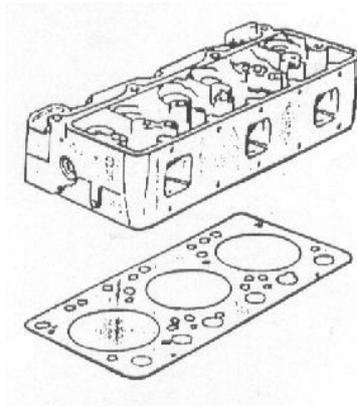


1.2 Tapa de cilindros

La tapa de cilindros, da alojamiento a las partes superiores del motor. Contiene los conductos de admisión y escape, válvulas, mecanismos de accionamiento de las válvulas y pasaje del líquido de refrigeración. (figura 2).

En los motores de 6 cilindros la tapa de cilindros está compuesta por dos partes que abarcan tres cilindros cada una, y los de ocho tienen una tapa por cilindro.

Figura 2. Tapa de cilindros



1.3 Camisas de los cilindros

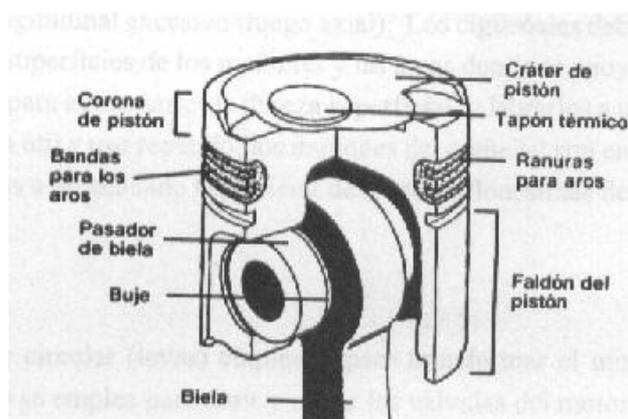
En algunos motores, el cilindro está armado directamente en el block, prescindiendo del uso de la camisa. De no ser así la camisa es fabricada separadamente y después encajada en el block dentro de cada cilindro. En el interior del cilindro es donde ocurre la combustión, generando temperaturas de alrededor de 600 a 800 grados centígrados. Para disipar mejor ese calor, las paredes de las camisas tienen que tener espesor reducido y resistente.

1.4 Pistón

El pistón es el contenido móvil del cilindro y recibe toda la carga producida por la combustión. Es responsable por la admisión y compresión del aire y el escape de los gases, y de transmitir la fuerza resultante de la combustión al cigüeñal a través de la biela. Cuando el combustible es inyectado el movimiento del aire facilita y agiliza la mezcla, posibilitando un mayor aprovechamiento del combustible (figura 3).

Además de la alta temperatura, el pistón recibe los impactos, por la explosión, de más de 15 toneladas.

Figura 3. Pistón



1.5 Aros del pistón

El diámetro del pistón es ligeramente menor que el de las camisas. Para separación y control de la lubricación se montan aros entre ellos.

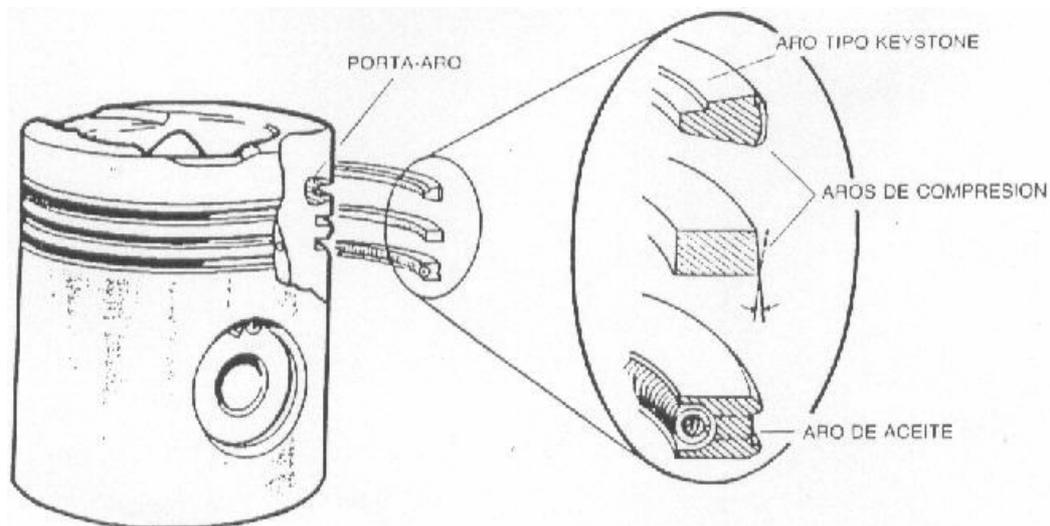
Los motores poseen tres aros por pistón (figura 4), siendo dos de compresión y uno para empujar el aceite. Los dos primeros tienen como función sellar la cámara, principalmente en los momentos de compresión y combustión.

El aro superior, de compresión, es el tipo cuña (*Keystone*) y el que proporciona un sellado más eficiente y ayuda en el control del aceite, disminuyendo su consumo.

Ese aro recibe la mayor parte de las cargas y de la temperatura, por estar más cerca de la cámara de combustión, y las transfiere hacia la canaleta en que trabaja. Por ese motivo el pistón tiene una cinta de hierro fundido porta-aro que lo vuelve más resistente.

Debido a su construcción el aro raspador mantiene una capa de aceite relativamente estable en la pared de la camisa, evitando así el desgaste excesivo.

Figura 4. Aros del pistón



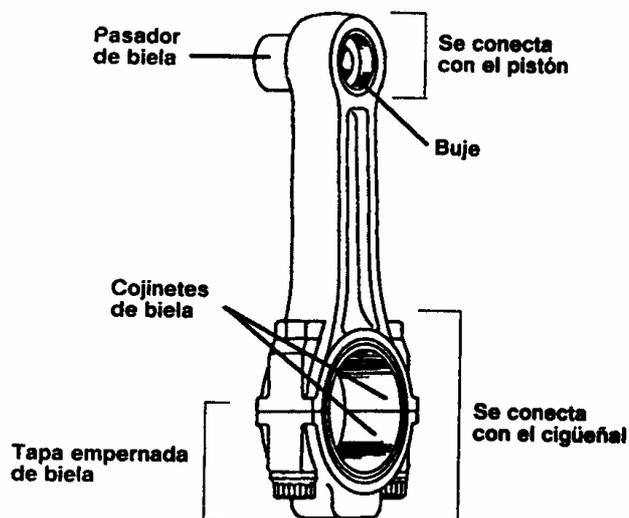
1.6 Biela

Transfiere la fuerza y el movimiento del pistón al cigüeñal, recibiendo intensas cargas cíclicas.

El ojal de la biela tiene forma de cuña, o sea, su parte inferior tiene mayor área de contacto con el perno del pistón que la superior. De esa forma se reducen los esfuerzos de la biela y del propio perno, aumentando la duración de ambos.

Las dos mitades de la base de la biela tienen sus superficies de contacto dentadas proporcionando un montaje más seguro (figura 5).

Figura 5. Biela



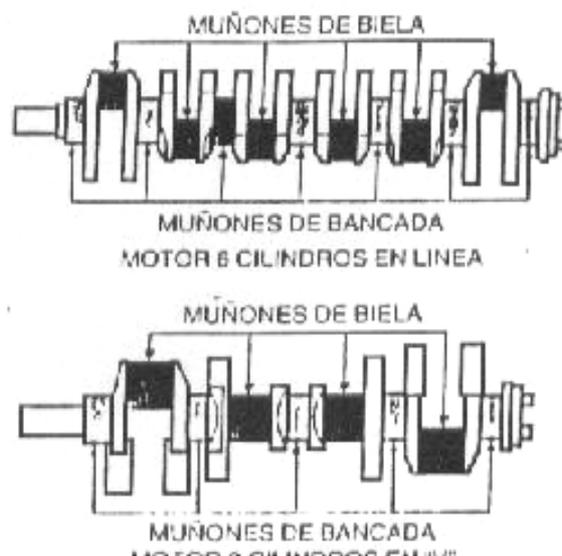
1.7 Cigüeñal

El cigüeñal es un componente de gran importancia en el motor pues junto con la biela transforma el movimiento rectilíneo alternado de pistón, en rotativo, transmitiendo la potencia y el torque a la transmisión (figura 6).

El cigüeñal está compuesto de muñones de bancadas, que son sus puntos de apoyo en el block, y muñones de biela que son el área de fijación de las bielas.

En los motores en línea hay un muñón para cada biela y en los motores en "V", dos bielas utilizan el mismo muñón.

Figura 6. Cigüeñal



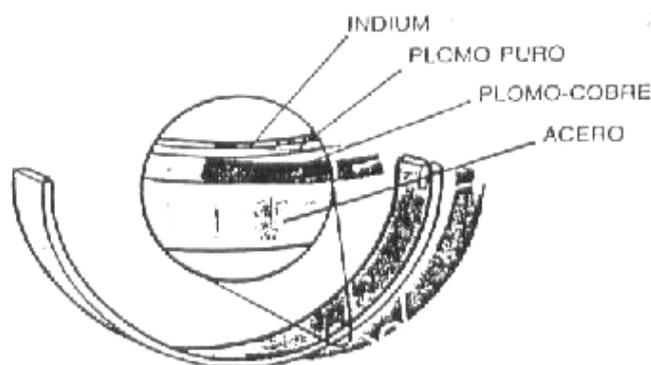
1.8 Cojinetes

La biela no entra en contacto directo con el perno de pistón, ni con el muñón de biela del cigüeñal, así como los muñones de bancada no tienen contacto directo con el block.

Entre ellos existen cojinetes (bujes, bronces, casquillos) que anula el roce directo. De esta forma sólo hay roce de las partes móviles contra los cojinetes que siendo de material más blando, provocan menor desgaste de las piezas móviles, siendo así, los cojinetes (figura 7) protegen los componentes más importantes del motor contra el desgaste prematuro.

Deben permitir perfecto ajuste entre las superficies de los muñones de biela y de bancada, block y bielas, y al mismo tiempo ser resistentes a la deformación bajo carga.

Figura 7. Cojinetes



1.9 Válvulas

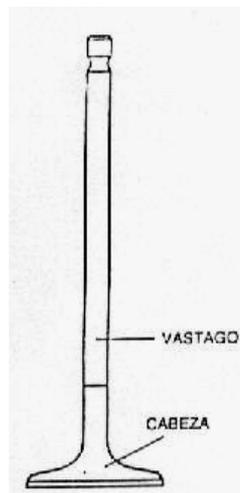
Hay normalmente dos válvulas para cada cilindro del motor: una de admisión, que controla la entrada de aire y otra de escape, que controla la salida de los gases de la combustión (figura 8).

Tienen como función cerrar la cámara, lo que hacen por acción del resorte. Son piezas estructuralmente muy exigidas pues actúan directamente en la cámara, recibiendo calor e impacto constantes.

Las válvulas de admisión tienen un diámetro mayor para facilitar la entrada del aire y son refrigeradas por este durante la admisión, no sufriendo tanto con la alta temperatura de la cámara como las válvulas de escape.

Las válvulas no tienen contacto directo con la tapa de cilindros, sino con los aros de acero llamados **asientos**. Los asientos de las válvulas se montan bajo presión en alojamientos en la tapa de cilindros para garantizar un sellado más eficiente; las caras de las válvulas tienen un ángulo diferente en los asientos, en medio grado.

Figura 8. Válvulas



1.10 Guía de válvulas

Para mantenerse alineada durante el movimiento, la válvula es guiada por una pieza de acero, montada en la tapa de cilindros, denominada guía de válvula (figura 9).

1.11 Balancín

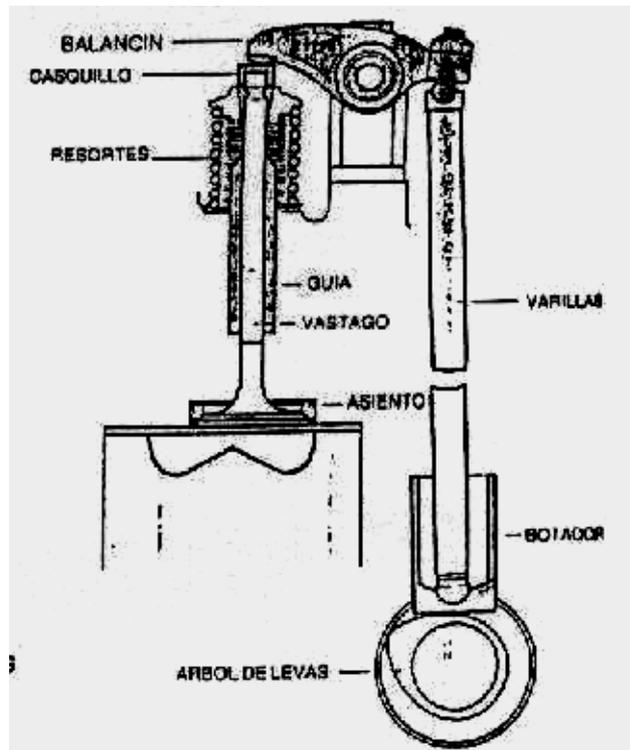
En el momento de la apertura, las válvulas son accionadas por los balancines, que son montados en un eje en la tapa de cilindros, de modo que, cuando se accionan fuerzan las válvulas hacia abajo, abriéndolas. El balancín no toca directamente el vástago de la válvula sino una capa que evita el desgaste de la válvula y del propio balancín (figura 9).

1.12 Resortes de las válvulas

En la parte superior del vástago se montan resortes helicoidales que mantienen las válvulas cerradas cuando no están siendo accionadas. En un motor que trabaja a 2000 R.P.M, por ejemplo, las válvulas se accionan 1000 veces por minuto, por lo tanto, los resortes deben tener alta resistencia a la fatiga (figura 9).

Debido a la rapidez de ese movimiento son necesarios, en la mayoría de los casos, dos resortes concéntricos con espirales invertidos para evitar que las válvulas **fluctúen**, o sea, para mantener sincronizados la apertura y el cierre.

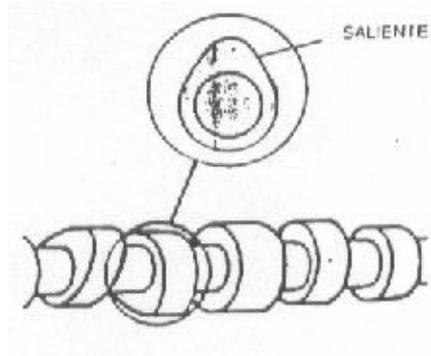
Figura 9. Balancín, guía y resorte de válvulas



1.13 Árbol de levas

Es un árbol con salientes, uno para cada válvula, hecho normalmente en acero forjado, que comanda el accionar de los balancines y en consecuencia de las válvulas (figura 10). Es accionada por el cigüeñal a través de engranajes.

Figura 10. Árbol de levas



1.14 Sistemas auxiliares

Conocer sólo sobre el motor no es suficiente. Se debe saber de los otros sistemas auxiliares del mismo y su función.

1.14.1 Sistemas de Enfriamiento

Las partes que componen este sistema son

1. radiador
2. termostato
3. ventilador y sus fajas
4. mangueras de agua
5. bombas de agua
6. líquido refrigerante

Todas juntas, (figura 11) enfrían el motor de la siguiente manera: cuando se arranca un motor frío, el termostato está cerrado. El líquido refrigerante empieza a circular por los orificios del block y alrededor de los cilindros, conforme circula, va absorbiendo la temperatura y cuando este llega a un nivel de alrededor de 85 grados centígrados se abre el termostato, dejando pasar el líquido hacia el radiador para que circule por el y se enfríe.

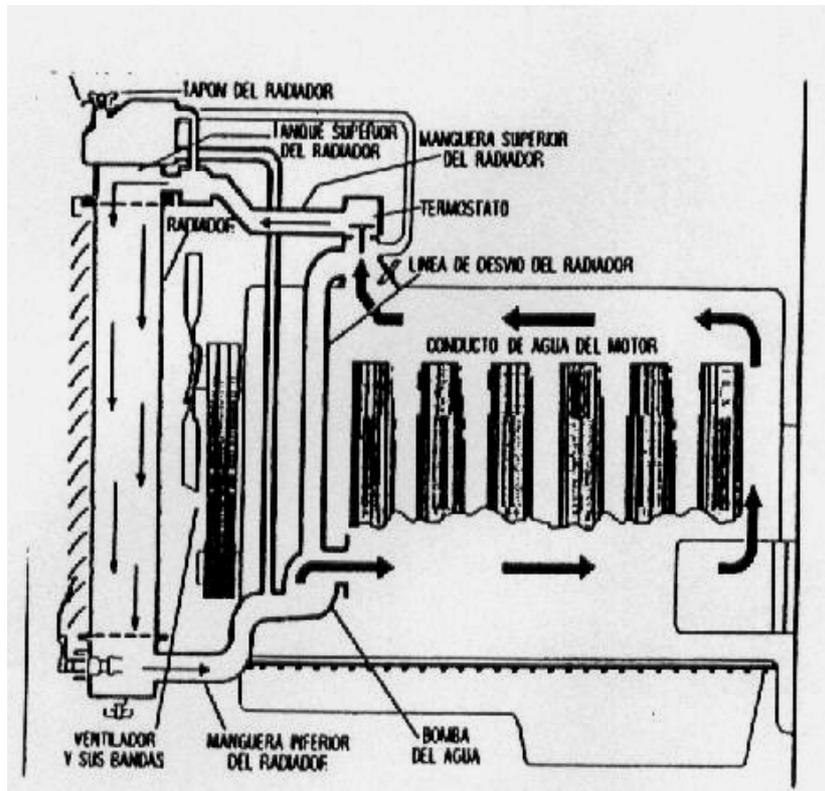
El líquido refrigerante caliente sale del motor a través de la manguera superior, se desplaza por esta hasta el tanque del radiador y luego baja por el cuerpo del mismo. El movimiento hacia adelante del vehículo, más la acción del ventilador que impulsa aire a través del radiador, enfría el líquido refrigerante.

Cuando el líquido refrigerante llega al tanque inferior, la bomba lo succiona por la manguera inferior, lanzándolo nuevamente hacia el motor para enfriarlo.

Es recomendable que el líquido refrigerante esté compuesto por agua y fluido refrigerante o anticongelante. Usando esta fórmula se obtienen los siguientes beneficios:

- eleva la temperatura de ebullición
- Evita la corrosión y daños por cavitación
- Preserva la integridad del radiador, bomba de agua, mangueras y block del motor

Figura 11. Sistema de enfriamiento



1.14.2 Sistemas de combustible

Este sistema surte al motor de combustible y se compone de:

1. Tanque de combustible
2. Filtros de combustible
3. Bombas de combustible
4. Líneas de combustible
5. Inyectores

El flujo de combustible a través del sistema, empieza en el tanque y corre por las líneas hasta una válvula *check* (permite flujo en un solo sentido). De ahí, fluye a través del filtro y hacia la bomba que lo fuerza a circular a través de las líneas de combustible hasta llegar a los inyectores; estos atomizan una determinada cantidad de combustible hacia la cámara de combustión.

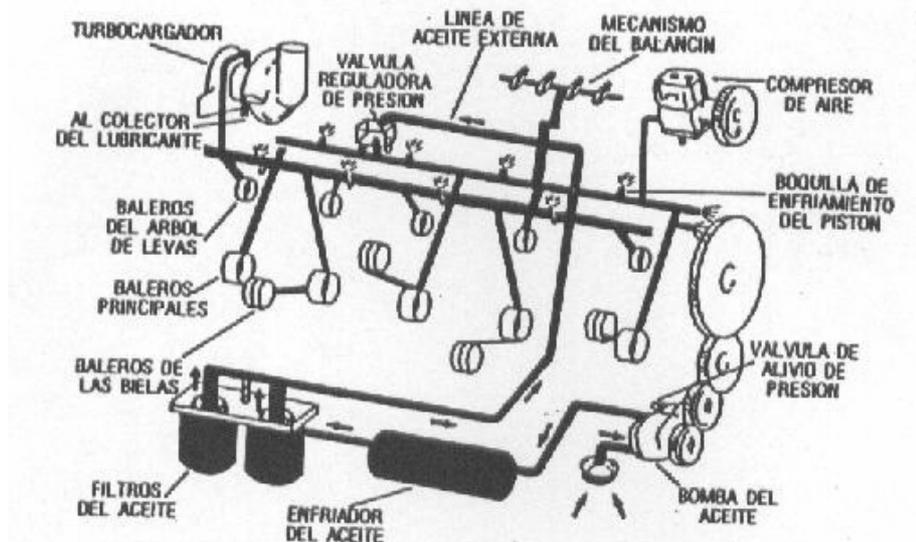
1.14.3 Sistema de lubricación

Limpia, enfría y lubrica las partes móviles del motor, ayuda a los anillos del pistón a sellar la cámara de combustión y reduce el desgaste de las partes metálicas, esto, al mantener una delgada película de aceite entre ellas, (figura 12). Sus partes son: cárter, bomba de aceite, filtros y enfriador de aceite.

El aceite almacenado en el cárter, es impulsado hacia el enfriador por la bomba, luego, a los filtros donde es separado el polvo y partes metálicas. El aceite ya filtrado pasa luego por las líneas de lubricación hacia el motor.

El cambio periódico de aceite ayuda a operar eficientemente al motor, prolongando la vida del mismo. El aceite se ensucia en gran parte por los productos secundarios de la combustión. Pero los residuos de combustible no quemado que permanecen en el cilindro, también se mezclan con el aceite. Esto tiende a diluirlo alterando su viscosidad y su capacidad de lubricar.

Figura 12. Sistema de lubricación



1.15 Funcionamiento del motor Diésel de cuatro tiempos

El funcionamiento de un motor Diésel de cuatro tiempos para automóvil apenas difiere del de uno de cuatro tiempos de gasolina, el motor opera de la siguiente manera (figura 13).

1.15.1 Primer tiempo – admisión

Durante el tiempo de aspiración, la válvula de admisión está abierta y el pistón desciende. En el cilindro se produce una depresión y el aire es aspirado a través del filtro de aire.

1.15.2 Segundo tiempo –comprensión

El pistón asciende; como las dos válvulas están cerradas, el aire es comprimido hasta una presión de 32 kg/cm² aproximadamente, lo que tiene por efecto una elevación de temperatura entre 500 y 600 grados centígrados.

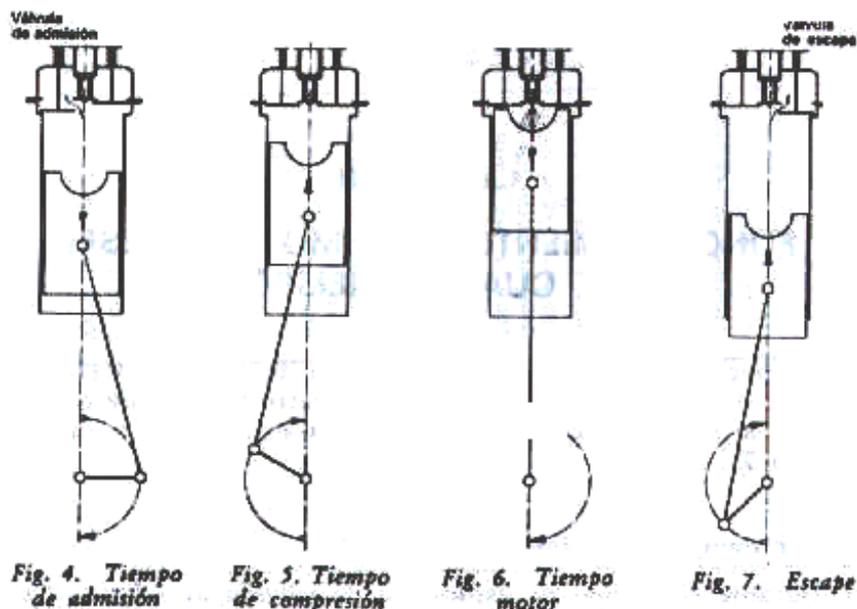
1.15.3 Tercer tiempo- tiempo motor

Un poco antes del punto muerto superior (P.M.S.), es inyectado el combustible en la cámara de combustión. Debido a la alta temperatura del aire comprimido contenido en la cámara, el combustible se inflama, lo que libera una gran cantidad de calor. Durante esta combustión el pistón apenas cambia de posición (en P.M.S.), de modo que la presión ejercida sobre el pistón aumenta. La combustión continúa mientras el pistón es empujado con fuerza hacia abajo. El espacio existente encima del pistón aumenta; se produce una expansión de los gases (la presión disminuye) y al mismo tiempo la producción de trabajo.

1.15.4 Cuarto tiempo- escape

La válvula de escape se abre y el pistón sube; el gas escapará a causa de la presión y además a causa del movimiento del pistón.

Figura 13. Tiempos del motor



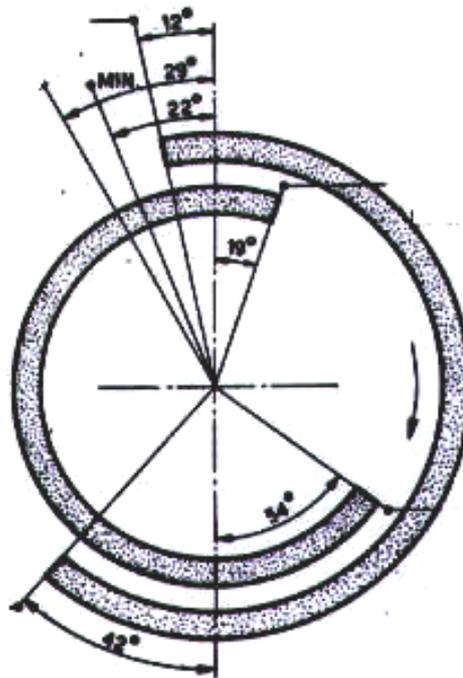
1.16 Diagrama de distribución

En un diagrama elegido como ejemplo de la distribución de los tiempos del motor se observa que la aspiración, la compresión y el escape no duran 180 grados exactamente (figura 14). Para llenar tan completamente como sea posible el cilindro, incluso cuando el pistón está animado de una velocidad considerable, se abre la válvula de emisión antes del P.M.S. y se la cierra después del punto muerto inferior (P.M.I.).

Para facilitar el escape de los gases se abre la válvula de escape 40 a 55 grados antes del P.M.I. Por otra parte, la válvula de escape no se cierra hasta después del P.M.S. En el diagrama se ve que las dos válvulas están abiertas simultáneamente durante un tiempo bastante corto.

De este modo, con grandes velocidades, el gas que se escapa contribuye a la aspiración del aire fresco (incluso antes de que comience el tiempo de admisión propiamente dicho). Esto mejora el barrido de la cámara de combustión así como la calidad de llenado, lo que influye favorablemente en la combustión.

Figura 14. Diagrama de distribución



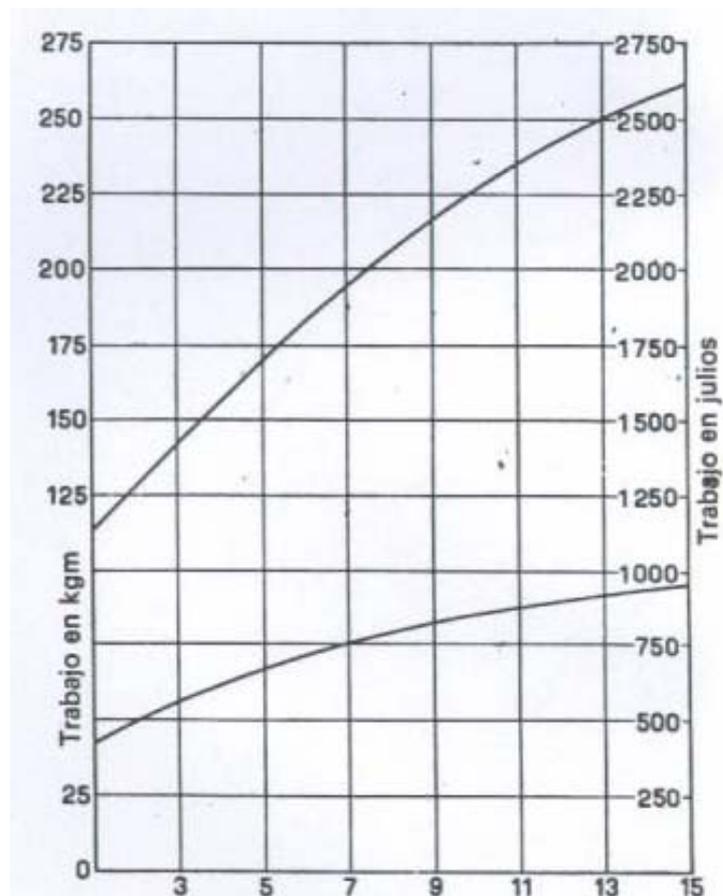
1.17 Diagrama presión-volumen

El diagrama del Diésel pone de manifiesto que la presión al final de la compresión es más elevada que en el caso del motor de gasolina. Esto se deduce directamente de la lectura del gráfico de la figura 15.

Cuando, con una determinada presión al final de la compresión, la relación es de 5:1, el trabajo útil proporcionado por una cantidad determinada de combustible es $1.700-600=1.040$ julios (104kgm); cuando es de 15:1, se obtiene $2.600-940=1.660$ julios (166 kgm) o sea una diferencia de 620 julios (62kgm).

El diagrama de los diferentes sistemas de Diésel presenta a veces diferencias apreciables en lo que concierne a la presión máxima.

Figura 15. Diagrama presión-volumen



1.18 El motor Diésel Deutz.

Los numerosos tipos de construcción del motor Diésel Deutz difieren entre sí por el número de cilindros: 1, 2, 3, 4, 6 u 8. También existen motores monocilindro. El sistema de refrigeración por aire simplifica la construcción del motor y aumenta la seguridad de su marcha, tal y como lo apunta Pourbaix (2). La longitud es también más reducida que la de los motores de la misma potencia provistos de sistema de refrigeración por agua.

La temperatura no desciende nunca, ni siquiera durante la marcha en ralentí, por debajo de la temperatura de condensación del ácido sulfúrico (44 grados 8). El resultado es que el riesgo de corrosión del cilindro por el ácido es mucho menor. En la actualidad el gasoil contiene más azufre que antes.

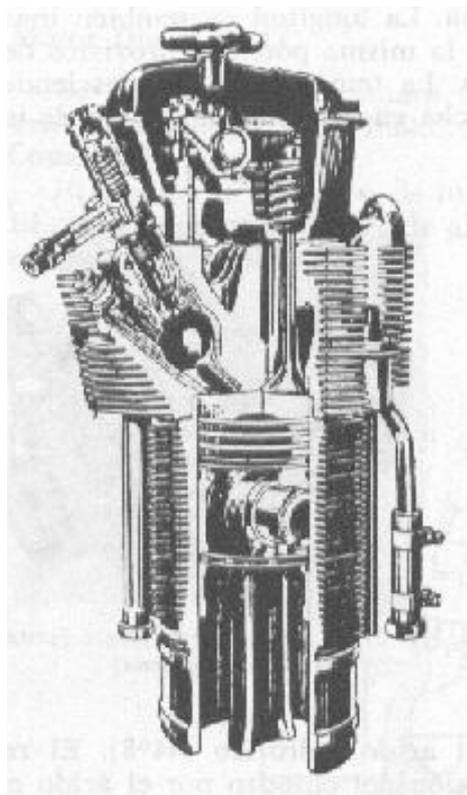
La elevada temperatura de funcionamiento permite utilizar, sin inconveniente, como combustible aceite de alquitrán de hulla, lignito, una mezcla de gasolina y aceite, etc. En el caso de los motores Diésel provistos de sistemas de refrigeración por agua, no es posible elevar de este modo la temperatura de régimen, porque existe la limitación debida a la temperatura de ebullición del agua. Por otra parte, el rendimiento de los motores con refrigeración por aire es algo más elevado. El consumo indicado es de 245 g/Kwh. (180g/CVh).

El engrase debe responder a exigencias muy severas. Por esto se ha previsto un refrigerador del aceite, que reduce la temperatura de este a menos de 90 grados Centígrados. Este refrigerador cede calor a la corriente del aire frío. De esta manera, es posible evacuar el 10 % del calor desprendido. A fin de favorecer la evacuación del calor, la culata es de aleación ligera y los asientos de válvula son de acero.

La bomba de inyección, los inyectores, las bujías de incandescencia, los filtros y la instalación eléctrica son de fabricación Bosch.

La figura 16 muestra la parte izquierda del motor. Se aprecia inmediatamente la dimensión de la caja o envoltura del ventilador. Deutz construye igualmente motores para tractores con 1, 2, 3, 4 cilindros. El diámetro interior de los cilindros y la carrera son idénticos a los correspondientes de los motores de uso industrial. Sin embargo, la velocidad máxima es 1.650 RPM.

Figura 16. Sección de un motor Diésel Deutz



2. TORQUE Y POTENCIA DE UN MOTOR

2.1 El torque de un motor

El torque es la fuerza que producen los cuerpos en rotación, se debe de recordar que el motor produce fuerza en un eje que se encuentra girando. Para medir el torque se utiliza un banco o freno dinamométrico que no es más que una instalación en la que el motor puede girar a toda su capacidad conectado mediante un eje a un freno o balanza que lo frena en forma gradual y mide la fuerza con que se está frenando.

Mientras mayor sea el torque de un motor, mas fuerza tendrá este. Esto es interesante al momento de comparar motores, ya que sin importar el tamaño, el tipo , el sistema de encendido o el de la inyección, un motor tendrá mas fuerza que otro cuando su torque máximo sea mayor (3).

Las unidades inglesas de torque son libra-pulgadas o libra-pies; la unidad de SI es el Newton-metro. las unidades del torque contienen una distancia y una fuerza, (figura 17). Al calcular el torque, se debe multiplicar la fuerza por la distancia del centro.

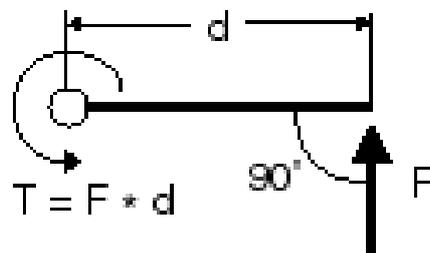
Para que un motor de combustión interna se mueva usamos alguna clase de combustible para convertir energía química y transformarla en energía mecánica, en el motor Diésel se transforma por el calentamiento del aire que fue admitido en el cilindro y después comprimido.

El torque es una fuerza que tiende girar o apretar partes. Se genera torque al aplicar una fuerza, se genera un torque cualquier tiempo que se aplica una fuerza que usa un tirón apretándose.

Sin embargo, no hay que comparar curvas de torque (par motor) correspondientes a motores de potencia diferentes. Un motor de 6 cilindros tendrá una curva mucho menos acusada que una de 12 cilindros del mismo tipo.

Las unidades inglesas de torque son libra-pulgadas o libra-pies; la unidad de SI es el Newton-metro. Hay que notar que las unidades del torque contienen unidades de distancia y fuerza.

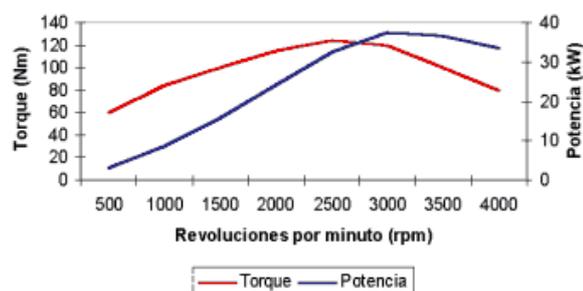
Figura 17. Diagrama del torque



2.2 La potencia de un motor

La potencia indica la rapidez con que puede trabajar el motor. La potencia máxima es el mayor número obtenido de multiplicar el torque del motor por la velocidad de giro en que lo genera (3).

Figura 18. Curvas de torque y potencia



A un número de revoluciones reducido corresponde mayor pérdida de calor; Además, en estas mismas condiciones, la mezcla combustible-aire no es tan buena a consecuencia de una agitación defectuosa del aire aspirado.

Cuando el número de revoluciones es mayor, el llenado es peor y los gases de escape son evacuados a una presión excesiva. Hay pues también pérdida de calor. El punto de tangencia de las oblicua con la curva de la potencia da el número de revoluciones ideal para obtener un par motor máximo.

Cuando más acentuadas son las curvas de potencia, más desventajoso es el funcionamiento del motor. Por el contrario, cuando menos pronunciadas son esas curvas más elevado es el rendimiento del motor (figura 18).

El caballo de fuerza también puede convertirse en otras unidades. Por ejemplo:

1 caballo de fuerza (encima del curso de una hora) es equivalente a 2,545 BTU (unidades termales británicas). Si se tomara que 746 vatios se ejecuta a través de un calentador eléctrico durante una hora, produciría 2,545 BTU (donde un BTU es que la cantidad de energía necesitó levantar la temperatura de 1 libra de agua 1 grado F).

Un BTU es igual a 1,055 joules, o 252 gramo-calorías o 0.252 calorías de comida. Probablemente, un caballo que produce 1 caballo de fuerza quemaría 641 calorías en una hora si era 100 por ciento eficaz.

2.3 El freno de prony

Las características del freno de prony, descritas por Hernández (4), son:

Aprovechar el trabajo efectivo que se disipa por el roce o fricción sobre una banda de asbesto para determinar la potencia motriz aprovechable en el eje de salida del motor.

La fuerza de fricción actúa en contra de la rotación del motor, por lo que el trabajo que se disipa como fricción durante el funcionamiento del motor es:

Trabajo realizado = fuerza * Distancia recorrida * RPM.

Trabajo realizado = $f * 2 \pi r * N$

El momento de giro $r * f$ (fuerza tangencial que actúa a una distancia r del eje de rotación), producido por el cigüeñal, es equilibrado por un momento igual y opuesto, igual al producto de la longitud del brazo del freno d y la fuerza que se transmite a la báscula f recibe el nombre de momento de torsión, de rotación o torque del motor.

Conociendo el torque, se puede determinar la potencia ya que:

Potencia = $Mt \text{ (Lb. - pie)} * RPM / 5252$ caballos de fuerza

Potencia = $Mt. \text{ (Kg. - m)} * RPM / 716.3$ CV

El brazo de la palanca sujeto a la báscula, impide el movimiento de la banda y sus superficies de fricción excepto en un arco limitado.

Consta de un tornillo para el ajuste, con lo cual puede apretarse la banda que envuelve al volante. El valor de ese ajuste determina la fricción de arrastre f , que actúa en la periferia del volante y pone resistencia a la rotación del motor.

3. EL COMBUSTIBLE BIODIÉSEL

El Biodiésel es un combustible obtenido a partir de aceites vegetales que funciona en cualquier motor Diésel. Se produce a través de reacciones de aceites vegetales o grasa animal con metanol o etanol en la presencia de un catalizador para producir glicerina y biodiésel (5).

El término Biodiésel no tiene una definición estricta, sino que se trata de aceites vegetales, grasas animales y sus ésteres metílicos para ser utilizados como combustibles. La ASTM (*American Society for Testing and Materials*) define el Biodiésel 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 Diésel”. (6)

La utilización de combustibles vegetales, en motores Diésel, es casi tan antigua como el mismo motor. El inventor del motor Diésel, Rudolf Diésel utilizó en el año 1900 aceite de maní como combustible, para una demostración de adaptabilidad del motor. Estos combustibles han pasado de ser experimentales, y ya forman parte de la canasta de combustibles habituales.

El Biodiésel tiene un rendimiento similar al combustible Diésel, no requiere nueva infraestructura, no altera el torque ni la potencia de los motores Diésel. Además, mejora notablemente la lubricación del circuito y en la bomba de inyección.

Como sus propiedades son similares a las del petrodiesel, se pueden mezclar ambos en cualquier proporción, sin ningún tipo de problema. Este combustible puede ser utilizado en forma pura, B100, o en mezclas diversas con gasoil, siendo las más utilizadas la mezcla del 20% de biodiesel y 80% de petrodiesel, conocida como B 20. Todos los fabricantes de motores Diesel en Estados Unidos mantienen las garantías existentes sobre los mismos cuando se utiliza B20 (7).

Las bajas emisiones del biodiesel hacen de él un combustible ideal para el uso en las áreas marinas, parques nacional y bosques y sobre todo en las grandes ciudades. Además, puede obtenerse a partir de una gran variedad de cultivos, generando un rédito para el sector agrícola.

En los Estados Unidos, ha sido registrado en la Agencia de Protección Ambiental como un combustible puro o como un aditivo de combustible y es un combustible legal para el comercio.

Las especificaciones para el biodiesel puro (100%) son descritas en la tabla 1. Además, la *International Standards Organization* (ISO) también se encuentra considerando una especificación para el combustible (7).

Especificaciones del Biodiesel en Estados Unidos (a partir de julio, 1996).

Propiedad	Valor	Unidad
Punto de ignición	100,0 min.	°C
Sedimento & agua	0,050 max.	Vol.%
Residuo carbónico (muestra 100%)	0,050 max	Wt%
Ceniza sulfatada	0,020 max.	Wt%
Viscosidad (40-C)	1,9-6,5	Cs
Sulfuro	0,05 max	Wt%

Número cetano	40 min.	
Corrosión cúprica	Nº3b máx	
Número ácido	0,80máx.	MgKOH/gm
Glicerina libre	0,020 máx.	Wt%
Glicerina total	0,240 máx.	Wt%

3.1 Parámetros del biodiésel

ASTM ha especificado distintas pruebas que se le deben hacer a los combustibles para asegurar su correcto funcionamiento, (5). Estos son:

Punto de ignición o inflamabilidad (*flash point*): es de vital importancia por los requerimientos legales en lo que respecta a la seguridad en el manejo y almacenamiento del mismo.

Viscosidad: para algunos motores, puede llegar a ser ventajoso especificar un mínimo de viscosidad debido a la pérdida de potencia por parte de la bomba inyectora y pérdidas de combustible en el inyector. Un límite admisible máximo, por otro lado, es necesario por cuestiones de diseño y tamaño de los motores, y las características propias del sistema de inyección. Este límite es mayor que del gas oil, por lo que las mezclas de este último con Biodiésel, reducen la viscosidad del mismo.

Cenizas sulfatadas: la formación de cenizas puede estar presente en tres formas distintas: sólidos abrasivos, jabones metálicos solubles y catalizador remanente. Los sólidos abrasivos y el catalizador remanente pueden provocar un desgaste prematuro de inyector, la bomba inyectora, pistones y aros y formación de depósitos en el motor.

Sulfuros: el efecto que puede ocasionar la presencia de sulfuros puede variar considerablemente dependiendo en gran medida de las condiciones de operación. Afecta principalmente el desempeño de los sistemas de control de emisiones.

Números de cetanos: el número de cetanos es una medida de las calidades de ignición del combustible y la presencia de humos negros y rudeza de marcha. Los requerimientos del número de cetanos dependen del diseño, tamaño, variación de carga y velocidad y las condiciones atmosféricas.

3.2 El higüerillo (*Ricinus communis* L.) como productor de biodiésel

El higüerillo es originario de África tropical (Abisinia) y posiblemente de la India; extensamente introducido en las regiones cálidas y templadas cálidas de todo el mundo.

Se da en un clima tropical a subtropical, con un período libre de heladas de por lo menos 5 meses y precipitaciones superiores a los 700 mm al año. El exceso de nitrógeno estimula el crecimiento vegetativo a expensas de la producción de semilla. Los mejores rendimientos del cultivo de higüerillo se obtiene en ambientes con temperaturas que van de 10 – 26° C. Para su buen desarrollo necesita gran cantidad de luz. El cultivo prefiere suelos bien drenados de tipo limo-.arenoso, con un pH de 5-6,5, (8).

El ricino se cultiva en general como planta anual, a pesar de tratarse de una especie perenne. Requiere una buena preparación del terreno previo a su siembra, que puede ser realizada a mano o mediante sembradoras de maíz o algodón.

El fruto, es una cápsula trilobular que contiene una semilla por lóculo, exteriormente está recubierto por espinas no punzantes. La semilla es oval, de tamaño variable entre 5 y 20 mm según variedades.

Sus semillas contienen aceite fijo (*oleum ricini*) en porcentaje del 35 al 55% principalmente constituido por los glicéridos de los ácidos ricinoleico, iso-ricinoleico, etc.; también ricina y ricinina, la primera es una fitotoxina sumamente venenosa por vía endovenosa y menor por vía oral, aunque también esta última vía puede ocasionar la muerte; su actividad desaparece por acción del calor moderado; el segundo es un alcaloide de fórmula $C_8H_8N_2O_2$.

Según estimaciones hechas por el Ingeniero Sergio Quemé (9) de la Dirección General de Energía, los rendimientos de aceite de higüerillo, podrían alcanzar hasta unos 300 galones por hectárea al año, en plantaciones manejadas, lo que proporcionaría unos 270 galones de biodiésel por hectárea al año.

3.3 El biodiésel de higüerillo

Los resultados del análisis de laboratorio realizado al biodiésel fabricado en la Dirección General de Energía, se presentan en el cuadro 1, donde se comparan con el aceite Diésel comercial, y otro biodiésel denominado EMAT, fabricado en Nicaragua a partir de aceite de una palma llamada Tempate (10).

Este biodiésel fue procesado a partir de muestras de aceite de ricino producido artesanalmente por productores nacionales, el objetivo de hacerlo de esta manera, fue, a decir del Ingeniero Quemé (9), por que se propondría un proyecto de compra del aceite en plantas procesadoras.

Figura 19. Comparación de propiedades del biodiésel y Diésel

CUADRO 1. Comparación de propiedades de dos combustibles vegetales y el biodiésel de higüerillo			
Propiedad	EMAT	Diésel	Muestra
Punto de Inflamación ° C	192	55	86
Viscosidad Cinemática cSt 30°C	4.84	2-8	23.6
% Azufre	0	.5 max	0.02
Poder Calorífico Mj	41	45	37
Índice de cetano	---	45	38.5

Al analizar los datos anteriores, se puede notar que la variable que está muy distante a valores del compuesto EMAT y Diésel, es la viscosidad, la cual es seis veces mayor. El resto de valores muestran pequeñas diferencias, las cuales pueden ser atribuidas a que la muestra fue preparada en laboratorio, en una planta procesadora, las condiciones de fabricación podrían ser altamente controladas, eliminando estas diferencias.

En el caso de la viscosidad cinemática, esta varía cuando este biocombustible se mezcla con Diésel comercial, en una proporción que logre bajar esta viscosidad.

4. METODOLOGÍA

Pruebas generales

Para evaluar el comportamiento de un motor Diésel con porcentajes de biodiésel, se efectuaron ensayos comparativos, utilizando Diésel con porcentajes de aceite del higüerillo, en proporciones de 10, 20 y 30%. Los ensayos efectuados fueron los siguientes:

1. Potencia Vrs. RPM.
2. Par motor Vrs. RPM.

Los ensayos de operación utilizando el biodiésel como combustible se dividieron en cinco partes:

1. Diésel comercial puro
2. Mezcla Diésel con 10% de biodiésel
3. Mezcla Diésel con 20% de biodiésel
4. Mezcla de Diésel con 30% de biodiésel

Equipo y materiales

El motor

Para los ensayos de operación se utilizó un motor estacionario Diésel cuyas características se detallan a continuación:

Marca:	Dubón
Tipo:	Deutz
Potencia:	7 H.P.
Revoluciones de servicio:	1800

Sistema de encendido: compresión
Arranque: manual

Los combustibles

El Diésel: Se utilizó Diésel comercial, el cual se compró en una gasolinera del sistema, adquiriendo de una vez la totalidad de lo que se utilizó en toda la prueba.

El biodiésel: Se utilizó el biodiésel de higüerillo que fuera proporcionado por la Dirección General de Energía.

Equipo de medición

Consumo de combustible: Bureta graduada, tipo jeringa en ml.

Velocidad del motor: tacómetro análogo con rango de medida de 0 a 4,000 RPM.

Al equipo se le construyó una estructura de madera de fabricación casera para poder instalar el freno de prony y sostener el motor, lo que permitiría medir torque y potencia, como se muestra en las fotografías 1 y 2.

Estos ensayos se llevaron a cabo en la Facultad de Ingeniería en la escuela de Ing. Mecánica, en el laboratorio de motores de combustión interna. El objetivo era enseñarles a los estudiantes de dicha escuela, la utilización del biodiésel.

Como primer paso del procedimiento, se midió en una bureta el combustible que se iba a introducir al motor, se trabajó con un galón en cada medida, separando el porcentaje de biodiésel.

Como segundo paso, el motor se pone en marcha y el freno de prony se dejaba suelto para que el motor no tuviera ninguna resistencia, cuando el motor estaba en marcha se frenaba lentamente el motor apretando la tuerca del freno, esto hacía que al final de la palanca se marcaran las libras de presión que ejercía el freno al motor y se leía la lectura en una pesa de tipo resorte, al mismo tiempo se leían las revoluciones del motor con el tacómetro análogo y se anotaban los resultados.

Como parte final se extraía el combustible usado para cada medición del motor y se volvía a medir en la bureta para saber el consumo del mismo.

Figura 20. Instalación del freno de prony



Figura 21. Instalación del freno de prony



Ecuaciones utilizadas

Para cada una de las pruebas se utilizaron las siguientes fórmulas:

- Par motor o torque = F (en libras) * d (en pies)
- F = lectura de la báscula
- d = longitud del brazo de la palanca del freno de prony
- Potencia (H.P.) = (par motor o torque (en lb. pie) * R.P.M / 5252

5. RESULTADOS

Las cargas utilizadas para efectuar los ensayos Potencia vrs. RPM fueron proporcionadas por el freno de Prony.

Prueba de operación con Diésel comercial

Cuando se operó el motor con combustible Diésel comercial puro, se pudieron establecer los resultados que se muestran en el figura 22, donde se observa las revoluciones por minuto que se ejercían a determinada fuerza ejercida por el freno.

Figura 22. Lecturas del tacómetro y báscula utilizando Diésel comercial

LECTURA EN LIBRAS	RPM	RADIO(d)	TORQUE (Fxd)	POTENCIA
4	900	3	12	2.05635948
6	800	3	18	2.74181264
8	800	3	24	3.65575019
10	750	3	30	4.28408225
12	700	3	36	4.79817212
13	0	3	39	0

Estos resultados son el comparador de las pruebas utilizando mezclas de Diésel y biodiésel.

De manera gráfica se presentan los resultados de la tabla anterior, con las variables RPM, torque y potencia.

Figura 23. Gráfica fuerza vrs. r.p.m. utilizando combustible Diésel

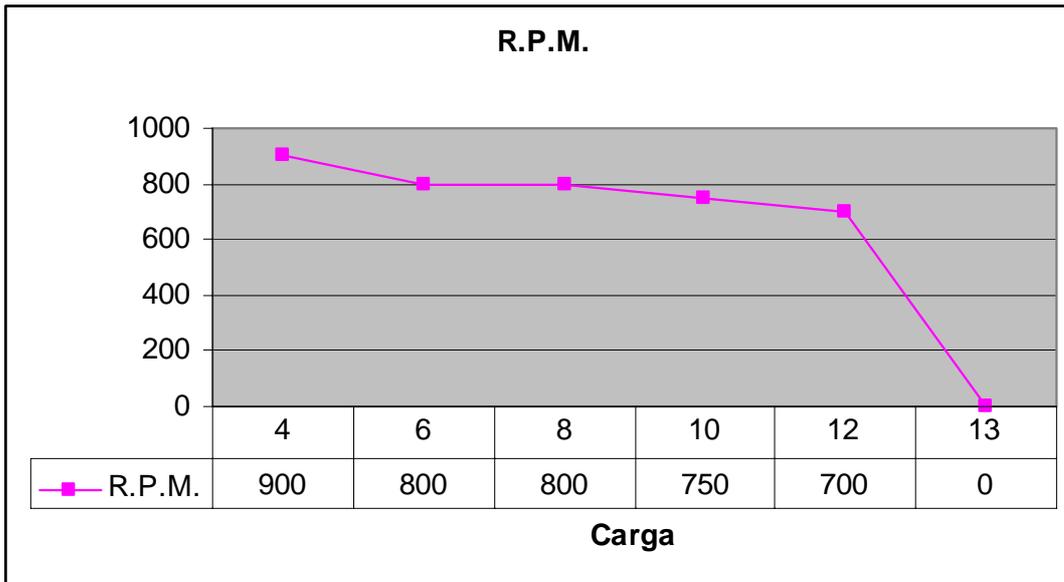


Figura 24. Gráfica torque vrs. r.p.m. utilizando combustible Diésel

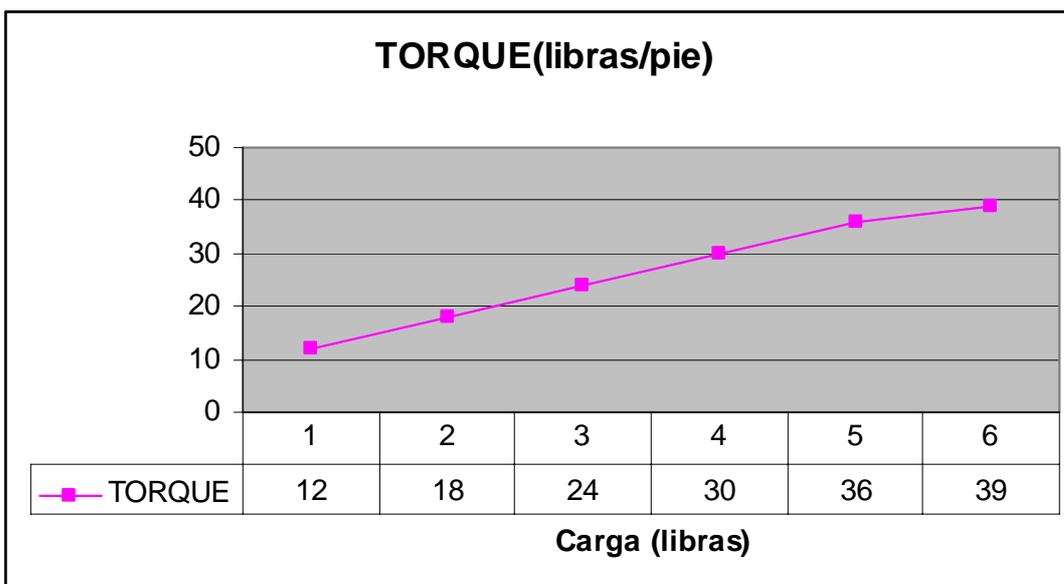
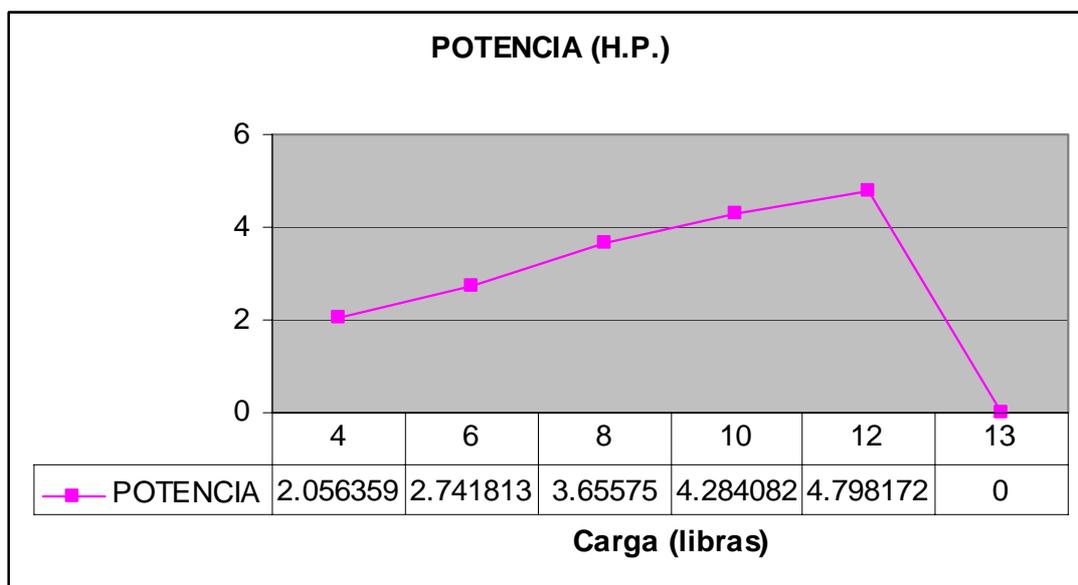


Figura 25. Gráfica potencia vrs. r.p.m. utilizando combustible Diésel



Pruebas de operación con mezclas de Diésel - biodiésel

Cuando se operó el motor con mezcla de combustible biodiésel, se pudieron establecer los resultados que se muestran en los cuadros siguientes, donde se observa las revoluciones por minuto que se ejercían a determinada fuerza ejercida por el freno.

De manera gráfica se presentan los resultados de las tablas, con las variables RPM, torque y potencia.

Figura 26. R.p.m, par motor o torque y potencia utilizando 10% de biodiésel

LECTURA EN LIBRAS	RPM	RADIO	TORQUE	POTENCIA
4	800	3	12	1.8278751
6	800	3	18	2.74181264
8	700	3	24	3.19878142
10	650	3	30	3.71287129
12	500	3	36	3.4272658
13	0	3	39	0

Figura 27. Gráfica fuerza vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 10%

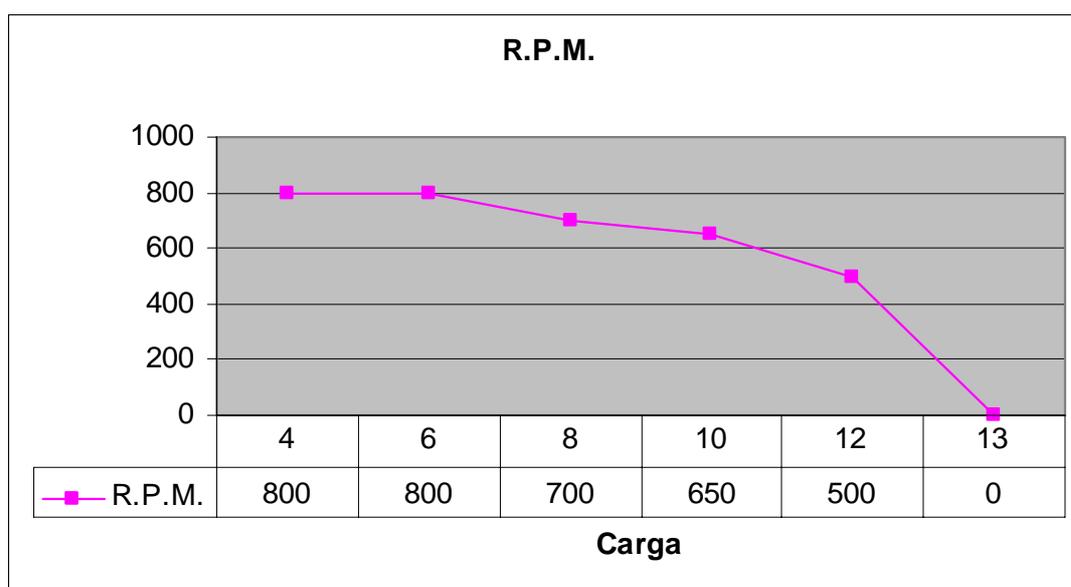


Figura 28. Gráfica torque vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 10%

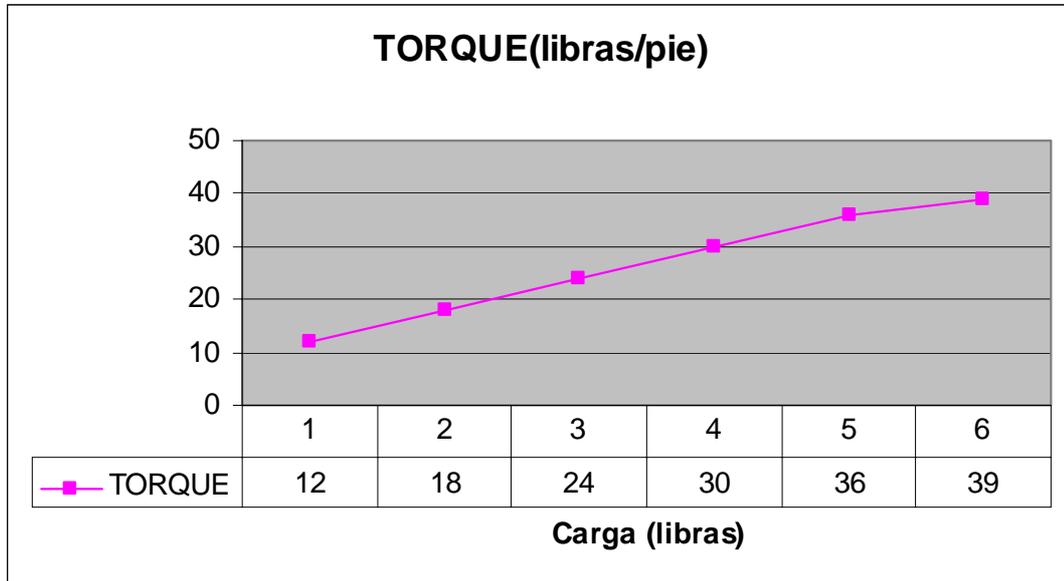


Figura 29. Gráfica potencia vrs. r.p.m utiliz6ando biodiésel al 10%

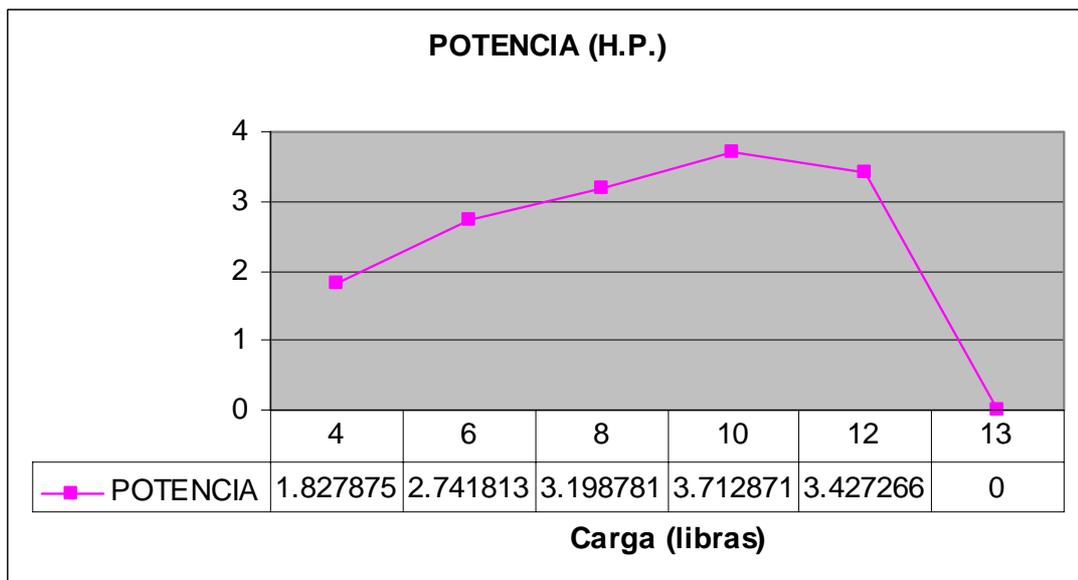


Figura 30. R.p.m, par motor o torque y potencia utilizando 20% biodiésel

LECTURA EN LIBRAS	RPM	RADIO	TORQUE	POTENCIA
4	800	3	12	1.8278751
6	800	3	18	2.74181264
8	700	3	24	3.19878142
10	0	3	30	0

Figura 31. Gráfica fuerza vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 20%

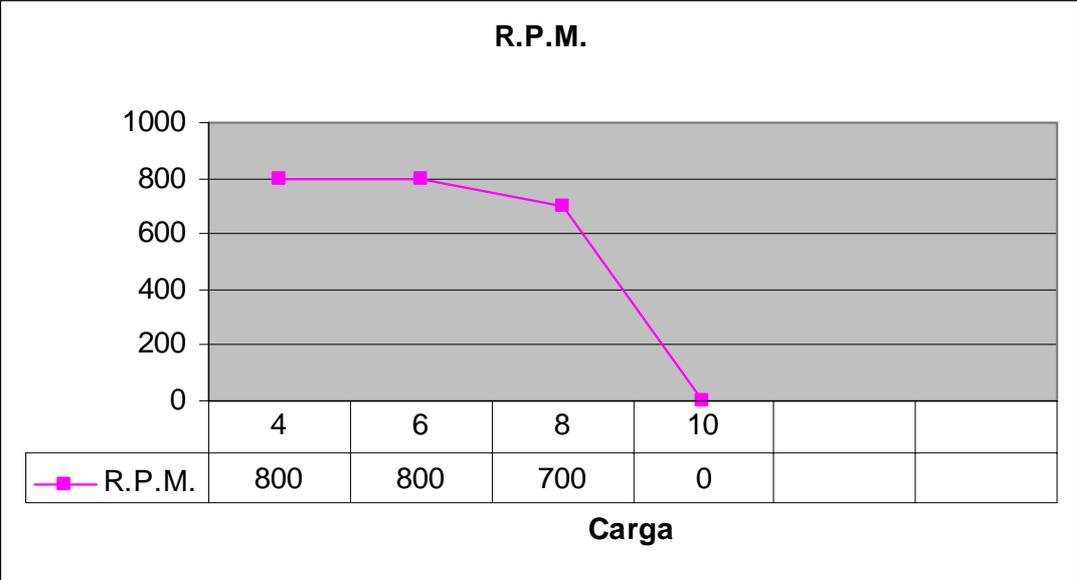


Figura 32. Gráfica torque vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 20%

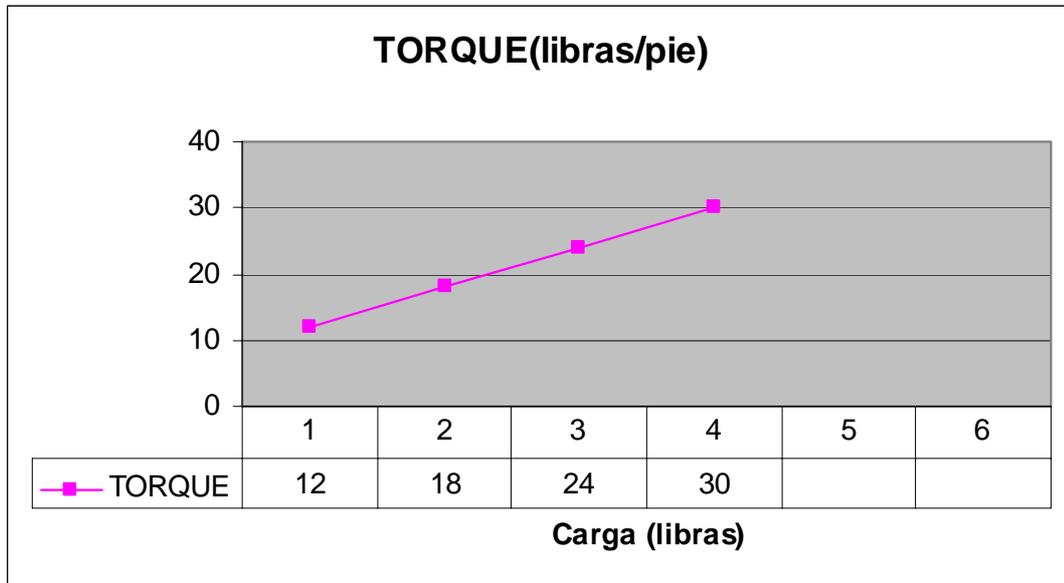


Figura 33. Potencia vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 20%

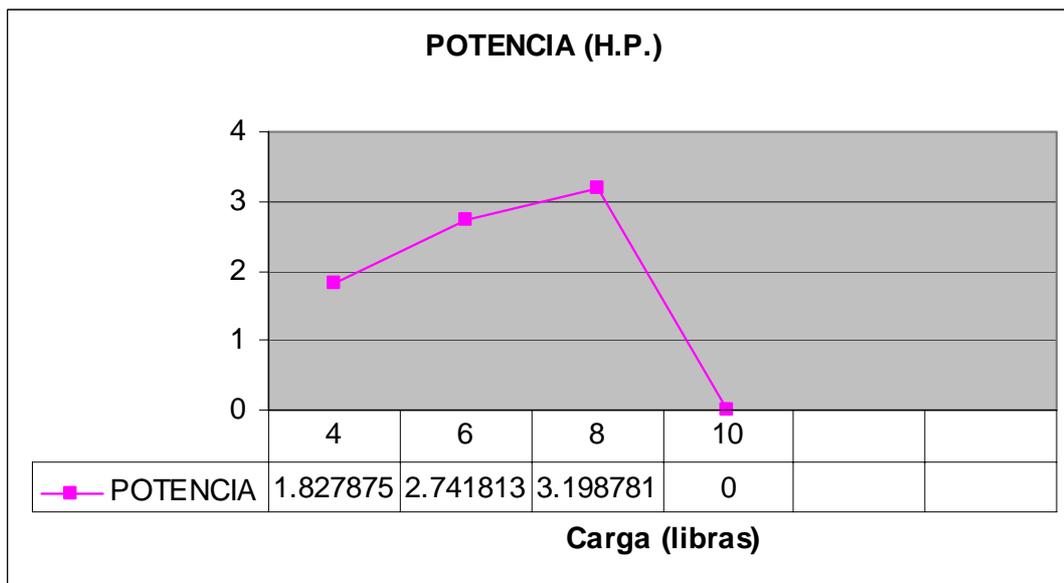


Figura 34. R.p.m, par motor o torque y potencia utilizando 30% biodiésel

LECTURA EN LIBRAS	RPM	RADIO	TORQUE	POTENCIA
4	950	3	12	2.17060168
6	910	3	18	3.11881188
8	850	3	24	3.88423458
10	0	3	30	0

Figura 35. Gráfica fuerza vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 30%

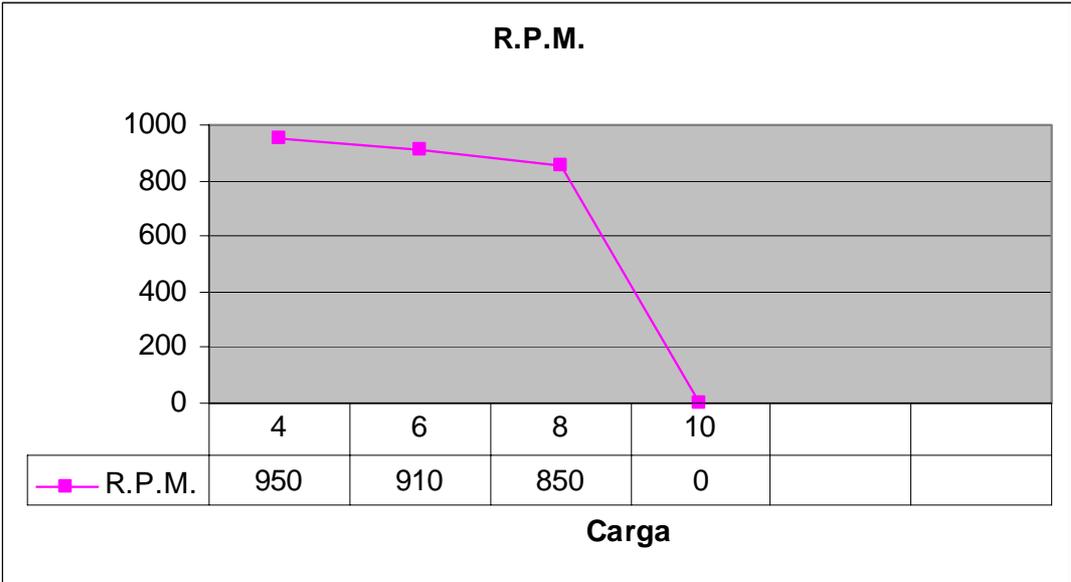


Figura 36. Gráfica torque vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 30%

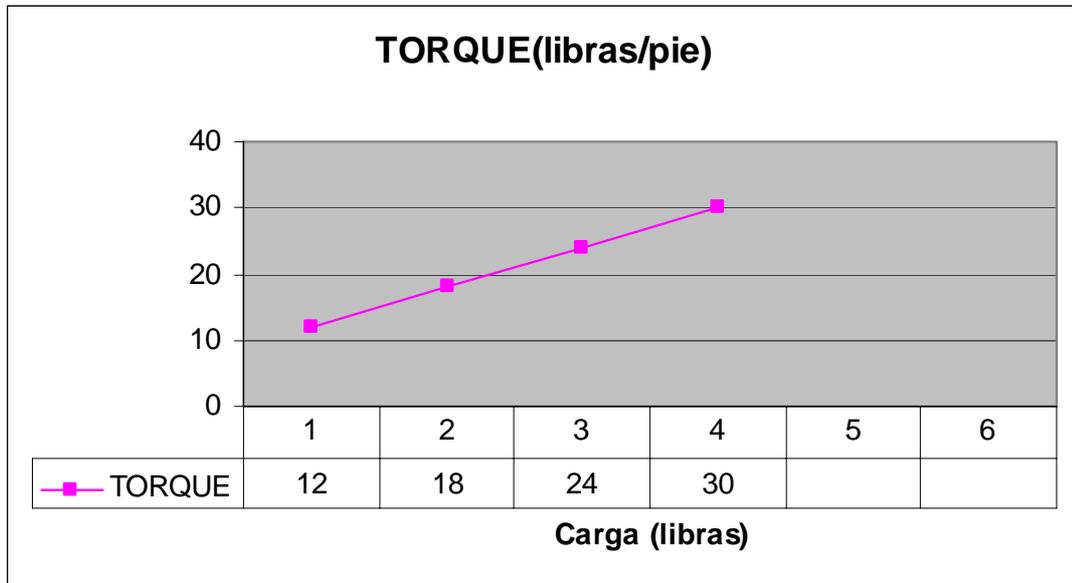
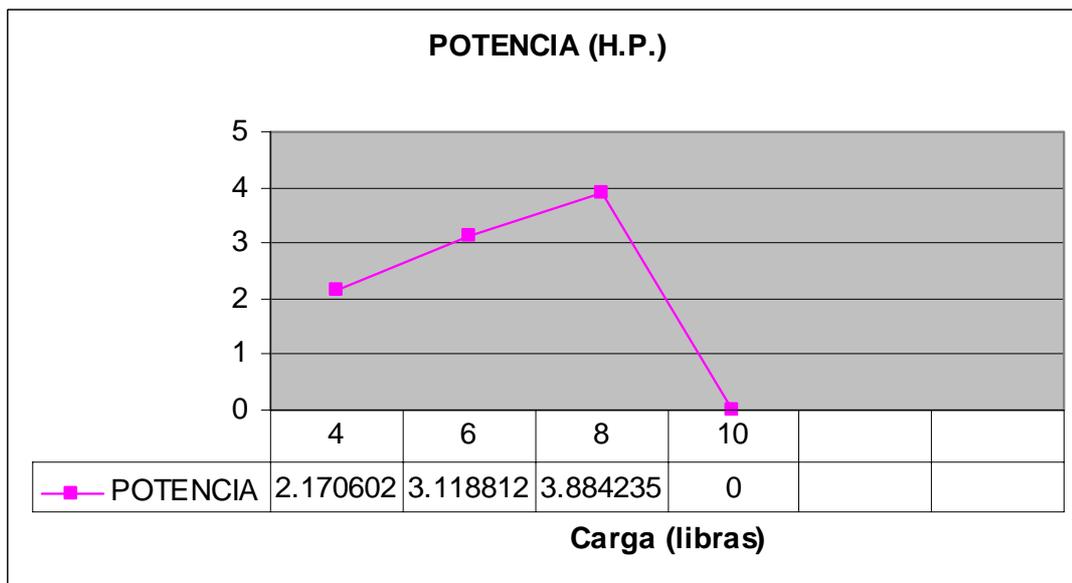


Figura 37. Gráfica potencia vrs. r.p.m utilizando biodiésel al 30%



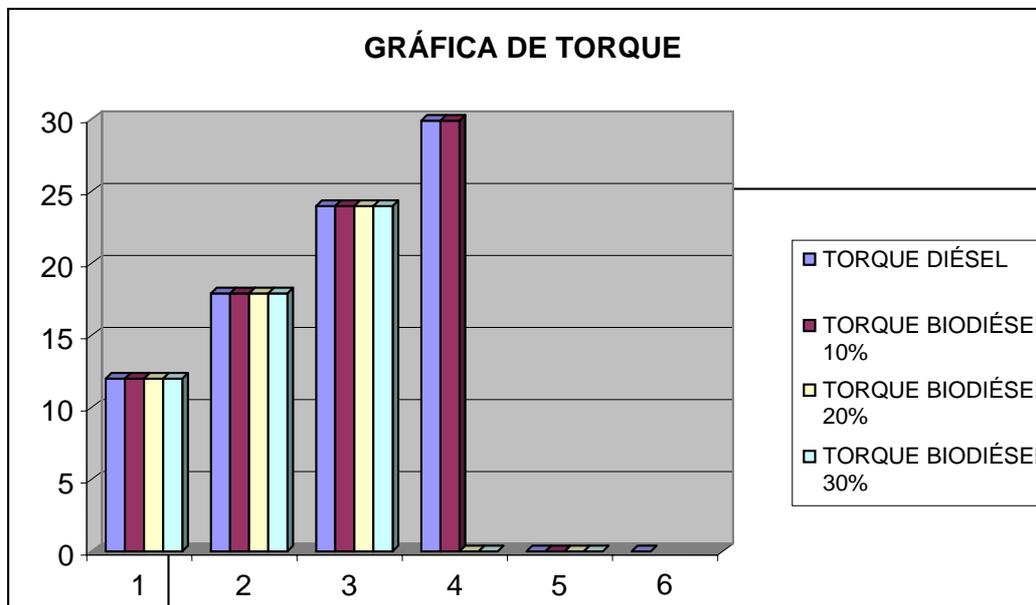
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El torque

Como se puede observar en la figura 38, el par motor no varió en las mediciones con cada uno de los porcentajes experimentados, en relación a la prueba testigo, es decir el Diésel puro.

El par motor más alto que se alcanzó en las mezclas con porcentajes de biodiésel, fue con el 10%; con un torque de 30 lb/pie, igual que el aceite combustible mineral.

Figura 38. Comparación de torque

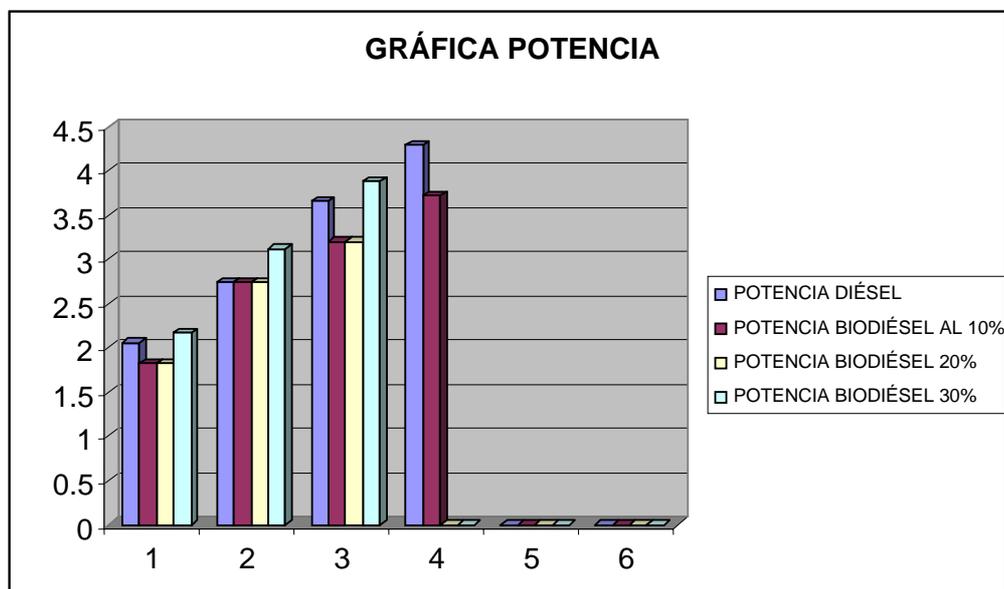


El máximo torque alcanzado para los porcentajes de 20% y 30% de mezcla, fue de 24 lb/pie.

La potencia

Como se puede apreciar en la figura 39, el Diésel tiene una potencia máxima de 4.3 caballos, a la vez se puede observar que la potencia máxima del biodiésel al 10% fue de 3.7 caballos, la potencia con biodiésel al 20% fue de 3.1 caballos y la potencia con biodiésel al 30% de 3.8 caballos.

Figura 39. Comparación de potencia



El consumo del combustible

En todas las pruebas de operación realizadas, se midió el combustible sobrante al finalizarlas, y en todos los casos el residuo fue el mismo, lo que implica que en cuanto al uso del Diésel o las mezclas, el consumo fue similar.

CONCLUSIONES

1. El motor Diésel no necesitaría de ninguna modificación para utilizar una mezcla de biodiésel, ya que en las diferentes proporciones utilizadas, fue posible su funcionamiento.
2. El consumo de combustible del motor Diésel, no tiene ninguna variación si se usa Diésel puro o mezclado.
3. El torque y la potencia no se ven afectados por el uso de biodiésel, ya que las lecturas tomadas en las pruebas demostraron que se mantenían en los parámetros del Diésel comercial.
4. El par motor más alto se alcanzó en la mezcla con porcentaje de biodiésel, 10%; con un torque de 30 lb/pie, igual que el aceite combustible mineral. Esta mezcla parece ser la más promisoría para utilizar el biodiésel en mezcla con Diésel comercial en motores Diésel.
5. El biodiésel utilizado tiene más viscosidad que el Diésel comercial, esto se puede deber a que se obtuvo de un aceite artesanal, sin control de calidad alguno.
6. El aceite de higüerillo fabricado de manera artesanal, puede ser una buena fuente para la producción de biodiésel de manera comercial, necesiándose únicamente un control de calidad del mismo.
7. Las pruebas realizadas podrían mejorar las perspectivas del biodiésel, de obtenerse un aceite de mejor calidad, y un biodiésel procesado a nivel industrial.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a todos los entes que se dedican a investigar combustibles alternativos, desarrollar estudios en la búsqueda de otros aceites vegetales que puedan convertirse en biodiésel, a un costo competitivo con el Diésel comercial.
2. Promover el establecimiento de una planta piloto de procesamiento de biodiésel a partir de diferentes aceites vegetales de producción nacional, a fin de continuar investigando la adaptabilidad a motores Diésel, como fue el propósito de la presente tesis.
3. Realizar las estimaciones pertinentes para determinar el impacto ambiental del uso del biodiésel y su impacto económico, tanto a nivel de reducción de la factura petrolera, como en lo relativo a la generación de empleo local, y especialmente rural.
4. Incentivar a empresas en el uso de biodiésel, por lo menos, en motores estacionarios para industrializar combustibles alternativos, ya que no se necesita de ninguna modificación en los motores de combustión interna Diésel y por lo tanto, no tiene ningún costo de implementación.
5. Incentivar así mismo la producción de biodiésel nacional, a través de un marco regulador que contemple a las energías alternativas, distintas a las que producen electricidad, que es hacia donde se han enfocado estas herramientas legales.
6. Que la escuela de Mecánica, continúe apoyando los estudios de tesis en la temática de las energías alternativas, ya que esto contribuirá al aumento de la oferta de energía producida localmente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Biocombustibles. <http://www.econosur.com/notas/biodiésel2.htm> consultado el 5 de diciembre de 2002.
2. Dirección General de Energía. **Análisis de laboratorio de biodiésel MEM**, 2003.
3. Francisco Klaper, **¿Que es y como se interpretan el torque y la potencia de un motor?** <http://www.automotriz.net/tecnica/torque.html>, consultado el 10 de agosto de 2003.
4. Hernández Chan, Rubén. Biogás como combustible en un motor estacionario de combustión interna ciclo Otto, Tesis de Grado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica, Guatemala, 1994.
5. J. Pourbaix. **Motores Diésel**. Alfa Omega grupo editor, S.A. 1996, México Distrito Federal.
6. Los combustibles de biomasa y el futuro. <http://www.fao.org/sd/Spdirect/EGre004.htm>, consultado 5 de diciembre de 2002.
7. Millares de Imperial, Juan. **El Motor Diésel**. Ediciones Ceac, Barcelona España, 2ª. Ed. julio 1990.
8. Quemé Pac, Sergio. Centro de Promoción de las Energías Renovables, comunicación personal. junio 2003.
9. Ricino, herbotecnia. <http://herbotecnia.com.ar/exo-ricino.html> consultado el 9 de diciembre de 2002.
10. Solution Partners, Consultoría Integral, Profesionales con Know How en el Desarrollo de Biodiésel. <http://www.biodiésel.com.ar/home.htm>. consultado el 4 de diciembre de 2002.