

Carburantes de algunos vegetales del Pacífico colombiano

Gerardo Cabrera C

Grupo de Investigación: Desarrollo y Difusión de Tecnologías Alternativas y
Biología Integrativa
Universidad del Valle

Octubre 2006

Colombia es un país muy rico lleno de gente muy pobre y cada día más y más pobres

Agradecimientos:

El autor agradece a las comunidades del Chocó biogeográfico, dueños de ésta inmensa riqueza, por su ayuda invaluable, a la Universidad del Valle, a la Universidad autónoma, a Angela Ma. Cerón y German A. Charry, al personal de laboratorio "Combustión - Combustibles" de la Universidad del Valle particularmente a Francisco y Fabian.

Capítulo 1

Introducción

Debido al inminente agotamiento del petróleo se hace necesario encontrar combustibles alternativos que puedan ser usados en los motores existentes sin modificaciones sustanciales. Los carburantes derivados de aceites vegetales (bioaceites), denominados biodiesels son una buena alternativa para los motores que hacen el encendido por compresión (MCIEC).

En éste libro hay resultados de una investigación que como objetivo buscaba encontrar especies en la zona pacifica colombiana útiles en la obtención de carburantes. Los resultados de la misma muestran que en el Pacifico colombiano hay por lo menos 15 especies que pueden ser materia prima para la fabricación de carburantes de motores de combustión interna. Dar a conocer que en el Pacifico colombiano hay sustitutos a los carburantes de los motores de combustión interna de encendido por compresión, amerita y justifica la publicación de éstos resultados.

Una tarea fué identificar especies vegetales naturales de la zona biogeográfica del Chocó - Pacífico colombiano , ricas en aceite con potencial energético y evaluar las más promisorias como carburantes.

Para cumplir el objetivo: se seleccionó una región representativa (se escogió la zona de Pianguita aprovechando los resultados de las investigaciones previas del grupo de investigación de biología de la Universidad del Valle "Desarrollo y Difusión de Tecnologías Alternativas y Biología Integrativa" en esa zona Valle- Chocó y por la excelente colaboración de la gente de la región) se extrajo el aceite a plantas seleccionadas, después se caracterizaron y seleccionaron las identificadas como más promisorios, se hizo una evaluación en un dinamómetro y exploró su comportamiento en condiciones reales.

En la región seleccionada se investigó buscando especies vegetales con constituyentes oleaginosos y de acuerdo con el procedimiento que sigue:

Se seleccionaron plantas oleaginosas de la región.

Se extrajo su aceite.

Se caracterizó el aceite extraído para las propiedades de interes en carburantes para

motores con procedimientos ASTM.

Se estudió sus posibilidades de uso directo como carburantes EC.

Se transesterificaron algunos y se obtuvo biodiesel por transesterificación para valorarlos como materia prima para producir biodiesel.

Se estudió el posible comportamiento del biodiesel en el motor.

Se encontró que al menos hay 15 especies vegetales son potencialmente útiles en la producción de carburantes EC lo que induce a una posterior evaluación del potencial de producción de la región.

En otras investigaciones se debe evaluar mas detalladamente: su comportamiento en aplicación directa en motores, los métodos de fabricación del biodiesel usando los bioaceites derivados de las especies identificadas, el diseño técnico-económico-ambiental de plantas para su fabricación e diseñar términos de explotación que redunden en beneficio para los habitantes autoctonos de la región en un marco de respeto por el medio ambiente.

Originalmente los motores de combustión interna de encendido por compresión o motores Diesel usaron aceites vegetales como combustible. Rudolf Diesel los usó en su motor[1]. El combustible más comunmente usado actualmente es el "Aceite Combustible Para Motor" o ACPM pero diversos estudios han demostrado que hay aceites de origen vegetal (biodiesel) buenos sustitutos del ACPM con la ventaja adicional que es un recurso que puede ser renovable y sostenible.[2]

Con la aparición del homo sapiens el consumo de energía por persona se ha venido incrementando continuamente. Desde el comienzo con el uso del fuego, ha provisto seguridad y comodidad para la especie humana. El invento de las máquinas ha mejorado el nivel de vida, facilitado el trabajo y puesto a disposición mas cantidad y diversidad de productos algunos vitales. También disparó el consumo de energía y la explotación de las fuentes de extracción de la misma para tener disponible grandes cantidades de ella para transformarlas en electricidad y trabajo mecánico .

La disponibilidad de grandes cantidades energía en forma de trabajo mecánico y de electricidad (Exergía) ha posicionado actualmente a la raza humana en estrados inimaginables unos pocos siglos antes, pero también ha sometido al medio ambiente a un sobre esfuerzo antinatural y a inmensas descargas de polución, originados por la extracción de los recursos, la transformación de la Energía y utilización de la energía transformada .

Estas superdemandas de recursos energéticos se han suplido mayoritariamente de las fuentes fósiles (petróleo, carbón mineral, gas natural) recursos no renovables cuyo agotamiento se vislumbra como cercano. Las reservas (cantidad de crudo existente en el subsuelo, demostrado y técnicamente extraíble) lo consumen sobre todo las regiones sin producción. Estados Unidos y Europa occidental consumen alrededor la mitad

del petróleo mundial. Los países del Golfo Pérsico (región con el 26 % de producción mundial) sólo consumen el 4,5 % mundial y en el futuro la mayor parte de las nuevas reservas se están descubriendo en los países menos consumidores. Estados Unidos tiene reservas para unos 10 años y Europa para unos 13, mientras que los países del Golfo acumulan el 57 % de las reservas conocidas.[3]

Finalmente la figura 1.1 siguiente muestra que las reservas de petróleo en Colombia en el 2006. dramáticamente.[4]

Principales Descubrimientos Petrolíferos

Nombre	Año de Descubrimiento	Reservas Millones de Barriles
La Cira-Infantas	1918	800
Tibú	1940	270
Casabe	1941	300
Velásquez-Palagua	1946	300
Yariguí	1954	200
Provincia-Payoa	1960	300
Río Zulia	1962	140
Orito	1963	240
Castilla	1969	320
Chuchupa	1972	7 Terapias cúbicos de gas
Apiay-Suria	1981	215
Caño Limón	1983	1250
San Francisco	1985	150
Cusiana	1989	750
Cupiagua	1993	510
Guando	2000	130
Gibraltar	2003	630 Gigapias cúbicos de gas 15 Millones de barriles

© 2005 ECOPETROL S.A. Derechos Reservados.
Bogotá D.C. Edificio Principal Cr 13 No. 36 - 24
Conmutador 2344000 - Fax 2344099
Powered by: **Axesnet S.A.**

Figura 1.1: Reservas de petróleo en Colombia (Página tomada de consulta electrónica en Septiembre 2007 [5])

Buscar nuevas fuentes de energía, utilizarlas más eficientemente, con tecnologías más bondadosas con el medio ambiente, son tareas inminentes cuya solución es inaplazable si se quiere mantener al menos los estándares de vida mínimos de la sociedad moderna.

Capítulo 2

Los motores de combustión interna

La especie humana debe ser el mejor benefactor de la naturaleza en lugar de ser su principal depredador. Es imperiosa la necesidad de contar con fuentes de energía pero también cuidar la naturaleza contra el efecto de las descargas derivadas de su explotación. El uso de la naturaleza deberá ser sostenible lo que significa que no debe producir impactos negativos en especial sobre los sistemas que sostienen la vida

Desde que el hombre lo es, ha buscado incesantemente su bienestar, transformar la naturaleza y ponerla a su servicio. En ésta ruta ha usado los recursos naturales y con primordial ansia a la Energía. Se cree difundidamente que la primer fuente de energía que manejó para su comodidad fué el fuego, usado sólo para calentarse y cocer sus comidas. Después inventó las máquinas.

Las máquinas consumen más energía y producen mas cantidad de mercancías y bienes de consumo que aseguran comodidad y bienestar a los humanos. Con los avances de la técnica desarrollaron más y mejores máquinas, aumentando las comodidades y exigiendo cada vez más a la naturaleza produciendo las descargas, llegando a ver superada su capacidad de reciclarlas.

Las máquinas son movidas por motores. Éstos a partir de una fuente de energía (como el viento, el agua, los combustibles etc.) producen trabajo para empujar los diversos mecanismos. Un tipo de motores son los de combustión interna, cuya fuente de energía es el calor desprendido en la combustión de un combustible y cuya importancia en la sociedad moderna es indiscutible.

El invento de la máquina de vapor de Watts fundamentó la aparición de los motores de combustión interna, MCI, e inició la Revolución Industrial y proveyó más energía per capita.

Los motores de combustión utilizan el calor proveniente de la combustión de un combustible químico denominado *carburante* para producir trabajo de rotación.

El sitio donde el calor es liberado desde el combustible y absorbido por agente de transformación se llama *cámara de combustión*. Dependiendo dónde está situada, fuera o dentro del motor, los motores serán denominados de *combustión externa MCE* o de *combustión interna MCI*.

La combustión en la cámara de combustión puede realizarse: en un proceso a volumen constante o explosión en los motores de encendido por chispa (MCI ECH) o en un proceso a presión constante en los motores de encendido por compresión (MCI EC).

Todos los MCI tienen los siguientes sistemas:[6]

Sistema de conversión de potencia donde el calor liberado en la combustión pasa al aire admitido al motor para que se expanda e impulse un mecanismo cilindro pistón acoplado a un cigueñal, haciendo trabajo. El cigueñal es un eje acoplado al exterior ya sea para mover un automovil, una planta de generación de energía eléctrica etc. desarrolla ciclos o procesos termodinámicos repetidos. El ciclo termodinámico de los motores de encendido por chispa es el *ciclo de Otto* que consta de cuatro procesos, para *admitir* el aire, para *recibir* el calor a volumen constante (explosión), para hacer *trabajo*, y para *expulsar* los gases al final. (figura 2.2). En los MCI EC el aire desarrolla el llamado ciclo de Diesel donde el combustible arde a presión constante.

Sistema de combustible que se encarga de surtir adecuadamente al motor con carburante. Un gas combustible fácilmente explota y por ello son los combustibles originales para los motores MCI ECH. Los combustibles apropiados son los gases y líquidos livianos que se evaporan fácilmente como la gasolina y algunos alcoholes. En los motores tradicionales el combustible es la gasolina la que ingresa mezclada con el aire. En los motores modernos ingresa aire solo y en el momento exacto entra la gasolina inyectada, de forma semejante como se hace en los motores EC, para que la chispa la haga explotar.[7]

En los MCI EC los combustibles son aceites que arden a presión constante dentro del cilindro del motor.

Sistema de encendido Para que el carburante libere su energía hay que encenderlo y esto puede hacerse de dos maneras: por chispa (motores MCI ECH) desde una bujía que en el momento preciso la hace saltar entre sus electrodos o por compresión (motores MCI EC) por la intensa temperatura de la compresión del aire encerrado hasta un nivel suficiente para encender el combustible.

Sistema de gases (aire y humo) El aire, que recibe el calor y hace trabajo, entra comúnmente mezclado con el combustible en los MCI ECH y sólo en los MCI EC

Sistema de lubricación asegura que todas las partes metálicas en movimiento relativo cuenten con suficiente aceite lubricante

Sistema de enfriamiento para evacuar en forma de calor la energía que no se convirtió en trabajo.

Sistema de arranque Pone en marcha al motor cuando está parado.

Sistema de mecánico estático (estructural) sostiene las partes móviles del motor.

Sistema de mecánico móvil (valvular) abre y cierra las válvulas que admiten aire y sacan el humo

Sistema de eléctrico surte de corriente eléctrica los sitios en que se necesite para el funcionamiento del motor

Sistema de regulación y control asegura que funcione confiablemente

Sistema de control ambiental mitiga las necesarias descargas a la atmosfera.

Un esquema de los sistemas de transformación de potencia de MCIE CH y su ciclo[8] aparecen en la figura 2.1 y 2.2.

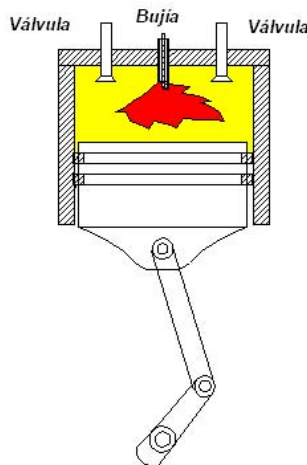


Figura 2.1: Motor ECH

El aire recibe el calor en los MCI y hace ciclos. Se conocen dos tipos de ciclos usados principalmente en los MCI. el ciclo de Otto para los de encendido por chispa, MCI ECH y el ciclo de Diesel para los de encendido por compresión, MCI EC. Un ciclo completo puede realizarse haciendo cuatro recorridos desde arriba hasta abajo del pistón o en dos. Los motores serán así de cuatro o de dos tiempos se tendrán por lo tanto MCI-ECH 4T y MCI-ECH 2T; MCI-EC 4T y MCI-EC 2T.

Los combustibles usados en los MCI se denominan comunmente carburantes que son principalmente derivados del petróleo (petrocarburantes o petrocombustibles) conocidos como: gasolina, aceite diesel, acpm etc.

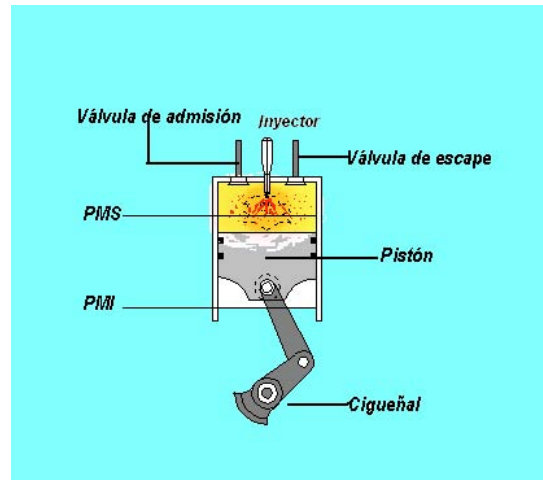


Figura 2.2: Motor EC 4T

Los combustibles para MCIECH y MCIEC tienen características diferentes. Para los primeros debe explotar y para los segundos arder lo que teóricamente significa que el fenómeno de la combustión es en los primeros a volumen constante y a presión constante en los segundos.

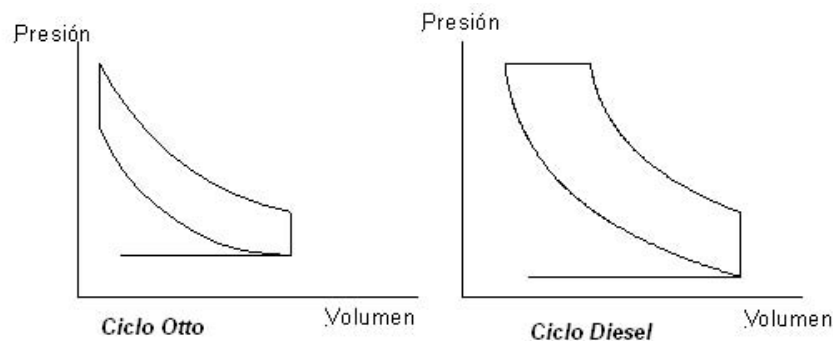


Figura 2.3: Ciclos de Otto y Diesel

En términos prácticos el carburante para los MCIECH son gases o líquidos fácilmente evaporables que arden muy rápidamente (explotan) y para los MCIEC aceites combustibles de combustión mas retardada pero igualmente fácil.

En Los MCIECH el combustible que arde a volumen constante tiene moléculas normalmente de bajo peso molecular que se mezclan fácilmente en íntimo contacto con el oxígeno del aire, para reaccionar violentamente iniciados por una chispa eléctrica. Combustibles de éste tipo (carburantes ECH) son las gasolinas, alcoholes, gases combustible.

En Los MCIEC el combustible arde a presión constante cuando aire previamente

entrado al motor, se ha comprimido suficientemente en la cámara de combustión hasta alcanzar una temperatura que supera a la que se enciende el combustible. Cuando el combustible es inyectado entonces se enciende y arde. Combustibles de éste tipo (carburantes EC) son aceites como el ACPM, fuel oil, y aceites vegetales. *Diesel*.

2.1. Importancia de los motores

En el uso de los motores de combustión interna ha descansado, y se prevee que así continuará por algún tiempo, la economía mundial. Han suministrado la exergía para la fabricación y transporte de mercancías, humanos y animales, movido máquinas y provisto de energía eléctrica.[9] y el combustible usado para impulsarlos mayoritariamente proviene del petróleo.

Desde mediados del siglo XIX, el petróleo es la fuente de energía más importante del mundo. Prácticamente todas las actividades económicas, en todo el mundo, se sustentan en el petróleo como fuente energética, representando alrededor del 40 % de las necesidades energéticas mundiales[10].

Colombia depende totalmente del uso de motores de combustión para el transporte de bienes y personas principalmente por carreteras ya que las vías férreas son prácticamente inexistentes.

Capítulo 3

Los motores MCI EC

La dependencia de la industria, y de la sociedad en general, de los motores de combustión interna que usan combustible diesel es muy grande. Según el ministerio de minas y energía, en Colombia el consumo de diesel en el 2002 alcanzó los 21779×10^3 barriles (gráfica 3.1).[11]

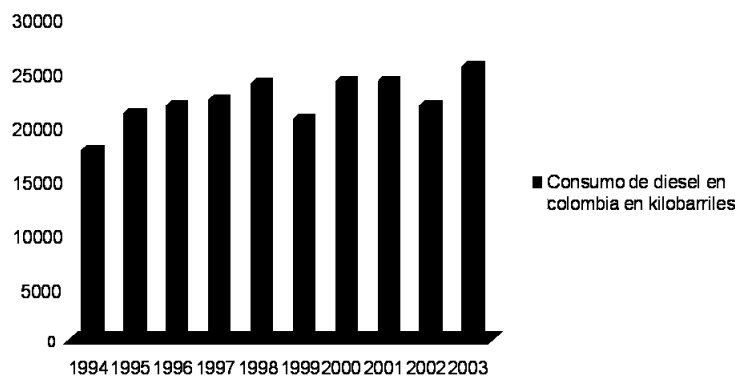


Figura 3.1: Comportamiento del uso del diesel en Colombia Estadísticas 2003 Ministerio de Minas y Energía 2003

Cómo se distribuye el consumo del combustible diesel en Colombia se puede ver en la figura 3.2 [4]

3.1. Definiciones y dimensiones características

El motor de combustión interna más simple es el *monocilíndrico* constituido por solo un mecanismo cilindro y pistón, biela y manivela y eje. Uno más complejo, *multicilíndrico*, se visualiza como varios de éstos elementos simples.[6]

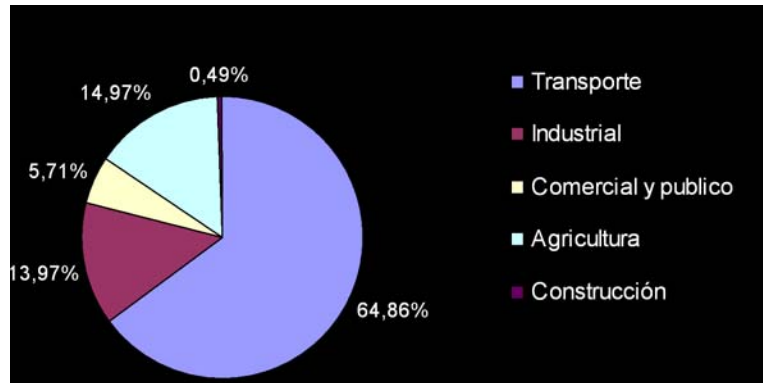


Figura 3.2: Uso del combustible diesel en Colombia [4]

3.1.1. Punto muerto

El pistón dentro del cilindro se mueve dentro de dos posiciones extremas el superior (PMS) e inferior (PMI). Una que corresponde al mínimo volumen interior y otra al máximo. La primera posición se denomina punto muerto superior PMS y la segunda punto muerto inferior, PMI.

3.1.2. Diámetro del motor

El diámetro interior del cilindro, D , es igual al diámetro del pistón para asegurar así su estanqueidad mutua entre las paredes y la cara del pistón. En la práctica esto se consigue mediante unos anillos de ajuste. La dimensión característica de un motor, el diámetro D , se refiere al diámetro del cilindro. También se le llama calibre.

3.1.3. Carrera

El pistón se mueve entre el PMS y PMI la longitud de éste recorrido se llama carrera S . tanto el diámetro como la carrera se miden en pulgadas o en milímetros. Una designación por ejemplo: $2\frac{1}{2} \times 4\frac{1}{4}$ significan $2\frac{1}{2}$ de diámetro y $4\frac{1}{4}$ de carrera en pulgadas. (Primero el diámetro y después la carrera)

Carreras cortas significa menor desgaste del motor al mismo tiempo reduce la velocidad lineal del pistón. La tendencia actual es reducir la carrera del pistón. Si la carrera es corta el diámetro es mayor lo que da más espacio en la culata para las válvulas.

3.1.4. Volumen desplazado

Cuando el pistón se mueve desde PMS hacia PMI barre un volumen que se llama volumen desplazado V_d .

$$V_d = \frac{\pi}{4} D^2 \times S \quad (3.1)$$

3.1.5. Cilindrada

Si el motor es de varios cilindros (motor multicilíndrico) el volumen desplazado total es el producto del numero de cilindros N por el volumen desplazado por cada uno V_d . Este volumen total es llamado cilindrada V_T .

$$V_T = N \times V_d = N \times \frac{\pi}{4} D^2 \times S \quad (3.2)$$

3.1.6. Volumen de la cámara de combustión

El volumen V_0 en el diagrama P - V corresponde a un volumen muerto. Es el espacio disponible para el inicio de la combustión y se llama cámara de combustión.

3.1.7. Relación de compresión

El valor que da al dividir el volumen máximo V_1 entre el volumen mínimo V_0 (de la figura 3.4) es característico de los motores llamado relación de compresión r .

$$r = \frac{V_1}{V_0} = \frac{V_1}{V_2} \quad (3.3)$$

3.2. Principio de funcionamiento de los MCI EC

El motor propiamente es donde se produce la transformación de la energía térmica, contenida en los gases que absorbieron el calor, en trabajo[6]. Éste tiene acoplados varios sistemas que aseguran el correcto funcionamiento y la trasferencia del trabajo al consumidor exterior. Los que más interesan en el desarrollo del trabajo presentado en éste libro son:

Sistema de conversión de potencia donde el calor liberado en la combustión pasa al aire admitido al motor a presión constante. El aire se expande e impulse a un mecanismo cilindro - pistón acoplado a un cigueñal, haciendo trabajo. Los ciclos o procesos termodinamicos repetidos que realizan los motores de encendido por compresión es el *ciclo de Diesel* que consta de cuatro procesos, para *admitir* el aire, para *recibir* el calor a presión constante , hacer *trabajo* y *expulsión* los gases al final.(figura 3.3).

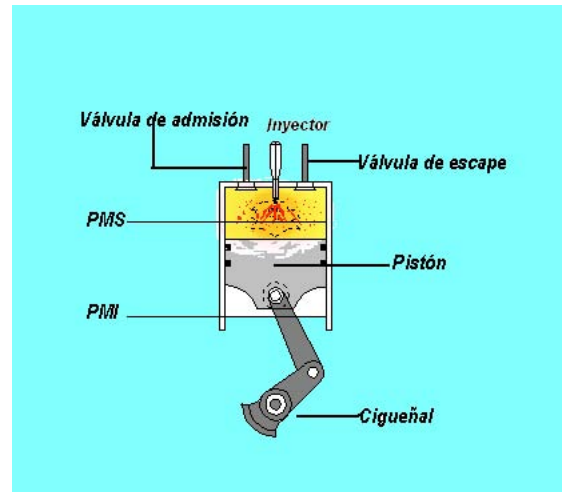


Figura 3.3: Esquema sistema de conversión de potencia del motor de encendido por compresión o Diesel

Sistema de combustible que se encarga de surtir adecuadamente al motor con carburante. En los MCI EC los combustibles son aceites que pueden arder a presión constante llamados "aceites combustibles para motor".

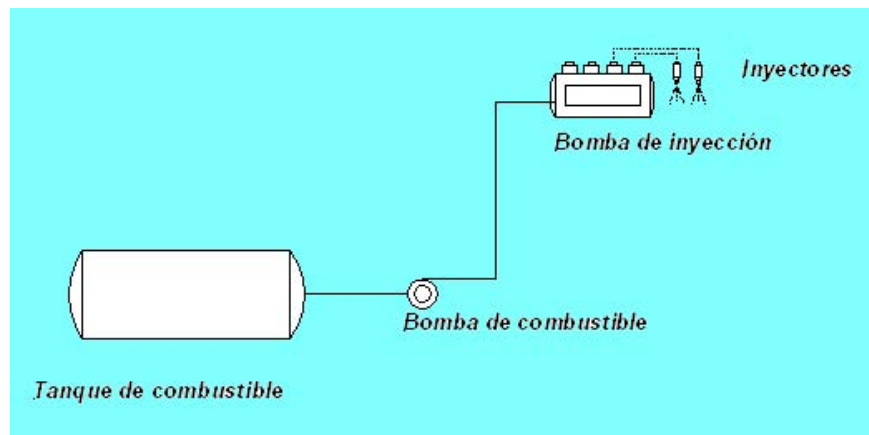


Figura 3.4: Sistema de combustible MCI EC

Sistema de encendido Para que el carburante libere su energía se enciende por compresión (motores MCI EC) por la intensa temperatura de la compresión del aire encerrado que llega a un nivel suficiente para encender el combustible. Posteriormente el calor se va liberando a presión constante.

La temperatura alcanzada al comprimir el aire en la cámara de combustión enciende el combustible que ingresa suministrado por el sistema de combustible a través

de un inyector. Un esquema del sistema de conversión de potencia está en figura 3.3 y del sistema de combustible con sus componentes, en la figura 3.4

El ciclo termodinámico es el denominado de Diesel o de suministro del calor a presión constante como se muestra en el gráfico 3.5.

El ciclo de cuatro tiempos e describe así:

1. *Tiempo o carrera de Admisión* empieza con la válvula de admisión abierta, la de escape cerrada y el piston ubicado en el punto muerto superior, PMS, que es la posición límite de volumen mínimo dentro del motor, y el pistón desplazandose hacia el punto muerto superior. la válvula de admisión abierta permite que al cilindro ingrese aire desde el exterior a presión constante. La carrera termina al llegar al punto muerto inferior o posición límite de volumen máximo.
2. *Tiempo o carrera de compresión.* Al término la carrera anterior la válvula de admisión se cierra, la de escape continúa igual y el piston moviendose en sentido contrario, desde el punto muerto inferior PMI hacia el PMS. En estas condiciones el aire encerrado se va comprimiendo y su temperatura aumenta en un proceso que en termodinámica se le denomina adiabático. La carrera termina al llegar al PMS cuando alcanza la máxima temperatura el aire encerrado.
3. *Tiempo o carrera de combustión - expansión o carrera de potencia.* Al final de la carrera anterior el combustible es inyectado por medio del inyector y, debido a la alta temperatura que encuentra, arde a presión constante, mientras el pistón se va desplazando desde el PMS hacia el PMI. Antes de llegar al extremo el combustible deja de entrar y por lo tanto la combustión cesa. El pistón sigue su desplazamiento en un proceso adiabático hasta terminar la carrera.
4. *Tiempo o carrera de escape.* Con la válvula de escape abierta y el pistón moviendose de nuevo hacia el PMS los gases van saliendo hacia el exterior. Al llegar al PMS termina la carrera y se completa un ciclo.

El ciclo teórico se muestra en la figura 3.5 en el diagrama de presión contra volumen.

La medida del rendimiento energético del ciclo es cuanto trabajo se obtiene por la cantidad de calor que se le suministre:

$$\eta_t = \frac{L_{\text{producido}}}{Q_{\text{suministrado}}} \quad (3.4)$$

En el gráfico 3.4 se puede ver las cantidades de la anterior ecuacion 3.1. $L_{\text{producido}}$ es el trabajo producido en un ciclo y $Q_{\text{suministrado}}$ es el calor añadido.

La energía es usual medirla en *Kjoul*, tanto el trabajo $L_{\text{producido}}$ como el calor $Q_{\text{suministrado}}$ son energías por lo tanto η_t no tiene unidades y entre más alto sea su valor el ciclo será mejor y el motor más económico consumirá menos combustible para

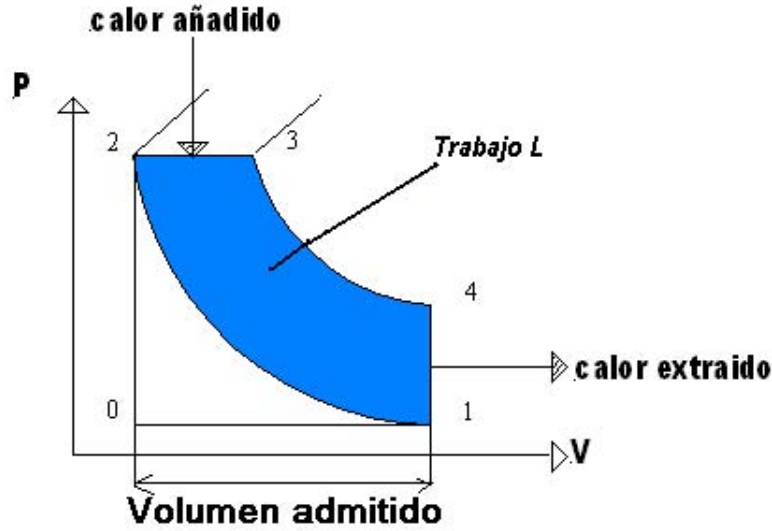


Figura 3.5: Ciclo termodinámico teórico de los motores de encendido por compresión

hacer una misma cantidad de trabajo, tal como arrastrar una carga -resistencia- a lo largo de un tramo determinado.

La división del volumen máximo V_1 entre el volumen mínimo V_2 se llama relación de compresión r . La relación entre el volumen final de la combustión V_3 y el del comienzo de la misma V_2 es la relación de compresión en la combustión a presión constante ρ .

El rendimiento térmico del ciclo η_t y las anteriores relaciones :

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{kr^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{\rho - 1} \quad (3.5)$$

la temperatura al final de la carrera de compresión T_2 es la que encontrará el combustible al entrar para encenderse.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = T_1 \times r^{k-1} \quad (3.6)$$

$$P_2 = P_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^k = P_1 \times r^k \quad (3.7)$$

En las ecuaciones anteriores (ciclos teóricos) k es la relación entre los calores específicos a presión constante c_p y volumen constante c_v y para el aire tiene un valor de 1.4. (En los ciclos reales se usan valores de k comprendidos entre 1.2 y 1.4) La temperatura T_1 es la temperatura del aire al final de la carrera de admisión o temperatura

exterior.

Analizando las expresiones anteriores se puede concluir que el rendimiento aumentará en la medida que la relación r aumente lo que significa que T_2 es mayor y P_2 es más alta. Dicho de otra forma, al aumentar la temperatura de inicio de la combustión, lo que es lo mismo que aumentar la presión de combustión, los motores del ciclo de Diesel serán más económicos.

Los combustibles que se usan en este tipo de motores deben encenderse con T_2 . La temperatura de encendido del combustible T_{enc} deberá ser menor que T_2 , porque de otra manera no arderá. combustibles con alta temperatura de la combustión exigen una relación de compresión r alta lo que redunda en una presión y temperaturas altas y un aumento del rendimiento del ciclo y consecuentemente del motor Diesel[6].

3.3. Comportamiento real

El diagrama del comportamiento P-V del aire dentro del cilindro se mide con un aparato especial que dibuja curvas de presión P en dependencia del volumen instantáneo V . Se llama el *diagrama indicador*.

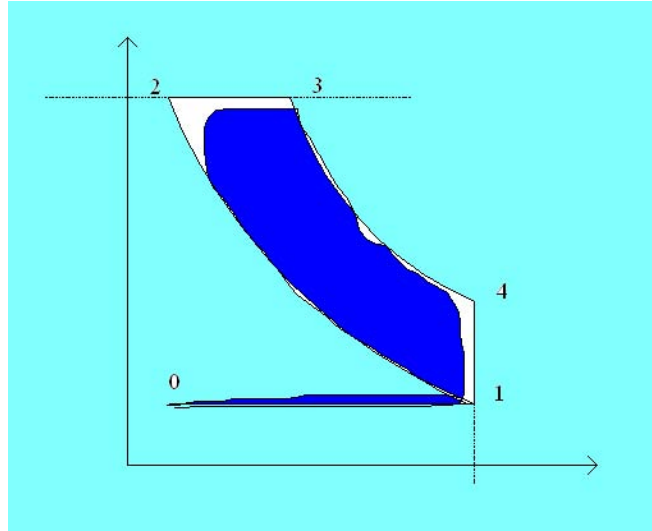


Figura 3.6: Comparación ciclo real y el teórico en MCI EC

El área dentro del ciclo (aparece más oscuro en la figura 3.5) corresponde al trabajo desarrollado internamente realmente por el aire en el ciclo L_i (trabajo interno real).[12]

$$L_t = L_i + L_{perdidas} \quad (3.8)$$

Las pérdidas son debidas a las irreversibilidades del proceso termodinámico del gas.

Para que L_i aparezca en el eje del motor recorre un camino en que hay pérdidas por fricción entre las partes mecánicas que tienen movimiento relativo tales como: del pistón y las paredes del cilindro, del eje o bulon que conecta el piston y la biela, la biela y el cigueñal, el cigueñal que rota sobre los cojinetes etc. Por lo tanto es menor la energía en forma de trabajo que aparece en el eje L_e

$$L_i = L_e + L_{perdidas} \quad (3.9)$$

Las pérdidas se cuantifican mediante los indices llamados "rendimientos" η . Así:

$$\eta_{ri} = \frac{L_i}{L_t} = \frac{Pot_i}{Pot_t} \quad (3.10)$$

$$\eta_{mec} = \frac{L_e}{L_i} = \frac{Pot_e}{Pot_i} \quad (3.11)$$

$$\Rightarrow Pot_e = \eta_{ri} \times \eta_{mec} \times Pot_t \quad (3.12)$$

$$Pot_e = \eta_{mec} \times Pot_i \quad (3.13)$$

Para motor de un solo cilindro:

$$Pot_t = L_t \times cps = L_t \times \frac{rps}{t} \quad (3.14)$$

$$Pot_i = L_i \times cps = L_i \times \frac{rps}{t} \quad (3.15)$$

$$Pot_e = L_e \times cps = L_e \times \frac{rps}{t} \quad (3.16)$$

n se refiere a si el motor es de cuatro tiempos ($t = 2$) o de dos tiempos ($t = 1$), rps son las revoluciones del cigueñal por segundo y rps las revoluciones del mismo por segundo.

Los subíndices ri , mec , de los rendimientos η , son: relativo interno y mecánico. Los subíndices de los trabajos L y de las Potencias Pot son : t , i y e y se refieren a "teórica", "interna" y en el "eje".

Para un motor de N cilindros la ecuaciones anteriores se multiplican por N .

Hay otros factores que inciden en la potencia que aparece en el eje tales como el tiempo finito disponible para que ingrese el aire que debe entrar en el ciclo teórico (η_v rendimiento volumétrico), que el combustible no libera todo su potencial calórico (η_{co} eficiencia de la combustión)etc. Todos se cuantifican con respectivos η que se tienen en cuenta con la productoria de todos ellos.[13]

$$Pot_e = \Pi \eta_i \times Pot_i \quad (3.17)$$

3.3.1. Volumen desplazado V_d - Cilindrada V_T

La diferencia entre los volúmenes $V_3 - V_2$ es el volumen de aire que ingresa en cada ciclo y es llamado volumen desplazado V_d y multiplicado por el numero de cilindros

constituye la cilindrada V_T . Consecuentemente el volumen de aire desplazado por segundo será:

$$\dot{V}_d = V_d \times cps = V_d \times \frac{rps}{t} \quad (3.18)$$

Para un motor de N cilindros:

$$N\dot{V}_d = NV_d \times cps = NV_d \times \frac{rps}{t} \quad (3.19)$$

Siendo:

$$NV_d = V_T \Rightarrow \quad \dot{V}_T = V_T \times cps = V_T \times \frac{rps}{t} \quad (3.20)$$

Para los flujos de masa de aire se multiplican las anteriores por la densidad del aire en las condiciones de entrada ρ_o o ρ_1 (estados 0 o 1, en el ciclo)

3.4. MCI EC y Combustibles

El tipo de combustible influencia el desempeño de los motores y por lo tanto a la potencia que aparece en el eje Pot_e . El poder calorífico del combustible incide en la temperatura media de la combustión \bar{T}_{comb} .

La combustión del combustible se inicia en el momento que ingresa a la cámara de combustión estando el volumen mínimo ($V_0 = V_2$) y teóricamente ocurre a presión constante ($P_2 = P = P_3$). El aire que hace el ciclo se considera un gas ideal por lo tanto:

$$PV = MRT \quad (3.21)$$

$$\Rightarrow P = \frac{MRT}{V} = cte \quad (3.22)$$

$$\Rightarrow T = C_o T \quad (3.23)$$

C_o es una constante.

$$\bar{T}_{comb} = \frac{1}{V_3 - V_2} \int_{V_2}^{V_3} T dV = \frac{T_2 + T_3}{2} \quad (3.24)$$

Como:

$$\rho = \frac{V_3}{V_2} = \frac{C_o T_3}{C_o T_2} = \frac{T_3}{T_2}$$

Por lo tanto:

$$\bar{T}_{comb} = \frac{T_2}{2} \left(1 + \frac{1}{\rho} \right) \quad (3.25)$$

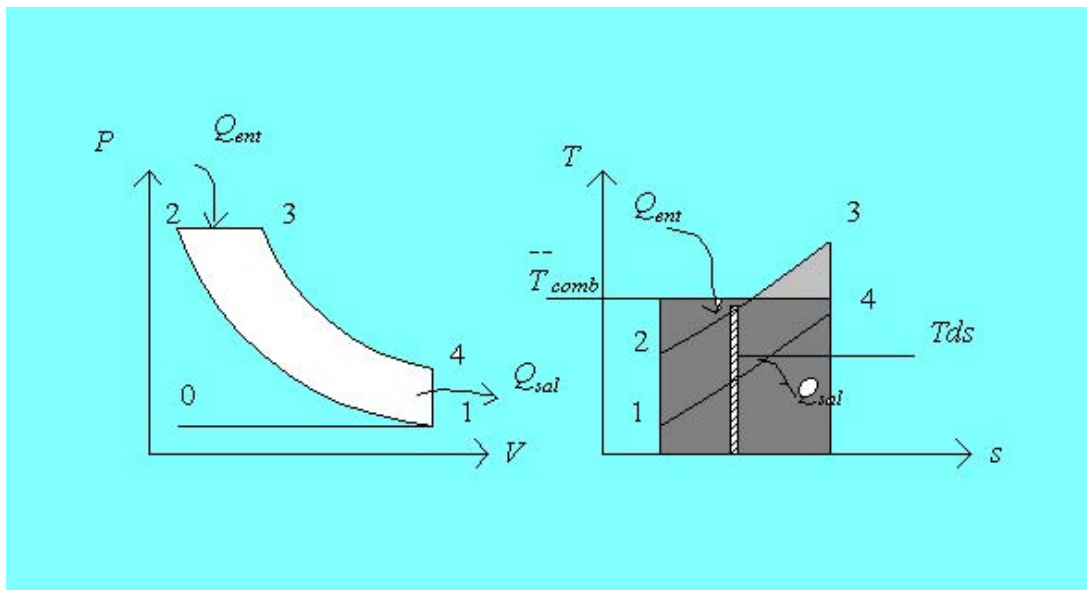


Figura 3.7: Temperatura media de la combustión

y

$$T_2 = \frac{2\bar{T}_{comb}}{1 + \frac{1}{\rho}}$$

Cuando una cantidad de combustible M_{comb} , con un poder calorífico PC, arde en un proceso a presión constante en una cantidad de aire M_A , el calor liberado aumenta la entalpia total y la específica se eleva desde h_2 hasta h_3

$$M_{co}PC = (M_{co} + M_A) c_p (T_3 - T_2) \quad (3.26)$$

T_2 es la temperatura del inicio de la combustión y T_3 la del final.

$$T_3 - T_2 = \frac{M_{co}PC}{(M_{co} + M_A) c_p} = \frac{PC}{C_p (AC + 1)} \quad (3.27)$$

AC es la relación aire combustible.

También la elevación de la temperatura en el proceso de combustión:

$$T_3 - T_2 = T_2 \left(\frac{1}{\rho} - 1 \right) = \frac{2\bar{T}_{comb}}{1 + \frac{1}{\rho}} \quad (3.28)$$

$$= \frac{PC}{C_p} \frac{1}{AC + 1} \quad (3.29)$$

Aprovechando las expresiones para despejar T_2 y T_3 para introducirlas en las expresiones de eficiencia térmica así:

$$T_3 = \frac{T_2}{\rho} \quad (3.30)$$

$$T_2 = \frac{2\bar{T}_{comb}}{\left(1 + \frac{1}{\rho}\right) \left(\frac{1}{\rho} - 1\right)} = \frac{2\bar{T}_{comb}}{\left(\frac{1}{\rho^2} - 1\right)} \quad (3.31)$$

$$T_2 = \left(\frac{PC}{C_p}\right) \frac{1}{(AC + 1) \left(\frac{1}{\rho} - 1\right)} \quad (3.32)$$

La eficiencia térmica del motor quedará si se reemplaza T_2 de la ecuación 3.28:

$$\eta_t = \frac{1}{k} \left[\frac{T_1 (1 - \rho^2)}{2\bar{T}_{comb}\rho^2} \right] \left[\frac{\rho^k - 1}{\rho - 1} \right] \quad (3.33)$$

Si se reemplaza por el T_2 de la ecuación 3.29 dará

$$\eta_t = \frac{C_p T_1}{k PCN} (AC + 1) \left[\frac{1 - \rho}{\rho} \right] \left[\frac{\rho^k - 1}{\rho - 1} \right] \quad (3.34)$$

En todas las expresiones cuando se refiera a ciclos teóricos $k = \frac{C_p}{C_v}$ en general se reemplaza por n para ciclo en motores reales siendo $1,2 < n < 1,4$

La potencia teórica del motor Pot_t podrá determinarse con la expresiones:

$$Pot_t = \eta_{comb} \dot{m}_{co} PCN \times \eta_t \quad (3.35)$$

En la expresion 3.32 η_{comb} es la eficiencia de la combustión, \dot{m}_{co} el flujo másico de combustible, PCN el poder calorífico, y η_t el rendimiento térmico del ciclo del motor cuyo reemplazo se puede hacer con la ecuación 3.30 o la 3.31

La elevación de la temperatura durante la combustión Δt será:

$$\Delta t = \frac{PCN}{C_p} \left[\frac{1}{AC + 1} \right] \quad (3.36)$$

Y la temperatura T_3 :

$$T_3 = T_1 \times r^{k-1} + \frac{PCN}{C_p} \left[\frac{1}{AC + 1} \right] \quad (3.37)$$

La admisión del aire en el motor normalmente se hace a las condiciones ambientales. Dependiendo del poder calorífico del combustible las temperaturas T_3 y la temperatura media de la combustión del combustible \bar{T}_{co} serán altas. La economía del funcionamiento del motor cuyo índice es η_t y la potencia del mismo se beneficiarán con valores altos de PCN y \bar{T}_{co}

3.5. Prueba de Motores

Un motor MCI EC es una máquina que transforma calor desde un combustible (\dot{Q}_{co}) en potencia en trabajo de eje (Pot_e)

Midiendo la potencia Pot_e que aparece en el eje del motor y el consumo de combustible (\dot{m}_{co}) y conociendo su poder calorífico PCN de mediciones en laboratorios de combustión se puede calcular el rendimiento global ($\Pi\eta_j$) del motor.[14]

$$\eta_{global} = \Pi\eta_j = \frac{\dot{P}ot_e}{\dot{Q}_{co}} \quad (3.38)$$

$$\dot{Q}_{co} = \dot{m}_{co} \times PC \quad (3.39)$$

La prueba se hace en un dinamómetro acondicionado para medir: consumo de combustible \dot{m}_{co} , velocidad angular del cigueñal \vec{w} y torque T . El torque se calcula conociendo la fuerza F y el brazo b ($T = b \times F$).

$$Pot_e = T \times \vec{w} = T \times 2\pi \frac{rpm}{60} \quad (3.40)$$

rpm son las revoluciones por minuto del cigueñal.

El montaje de un dinamómetro (la figura 3.6 muestra un esquema del dinamómetro) incluye instrumentos de medición de flujo másico de combustible \dot{m}_{co} , velocidad angular w o revoluciones por minuto del cigueñal rpm , fuerza y longitud del brazo o torque T . Un esquema del montaje se muestra en la figura 3.7[15]

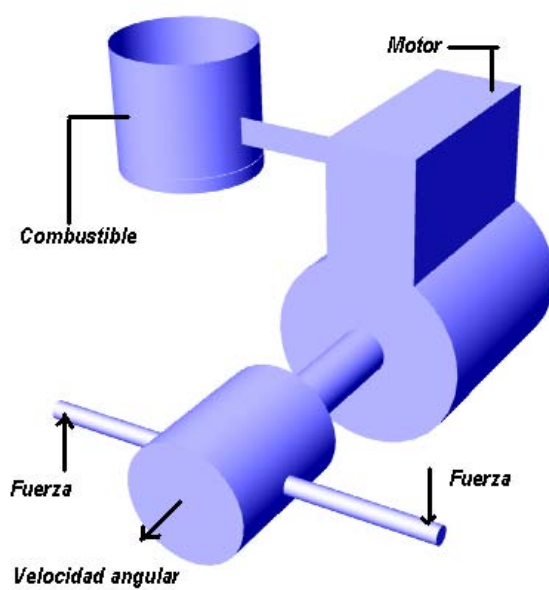


Figura 3.8: Esquema del montaje de un dinamómetro

Capítulo 4

De las propiedades de los Combustibles y Combustión en los MCI EC

Los motores de combustión interna (MCI) usan como combustibles (o carburantes) aceites derivados del petróleo, cuyo agotamiento apresura a buscarles sustitutos[9]. Los carburantes de origen vegetal, o biocarburantes, son una alternativa buena, en primer lugar para los motores de combustión interna y su utilización puede extenderse a los otros motores de combustión.

Un combustible destinado al uso en MCI EC debe reunir unas muy exigentes condiciones de calidad. Debe ser limpio, no corrosivo, puro y de propiedades bien definidas y determinadas.

El combustible es inyectado a la cámara de combustión en los motores de encendido a compresión (MCI EC) en un chorro líquido finísimo a alta presión, lo que hace que se le exija unas condiciones especiales en su calidad como combustible que, de no ser así, pueden producir afectaciones tanto durante el funcionamiento como en la vida útil de motor. Sus propiedades deben ser muy controladas más que en el caso de los combustibles ECH.

Las cualidades del combustible están completamente relacionadas con las siguientes características que aparecen durante la operación y arranque del motor[16]:

1. *El golpeteo* característica asociada con el autoencendido. La elevación de presión en el cilindro eleva la temperatura del gas y puede llegar a igualar la temperatura de encendido del combustible que hace que la combustión se produzca antes del momento en que debiera producirse para el buen funcionamiento del motor. Un número Cetano alto hace que la temperatura de autoencendido baje por lo tanto es recomendable desde este punto de vista que éste número sea alto.
2. *El arranque del motor* que se refiere a poner en marcha al mismo. Que lo haga fácil

exige alta volatilidad del combustible o volatilidad suficiente. Ésta característica también se asocia con el número Cetano que siendo alto es baja la temperatura de autoencendido y la temperatura de volatilización.

3. *Humo y olor* que se producen cuando la combustión no se realiza bien. Una combustión completa asegura ausencia de olor y humo si el combustible es adecuado. Por lo tanto a éste se le exige que tenga facilidad para dejarse quemar, lo que es sinónimo de buena calidad. Una buena volatilidad asegura que la mezcla aire combustible sea homogénea aumentando la probabilidad de encuentro entre las moléculas combustible y oxígeno y reaccionen totalmente.
4. *Corrosión y desgaste* que se asocian con el Azufre, los residuos y la ceniza del combustible. Un combustible con éstos altos corrosiona y desgasta las partes metálicas con movimiento relativo.
5. *Fluidez* que asegura que el combustible fluye bien en sus condiciones de trabajo. Ésta característica se garantiza con la viscosidad y la densidad.

Propiedades del combustible para MCI EC Las propiedades importantes desde el punto de vista de los combustibles que deben determinarse mediante pruebas son [17]:

4.1. Número Cetano

El número de cetano es un índice del tiempo que demora el carburante en encenderse una vez inyectado a la cámara de combustión. Una buena calidad significa que se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del combustible y se asocia con un número de cetano alto. Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad de combustión. Un bajo número de cetano es indeseable en un carburante porque requieren mayor tiempo para que ocurra la ignición y después queman demasiado aprisa, produciendo altos índices de elevación de presión, la combustión es inadecuada y da lugar a ruido excesivo, aumento de las emisiones, bajo rendimiento, golpeteo y aumento de la fatiga del motor.

4.2. Densidad ρ

Densidad es la cantidad de material por unidad de volumen. Como la masa (M) no depende de la temperatura pero el volumen (V) sí, resulta entonces que la densidad depende de la temperatura a la que es medida.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (4.1)$$

Las pruebas para determinarla se normalizan para efectos de poder comparar los resultados. Normalmente se toman 0°C o 15°C

4.3. Gravedad específica

La gravedad específica es otro índice de la densidad en éste caso es el peso por unidad de volumen de combustible. Se define como La razón entre el peso de un determinado volumen de un material con el peso de igual volumen de agua estando ambos a la misma temperatura de $80^{\circ}F$ ($15^{\circ}C$).

La gravedad específica de acuerdo a la American petroleum Institute (API) se define a partir de la gravedad específica los $^{\circ}API$ de acuerdo con la fórmula:

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{Gr.Esp(60^{\circ}F/60^{\circ}F)} - 131,5 \quad (4.2)$$

Los combustibles se compran y se venden por unidades de volumen (litros, galones, barriles) y por lo tanto es muy importante conocer su densidad o su gravedad específica o sus $^{\circ}API$.

Los grados API se utilizan asimismo para determinar el precio de un crudo determinado, dado que cuanto mayor sea el valor en API , mayor es la proporción de crudo utilizable, principalmente en fracciones ligeras (nafta, nafta ligera, etc).

Según la densidad, los crudos pueden ser clasificados en:

TIPO DE CRUDO	$^{\circ}API$	DENSIDAD ($\frac{Kg}{m^3}$)
Liviano	>31.1	<870
Medio	$22.3 - 31.1$	$920 - 870$
Pesado	$10.0 - 22.3$	$1000 - 920$
Extrapesado	<10	>1000

Cuadro 4.1: Clasificación de crudos del petróleo[17]

4.4. Viscosidad

Es una magnitud física que mide la resistencia interna al flujo de un fluido originado por la resistencia del frotamiento de las moléculas que se deslizan unas contra otras. La inversa de la viscosidad es la fluidez.

La viscosidad es un parámetro determinante en las condiciones de la combustión y por lo tanto en la eficiencia del uso de combustibles y resulta importante para definir las posibilidades de bombeo de los fluidos y en particular de los combustibles. Alta viscosidad del combustible puede ocasionar tupidamiento de los inyectores

En los aceites combustibles es un parámetro básico en la clasificación de los productos pesados y la viscosidad de los distintos hidrocarburos tanto puros como mezclas (líquidos, vapor o gas) y de fracciones de petróleo, están en estrecha relación con el

peso molecular y la estructura química de los componentes.

En los combustibles derivados del petróleo la magnitud de la viscosidad depende de la conformación química del crudo, de manera que a mayor proporción de fracciones ligeras, menor es la viscosidad. Este valor depende además de la temperatura, de forma que cuanto menor resulta ésta, más viscoso es un crudo. la relación entre la viscosidad y la temperatura es importante en relación a la temperatura ambiente sobre todo en almacenamiento y en el arranque del motor.

Existen diversas unidades para definir la viscosidad:

4.5. Viscosidad absoluta μ

Representa la viscosidad dinámica del líquido y es medida por el tiempo en que tarda en fluir a través de un tubo capilar a una determinada temperatura. Sus unidades son el *poise* ($\frac{gr}{SegCm}$) o *centipoise*, siendo muy utilizada a fines prácticos. Mide como la facilidad para fluir y se define por:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{dV}{dy}} \quad (4.3)$$

En la expresión 4.3 μ es la viscosidad, τ es el esfuerzo de corte y $\frac{dV}{dy}$ es la velocidad de corte.

4.6. Viscosidad cinemática ν

Representa la característica propia del líquido desechando las fuerzas que genera su movimiento, obteniéndose a través del cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad del producto en cuestión. Su unidad es el *stoke* ($\frac{cm^2}{seg}$) o *centistoke*.

$$\nu(CSt) = \frac{\mu}{\rho}$$

Usualmente en refinería, donde se obtienen los diversos derivados del petróleo, se utilizan varias unidades para referirse a la viscosidad cinemática. Además de centistokes existen las escalas (SSU) segundos Saybolt universal, (SSF) segundo Saybolt Furol, (RI) Segundos Redwood I y (°E) grados Engler y la viscosidad de la secoya. Puesto que la viscosidad varía con la temperatura (a mayor temperatura menor viscosidad) se debe informar además del valor de la misma, la temperatura a la que corresponda.

En los combustibles se asocia con el tiempo necesario para que fluya en caída libre, una cantidad fija del combustible a través de un orificio (viscosímetro de Saybolt y el tiempo en segundos es la viscosidad en segundos Saybolt). La prueba se ha normalizado para facilitar la comparación de diversos resultados.

4.7. Poder calorífico

Poder calorífico es la cantidad de energía que libera un combustible durante su combustión completa, por unidad de masa. Se mide en $\frac{Kjoul}{Kg}$ o en $\frac{Btu}{lib}$. En el caso de los combustibles líquidos se mide en pruebas de laboratorio normalizadas. También se calcula mediante fórmulas.

4.8. Punto de inflamación o Punto de chispa

La temperatura más baja a la cual los vapores de un líquido combustible pueden encenderse (o destellar) cuando se va calentando con ayuda de una llama, chispa u otra fuente de ignición. La combustión no es autosostenida en el sentido que si se retira la fuente de encendido se apaga. Es la temperatura mas baja a la cual el aceite arde transitoriamente en contacto con una llama. Es importante tenerla en cuenta en el almacenamiento de combustibles.

4.9. Punto de encendido

Es la temperatura a la cual el combustible se enciende en contacto con una llama y continua ardiendo después.

4.10. Punto de fluidez

La temperatura más baja en la cual un lubricante o un combustible destilado no fluye, cuando se enfría bajo condiciones preestablecidas por el método **ASTM D 97**.

4.11. Punto de congelamiento

Es la temperatura a la que un líquido se solidifica. Se debe distinguir entre el punto de enturbamiento (cloud-point) o temperatura en que se forman micro-cristales, y el punto de congelación inferior (pour point) cuando el líquido se hace pastoso y no fluye. El punto de congelación superior es la temperatura en la cual el hidrocarburo retorna a su estado fluido al recalentar el producto luego de una prolongada solidificación.

El punto de congelamiento en los hidrocarburos aumenta con el peso molecular con algunas excepciones.

4.12. Volatilidad

La volatilidad se asocia con la posibilidad de ir evaporando los componentes de una mezcla combustible. La curva de evaporación se muestra las diversas proporciones

evaporadas con respecto a las temperaturas correspondientes. Los combustibles, que son una mezcla, debe contener elementos y por lo tanto tienen diversos puntos de evaporación correspondientes a cada componente y para las diversas condiciones de trabajo.

En el arranque y en aceleradas bruscas del motor, la presencia de la mezcla combustible de fracciones muy volátiles es una condición necesaria.

4.13. Contenido de azufre

Es el Azufre que está presente en el combustible. Este elemento es nocivo porque se asocia con la corrosión de las partes metálicas y con su desgaste. Produce residuos sólidos duros y degrada el aceite lubricante. En los aceites para motores EC se ha encontrado mayor contenido que en las gasolinas para MCI ECH.

4.14. Contenido de ceniza

Ceniza es material sólido incombustible, normalmente duro que queda como residuo después de la combustión. Sus consecuencias son funestas en el motor por el desgaste que influye grandemente en el acortamiento de su vida.

4.15. Residuos de carbón

Es más bien explicada por la combustión del combustible con baja presencia de Oxígeno. Residuos de carbón son sólidos e indeseables.

4.16. Agua y sedimentos

El agua no es combustible y por lo tanto lejos de contribuir al suministro de calor para la generación de potencia en el eje, consumen parte de éste para evaporarse y por lo tanto disminuir la potencia calorífica suministrada. Además aumenta los humos y la corrosión. Si el agua presente en el combustible contiene sales es todavía más dañina.

Capítulo 5

Petro carburantes

Los combustibles son materiales que al reaccionar con el oxígeno del aire desprenden gran cantidad de calor suficiente, para ser aprovechado como fuente de energía en las plantas de generación. Se han dividido entre combustibles de origen mineral o *petrocombustibles* y orgánicos *biocombustibles*. Petrocombustibles son: el carbón, el petróleo y el gas natural, originarios de material orgánico fosilizado durante millones de años y los *biocombustibles* de origen orgánico principalmente vegetales o de origen vegetal *biomasa*.

Los *petrocarburantes* son los combustibles para los motores, derivados del petróleo. Han sido los combustibles tradicionales en todos éstos aparatos, tanto de combustión interna como de combustión externa y responsables del alcance nivel técnico económico mundial.

5.1. El Petróleo

El petróleo es un aceite mineral que se caracteriza por ser inflamable. Es originado por la fosilización de material orgánico enterrado durante cientos de millones de años en condiciones adecuadas. Ésto lo hace ser un recurso no renovable y no sostenible en el tiempo.

Es una mezcla combustible cuyas características dependen del lugar del yacimiento y del origen. El petróleo se encuentra en las profundidades de la litosfera, su búsqueda es costosa, y cada día más difícil, todavía hay en el mundo gran cantidad de yacimientos petroleros en diferentes países, pero en proceso de agotamiento.

El petróleo que llega a las refinerías en su estado natural para su procesamiento, y se le denomina "crudo". Mediante su refinación se obtienen muchos derivados, varios de ellos combustibles y que sirven como carburantes como la gasolina y los aceites combustibles para motor (ACPM).

En la refinería se somete en primer lugar a un proceso de destilación o separación física por evaporación y luego a procesos químicos para obtener los diversos compo-

nentes. De él se pueden obtener por encima de los 2.000 productos.

Los productos que se sacan del proceso de refinación se llaman derivados y los hay de dos tipos: los combustibles, como la gasolina, ACPM, etc. y los petroquímicos, tales como polietileno, benceno, etc.

La refinación se cumple de la siguiente manera:

El crudo se calienta previamente al pasar por un horno, donde se 'cocina' a temperaturas de hasta 400 °C que lo convierten en vapor.

El primer paso ocurre en las torres de "destilación primaria" o "destilación atmosférica". Los vapores de petróleo entran por la parte inferior de la torre de destilación y ascienden. En su interior, estas torres operan a una presión cercana a la atmosférica y están divididas en numerosos compartimientos, "bandejas" o "platos". Cada una colocada a diferente altura y corresponden a diferentes temperaturas en donde se van condensando diferentes fracciones de crudo dependiendo de la temperatura. A medida que suben se enfrían y se condensan en la correspondientes bandejas.

De abajo hacia arriba se obtienen: gasóleos, acpm, queroseno, turbosina, nafta y gases ricos en butano y propano. Algunos de estos, como la turbosina, queroseno y acpm, son productos ya finales los demás se envían desde las bandejas a otras torres y unidades para otros procesos y obtener los demás derivados del petróleo:

Torre de "destilación al vacío" recibe de la primera etapa anterior y obtiene gasóleos pesados, bases parafínicas y residuos.

Unidad de Craqueo Catalítico o Cracking recibe gasóleos y crudos reducidos para producir fundamentalmente gasolina y gas propano.

Unidades de Recuperación de Vapores que reciben los gases ricos de las demás plantas y sacan gas combustible, gas propano, propileno y butanos.

La planta de mezclas es en últimas la que recibe las distintas corrientes de naftas para obtener la gasolina motor, extra y corriente. La unidad de aromáticos produce a partir de la nafta: tolueno, xilenos, benceno, ciclohexano y otros petroquímicos. La de Parafinas recibe destilados parafínicos y nafténicos para sacar parafinas y bases lubricantes.

Al final también se obtienen azufre y combustóleo. El combustóleo es lo último que sale del petróleo. Es algo así como el fondo del barril.

El principal producto de la refinación del petróleo es la gasolina motor. En promedio, por cada barril de petróleo crudo que entra a una refinería se obtiene 40 y 50 por ciento de gasolina[18].

El gas natural es un recurso que también se obtiene de yacimientos al igual que el petróleo y el carbón, es rico en gases petroquímicos e igualmente se puede procesar en las refinerías para obtener otros derivados.

5.2. Características del petro diesel

En los MCI EC se usan aceites combustibles para motor o ACPM o combustible diesel. Se obtiene del petróleo por destilación y por un procedimiento denominado "cracking" que consiste en dividir moléculas grandes para obtener de menor peso molecular.[19]

El diesel de origen mineral o petrodiesel es un combustible comercial, hidrocarburo con cadenas de entre 10 y 22 Carbonos. Sus propiedades para uso en los motores estan normalizadas. La tabla siguiente muestra como ejemplo la norma para Europa

Parámetro	Norma	Unidades	UNE EN 590* Diesel #2
Densidad (15°C)	EN ISO 12185	g/cm3	0.820-0.845
Viscosidad Cinemática 40°C	EN ISO 3104	cSt	2.0-4.5
Punto Inflamación	EN 22719 /ISO/CD 3679	°C	55 min.
Azufre	EN ISO 14596	ppm	350 máx.
Residuo Carbonoso(10%)	EN ISO 10370	%	0.30 máx.
Contaminación Total	EN 12682	ppm	24 máx.
Agua	EN ISO 12937	ppm	200 máx.
Corrosión al cobre	EN ISO 2160	-	Clase 1
Cenizas Sulfatadas	EN ISO 6245 /ISO 3987	%	0.01 máx.
Estabilidad Oxidación	EN ISO 12206 prEN 14112	mg/l	25 máx.
Número de Cetano	EN ISO 5165	-	51 min.
Índice de Cetano	EN ISO 4264	-	48 min.

Figura 5.1: Propiedades del Diesel en Europa [19]

5.3. Ventajas y desventajas de los Petro carburantes

5.3.1. Agotamiento

El funcionamiento del mundo moderno actual está ligado indisolublemente al consumo de energía derivadas de combustibles fósiles. Los utilizamos en transporte, para generar electricidad, para calentar ambientes, para cocinar, etc.

Todos los combustibles fósiles son originados en procesos naturales que duraron cientos de millones de años en condiciones irrepetibles. Por lo tanto es un recurso que no se repone por la incapacidad de la naturaleza de volver a llevarlos a cabo en el término de la especie humana. Ésto significa que se agotaran irremediabilmente a pesar del intento de disminuir su consumo, optimizar su uso y hallarle sustitutos[20].

5.3.2. Contaminación ambiental

La causa principal de la contaminación de la atmosfera es la combustión de combustibles fósiles. Uno de las principales fuentes son los automotores y las plantas de generación. Investigaciones realizadas en Europa que el 60 % de la contaminación causada por el hombre se debe a la combustión de carburantes fósiles, y sobre todo a agentes contaminantes como el dióxido de carbono, otros hidrocarburos no quemados y óxidos de nitrógeno.

No obstante, un estricto programa de mantenimiento del motor puede lograr disminución de las emisiones contaminantes hasta en un 40 %, pero aun así esta reducción no es suficiente en las grandes ciudades, caracterizadas por la presencia de enormes parques automovilísticos. Por eso surgió la idea del diseño de vehículos con controles caracterizados por dispositivos de catalización, cuya función es la transformación de hidrocarburos, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno en dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y oxígeno. Sin embargo el dispositivo no puede operar en presencia de plomo por lo que surgió la necesidad de la creación de una nueva gasolina sin plomo.

Los combustibles fósiles (el petróleo, el carbón y el gas natural) contribuyen de manera muy importante al calentamiento del planeta, que constituye un riesgo múltiple para la agricultura y otras actividades humanas. Además, los expertos afirman que las reservas de combustibles fósiles sólo durarán otros 40 o 50 años. Estos dos hechos por sí solos hacen la investigación en materia de fuentes sustitutivas de energía más apremiante que nunca. El Coordinador de Energía de la FAO, Sr. Gustavo Best, habló de los combustibles de biomasa y de otras fuentes de energía.[21]

Uno de los contaminantes importante de lo petrodiesel es el Azufre que sale con los humos en forma de SO_x , lo es tambien el NO_x y los hidrocarburos inquemados que salen por el escape con los humos.[22]

Capítulo 6

Bio carburantes

Los biocombustibles son todos los combustibles diferentes a los fósiles y bio carburantes son combustibles de origen orgánico destinados a los motores. Se obtienen de las grasas animales y de los aceites vegetales.

En los últimos años se viene impulsando el uso de la biomasa como fuente de calor y energía. Nuevas tecnologías y tecnologías han surgido y han sido mejoradas. Hay varias motivaciones de los gobiernos de los países desarrollados para ello. Las sobresalientes en términos generales son:

1. La reducción de las emisiones de los gases producidos en la combustión de las fuentes no renovables y la reducción de los residuos (e.g. residuos sólidos urbanos)
2. La cada vez más difícil accesibilidad a combustibles eficientes
3. La renovación del recurso orgánico y su posibilidad de sostenibilidad

El biodiesel, obtenido a partir de materias primas renovables, es un combustible líquido poco contaminante y biodegradable, utilizable en el sector del transporte urbano, minero, agrícola y marino, así como en calderas de calefacción, puro o mezclado con gasóleo. La producción de calor y/o energía eléctrica mediante métodos directos (e.g. combustión de la biomasa residual) o mediante métodos indirectos (e.g. combustión del biogas producido en la digestión anaerobia de los residuos biodegradables). Otra opción es la producción de biocombustibles líquidos, por ejemplo, fermentación alcohólica o transesterificación. En la Unión Europea la energía de biomasa representa el 3 % del total[23].

Los Biocarburantes son combustibles de origen orgánico para motores de combustión. Son líquidos que se están usando como sustitutivos de la gasolina y del gasóleo de vehículos y que son obtenidos a partir de materias primas de origen agrícola. Existen dos tipos de biocarburantes:

1. Biocarburantes ECH. Para motores de explosión (MCI ECH)
2. Biocarburantes EC. Para motores de compresión (MCI EC)

Los Biocarburentes ECH son gases o líquidos fácilmente evaporable (baja temperatura de evaporación a condiciones ambientales). Ésta característica los hace susceptibles de explotar fácilmente cuando se les somete a una chispa eléctrica. El bio gas es un ejemplo de los primeros y el etanol lo es de los segundos. En general su peso molecular es bajo y pueden ser Hidrocarburos o moléculas de Carbono Hidrogeno y Oxígeno, como en el caso de los alcoholes

Los Biocarburentes EC son líquidos con una temperatura de evaporación superior a los anteriores que encenderán gracias a la temperatura alcanzada durante la compresión del aire dentro de la cámara de combustión en los MCI EC. Se obtienen de grasas animales y aceites de vegetales.

6.1. Ventajas y desventajas de los Bio carburantes

Son obtenidos a partir de materias primas renovables, dando la posibilidad de "cultivos de energía".

Son combustibles poco contaminantes y biodegradables y pueden sustituir a los petrocarburentes sin sustanciales cambios en los sistemas de los motores, en el sector del transporte urbano, minero, agrícola y marino, en plantas estacionarias, así como en calderas de calefacción.

Se pueden usar en forma directa, quemándolos de la misma manera como se sacan de la naturaleza o mediante una transformación bioquímica, en biodigestores o plantas de transformación bioquímica o química.

Una buena ventaja es que se pueden obtener de los residuos agroindustriales.

La desventaja principal es que su uso debe ir aparejado con la reducción de la dependencia de los motores. De no ser así el suministro de biocarburentes al nivel de la inmensa demanda actual de combustibles, ocuparía tierras dedicadas tradicionalmente al cultivo de comida y/o desertificaría extensas zonas de bosques principalmente tropicales.

Capítulo 7

Fabricación de Bio carburantes para MCI EC

La mayoría de los bioaceites vegetales pueden usarse, con pocas limitaciones, directamente en los MCI EC. Basta, después de extraerse, filtrarlo, secarlo y purificarlo. Sin embargo su viscosidad es casi siempre más alta y por ello un poco más difícil su manejo, además pueden producir taponamiento de conductos, sobre todos en la bomba de inyección y los inyectores. La presencia de gomas en el aceite que se endurecen acarrear problemas semejantes de taponamiento, sedimentación y taponamientos. Éstos inconvenientes pueden causar que la combustión puede ser deficiente.

Se le ha dado el nombre de biodiesel a *los aceites de origen animal o vegetal que sirven para ser usados en motores de combustion interna de encendido por compresión (MCI EC)*[9]. Se fabrican principalmente a partir de aceites vegetales y tienen un peso molecular por molécula de 298 ($MW = 894$)[24] (la fórmula aparente del petrodiesel es $C_{12,5}H_{22,2}$ y peso molecular 172).

En 1895, Dr. Rudolf Diesel desarrolló el motor Diesel[25] con la intención de que trabajara con amplia variedad de combustibles, incluso aceites vegetales. El Dr Diesel la mostró en París en 1900, trabajando con aceites vegetales como el de maní. A partir de esa época el motor original ha sido modificado para trabajar con petrocarburantes (petro diesel) por ser un combustible más barato[26].

El biodiesel puede usarse puro o "B100" (100 %) o mezclado con otros combustibles, incluso petrodiesel en proporciones diversas, "B20 " (20 % biodiesel y 80 % petrodiesel). También se puede usar en porcentajes más bajos[27].

7.1. Materia prima

El biodiesel se puede obtener de grasas animales y aceites vegetales.

Fuentes de aceite vegetal son: la soya, el maíz, el maní o cacahute, el ajonjolí, el

girasol, diferentes clases de palmas, canola etc. y las especies identificadas hasta ahora en el Choco biogeografico. Se pueden encontrar fuente de aceites en los llanos orientales y en la región amazónica.

Es muy similar al petrodiesel su única diferencia es la procedencia, normalmente vegetal. Se puede obtener de diversas semillas por ejemplo: canola, haba de soja, girasol, maní, frutos de palma, ajonjolí, etc. Éstos cultivos pueden producir muchos litros de combustible por hectárea y suministrar energía a un motor diesel sin modificaciones sustanciales.

7.2. Obtención

El Biodiesel puede ser un excelente combustible renovable para motores EC . En su fabricación por transesterificación intervienen como reactivos: el aceite y un alcohol como materias primas y soda cáustica o potasa cáustica como catalizadores

El aceite vegetal es convertido en biodiesel a través de un proceso químico que produce metilo o ester de ethyl. Después de lavar y se filtrar reúne las condiciones exigidas por la ASTM para los combustibles de los motores siendo un combustible renovable alternativo.

Combustible	Peso ($\frac{lib}{Gal}$)	PC ($\frac{Btu}{Gal}$)	# Cetano	Visc(Centistokes)
Diesel No. 2	7.05	140,000	48	3.0
100 % Biodiesel (B100)	7.3	130,000	55	5.7
B20 mix (20/80)	7.1	138,000	50	3.3
Raw vegetable oil	7.5	130,000	35 to 45	40 a 50

Cuadro 7.1: Propiedades de carburantes diesel[28]

El Biodiesel es un compuesto configurado por una gran cadena de ácido graso con radicales de alcohol, derivado de aceites vegetales y grasas animales. Se fabrica con una reacción del aceite vegetal con alcohol metílico o etílico en presencia de un catalizador. El catalizador más común es el hidróxido de potasio (KOH) o el hidróxido de sodio (NaOH). El proceso químico se llama "Transesterificación" y se obtiene biodiesel y glicerina.

El nombre químico del biodiesel es " Ester metílico" si el alcohol usado es metanol y " Etil metílico" si metanol. Como el metanol es mas barato es el que más comunmente se usa. El proceso de producción de biodiesel con metanol puede ser el siguiente:

El proceso de transestererificación produce moléculas de biodiesel a partir de moléculas de aceites vegetales[29]. "R"son grupos de ácidos grasos co entre 12 y 22 carbonos. En el proceso la macrocadena de aceite vegetal se reduce a una de 3 carbonos.

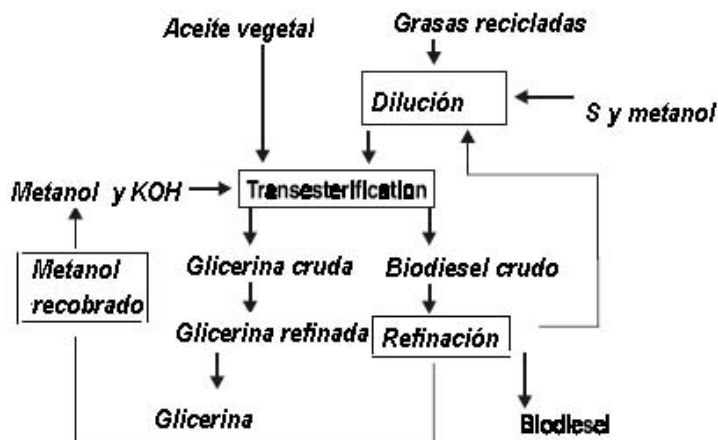


Figura 7.1: Proceso de fabricación de biodiesel

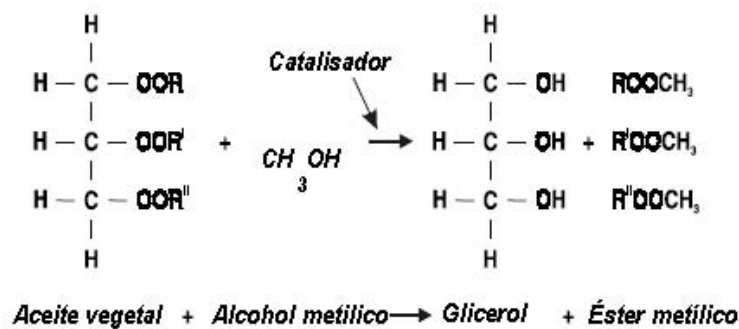


Figura 7.2: Reacción de transesterificación

7.2.1. Procesos unitarios

Los pasos para la fabricación del biodiesel pasan por la siguientes etapas:

Cosecha o recolección de la materia prima. Es un proceso enteramente del campo

Limpieza y separación del material a procesar puede incluir separación de paraúculas extrañas, lavado, limpieza etc.

Extracción del aceite que se puede hacer con solventes, por prensado, en frío o en caliente. O combinando los anteriores buscando mejorar el índice de extracción

Filtrado y secado del aceite para separar sólidos, espumas y agua, que se puedan haber arrastrado.

Transesterificación mediante alcohol y catalizadores

Refinación para purificar el biodiesel obtenido

Pruebas y caracterización para determinar la calidad con respecto a los estándares del biodiesel obtenido.

Capítulo 8

La búsqueda de especies en el Chocó biogeográfico

8.1. La bioprospección

Colombia posee zonas geográficas y pisos térmicos diversos, abundante radiación solar y agua, que la dotan de una maravillosa biodiversidad.

Una de éstas magníficas zonas es la llanura del Pacífico. Limitada por el mar del mismo nombre y la cordillera Occidental. En su límite norte está el otro océano, El Atlántico.

La región del Chocó Biogeográfico es una franja de 75.000 kilómetros sobre la costa del Pacífico Colombiano, desde Panamá hasta el Ecuador. Ésta región presenta la mayor concentración de biodiversidad del mundo en cuanto a número de especies por hectárea gracias a la combianción de suelos agua y clima aunada a una ingerencia casi nula del hombre civilizado y a los procesos evolutivos muy poco intervenidos . Colombia tiene alrededor de 45.000 especies registradas y de ellas entre 7.000 y 8.000 están en el Chocó. A su vez las plantas son más de 2.000, las aves más de 100 especies, lo que representa los más altos niveles de endemismo del Planeta. Las comunidades indígenas y afrocolombianas que habitan la región conviven en total en armonía con ese ambiente tropical. Se trata de una región megadiversa en un país biodiverso.[30]

Su ubicación especial entre mares y cordilleras, la hacen muy rica en agua y en biodiversidad. Posee muchas especies vegetales oleaginosas con posibilidades para producir biocarburantes para motores de combustión.

Es una extensa llanura selvática tropical abundante en aguas dulce y de mar, con muchos ríos y baja ingerencia del hombre civilizado. Por éstas condiciones propias, es muy rica en biodiversidad (figura 8.1).

A la zona del Pacífico colombiano pertenece a los departamentos del Chocó, Valle del Cauca, Cauca y Nariño. Limita por el norte con la república de Panamá y al sur



Figura 8.1: Vista aérea de una zona costera del Pacífico colombiano

con la de Ecuador



Figura 8.2: Aproximándose a la zona de bioprospección

8.2. Zona escogida para la bioprospección

Se escogió la zona de "Pianguita" como muy representativa de toda la zona Pacífica colombiana aprovechando la experiencia del grupo de biología integrativa de la Universidad del Valle dirigidas por Santiago Castaño en esa zona Valle- Chocó, aprovechando los resultados de las investigaciones previas del grupo y por la excelente colaboración de la gente de la región.

La figura 8.1 muestra la aproximación y lo feraz (figura 8.2 y figura 8.3)) que es la zona escogida, que es representativa de toda la zona pacífica, para pre evaluar la potencialidad regional.



Figura 8.3: Manglares característicos de la zona pacífica colombiana

Se hizo una bioprospección en la finca "Santa Clara", "Pianguita", cuenca del Río Claro, en la zona de la COSTA PACÍFICA COLOMBIANA, cerca al puerto de Buenaventura, dónde se recolectaron especies. También y se compraron algunas en el mercado de la ciudad de Buenaventura.



Figura 8.4: zona de bioprospección

La extensa llanura del pacífico colombiano es muy rica en especies biológicas, abundantes y diversas.

8.3. Especies identificadas en la bioprospección

Se identificaron plantas auctóctonas de la región pacífica colombiana ricas en aceites y que pudieran usarse como fuentes de biodiesel.

En ésta zona el grupo de investigación: "Desarrollo y difusión de tecnología alternativa" y " Biología integrativa" de la Universidad del Valle identificó varias especies vegetales como muy promisorias para la producción de biodiesel de las cuales se escogieron 15 inicialmente como promisorias.

NÚMERO	ESPECIE
1	Ricinus communis
2	Elaeis guineensis
3	Attalea cuatrecasana
4	Attalea alienii
5	Cocos nuccífera
6	Coumarona odorata
7	Astrocariun standleyanun
8	Elaeis oleifera
9	Scheelea butyracea
10	Teobroma chocoense
11	Oenocarpus bataua
12	Euterpe oleracea
13	Oenocarpus mapora
14	Persea americana
15	Bactris gassipaes

Cuadro 8.1: Especies identificadas como potenciales productoras de aceite para biodiesels

Capítulo 9

Equipos y métodos de obtención y caracterización del aceite

9.1. Extracción del aceite

En general las materias primas para fabricar biodiesel son sustancias grasas que se encuentran en plantas y animales, ésteres de glicerol o Glicéridos. A temperatura ambiente (unos 20°C) pueden estar o sólidos, grasas, o líquidos, aceites.

De todas las especies oleaginosas observadas en la bioprospección, se escogieron 15 consideradas inicialmente como más aptas y se les extrajo el aceite vegetal por varios métodos.

9.2. Metodología de extracción

La extracción de éstas sustancias generalmente es fácil. Los métodos son:

1. Compresión en frío
1. Compresión caliente.
1. Corriente de vapor de agua
1. Por disolución con un solvente apropiado.

Se adopta como rendimiento R a la cantidad de aceite vegetal recuperado con relación a la materia prima original.

$$R = \frac{M_{\text{aceite}}}{M_{\text{matprima}}} \quad (9.1)$$

En la figura 9.1 se ilustran los resultados y se indican también los métodos usados para extraerlos. En la investigación se usó extracción a presión con prensa y disolvente.

Rendimientos en peso

1	<i>Ricinus comunis</i>	45,5	PULPA	PRENSA
2	<i>Elaeis guineensis</i>	45,4	PULPA	PRENSA
3	<i>Attalea cuatrecasana</i>	45,3	ALMENDRA	PRENSA
4	<i>Attalea allenii</i>	40,2	ALMENDRA	PRENSA
5	<i>Cocos nuccifera</i>	40,0	PULPA	PRENSA
6	<i>Coumarona odorata</i>	37,2	PULPA	SOLVENTE
7	<i>Astrocarium standleyanum</i>	35,6	ALMENDRA	PRENSA
8	<i>Elaeis oleifera</i>	35,6	PULPA	PRENSA
9	<i>Scheelea butyracea</i>	35,1	ALMENDRA	PRENSA
10	<i>Teobroma chocoense</i>	30,2	ALMENDRA	PRENSA
11	<i>Oenocarpus Bataua</i>	24,5	PULPA	SOLVENTE
12	<i>Euterpe oleracea</i>	20,4	PULPA	SOLVENTE
13	<i>Oenocarpus mapora</i>	18,6	PULPA	SOLVENTE
14	<i>Persea americana</i>	15,7	PULPA	SOLVENTE
15	<i>Bactris gassipaes</i>	9,7	PULPA	SOLVENTE

Figura 9.1: Rendimientos y métodos de extracción de los 15 aceites escogidos

9.3. Métodos de extracción

9.3.1. Con prensa

Este procedimiento fue realizado utilizando la prensa hidráulica (figura 9.2) perteneciente al Laboratorio de Investigación y Servicios a la Comunidad del departamento de procesos químicos de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle.



Figura 9.2: Prensa hidráulica utilizada en la extracción

9.3.2. Con solventes

En el mismo laboratorio de la Universidad del Valle se extrajeron aceites usando disolventes (hexano). En la figura 9.3 están algunos de los aceites extraídos.



Figura 9.3: Aceites crudos extraídos de especies chocoanas en la Universidad del Valle

9.4. Equipos y Métodos de caracterización de los aceites

Los aceites conseguidos se caracterizaron mediante pruebas estandarizadas (cuadro 9.1) para determinar: Viscosidad, Gravedad específica ($^{\circ}$ API), Punto de chíspea, Punto de solidificación, Poder calorífico, Agua y sedimentos, Cenizas, Contenido de azufre, Índice de Cetano.

Las pruebas de densidad, viscosidad cinemática, humedad y poder calorífico se realizaron en el laboratorio de Combustibles y combustión de la Universidad del Valle, las pruebas de sedimentos y cenizas se efectuaron en el laboratorio de Investigaciones y servicio a la comunidad de la escuela de Ingeniería Química, las pruebas de contenido de azufre y punto de llama se hicieron en el laboratorio de Procesos industriales y las pruebas de punto de solidificación en la Cámara ambiental (WHO-PAHO-UV); todos estos laboratorios pertenecientes a la Universidad del Valle. Los métodos estandarizados que se siguieron son los siguientes:

9.5. Viscosidad

La viscosidad es una medida de la facilidad de un fluido a fluir. Los fluidos solo admiten esfuerzos cortantes τ . Se define como la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte o gradiente de velocidad.

Los fluidos llamados newtonianos se comportan de acuerdo con la siguiente relación en donde el esfuerzo cortante τ es proporcional al gradiente de velocidad ∇V .

$$\tau = \mu \nabla V$$

En donde μ es la viscosidad dinámica. También se usa la viscosidad cinemática ν que resulta de dividir la anterior μ entre la densidad ρ .

PRUEBA	MÉTODO
Densidad	D-287
Gravedad específica	calculado
Grados API	D-1298
Viscosidad cinemática	D-445
Punto de llama	D-93
Punto de llama	D-93
Punto de solidificación	D-938
Agua y Sedimentos	D-1796
Cenizas	D-482
Índice de Cetano	D-976
Contenido de Azufre	D-1552
Poder calorífico	D-1989

Cuadro 9.1: PRUEBAS ASTM

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

El aparato utilizado para medir la viscosidad está en la figura 9.5.



Figura 9.4: Viscosímetro Saybolt Laboratorio combustibles Universidad del Valle

9.6. Gravedad específica ($^{\circ}$ API)

La densidad es una medida de cuánto masa de material cabe en una unidad de volumen. Se representa aquí por ρ .

Los combustibles son moléculas de carbono e Hidrógeno principalmente. también es frecuente que la integren átomos de oxígeno y menos frecuentemente Nitrógeno.

Es de esperar que, en tratándose de moléculas orgánicas formen cadenas donde la columna de la misma sean átomos de carbono entrelazados y que halla una relación entre el tamaño de la cadena, su peso molecular, la densidad y la facilidad para fluir.

La densidad específica es una relación de que más denso es un fluido con relación al agua estando los dos, fluido éste caso aceite y el agua a la misma temperatura. Se representa por SP o SG y se puede encontrar equivalencia en grados API ($^{\circ}API$) que se calculan de acuerdo con la formula siguiente:

$$^{\circ}API \equiv \frac{141,5}{SG_{60/60}} - 131,5$$

En el laboratorio se midió con un higrómetro especial indicado en la figura 9.6



Figura 9.5: Higrómetro para densidad específica en $^{\circ}API$ Laboratorio combustibles Universidad del Valle

Sirve para catalogar que tan pesado es un combustible y calcular su poder calorífico.

ACEITE	(g/cm ³)	$^{\circ}API$
Extrapesado	>1	<10
Pesado	0.92 – 1	10 – 22.3
Mediano	0.87 -0.92	22.3 – 31.1
Ligero	0.83 – 0.87	31.1 – 39
Superligero	<0.87	>39

Figura 9.6: Clasificación de los aceites de acuerdo con su densidad API Laboratorio combustibles Universidad del Valle

9.7. Punto de chispa

También punto de inflamación que es la temperatura mas baja a la cual el aceite arde transitoriamente en contacto con una llama. Es muy importnte tenerlo en cuenta cuando se planea el almacenamiento del aceite pesado en grandes cantidades.



Figura 9.7: Sector de ensayos de punto de llama y de chispa del "Laboratorio Combustión Combustibles" Univalle

9.8. Punto de llama

Es la temperatura a la cual el combustible se enciende al contacto con una llama y continúa encendido. Para determinar el punto de chispa y el de llama se usó el aparato mostrado de copa cerrada de Cleveland en la figura 9.9 y 9.10



Figura 9.8: Determinación de punto de chispa y de llama Laboratorio combustibles Universidad del Valle

9.9. Punto de solidificación

Es la temperatura a la cual el aceite deja de ser fluido. En esta prueba el combustible se va enfriando en forma controlada y se chequea el punto cuando deja de comportarse como un fluido

9.10. Poder calorífico

El poder calorífico es la capacidad de liberar calor en la combustión que tiene un combustible. Se mide experimentalmente en las bombas calorimétricas y también se puede calcular con las fórmulas:

$$HHV \equiv 18650 + 40(API - 10) \frac{Btu}{libra} \text{ aceites combustibles}$$

$$HHV \equiv 18440 + 40(API - 10) \frac{Btu}{libra} \text{ keroseno}$$

$$HHV \equiv 18320 + 40(API - 10) \frac{Btu}{libra} \text{ gasolina}$$

Éstas formulas permiten calcular el poder calorífico superior en unidades inglesas, pero en unidades del sistema internacional SI son $Kjoul/Kg$ para lo cual deberán efectuarse las operaciones con los factores de conversión. En pruebas de laboratorio se midió en la bombas calorimétrica (figura 9.10).



Figura 9.9: Bomba calorimétrica Laboratorio Combustibles Univalle

9.11. Agua y sedimentos

En un combustible tanto el agua contenida como los sedimentos son indeseables y hasta nocivos para el funcionamiento de un motor. Considerese ésta importancia conociendo que el agua disminuye la capacidad calorífica del combustible, puede producir corrosión en las partes metálicas y el sedimento puede tapar a los inyectores de combustible.

9.12. Cenizas

la ceniza es el residuo sólido e incombustible que queda después de la combustión. Es un componente indeseable. El contenido de la ceniza dejada por un combustible nos

puede indicar que tan corrosivo son los componentes del combustible. En su determinación se utilizó una mufla (figura 9.11)



Figura 9.10: Mufla para determinación de contenido de cenizas Laboratorio combustibles Universidad del Valle

9.13. Contenido de azufre

El Azufre en los combustibles puede estar en forma de sulfuro de hidrogeno, u otros compuestos, pero también puede estar libre. Es un elemento indeseable en los aceites combustibles por eso en la normalización de los aceites se limita su contenido. El contenido de S se determinó en laboratorio en un aparato denominado sulfurómetro (figura 9.12)



Figura 9.11: Sulfurómetro Laboratorio combustibles Universidad del Valle

9.14. Índice de Cetano

Mide la facilidad de arranque o de quema de un combustible. Cuanto más elevado es el índice de cetano, más rápido se produce la inflamación del combustible. En el mercado se vende diferentes aditivos que buscan aumentar este valor en el combustible. Actualmente el equipo para la obtención de este valor solo lo posee ECOPETROL, su determinación para derivados del petróleo se hace indirectamente a partir de los grados API y la curva de destilación.

Es posible encontrar también un indicativo de la calidad de ignición con otra prueba sencilla que requiere pocos instrumentos. Es el *Punto de anilina* t_{ap} ($^{\circ}F$) que no es más que la temperatura a la que partes iguales de una anilina y el aceite se disuelve. Así:

$$IndiceDiesel = 0,01 \times ^{\circ} API \times t_{ap} \quad (9.2)$$

Capítulo 10

Resultados de la Caracterización de los aceites

Los resultados de la evaluación de las propiedades termofísicas de interés y su comparación con respecto a los ACPM comunes son enlistadas a continuación:

En la tabla 10.1 estan: Densidad(Kg/m^3), gravedad específica $SG(\rho_{25^{\circ}C}/\rho_{agua25^{\circ}C})$, densidad específica °API

La tabla 10.2 enlista las propiedades: Viscosidad cinemática (ν)cSt($40^{\circ}C$), Viscosidad cinemática (ν)cSt($100^{\circ}C$), Humedad Hu %, Sedimentación Sedim % y Cenizas Ce %

La tabla 10.3 resume los resultados de: Poder calorífico PC (cal/gr), Punto de inflamación °C TI, Punto de solidificación °C TS, azufre % S

ACEITE	Densidad	SG	°API
ACPM	878.032	0.871	30.96
ACEITE MARINO PESADO	989.012	0.99	11.43
1 ELEAIS OLEIFERA	868.572	0.869	31.33
2 ELEAIS GUINEENSIS	889.819	0.891	27.31
3 ATTALEA CUATRE CASANA	909.197	0.91	23.99
4 BACTRIS GASSIPAES	889.494	0.89	27.49
5 RICINUS COMMUNIS	912.086	0.913	23.48
6 COCCOS NUCCIFERA	895.202	0.896	26.42
7 ATTALEA ALLENI	885.836	0.887	28.03
8 OENOCARPUS BATAUA	928.156	0.929	20.81
9 SCHEELEA BUTYRACEA	892.142	0.893	26.95
10 EUTERPE OLERACEA	890.172	0.891	27.31
11 PERCEA AMERICANA	915.231	0.916	22.98
12 OENUCARPUS MAPORA	920.456	0.921	22.14
13 COUMARONA ODORATA	900.299	0.901	25.55
14 TEOBROMA CHOCOENSE	896.23	0.897	26.25
15 TASTROCARDYUM STANDLEYANUM	946.852	0.948	17.76

Cuadro 10.1: Densidad (Kg/m^3), gravedad específica SG ($\rho_{25^\circ C}/\rho_{agua 25^\circ C}$), densidad específica °API

ACEITE	$\nu(40^\circ C)$	$\nu(100^\circ C)$	%Hu	Sedim	Ce
ACPM	4.2	—	trazas	trazas	trazas
ACEITE MARINO PESADO	6.33	—	0.5	trazas	0.06
1 ELEAIS OLEIFERA	30.91	7.39	trazas	trazas	trazas
2 ELEAIS GUINEENSIS	30	6.07	trazas	trazas	0.04
3 ATTALEA CUATRE CASANA	25.77	5	trazas	trazas	0.03
4 BACTRIS GASSIPAES	34.4	6.75	trazas	trazas	trazas
5 RICINUS COMMUNIS	345.5	36.17	0.2	trazas	trazas
6 COCCOS NUCCIFERA	28.88	5.89	trazas	trazas	0.07
7 ATTALEA ALLENI	29.01	6.01	trazas	trazas	0.03
8 OENOCARPUS BATAUA	30.21	6.64	trazas	trazas	trazas
9 SCHEELEA BUTYRACEA	31.5	7.73	trazas	trazas	0.03
10 EUTERPE OLERACEA	34.02	6.35	trazas	trazas	0.06
11 PERCEA AMERICANA	39.35	7.91	trazas	trazas	trazas
12 OENUCARPUS MAPORA	29.93	6.13	trazas	trazas	trazas
13 COUMARONA ODORATA	31.02	7.27	trazas	trazas	trazas
14 TEOBROMA CHOCOENSE	—	—	—	—	—
15 TASTROCARDYUM STANDLEYANUM	—	—	—	—	—

Cuadro 10.2: Viscosidad cinemática (ν)cSt($40^\circ C$), Viscosidad cinemática (ν)cSt($100^\circ C$), Humedad Hu %, Sedimentación Sedim % y Cenizas Ce %

ACEITE	PC	TI	TS	S
ACPM	10 843.3	75	-16	0.5
ACEITE MARINO PESADO	10 412.2	127	–	1.69
1 ELEAIS OLEIFERA	9 299.2	280	-7.8	ND
2 ELEAIS GUINEENSIS	9 635.4	267	13.9	ND
3 ATTALEA CUATRECASANA	8 930.2	290	16.7	ND
4 BACTRIS GASSIPAES	9 415.4	340	-11.1	ND
5 RICINUS COMMUNIS	8 809.5	260	-17	0.031
6 COCCOS NUCCIFERA	8 910.6	281	20	ND
7 ATTALEA ALLENI	9 073	312	12.8	ND
8 OENOCARPUS BATAUA	9 137	245	-5.6	ND
9 SCHEELEA BUTYRACEA	9 004.5	296	20	ND
10 EUTERPE OLERACEA	9 358.2	306	7.2	ND
11 PERCEA AMERICANA	9 291.6	258	7.8	ND
12 OENUCARPUS MAPORA	9 093	279	6.7	ND
13 COUMARONA ODORATA	8 996.9	294	5.8	ND
14 TEOBROMA CHOCOENSE	9 314.7	–	31.1	–
15TASTROCARDYUM STANDLEYANUM	9 001.6	–	28.7	–

Cuadro 10.3: Poder calorífico PC (*cal/gr*), Punto de inflamación °C TI, Punto de solidificación °C TS, azufre % S

Capítulo 11

Evaluación de la caracterización de los aceites

11.1. Poder calorífico

Para una comparación ágil de las características se grafican las propiedades importantes. La gráfica de comparación de los poderes caloríficos es (figura 11.1). Se nota la semejanza entre todos los valores de los biodiesel (alrededor 9 200 Kcal/Kg) y su valor inferior con respecto a los dos petrodiesel (ACPM y Diesel marino).

Un inferior valor en el poder calorífico significa que cada kilogramo de combustible al arder entrega menos calor para ser transformado en trabajo en el eje del motor y por lo tanto mayor cantidad de combustible para obtener una misma cantidad de trabajo.

$$L = m_{co}PC \quad (11.1)$$

$$Pot = \dot{m}_{co}PC \quad (11.2)$$

dos motores iguales entregando la misma potencia pero usando dos combustibles, uno bio y otro petro, consumirá más bioaceite porque tiene menor poder calorífico:

$$\dot{m}_1 PC_1 = \dot{m}_2 PC_2 \Rightarrow \dot{m}_2 = \dot{m}_1 \frac{PC_1}{PC_2} \quad (11.3)$$

11.2. Densidad API

Los grados API ($^{\circ}API$) es la forma de medir la densidad de acuerdo con la reglamentación específica para la industria internacional del petróleo.

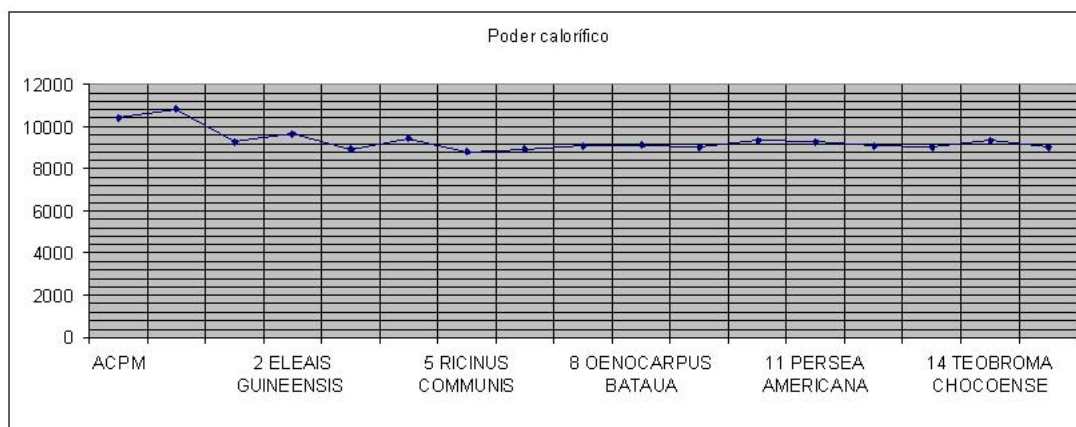


Figura 11.1: Curva de comparación de los Poderes caloríficos de los bioaceites

Los $^{\circ}API$ están relacionados con el poder calorífico de los combustibles y también sirve para clasificarlos como superligeros, Ligeros, Medianos, Pesados y Extrapesados. La gráfica comparativa de los $^{\circ}API$ también sirve para clasificarlos de acuerdo con lo anterior (figura 11.2):

De la gráfica se concluye que todos los bioaceites se clasifican entre los medianos a excepción de 8 OENOCARPUS BATAUA y 15 TASTROCARDYUM STANDLEYANUM.

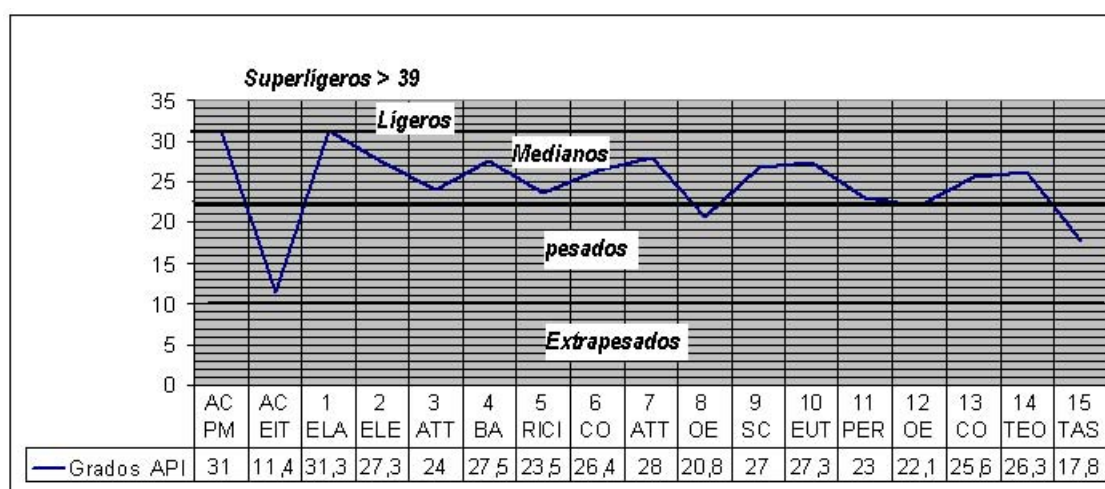


Figura 11.2: Curva de comparación de la Densidad en $^{\circ}API$

11.3. Viscosidad

El comportamiento de la viscosidad de los combustibles es muy importante porque mide la facilidad de fluir. Valores muy altos necesitan más presión para el flujo y tienen la tendencia de tupir los orificios, sobre todo en los inyectores, con el consiguiente mal funcionamiento del motor.

La viscosidad se determinó a 40°C y 100°C pero se recomienda hacer curvas del comportamiento de la viscosidad con respecto a la temperatura, muy útiles para el diseño del *sistema combustible* adecuado para cada combustible.

La curva comparativa de las viscosidades a 40°C y 100°C se muestra en figura 11.3, y se debe hacer notar que difieren bastante los petrodiesel, con viscosidades 4.2 y 6.33 (a 40°C), y los aceites vegetales con valores de entre 25 y 40, con el Ricinus communis con 345.

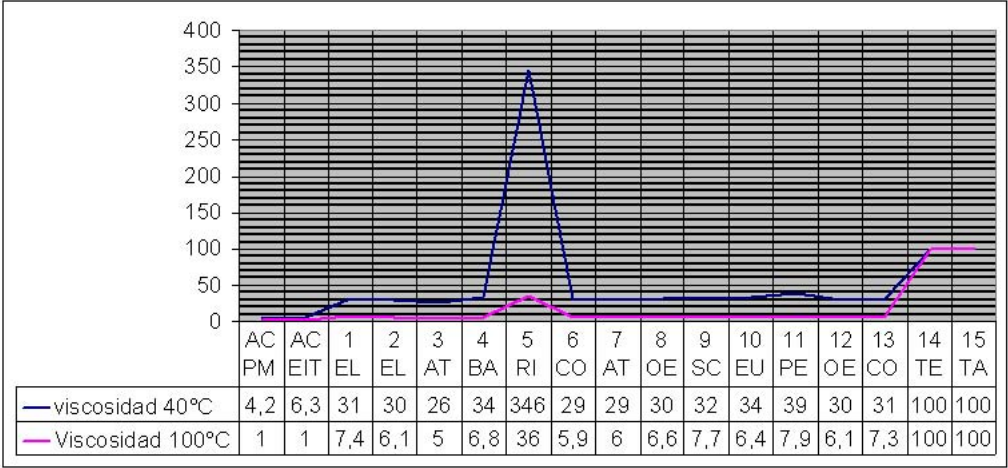


Figura 11.3: Curva de comparación de la Viscosidad a 40°C y 100°C

Éstos altos valores de la viscosidad pueden causar desgaste en los conductos y posibilidades de taponamiento, sobre todo en orificios estrechos como son los de los inyectores. La dependencia de la viscosidad con respecto a la temperatura da la posibilidad de modificar el sistema de combustible para con aporte de calor se baje el valor hasta uno aceptable.

11.4. Punto de inflamación TI

El valor de la temperatura a la cual un combustible arde transitoriamente en contacto con una llama, es muy importante porque permite establecer normas para el

almacenamiento.

11.5. Punto de solidificación TS

La temperatura a la cual el combustible deja de ser fluido es importante cuando se va almacenar combustibles en zonas y tiempos fríos. También el encendido del motor en esas mismas situaciones de bajas temperaturas es más difícil en la medida que el punto de solidificación sea más alto. Es importante tenerla en cuenta en el almacenamiento de los combustibles si existen temperaturas muy bajas en la zona.

Una propiedad del combustible que debe tener una relación con TI y TS es la temperatura de encendido TE , o punto de encendido, (que corresponde a la más baja temperatura para la cual el combustible inicia su combustión espontáneamente) y que se relaciona con el *autoencendido*.

Es recomendable desde el *punto de vista de la termodinámica que sea alto*. Si la temperatura de la combustión, T_{comb} , es alta (se deduce de que su autoencendido es alto) el rendimiento térmico de la máquina será mayor.

$$I = \frac{\eta_t}{\eta_t^{carnot}} \quad (11.4)$$

$$\eta_t^{carnot} = 1 - \frac{T_o}{T_{comb}} \quad (11.5)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_o}{F(T_{comb})} \quad (11.6)$$

En las expresiones anteriores η_t^{carnot} y η_t son los rendimientos térmicos de las máquinas Carnot ideal y real respectivamente. "I" es un índice que indica que tanto se aparta la máquina del comportamiento ideal.

El rendimiento térmico de las máquinas es función de la temperatura de combustión T_{comb} .

$$\eta_t = F(T_{comb})$$

Será mayor si T_{comb} es mayor e I aumenta y se vaya aproximando a 1,0 en el caso de una máquina reversible.

El índice "I" estará teóricamente $0 < I < 1,0$.

Los bioaceites tienen un valor mayor de temperatura de inflamación lo que prevee un mayor valor de la temperatura de combustión y la posibilidad de tener mayor relación de compresión r en los motores lo que redundará en mayor rendimiento del

misimo y mayor economía energética en su funcionamiento como se deduce de la expresión 3.2.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{kr^{k-1}} \frac{\rho^k - 1}{\rho - 1}$$

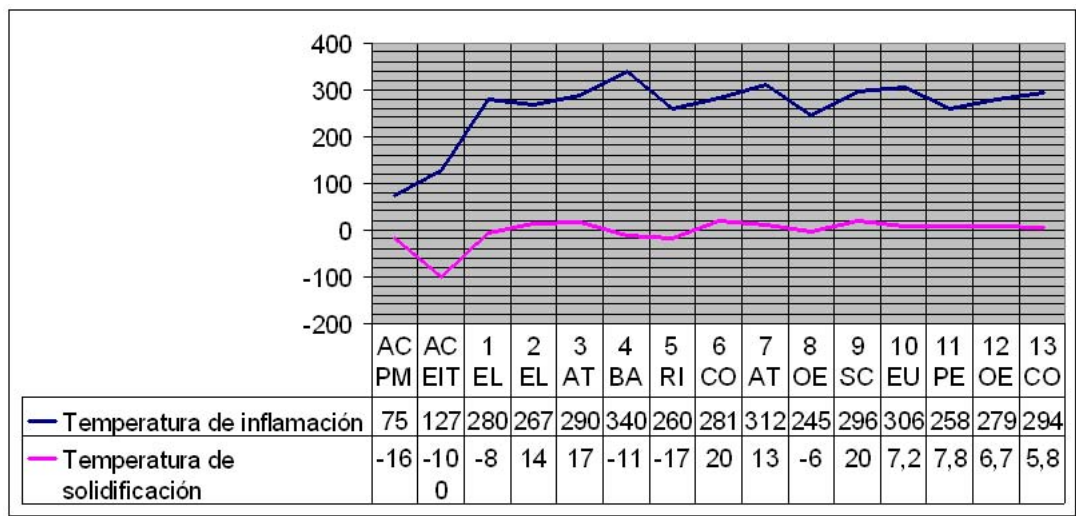


Figura 11.4: Curva de comparación de punto de inflamación y solidificación

Los petro diesel tienen menores valores de TI (75 para el ACPM y 127 para el aceite marino pesado de la figura 11.4) que los bioaceites y será de esperarse que sea también menor la temperatura de encendido.

11.6. Clasificación comparativa de bioaceites del Pacífico y petro aceites

La grafica 11.2 siguiente se da una pauta de cómo podrían ser usados los bioaceites para sustituir a los derivados del petroleo de acuerdo con la clasificación de los petrodiesel con base a su densidad.

Todos los bio se clasifican como medianos con densidad en °API comprendidas entre 20 y 30 exceptuando al Tastrocardyum Standeleyanum con un valor de 17.76 que lo coloca como aceite pesado.El bioaceite de Eleais Oleifera con 31.33 está el el límite entre los medianos y los ligeros.

Capítulo 12

Transesterificación de unos bioaceites del Pacífico

Los aceites vegetales y las grasa animales son moléculas de trigliceridos principalmente. Son una buena alternativa para producir biodiesel por su disponibilidad y variedad de fuentes de extracción, con la ganancia adicional de que son renovables (si se respetan las condiciones de la dinámica ambiental) y su producción puede ser autosostenible.[9]

El uso directo de los aceites vegetales tiene problema en el motor debido principalmente a: su alta viscosidad que dificulta su flujo aumentando la presión de inyección y los depósitos en los inyectores; baja volatilidad que hace difícil el encendido del motor. Por eso se debe transformar el aceite vegetal en algo lo más parecido al Diesel.

Se han hecho considerables esfuerzos para obtener un biodiesel semejante al Diesel comercial que tenga un óptimo desempeño en los motores. Los métodos a los que se ha llegado se agrupan en los siguientes[9]:

- Pirólisis
- Microemulsificación
- Dilución
- Transesterificación

12.1. Pirólisis

Este procedimiento se refiere a la aplicación de calor para cambiar químicamente las moléculas en presencia de aire o Nitrógeno. la temperatura a la cual se lleva el proceso influye en los resultados obtenidos. Los productos obtenidos incluyen alcanos, alkenos, alcadienos, aromáticos y ácidos carboxílicos.

12.2. Microemulsificación

Las microemulsiones son dispersiones de aceite y otras sustancias líquidas termodinámicamente estables, isotrópicas, claras o translúcidas. Debido a su naturaleza de mezcla el poder calorífico es más bajo y por lo tanto tiene los inconvenientes de mayor consumo de combustible y caída en la potencia en el eje del motor.

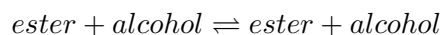
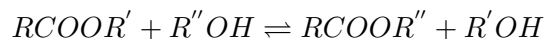
12.3. Dilución

Una solución de aceite en un solvente como aceite Diesel o un alcohol como el etanol. Un combustible obtenido así presenta el inconveniente de la producción de carbón lo que trae problemas en los inyectores principalmente.

12.4. Transesterificación

La transesterificación es el desplazamiento de alcohol desde un éster por otro alcohol. El proceso es similar a la hidrólisis de la que se diferencia sólo en que en ésta se usa agua y en la transesterificación, alcohol.

La ecuación es así:



A ambos lados de la ecuación se tiene un Éster y un alcohol.

El biodiesel, de transesterificación, se ha definido como una cadena larga de éster monoalquílico de ácidos grasos obtenido a partir de fuentes renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales y es muy similar a al Diesel convencional[9].

La fabricación del biodiesel via transesterificación de aceites vegetales se lleva a cabo a presión atmosférica y temperaturas de entre $60^{\circ}C$ y $70^{\circ}C$ con exceso de alcohol. El proceso produce glicerina (figura 10.1).

12.5. Valoración de bio-aceites del Pacífico para producir biodiesel

Para continuar con el objetivo de ver las posibilidades de usar los bioaceites vegetales obtenidos como fuente de carburantes bio EC se seleccionaron unos para lo cual se hizo una ponderación relativamente arbitraria con: el poder calorífico, los grados API, el

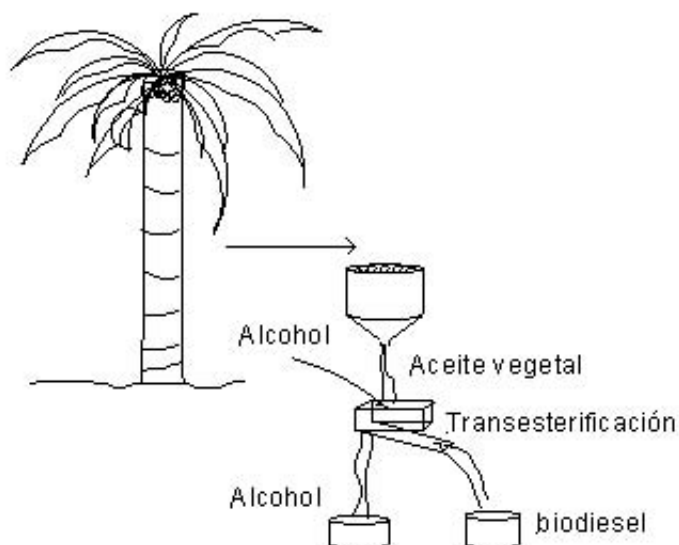


Figura 12.1: Proceso de transesterificación de aceites vegetales

punto de solidificación, el rendimiento y la disponibilidad que se consideran son importantes a la hora de usarlos. Éstos valores son de 0.3, 0.2, 0.2, 0.2 y 0.1 respectivamente ($\sum = 1$).

Se tomaron éstas características como criterios de selección pues eran los valores en que más se diferenciaban los aceites y cuya importancia es relevante para una futura producción.

A los biodiesel obtenidos se les caracterizará para determinar que combustible es el obtenido y su clasificación.

Aunque la disponibilidad de la especie es un criterio importante, se le dió poca importancia en el análisis comparativo y se estimó en forma subjetiva apoyándonos en que muchas de éstas especies no son cultivadas y aún son silvestres y *no hay valores disponibles de producción por hectárea ni estudios de cosecha*. Además las condiciones de éste ítem de comparación variarán sustancialmente en condiciones de cultivo

Se hace la comparación entre los aceites, tomando como referencia el aceite cuya propiedad como combustible es la más adecuada para un MCIEC.

A cada característica se le asignó un peso relativo y de ésta manera son seleccionados tres bioaceites para ver el proceso de aplicar la transesterificación ellos y los respectivos resultados (figura 12.1).

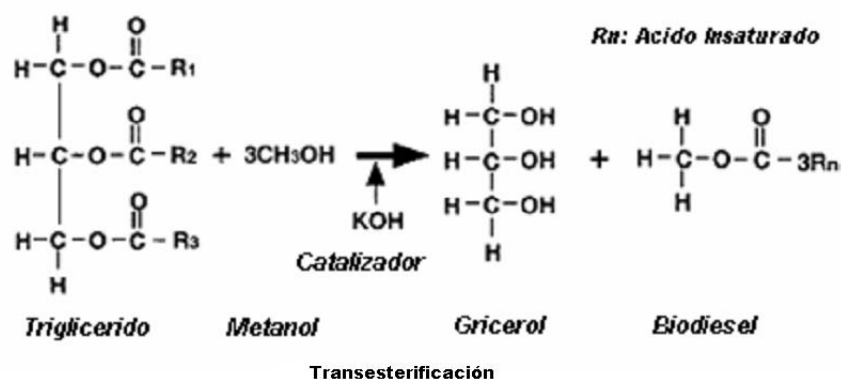


Figura 12.2: Ecuaciones de la reacción de transesterificación

Combustible	Poder Calorífico	Solidificación	Rendimiento	°API	Disponibilidad	Total
Importancia	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	1
Ricinus Communis	0,91	1	0,75	1	1	0,92
Elaeis Oleífera	0,97	0,25	1	0,78	1	0,8
Elaeis Guineensis	1	0,09	0,87	1	1	0,79
Cocos Nucifera	0,92	0,08	0,84	0,88	1	0,74
Attalea Cuatrecasana	0,93	0,08	0,77	1	0,8	0,73
Attalea Allenii	0,94	0,09	0,89	0,88	0,6	0,72
Eactris Gassipaes	0,98	0,34	0,88	0,21	1	0,68
Scheelea Butyracea	0,93	0,08	0,86	0,77	0,5	0,67
Euterpe Oleracea	0,97	0,11	0,87	0,45	0,8	0,66
Coumarouna Odorata	0,93	0,12	0,82	0,82	0,3	0,66
Oenocarpus Batava	0,95	0,21	0,66	0,54	0,8	0,65
Persea Americana	0,96	0,11	0,73	0,35	1	0,63
Oenocarpus Mapora	0,94	0,11	0,71	0,41	0,4	0,57

Figura 12.3: Identificación de los para producir biodiesel

De acuerdo a la anterior tabla, los aceites seleccionados para ser transesterificados son los de *Elaeis oleífera* (*biodiesel A*), *Elaeis guineensis* (*biodiesel B*), y *Ricinus Communis* (*biodiesel C*). Los demás también serán susceptibles de transesterificación pero pueden presentar un poco más de grado de dificultad

12.6. Obtención del biodiesel

Para obtener biodiesel se utilizaron las condiciones óptimas de etanol y NaOH encontradas la bibliografía citada [31] en la tesis de grado "Obtención de biodiesel de palma y de higuera utilizando etanol anhidro y una base como catalizador" de Ingeniería Química de la Universidad del Valle.

Se mezcló el NaOH con el etanol en un beaker y se agitó durante 10 minutos. Simultáneamente se calentó el aceite a una temperatura entre 50°C y 60°C y se agitó constantemente, se le agregó el etóxido de sodio y se continuó la agitación durante una hora a temperatura constante (Figura 11.1).



Figura 12.4: Reactor de biodiesel

Se dejó reposar durante 24 horas aproximadamente. Posteriormente se lavó agitando con agua, dejando que el agua se depositara en el fondo durante 12 horas, luego se desaguó (Figura 11.2) y se secó a una temperatura entre 90°C y 100°C . Estos



Figura 12.5: Decantación

procedimientos fueron realizados en el laboratorio de Investigación y servicio a la comunidad de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad del Valle.

Los biodiesel obtenidos se muestran en la figura siguiente (Figura 11.3). En el caso que nos ocupa se usó el procedimiento de transesterificación a algunos bioaceites escogidos pero se debe tener en cuenta que todos son susceptibles de transesterificación para obtener biodiesel.



Figura 12.6: Biodiesel obtenido A B C y D

Capítulo 13

Caracterización del biodiesel obtenido

Se realizó la transesterificación de los aceites nombrados anteriormente con etanol anhidro (99 % de pureza), debido a que su costo es muy alto se probó también con etanol industrial (al 96 % de pureza) en la transesterificación de aceite de higuerilla obteniendo un biodiesel D, los siguientes son los resultados de caracterización de acuerdo a las pruebas descritas en la tabla "Caracterización biodiesel vs ACPM" (Figura 11.1)

BIODIESEL		BIODIESEL A	BIODIESEL B	BIODIESEL C	BIODIESEL D	ACPM	NORMA EE. UU ASTM D6751
CARACTERÍSTICA							
DENSIDAD	kg/m ³	849,65	852,2	886,7	901,84	752,07	-
°API		34,87	34,38	26,25	25,24	30,96	-
GRAVEDAD ESPECÍFICA 25°C/25°C		0,851	0,853	0,897	0,903	0,753	-
VISCOSIDAD CIN. (40 °C)	cSt	5,48	4,84	19,2	22,88	4,2	1,9 - 6
VISCOSIDAD CIN. (100 °C)	cSt	2,02	1,8	2,7	4,84	-	-
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	137	142	118	120	75	>130
PODER CALORIFICO	cal/g	9345,82	9680,63	8861,37	8845,64	10843,3	-

Figura 13.1: Caracterización biodiesel vs ACPM

Se observó que los biodiesel que más se ajusta en la normativa internacional son los de *Elaeis Guineensis* y *Elaeis Oleifera*. Como característica adicional se evaluó el índice de cetano para éste combustible encontrando que su valor es 50.

Se presenta una pequeña variación en la disminución de la viscosidad entre RICI-

NUS COMMUNIS transesterificado con etanol anhidro y el procesado con etanol industrial.

En todos los casos se presenta en el biodiesel una reducción considerable del punto de inflamación y un ligero aumento del poder calorífico con respecto a su estado original.

A 40°C De los biodiesel los que pueden ser usados en un MCIEC son el de ELAEIS GUINEENSIS y ELAEIS OLEÍFERA ya que los demás sobrepasan el límite de 6 cSt, sin embargo, todos los biodiesel pueden ser usados a 100°C , para esto debe realizarse un calentamiento previo al ingreso en el motor modificando el sistema combustible y combustión.

Capítulo 14

Desempeño mecánico

14.1. Curvas de rendimiento

La construcción de las curvas de rendimiento de los biodiesel se realizó con base a los ensayos de la aplicabilidad del Biodiesel de oleína de palma en la Generación de Potencia, [32]

Se efectuaron pruebas en dinamómetro para el ACPM y el biodiesel de palma. Estudiando comparativamente la incidencia de las propiedades diferentes en los biodiesel obtenidos se barruntaron el comportamiento en la generación de potencia y se construyeron las diferentes graficas mostradas en éste capítulo.

14.2. Especificaciones del motor para las pruebas

Las especificaciones del motor usado en el estudio mencionado anteriormente son: Aprovechando las relaciones del mostradas en el capítulo 3 se calcularon los parametros

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN
N° de ciclos	4
N° de cilindros y disposición	4 en línea
Tipo de cámara de combustión	Cámara giratoria
Mecanismos de válvula	Válvula de culata accionada por balancín
Tipo de camisa	Sec
Calibre x carrera mm	88 X 104
Relación de compresión	21
presión de compresión	28/200
Potencia de salida máxima hp/rpm	75/3600
Torque máximo kg x m / rpm	17,5/2200
Relación de consumo g/ps-h(rpm)	190 (2000)

Figura 14.1: Especificaciones del motor del dinamómetro

siguientes:

Dimensión	valor	unidades
Volumen cámara de combustión	37.4	cc
Volumen admitido	747.6	cc
cilindrada	2990	cc
Exponente politrópico aprox.	1.25	adimensional
Presión de combustion	45	bar

Cuadro 14.1: Parámetros del motor calculados con las relaciones del capítulo 3

14.3. Desempeño en la generación de Potencia

Los carburantes son combustibles para usarse en motores por lo tanto su bondades y virtudes deben mirarse con relación al desempeño en éstos. Se hizo la valoración usando las relaciones del capítulo 3 y para los biodiesels obtenidos y su comparación con el de oleía de palma ya hecho.

14.3.1. De los bioaceites vegetales del Pacifico

De acuerdo con la teoria de los motores y las relaciones del capítulo 3 la temperatura al final de la compresión T_2 y la correspondiente presión P_2 dependen de las condiciones del aire a la entrada (T_1 y P_1) determinadas por las condiciones del ambiente local y el índice de la transformación politropica que en este caso es 1.25.

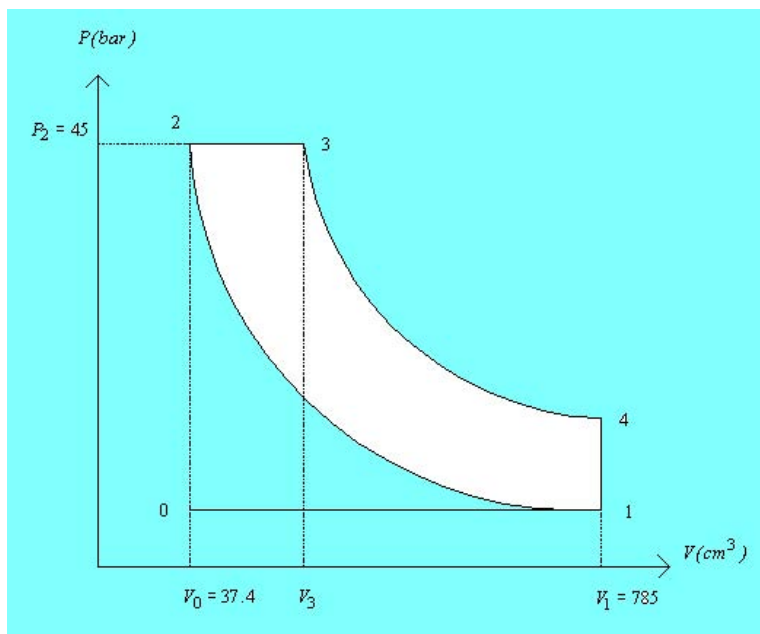


Figura 14.2: Ciclo termodinamico del motor de pruebas

la relación entre la temperatura al final de la combustión y el poder calorífico de

$T_{amb}^{\circ C}$	$T_1^{\circ K}$	$T_2^{\circ K}$
23	296	633
17	290	621
13	286	612

Cuadro 14.2: Temperatura al final de la compresión

ACEITE	PC	$T_3^{\circ K}$
ACPM	10 843.3	3669
ACEITE MARINO PESADO	10 412.2	3549
1 ELEAIS OLEIFERA	9 299.2	3237
2 ELEAIS GUINEENSIS	9 635.4	3331
3 ATTALEA CUATRECASANA	8 930.2	2866
4 BACTRIS GASSIPAES	9 415.4	3269
5 RICINUS COMMUNIS	8 809.5	3100
6 COCCOS NUCCIFERA	8 910.6	3128
7 ATTALEA ALLENI	9 073	3173
8 OENOCARPUS BATAUA	9 137	3191
9 SCHEELEA BUTYRACEA	9 004.5	3154
10 EUTERPE OLERACEA	9 358.2	3253
11 PERCEA AMERICANA	9 291.6	3234
12 OENUCARPUS MAPORA	9 093	3179
13 COUMARONA ODORATA	8 996.9	3152
14 TEOBROMA CHOCOENSE	9 314.7	3241
15TASTROCARDYUM STANDLEYANUM	9 001.6	3153

Cuadro 14.3: Temperatura al final de la combustión $T_3^{\circ K}$

acuerdo con las relaciones del capítulo 3 es:

$$T_3 = \frac{PC}{AC \times C_p} + T_2 \quad (14.1)$$

Los valores de T_3 para diferentes bioaceites y para los dos petrodiesel de referencia aparecen en la tabla siguiente:

Y la ecuación para calcular el índice de duración de la combustión ρ :

$$\rho = \frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} \quad (14.2)$$

Un gráfico que muestra la relación entre la temperatura al final de combustión T_3 y el índice de duración de la combustión ρ para los bioaceites del Pacífico es la figura 14.3:

El número del gráfico corresponde al mismo que tiene la especie en la tabla 14.3. En la figura 14.3 la temperatura al final de la combustión T_3 se ha dividido entre 1000 (N°

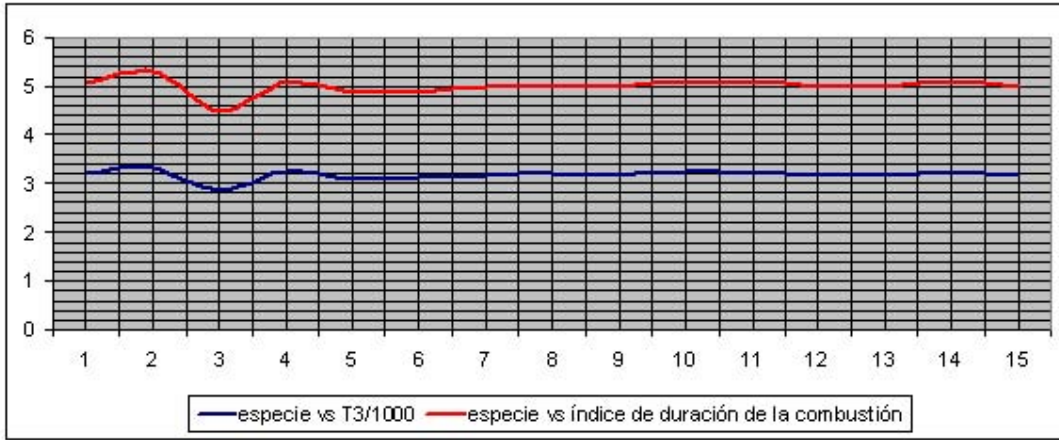


Figura 14.3: Relación entre la temperatura al final de la combustión T_3 y el índice de duración de la combustión

de la especie vs $\frac{T_3}{1000}$, ρ) Los valores para los petrodiesel (ACPM) son $3669^\circ K$ (3.669) y 5.8 para el diesel marino $3549^\circ K$ (3.549) y 5.6. Todos los bioaceites del pacífico están por debajo de éstos valores como se aprecia en la citada gráfica.

El menor valor de T_3 y de ρ tiene como consecuencia un menor valor en el rendimiento térmico η_t y en el rendimiento total de la máquina $\Pi\eta_i$, con el consiguiente aumento del consumo de combustible por cada hora de trabajo ó menor trabajo producido por cada kg de combustible.

Para el rendimiento térmico del motor:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{nr^{n-1}} \frac{\rho^n - 1}{\rho - 1} \quad (14.3)$$

”n” es el índice del proceso politrópico que en presente caso es alrededor de 1.25.

14.4. Ensayos y comparaciones

Los biocombustibles estudiados en este proyecto y obtenidos de las especies seleccionadas se llamaron: biodiesel A, biodiesel B, biodiesel C y biodiesel D. La figura 15.5 muestra las propiedades de los combustibles estudiados en este proyecto y los biodiesel 1 y 2 de la oleina de palma y ACPM [32].

BIODIESEL		BIODIESEL A	BIODIESEL B	BIODIESEL C	BIODIESEL D	BIODIESEL 1	BIODIESEL 2	ACPM
CARACTERÍSTICA								
DENSIDAD	kg/m ³	849,65	852,2	895,7	901,84	876,1	904,3	752,07
°API		34,87	34,38	26,25	25,24	29,85	24,818	30,96
GRAVEDAD ESPECIFICA 25°C/25°C		0,851	0,853	0,897	0,903	0,877	0,905	0,753
VISCOSIDAD CIN. (40 °C)	cSt	5,48	4,84	19,2	22,88	8,79	21,38	4,2
VISCOSIDAD CIN. (100 °C)	cSt	2,02	1,8	2,7	4,84			-
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	137	142	118	120	176,2	197,2	75
PODER CALORIFICO	cal/g	9345,82	9680,63	8861,37	8845,64	9514,44	9440	10843,3
VISCOSIDAD (25° C)	cSt					10,5	25,5	

Figura 14.4: Comparación de características de biodiesels y ACPM

14.5. Pruebas con biodiesel de oleína de palma

A continuación se muestran gráficas con los resultados obtenidos en los ensayos realizadas en el motor de prueba con biodiesel de oleína de palma tratado con metanol (biodiesel 1) y con etanol (biodiesel 2) (Figura 14.2)[32]:

14.5.1. Potencia

En la figura 14.5 se muestra el resultado de la potencia en el eje con respecto a las revoluciones por minuto del eje del motor RPM.

14.5.2. consumo

En lo que respecta al consumo de combustible los resultados estan en el grafico 14.6:

14.5.3. Eficiencia

Con los resultados se calculó la eficiencia a partir de la relación entre potencia en el eje y consumo. La ecuación utilizada fué:

$$Pot \equiv \prod \eta m_{comb} PC_{neto} \frac{RPS}{N}$$

N es 1 ó 2 dependiendo si el motor es de dos tiempos o de cuatro.

$\prod \eta$ es la eficiencia global del motor.

POTENCIA (hp)			
rpm	biodiesel 1	biodiesel 2	ACPM
750	6,81	7,49	8,52
1300	17,71	17,71	20,66
1750	27,82	27,82	31,79
1950	35,42	35,42	39,85
2300	47,01	44,92	50,14

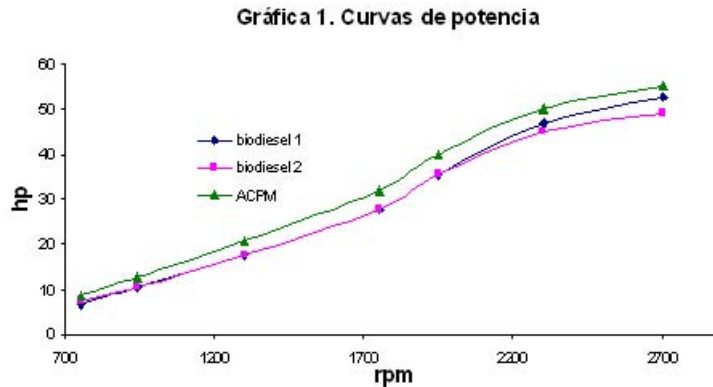


Figura 14.5: Resultados de las pruebas de potencia en el eje sobre los biodiesels 1 y 2 y ACPM

m_{comb} el consumo de combustible y PC_{neto} el poder calorífico del combustible.

Para los biodiesel de oleina de palma (biodiesels 1 y 2) las curva de eficiencia aparecen en el grafico 14.7 siguiente:

14.6. Biodiesel de aceites vegetales del Pacífico

Teniendo en cuenta que propiedades termo-físicas de un combustible; como la viscosidad, densidad, punto de inflamación y poder calorífico; influyen en el desempeño en un motor, se consideró su incidencia para evaluar los comportamientos en potencia, consumo y eficiencia de acuerdo con lo que relacionan las ecuaciones 3.9, 3.32, 3.30, 3.31, 3.35, 3.36, y 3.37 del capítulo 3.

- Altas viscosidades dificultan la correcta inyección, puesto que en éste caso las gotas de combustible son más grandes y fluyen con más dificultad
- Bajo poder calorífico aumenta el consumo y disminuye la potencia
- Densidad indica en que tipo de motor puede usarse el combustible
- Alto punto de inflamación aumenta la eficiencia termodinámica.

CONSUMO (kg/min)			
rpm	BIODIESEL 1	BIODIESEL 2	ACPM
750	1,19E-02	1,36E-02	9,11E-03
1300	1,86E-02	2,17E-02	1,49E-02
1750	2,69E-02	3,03E-02	2,09E-02
1950	3,81E-02	3,96E-02	2,85E-02
2300	5,67E-02	5,67E-02	4,64E-02

Gráfica 1. Curvas de consumo de combustible

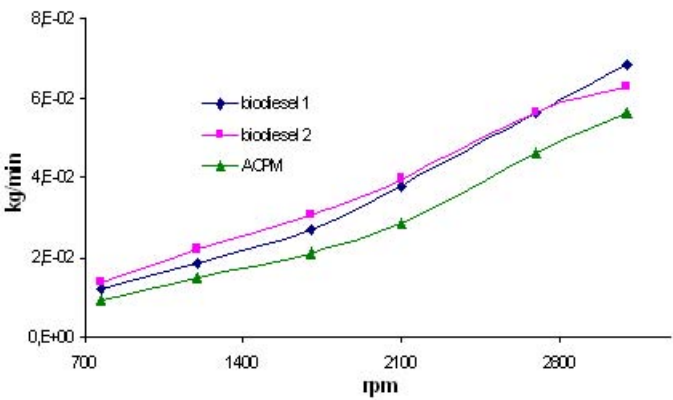


Figura 14.6: Resultados del consumo de combustible biodiesel 1 y 2 y ACPM

Se compararon los biodiesel A, B, C, D, 1 y 2 y con el ACPM, encontrando que todos los primeros presentan mayor similitud con el biodiesel 2 (biodiesel de oleína de palma) en cuanto a sus características importantes de desempeño como biocarburante diesel.

BIODIESEL	BIODIESEL2
A	0.99
B	1.03
C	0.94
D	0.94

Cuadro 14.4: Relación de similitud entre biodiesels: A, B, C y D

La propiedad de los combustibles que influye directamente, tanto en la potencia como en el consumo de combustible en un motor, es el poder calorífico (a mayor poder calorífico mayor potencia y menor consumo y a menor poder calorífico menor potencia y mayor consumo) se halló la siguiente relación entre los biodiesel A, B, C y D con el biodiesel 2, donde el valor más cercano a 1 indica mayor similitud (figura 14.8).

EFICIENCIA %			
rpm	biodiesel 1	biodiesel 2	ACPM
750	10,32	9,97	14,74
1300	6,81	6,10	9,00
1750	5,63	5,45	7,55
1950	4,32	4,35	5,21
2300	4,01	4,22	4,55

Curvas de eficiencia

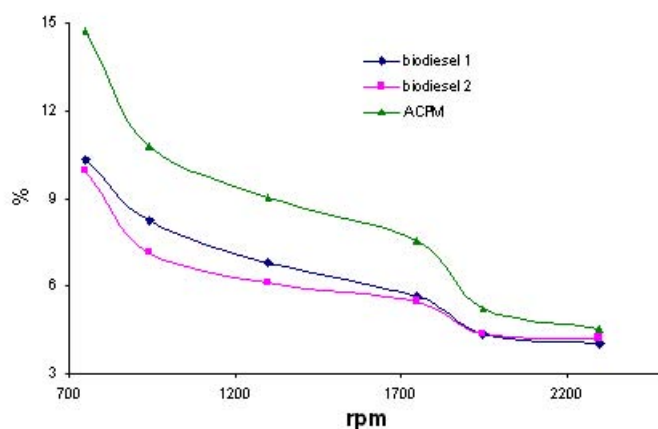


Figura 14.7: Eficiencia de los biodiesel de oleína de palma 1 y 2 y ACPM

De acuerdo a las tablas de consumo (14.9) y eficiencia (14.11) de los biodiesel de oleína de palma y de ACPM, y teniendo en cuenta los resultados de la tabla anterior, se calcularon los correspondientes valores de consumo (figura 14.10) eficiencia (14.12) y potencia (14.14) para los biodiesel en estudio.

También se establecieron curvas que relacionan el posible aumento del consumo de los biodiesel contra el ACPM (figura 14.5), de disminución de la eficiencia (14.16) y la pérdida de potencia (14.7).

Otras curvas que aparecen como importantes son las que relacionan la potencia contra el consumo para cada uno de los biodiesel derivados de los aceites del Pacífico figuras 14.18, 14.19, 14.20, 14.21 y la del ACPM.

Se calculó la potencia para los biodiesel analizados y se comparó con el ACPM en las siguientes gráficas 12.11 y 12.12.

Y las curvas de potencias:

RPM	BIODIESEL A	BIODIESEL B	BIODIESEL C	BIODIESEL D	BIODIESEL 1	BIODIESEL 2	ACPM
750	1,38E-02	1,17E-02	1,45E-02	1,45E-02	1,19E-02	1,36E-02	9,11E-03
1300	2,19E-02	1,83E-02	2,30E-02	2,30E-02	1,86E-02	2,17E-02	1,49E-02
1750	3,06E-02	2,65E-02	3,22E-02	3,22E-02	2,69E-02	3,03E-02	2,09E-02
1950	4,00E-02	3,74E-02	4,21E-02	4,21E-02	3,81E-02	3,96E-02	2,85E-02
2300	5,72E-02	5,57E-02	6,01E-02	6,02E-02	5,67E-02	5,67E-02	4,64E-02

Figura 14.8: Consumo estimado de biodiesels A B C D 1 2 y ACPM kg/min

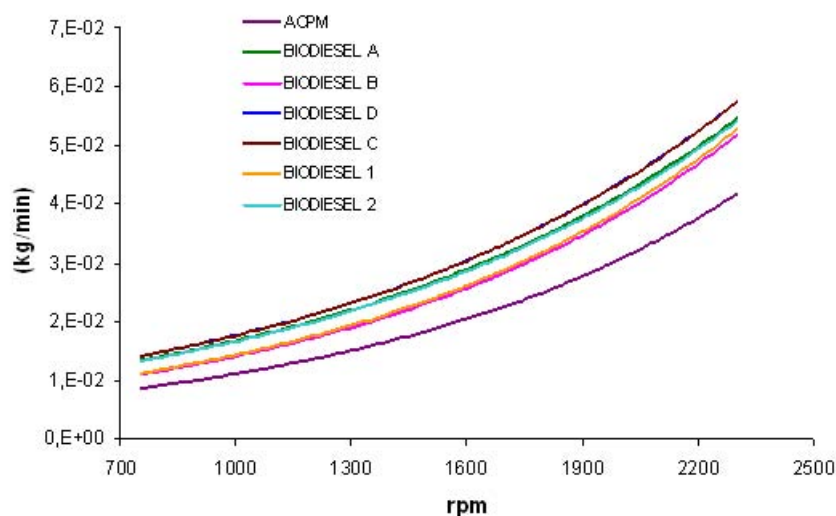


Figura 14.9: Curva de consumo estimado de biodiesels A B C D 1 2 y ACPM kg/min

El porcentaje de aumento de consumo de combustible para cada biodiesel respecto al consumo real en el motor usando ACPM está en la figura de "Aumento de consumo de los biodiesel frente al ACPM" (figura 14.15). De la misma manera muestran los pronósticos de disminución de eficiencia (figura 12.16) y pérdida de potencia (figura 12.17).

Las gráficas a continuación sintetizan el comportamiento de cada uno de los biodiesel y del ACPM respecto al consumo y la potencia.

RPM	BIODIESEL A	BIODIESEL B	BIODIESEL C	BIODIESEL D	BIODIESEL 1	BIODIESEL 2	ACPM
750	9,87%	10,50%	9,36%	9,34%	10,32%	9,97%	14,74%
1300	6,04%	6,93%	5,73%	5,72%	6,81%	6,10%	9,00%
1750	5,40%	5,72%	5,12%	5,11%	5,63%	5,45%	7,55%
1950	4,31%	4,40%	4,09%	4,08%	4,32%	4,35%	5,21%
2300	4,18%	4,08%	3,97%	3,96%	4,01%	4,22%	4,55%

Figura 14.10: Eficiencias estimadas de biodiesels A B C D 1 2 y ACPM

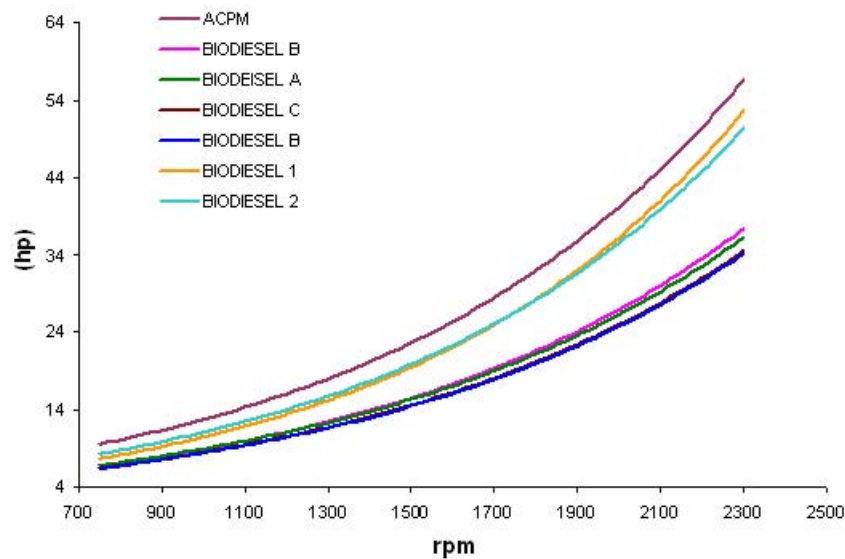


Figura 14.11: Curva eficiencias biodiesels A B C D 1 2 y ACPM

RPM	BIODIESEL A	BIODIESEL B	BIODIESEL C	BIODIESEL D	BIODIESEL 1	BIODIESEL 2	ACPM
750	7,09	6,92	6,75	6,69	6,81	7,49	8,52
1300	11,97	12,42	11,39	11,29	17,71	17,71	20,66
1750	20,15	20,01	19,16	19,00	27,82	27,82	31,79
1950	23,44	24,20	22,29	22,11	35,42	35,42	39,85
2300	38,37	39,44	36,49	36,18	47,01	44,92	50,14

Figura 14.12: Potencia estimada de HP biodiesels A, B, C, D, 1, 2 y ACPM

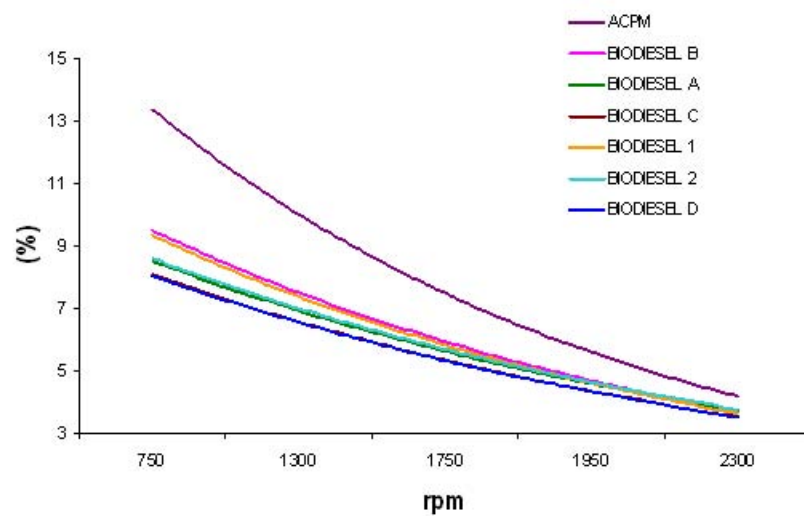


Figura 14.13: Curva Potencia estimada de HP biodiesels A, B, C, D, 1, 2 y ACPM

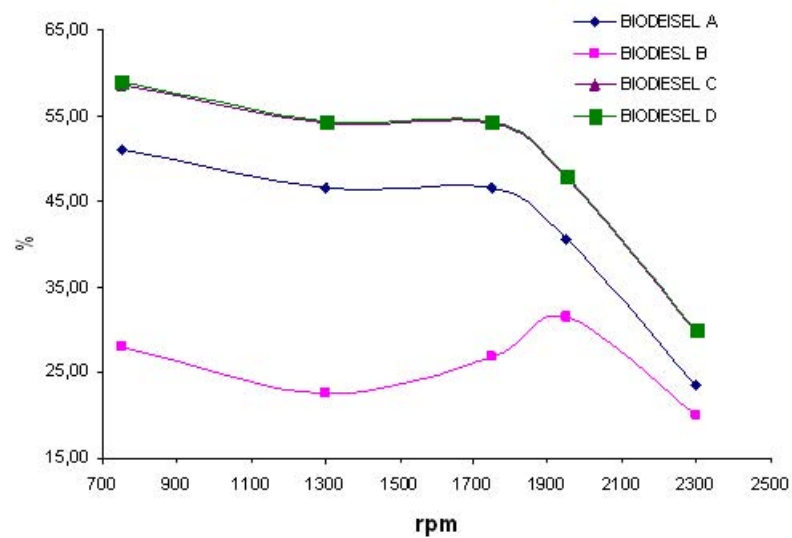


Figura 14.14: Pronóstico de aumento del consumo biodiesels versus ACPM

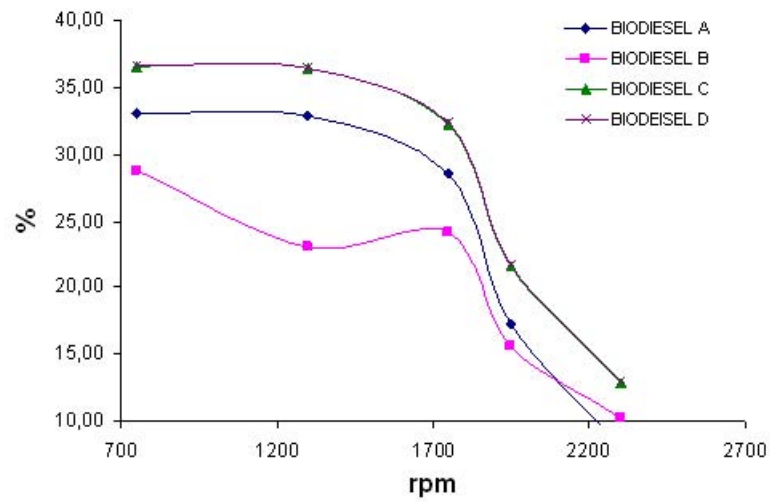


Figura 14.15: Pronóstico de disminución de la Eficiencia

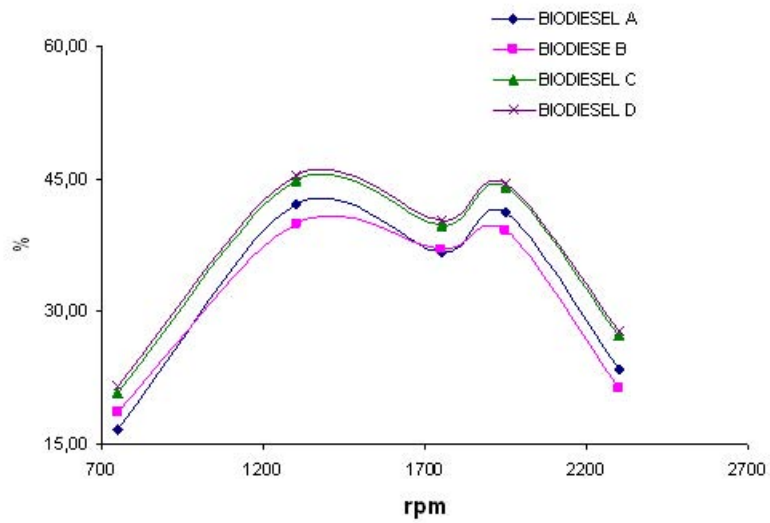


Figura 14.16: Pronóstico de Pérdida de potencia comparada con el ACPM

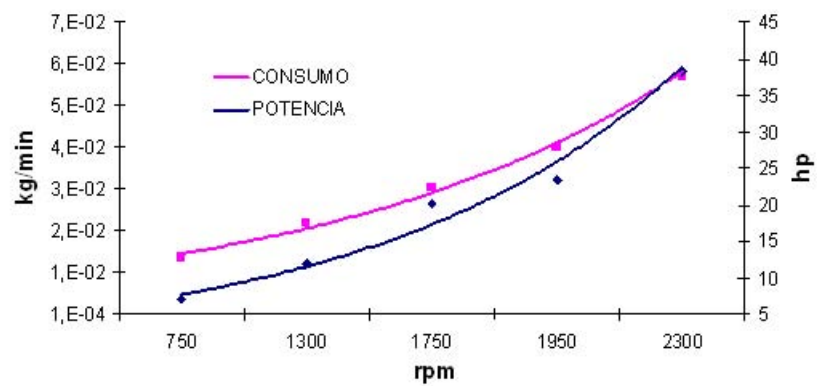


Figura 14.17: Pronóstico de Potencia y consumo de biodiesel A

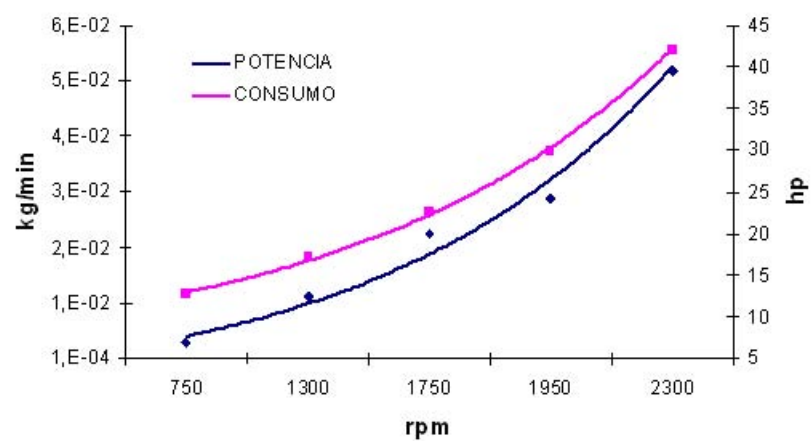


Figura 14.18: Pronóstico de Potencia y consumo de biodiesel B

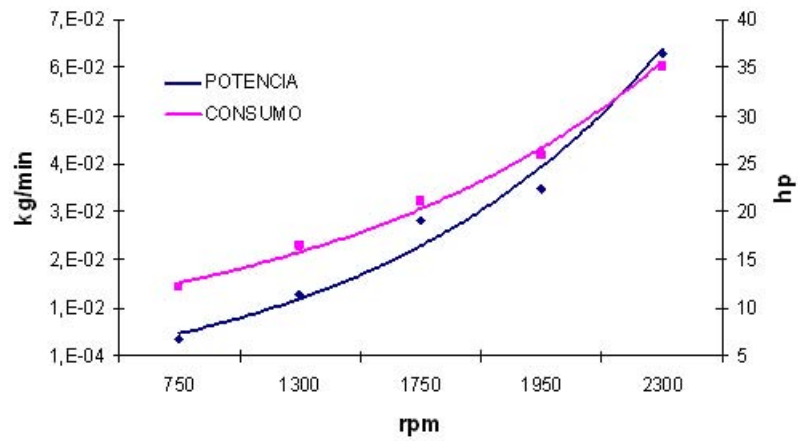


Figura 14.19: Pronóstico de Potencia y consumo de biodiesel C

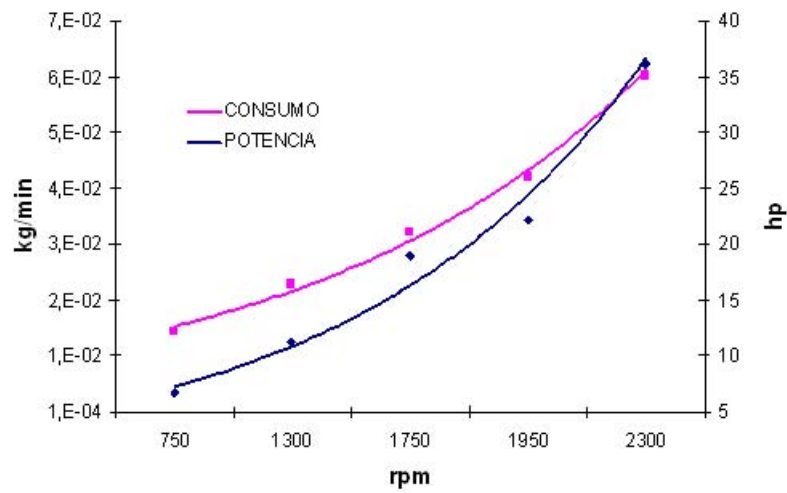


Figura 14.20: Pronóstico de Potencia y consumo de biodiesel D

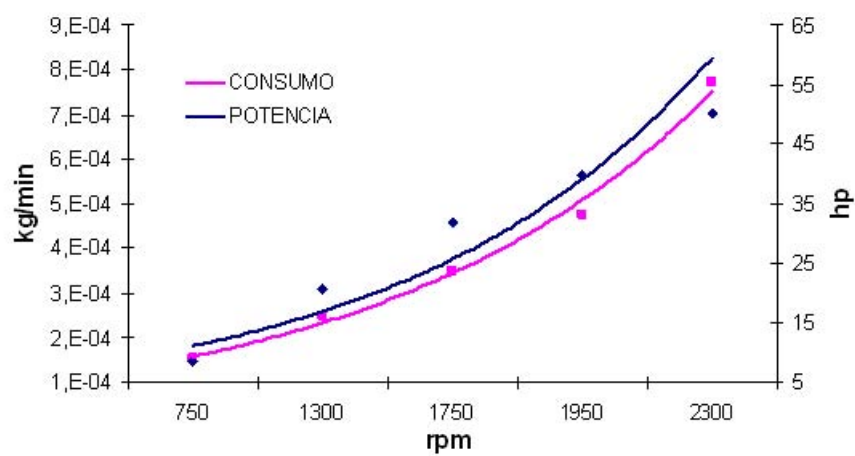


Figura 14.21: Pronóstico de Potencia y consumo del ACPM

Capítulo 15

Perspectivas de los biodiesel

Comprendiendo la importante e imperiosa necesidad de encontrar sustitutos del diesel derivado del petróleo (Petrodiesel) y reconociendo, como se manifiesta en muchos reportes sobre el tema, que los biodiesel obtenidos a partir de algunas especies vegetales pueden ser buenos sustitutos con el atractivo adicional de poder ser sustentables y sostenibles, en todo el orbe se ha dado un impulso para su desarrollo, producción y utilización:

El impulso más fuerte al uso fue dado por la crisis en el suministro de petróleo en los años 70s y posteriormente por la guerra del Golfo en 1991. Europa ha estado muy dependiente de las importaciones de petróleo para sus usos energéticos, por lo que la European Union tiene enfrente un riesgo creciente en la seguridad del suministro de energía lo que ha enfatizado el International Energy Agency (IEA).

Son hechos hechos claros que han dado pasos para mitigar estos problemas. En lo que respecta al continente europeo hay un reconocimiento de que:

- la brecha de producción - demanda de aceite de fósil está disminuyendo mundialmente aunque la demanda por energía aumenta dramáticamente.
- aceite del mar del norte se acabará por el año 2010.
- la demanda de energía del mundo para el sector de transporte es todavía la más políticamente neurálgica es la que ha causado las emisiones más altas y está en crecimiento dramáticamente por ejemplo en muchos países con economía industrial creciente como China

De acuerdo con el IEA habrá una necesidad de todos combustibles alternativos para el sector de transporte y el Biodiesel será uno de ellos (European Commission, Octubre 1996) (European Commission, Spring 1996).

Revisando estudios económicos se ha demostrado que los costos proyectados del biodiesel producido de semillas y grasa animal tienen un rango de \$US 0.30-0.69/l, incluyendo materia prima y procesamiento. Proyecciones del costo del biodiesel de aceites vegetales y grasas de desperdicio US\$0.54-0.62/l and US\$ 0.34-0.42/l. Con

impuestos US\$0.18/l en Estados Unidos de America y US\$0.20-0.24/l en países de Europa. En estas condiciones no es factible tecnicoeconomicamente. El analisis económico en granjas cooperativas para biodiesel en Viena, Austria, muestra que con subsidio gubernamental los granjeros pueden producir biodiesel en condiciones aceptables para ellos. [33]

La producción de Biodiesel y su uso de comercial se ha ampliado en Europa y Estados Unidos. En esos gobiernos se han ampliado las políticas agrícolas para permitir que agricultores reciban una prima para semillas oleaginosas industriales. En Alemania, Austria, Italia, Francia, Suecia, Dinamarca y la vieja República Checa también hay exenciones e impuestos sobre el consumo de biodiesel.

Los EU planea desarrollar una participación en el mercado 5 % para biofuels desde antes del año 2005. Además, recientemente han habido cambios propuestos en la política agrícola común de primas para producción de producto no alimenticio.[33]

Con respecto a los motores de combustión que usen combustibles alternativos los fabricantes de tractores que siguen desarrollaron máquinas compatibles con el biodiesel: Fendt, Fiatagri, Ford, Case, John Deere, Deutz Fahr, Lamborghini, Linder, Massey Ferguson, Mercedes Benz, Same y Steyr.

- En Europa, la Comunidad Europea EU y en Norte America se ha estimulado la producción y comercialización del biodiesel mediante el otorgamiento de premios e incentivos tributarios para la producción industrial de semillas. Existen exenciones y rebajas en los impuestos para el mismo fin en los países: Alemania, Austria, Italia, Francia, Suiza, Dinamarca, y la antigua república Checa.
- Hay compromisos firmados entre la Union Europea EU y Estados Unidos USA para desarrollar su producción y uso.
- En 1993 existían ya 7 refinerías de biodiesel a escala industrial (es decir que producen mas de 7.5 Ml) en Francia, Austria, Alemania, y Suiza. Actualmente se ha incrementado el número.
- En USA hay cinco a escala:
 1. Twin Rivers Technology 115 Ml
 2. NOPEC Corporation 83 Ml
 3. Pacific biodiesel 570 000 l
 4. Columbus Foods 750 000 l
 5. A y Environmental Products 25 Ml
- Además en USA hay funcionando 3 cooperativas agrarias con la decisión específica de producir biodiesel.[33]
- En enero comenzaría a construir la planta de biodiesel en Virasoro. Representantes de la empresa Hamburgo se reunieron con el Gobernador para exponer el proyecto. Planean construir tres plantas con una inversión de 90 millones de euros. Darán trabajo a 250 personas durante las obras y entre 50 y 60 operarios

en cada una, para cuando estén en funcionamiento. China, el país más poblado del mundo, tiene programas actualizados para promover el uso de los biocombustibles como fuentes de energía muy importantes. Su meta es llegar a producir en el año 2010 2 millones de toneladas por año y en el año 2020 10 000 millones de toneladas por año[34]

El uso del biodiesel ha contribuido significativamente a la economía de los Estados Unidos de América en el año 2006 de acuerdo con Jhon M. Urbankchuk[23]

El costo de producir biodiesel es mayor que el de producir petrodiesel, si no se considera en términos totales su producción involucrando al medio ambiente. Si se hace esta consideración la correlación de costos se puede invertir si se considera que el petróleo se agota inminentemente.

El cultivo de especies para producir biodiesel ocupará inmensos territorios antes dedicado a producir comida. Este panorama por ser peligroso obliga a considerar, además de la sustitución de combustibles, disminuir la dependencia energética de todos los combustibles. La producción de energía via cultivos ha sido cuantificada en varias partes.[]

El cuadro 15.1 enlista los litros de BIODIESEL que se obtienen por hectárea y por año

: La rentabilidad económica del BIODIESEL dependerá de los subproductos de la

Especie	litros
Soja (<i>Glicine max</i>)	420
Arroz (<i>Oriza sativa</i>)	770
Tung (<i>Aleurites fordii</i>)	880
Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	890
Maní (<i>Arachis hypogaea</i>)	990
Colza (<i>Brassica napus</i>)	1100
Ricino (<i>Ricinus communis</i>)	1320
Aguacate (<i>Persea americana</i>)	2460
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	2510
Palma (<i>Elaeis guineensis</i>)	5550

Cuadro 15.1: Producción por cada hectárea en un año[35]

extracción del aceite. Si éstos proveen otros ingresos, por ejemplo, sirven para uso humano, o para alimentos balanceados y se venden, o sólo sirve para ciertos alimentos balanceados, o para uso industrial y/o fertilizante.

El alcohol se utiliza en una proporción del 15 al 20 %, y el álcali es menos del 1 % de la mezcla inicial. La proporción de alcohol utilizada es similar a la proporción de glicerol que se obtiene como subproducto y se pueden recuperar una parte del alcohol usado en durante proceso.

La producción de biodiesel en cooperativas agrarias podrá ser importante porque están involucrados los agricultores que tienen la experiencia de su cultivo y pueden ser estimulados con los programas gubernamentales y políticas mundiales. Esto potenciará la economía rural y mejorará, por efecto reflejo, el nivel tecnológico del campo y podría mejorar el estatus de vida de los campesinos.

Los países americanos y africanos tercermundistas, ocupan una posición geográfica envidiable para la producción de biomasa. Hay muchas allí especies aún no completamente caracterizadas. Las zonas han pertenecido y pertenecen a comunidades raizales, muchas sin títulos de propiedad legales desde la óptica de la civilización occidental, pero poseedoras naturales de la tierra y de sus especies. Deberá respetarse a la hora de encauzar la explotación de sus recursos energéticos incluso los biocarburantes derivados de las especies propias.

15.1. Perspectivas del biodiesel en Colombia

La presente investigación demostró que al menos en la zona pacífica de Colombia hay muchas especies para producir biodiesel y en general se puede concluir que hay mucha diversidad de fuentes para producir biocarburantes EC pero la región que fue objeto de trabajo es sólo una parte de la geografía nacional colombiana.

Colombia tiene varios pisos térmicos regados por toda la geografía nacional. Muchos de ellos extensísimos y con potencial que pueden ser enorme en la producción de materia prima para carburantes ECH y EC.

Éstas zonas están en los Valles a lo largo del río del Cauca, del río Magdalena, del río Meta etc. En la zona Pacífica y en los Llanos orientales, Orinoquía, Vaupéz, etc. (Figura 13.1)

Desde Perú hasta México la costa que linda con el Pacífico comparte muchas características biológicas. Brasil Colombia, Ecuador, y Venezuela comparten una extensa región con clima y características de suelo semejantes en la Amazonía y por consecuencia especies vegetales y fauna iguales, así los vecinos países gozan también una inmensa riqueza o biológica y en particular de especies potencialmente útiles para producir biodiesel.

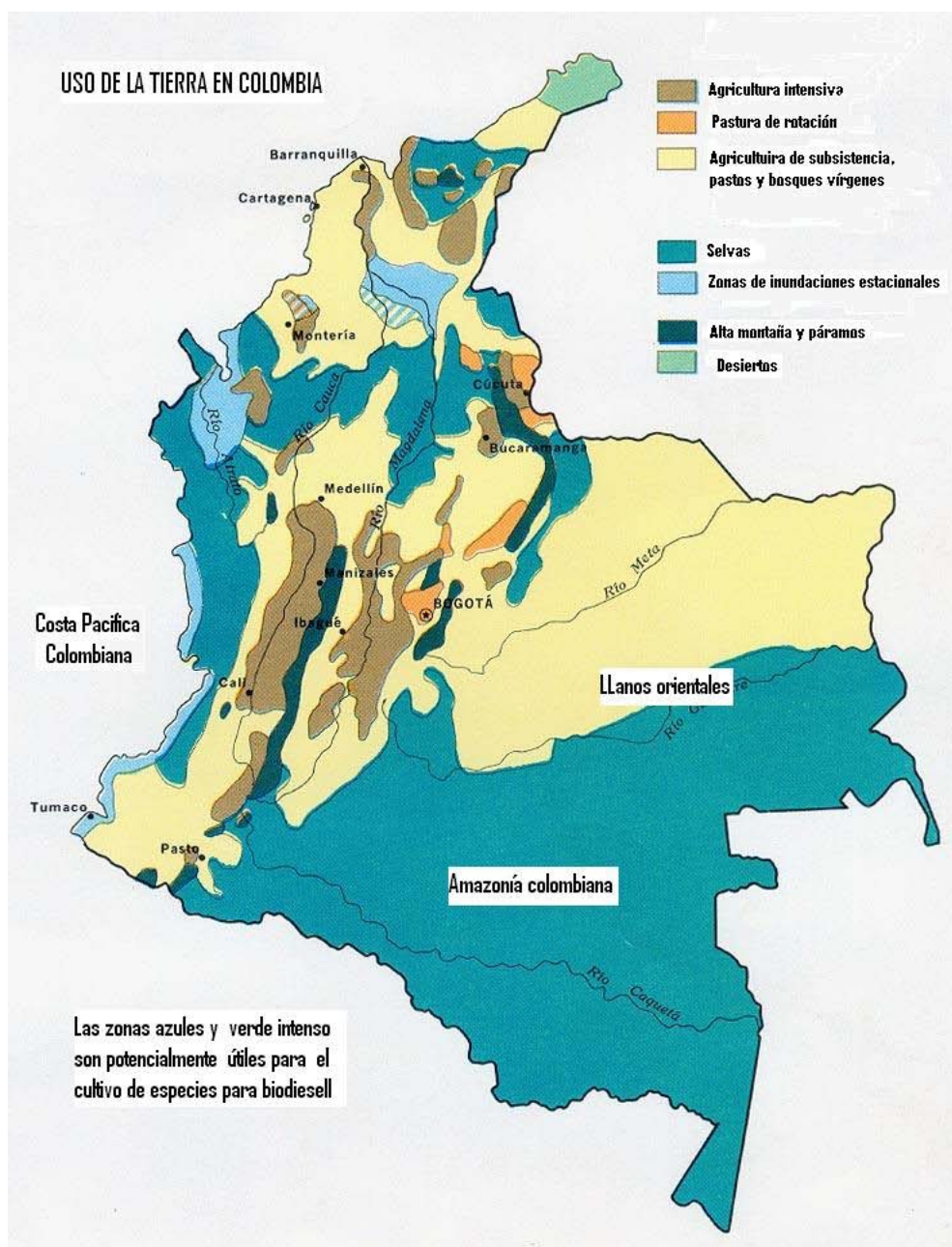


Figura 15.1: zonas de Colombia continental

Capítulo 16

Utilización de biocarburantes en MCIEC

El ACPM tiene una temperatura de ignición entre 70 y 90°C (y de encendido de 924°K) mientras que la de los aceites vegetales crudos esta entre 250 y 350°C , y los biodiesel entre 150 y 200°C , esto debido a la adición de alcohol en el proceso de transesterificación.

Esto hace que su transporte y almacenamiento sea más fácil y seguro. En cuanto a su funcionamiento en los motores convencionales la alta temperatura de inflamación no incide en su funcionamiento ni representa tener que utilizar cámaras ni cilindros más esbeltos para producir la suficiente presión, pues normalmente la temperatura en la cámara de combustión de un motor diesel convencional alcanza entre 430 y 500°C .

Debido a la mayor densidad y contenido de carbono de los aceites, además de la existencia de impurezas como glicéridos, glicerol y ácidos grasos libres se presenta desgaste de la bomba de inyección, depósitos de carbón en el asiento de las válvulas, carbonización del inyector y del vástago de las válvulas.

Para evitar esto se recomiendan mezclas hasta 30% y limpieza más continua de los inyectores para evitar los depósitos de carbón. Otra opción es utilizar inyectores y válvulas autolimpiables, especialmente en la utilización de aceites crudos.

Si se utilizan aceites crudos el inicio de la ignición debe hacerse más rápidamente, puesto que la gotas de combustible entran con menor grado de nebulización y se presentará una disminución de la potencia debido a su menor poder calorífico, atomización más pobre por su mayor viscosidad y peor combustión. Los aceites puros son mucho más viscosos que sus ésteres o ACPM. Ésto provoca cambios en la pulverización del combustible caída en el flujo y problemas de lubricación y refrigeración. La generación de humo aumenta, el combustible sin quemar lava los cilindros provocando la formación de gomas en los aros y dilución del aceite. Los depósitos de carbono reducen la potencia e incrementan la formación de humos por fallas en el encendido de algunos cilindros.

Esto se podría solucionar modificando la geometría de la cámara de combustión (por ejemplo esferoidal) y la dirección de entrada de inyección del aceite vegetal a la cámara de combustión tangencialmente, además se debe retrasar la atomización del aceite; esto permitiría una perfecta nebulización, es decir, que la mezcla aire combustible sea muy fina para así evitar que se hagan depósitos carbonosos, logrando una combustión completa y mejorando la eficiencia del motor.

La dilución de los aceites lubricantes es un problema del uso prolongado de biodiesel. El metilester supera los anillos de los pistones llegando al cárter. Pueden luego surgir problemas en la inadecuada lubricación de la superficie del pistón y formación de gomas. El período de uso, el diseño de la cámara de combustión, el patrón de inyección y su calibración influyen en el grado de dilución del aceite. Reducir el cambio de aceite por ejemplo a 150 horas puede para evitar daños y deterioros en los motores.

Para aceites con alta temperatura de solidificación un precalentamiento del aceite es necesario. Esto se puede realizar colocando un calentador a la salida del tanque de almacenamiento utilizando resistencias o aprovechar la alta temperatura de los humos para lograr una desviación del tubo de escape de gases y construir un intercambiador de calor.

Reconocer qué con éste buen comienzo se debe continuar con los pasos al aprovechamiento sostenible del recurso bioenergético. Para ello se deben establecer adecuados procesos tecnológicos que produzcan el combustible más apto, ensayar mezclas y hacer estudios detallados con el fin de hallar su incidencia en los materiales constructivos del motor, en especial en los sistemas de combustible y humos. Tomar los correctivos necesarios y rediseñar sistemas del motor (como el sistema de combustión y de gases) para que su desempeño sea el óptimo.

16.1. Sustitucion de ACPM

Elbiodiesel puede sustituir totalmente al ACPM en los motores, pero es posible considerar de una paulatina sustitución. Si S es el porcentaje de sustitución definido por:

$$S = \left(\frac{\Delta M_{sus}}{M_{act}} \right) \times 100 \quad (16.1)$$

ΔM_{sus} es la masa sustituida y M_{act} la masa consumida de ACPM que se toma como base del cálculo.

El consumo de ACPM en el 2002 era de $21\,779 \times 10^3 \text{barriles}$ [11]. Tomando porcentajes de sutitución S diferentes tomando y como base se calcula $21\,779 \text{ Kbarr}$ ($Kbarr = 10^3 \text{barr}$) se tabulan los resultados siguientes de ahorro de ACPM en Colombia por año cuadro 16.1.

S	Ahorro (Kbarr)
10	2178
20	4356
40	8712
50	10890
80	17423
100	21779

Cuadro 16.1: Ahorro de ACPM por sustitución con biodiesel

16.2. Área para el cultivo de bioaceites vegetales

Colombia tiene como privilegio su variedad de climas, su abundantes aguas, su suelo y su variedad de especies biológicas en su territorio. El país tiene un potencial agrícola de 14.274.000 hectáreas, equivalente al 12 % de la superficie nacional. El uso agrícola de la tierra se da en 5.320.000 hectáreas, de las cuales cerca de un millón corresponden a cultivos cafetaleros que indica la posibilidad de expansión de la frontera agrícola. El trópico cálido representa alrededor del 82 % del territorio nacional (93.257.000 hectáreas); en la franja cálida húmeda y muy húmeda se encuentra situado el 96 % de las selvas y sabanas; por su parte, en la franja cálida subhúmeda y seca se concentra la mayor intervención de cultivos comerciales de algodón, arroz, caña de azúcar, sorgo, soja, ajonjolí, maní y frutas tropicales.[36].

Por otro lado para el cultivo del biodiesel se deben destinar extensiones de terreno cultivable de acuerdo con la cantidad de biodiesel que se requiera producir.

Como una valoración aproximada en un motor de 100 Kw funcionando durante un año 8 467 200 seg (es decir: 7 días por semana, 28 días al mes y 12 meses al año) consumirá de *biodiesel 1* (obtenido de palma africana con rendimiento de 5 500 litros por Hta) alrededor de 89.5 en un año, lo que significan unas 16 hectareas dedicadas al cultivo del aceite para ese motor en el mismo período.

En el caso de la sustitución del ACPM en Colombia tendríamos de acuerdo con los datos del cuadro 15.1 para la palma *Elaeis guineensis* (la que según del cuadro produce más bioaceite por Hta) que una hectárea de cultivo producirá 34.6 Galones. El cuadro siguiente 16.2 muestra el área en miles de Hectáreas necesarias dedicar al cultivo para cultivar el biodiesel a sustituir en Colombia en un año:

Para sustituir todo el ACPM, tomando como base el consumo del 2002, se necesitan dedicar al cultivo $631,59 \times 10^3$ de hectáreas del territorio nacional lo que representa el 0,6 % de todo el territorio nacional y el 12 % de la frontera agricola del pais (estimada en 5.320.000 hectáreas segun [36]).

El clima apto para cultivo de palmas debe ser cálido tropical que en Colombia es una parte importantísima de selva virgen y territorio reservorio de la riqueza biológica del país (93.257.000 hectáreas) que debería considerarse intocable de cara a poder

S	Area de cultivo (10^3 Htas)
10	63.16
20	126.32
40	252.65
50	315.81
80	505.27
100	631.59

Cuadro 16.2: Área en miles de Htas para la sustitución con biodiesel en relación al porcentaje de sustitución S

contar con ventajas competitivas en el cuadro sociopolítico mundial del futuro.

Índice general

1. Introducción	3
2. Los motores de combustión interna	7
2.1. Importancia de los motores	11
3. Los motores MCI EC	13
3.1. Definiciones y dimensiones características	13
3.1.1. Punto muerto	14
3.1.2. Diámetro del motor	14
3.1.3. Carrera	14
3.1.4. Volumen desplazado	14
3.1.5. Cilindrada	15
3.1.6. Volumen de la cámara de combustión	15
3.1.7. Relación de compresión	15
3.2. Principio de funcionamiento de los MCI EC	15
3.3. Comportamiento real	19
3.3.1. Volumen desplazado V_d - Cilindrada V_T	20
3.4. MCI EC y Combustibles	21
3.5. Prueba de Motores	24
4. De las propiedades de los Combustibles y Combustión en los MCI EC	27
4.1. Número Cetano	28
4.2. Densidad ρ	28
4.3. Gravedad específica	29
4.4. Viscosidad	29
4.5. Viscosidad absoluta μ	30
4.6. Viscosidad cinemática ν	30
4.7. Poder calorífico	31
4.8. Punto de inflamación o Punto de chispa	31
4.9. Punto de encendido	31
4.10. Punto de fluidez	31
4.11. Punto de congelamiento	31
4.12. Volatilidad	31
4.13. Contenido de azufre	32
4.14. Contenido de ceniza	32

4.15. Residuos de carbón	32
4.16. Agua y sedimentos	32
5. Petro carburantes	33
5.1. El Petróleo	33
5.2. Características del petro diesel	35
5.3. Ventajas y desventajas de los Petro carburantes	35
5.3.1. Agotamiento	35
5.3.2. Contaminación ambiental	36
6. Bio carburantes	37
6.1. Ventajas y desventajas de los Bio carburantes	38
7. Fabricación de Bio carburantes para MCI EC	39
7.1. Materia prima	39
7.2. Obtención	40
7.2.1. Procesos unitarios	41
8. La búsqueda de especies en el Chocó biogeográfico	43
8.1. La bioprospección	43
8.2. Zona escogida para la bioprospección	44
8.3. Especies identificadas en la bioprospección	46
9. Equipos y métodos de obtención y caracterización del aceite	47
9.1. Extracción del aceite	47
9.2. Metodología de extracción	47
9.3. Métodos de extracción	48
9.3.1. Con prensa	48
9.3.2. Con solventes	49
9.4. Equipos y Métodos de caracterización de los aceites	49
9.5. Viscosidad	49
9.6. Gravedad específica ($^{\circ}$ API)	50
9.7. Punto de chispa	51
9.8. Punto de llama	52
9.9. Punto de solidificación	52
9.10. Poder calorífico	53
9.11. Agua y sedimentos	53
9.12. Cenizas	53
9.13. Contenido de azufre	54
9.14. Índice de Cetano	55
10.Resultados de la Caracterización de los aceites	57
11.Capítulo	61
11.1. Poder calorífico	61
11.2. Densidad API	61
11.3. Viscosidad	63

11.4. Punto de inflamación TI	63
11.5. Punto de solidificación TS	64
11.6. Clasificación comparativa de bioaceites del Pacífico y petro aceites	65
12. Transesterificación de unos bioaceites del Pacífico	67
12.1. Pirólisis	67
12.2. Microemulsificación	68
12.3. Dilución	68
12.4. Transesterificación	68
12.5. Valoración de bio-aceites del Pacífico para producir biodiesel	68
12.6. Obtención del biodiesel	70
13. Caracterización del biodiesel obtenido	73
14. Desempeño mecánico	75
14.1. Curvas de rendimiento	75
14.2. Especificaciones del motor para las pruebas	75
14.3. Desempeño en la generación de Potencia	76
14.3.1. De los bioaceites vegetales del Pacífico	76
14.4. Ensayos y comparaciones	78
14.5. Pruebas con biodiesel de oleína de palma	79
14.5.1. Potencia	79
14.5.2. consumo	79
14.5.3. Eficiencia	79
14.6. Biodiesel de aceites vegetales del Pacífico	80
15. Perspectivas de los biodiesel	91
15.1. Perspectivas del biodiesel en Colombia	94
16. Utilización de biocarburantes en MCIEC	97
16.1. Sustitución de ACPM	98
16.2. Área para el cultivo de bioaceites vegetales	99

Índice de cuadros

4.1. Clasificación de crudos del petróleo[17]	29
7.1. Propiedades de carburantes diesel[28]	40
8.1. Especies identificadas como potenciales productoras de aceite para biodiesels	46
9.1. PRUEBAS ASTM	50
10.1. Densidad(Kg/m^3), gravedad específica $SG(\rho_{25^{\circ}C}/\rho_{agua25^{\circ}C})$, densidad específica °API	58
10.2. Viscosidad cinemática (ν)cSt(40°C), Viscosidad cinemática (ν)cSt(100°C), Humedad Hu %, Sedimentación Sedim % y Cenizas Ce %	58
10.3. Poder calorífico PC (cal/gr), Punto de inflamación °C TI, Punto de solidificación °C TS, azufre % S	59
14.1. Parámetros del motor calculados con las relaciones del capítulo 3	76
14.2. Temperatura al final de la compresión	77
14.3. Temperatura al final de la combustión $T_3^{\circ}K$	77
14.4. Relación de similitud entre biodiesels: A, B, C y D	81
15.1. Producción por cada hectárea en un año[35]	93
16.1. Ahorro de ACPM por sustitución con biodiesel	99
16.2. Área en miles de Htas para la sustitución con biodiesel en relación al porcentaje de sustitución S	100

Índice de figuras

1.1. Reservas de petroleo en Colombia (Pagina tomada de consulta electrónica en Septiembre 2007 [5])	5
2.1. Motor ECH	9
2.2. Motor EC 4T	10
2.3. Ciclos de Otto y Diesel	10
3.1. Comportamiento del uso del diesel en Colombia Estadísticas 2003 Ministerio de Minas y Energía 2003	13
3.2. Uso del combustible diesel en Colombia [4]	14
3.3. Esquema sistema de conversión de potencia del motor de encendido por compresión o Diesel	16
3.4. Sistema de combustible MCI EC	16
3.5. Ciclo termodinámico teórico de los motores de encendido por compresión	18
3.6. Comparación ciclo real y el teórico en MCI EC	19
3.7. Temperatura media de la combustión	22
3.8. Esquema del montaje de un dinamómetro	25
5.1. Propiedades del Diesel en Europa [19]	35
7.1. Proceso de fabricación de biodiesel	41
7.2. Reacción de transesterificación	41
8.1. Vista aérea de una zona costera del Pacifico colombiano	44
8.2. Aproximandose a la zona de bioprospección	44
8.3. Manglares característicos de la zona pacifica colombiana	45
8.4. zona de bioprospección	45
9.1. Rendimientos y métodos de extracción de los 15 aceites escogidos	48
9.2. Prensa hidráulica utilizada en la extracción	48
9.3. Aceites crudos extraídos de especies chocoanas en la Universidad del Valle	49
9.4. Viscosímetro Saybolt Laboratorio combustibles Universidad del Valle . .	50
9.5. Higrómetro para densidad específica en °API Laboratorio combustibles Universidad del Valle	51
9.6. Clasificación de los aceites de acuerdo con su densidad API Laboratorio combustibles Universidad del Valle	51

9.7. Sector de ensayos de punto de llama y de chispa del "Laboratorio Combustión Combustibles" Univalle	52
9.8. Determinación de punto de chispa y de llama Laboratorio combustibles Universidad del Valle	52
9.9. Bomba calorimétrica Laboratorio Combustibles Univalle	53
9.10. Muffa para determinación de contenido de cenizas Laboratorio combustibles Universidad del Valle	54
9.11. Sulfurómetro Laboratorio combustibles Universidad del Valle	54
11.1. Curva de comparación de los Poderes caloríficos de los bioaceites	62
11.2. Curva de comparación de la Densidad en °API	62
11.3. Curva de comparación de la Viscosidad a 40°C y 100°C	63
11.4. Curva de comparación de punto de inflamación y solidificación	65
12.1. Proceso de transesterificación de aceites vegetales	69
12.2. Ecuaciones de la reacción de transesterificación	70
12.3. Identificación de los para producir biodiesel	70
12.4. Reactor de biodiesel	71
12.5. Decantación	71
12.6. Biodiesel obtenido A B C y D	72
13.1. Caracterización biodiesel vs ACPM	73
14.1. Especificaciones del motor del dinamómetro	75
14.2. Ciclo termodinámico del motor de pruebas	76
14.3. Relación entre la temperatura al final de la combustión T_3 y el índice de duración de la combustión	78
14.4. Comparación de características de biodiesels y ACPM	79
14.5. Resultados de las pruebas de potencia en el eje sobre los biodiesels 1 y 2 y ACPM	80
14.6. Resultados del consumo de combustible biodiesel 1 y 2 y ACPM	81
14.7. Eficiencia de los biodiesel de oleína de palma 1 y 2 y ACPM	82
14.8. Consumo estimado de biodiesels A B C D 1 2 y ACPM kg/min	83
14.9. Curva de consumo estimado de biodiesels A B C D 1 2 y ACPM kg/min	83
14.10. Eficiencias estimadas de biodiesels A B C D 1 2 y ACPM	84
14.11. Curva eficiencias biodiesels A B C D 1 2 y ACPM	84
14.12. Potencia estimada de HP biodiesels A, B, C, D, 1, 2 y ACPM	84
14.13. Curva Potencia estimada de HP biodiesels A, B, C, D, 1, 2 y ACPM	85
14.14. Pronóstico de aumento del consumo biodiesels versus ACPM	85
14.15. Pronóstico de disminución de la Eficiencia	86
14.16. Pronóstico de Pérdida de potencia comparada con el ACPM	86
14.17. Pronóstico de Potencia y consumo de biodiesel A	87
14.18. Pronóstico de Potencia y consumo de biodiesel B	87
14.19. Pronóstico de Potencia y consumo de biodiesel C	88
14.20. Pronóstico de Potencia y consumo de biodiesel D	88
14.21. Pronóstico de Potencia y consumo del ACPM	89

15.1. zonas de Colombia continental	95
---	----

Bibliografía

- [1] M. Fangrui and M. A. Hanna. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 15(1):1–15, 1999.
- [2] Y. Zhang, M.A. Dubé and D. Mclean, and M. Kates. Biodiesel production from waste cooking oil. *bioresource Technology*, 16(1):53–62, 2003.
- [3] Luis Echarry Prim. Ciencias de la tierra y del medio ambiente. <http://www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/07Energ/120PetrolGas>, 35(1):Tema 7, 2006.
- [4] ECOPETROL. Estadísticas 2003. Reservas de petróleo en américa. <http://www.ecopetrol.com.co>, 15(1):1–2, 2003.
- [5] Portal Ecopetrol. Principales descubrimientos petroleros. <http://portal.ecopetrol.com.co/contenido>, 2006.
- [6] Gerardo Cabrera Cifuentes. Motores de combustión interna parte 1 historia y configuración general. *Memorias no seriadas. Universidad del Valle*, 1 edition(1):53–62, 2006.
- [7] Alberti Marti. *Inyección electronica en Motores de gasolina*. Alfa y Omega, 1990.
- [8] Gerardo Cabrera Cifuentes. Motores de combustión interna parte 2 motores de encendido por chispa (mci ech). *Memorias no seriadas. Universidad del Valle*, 1 edition(1):53–62, 2006.
- [9] A. Srivastava and R. Prasad. Triglycerides based diesel fuels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1):111–133, 1999.
- [10] Tecnociencia. La importancia del petróleo en la economía. www.tecnociencia.es/especiales/petroleo, 2007.
- [11] Ministerio de Minas y Energía de Colombia. Demanda combustible diesel por sectores. <http://www.minminas.gov.co>, 15(1):1–2, 2003.
- [12] Serrat José y Bonastre. *Termodinamica de Motores de combustión interna*. Editorial Labor, 1969.
- [13] Obert F. Edward. *Motores de combustión interna Análisis y aplicaciones*. Editorial Reverté, 1992.

- [14] Severs W. H. y Degler H. E. *Energía mediante vapor, aire o gas*. Editorial Reverté, 1974.
- [15] Morrison L. H. *Diesel Engineering Handbook*, volume 1 edition(1). Diesel Publications, Inc., 1947.
- [16] Ursa. Glosario. <http://www.texacoursa.com/Spanish/glossary>, 15(1):1–120, 2007.
- [17] Secretaría de Energía de Argentina. Características de los hidrocarburos. <http://energia3.mecon.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=452>, 15(1):1–120, 2007.
- [18] Cousidine. Colectivo. *Tecnología del petróleo*, volume 1 edition(1). Publicaciones marcombo S.A, 1988.
- [19] Colin R. Ferguson. *Internal combustion engines*. John Willey and sons, 1985.
- [20] Dickson David. *Tecnología Alternativa*. Hyspamerica, 1986.
- [21] Sdimensions. Los combustibles de biomasa y el futuro. <http://www.fao.org/sd/SPdirect/EGre0034.htm>, 15(1):1–2, 1997.
- [22] Chovin P. y Roussel A. *La Polución Atmosférica*. Hyspamerica, 1987.
- [23] OGJ Editors Urbnkchk. Biodiesels contributions to the u.s economy.
- [24] Duncan John. *Cost of biodiesel production*. Energy Efficiency and Conservation Authority, 2003.
- [25] Hans List. *Motores de combustión interna, XII, Motores Diesel fijos y marinos*, volume 1 edition(1). Editorial Labor. Barcelona-Madrid, 1955.
- [26] Colectivo oEPA. Clean alternative fuels: Biodiesel. <http://www.afdc.nrel.gov>, 15(1):1–2, 2006.
- [27] Sheehan John y otros. An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles. *National Renewable Energy Laboratory*, 15(1), 1998.
- [28] Vern Hofman. Biodiesel fuel. www.missouri.edu/pavt0689/index.html, 2006.
- [29] Matheus R. y otros Schuchardt Ulf. An overview of biodiesel and petroleum diesel life cycles. *Elsevier*, 109:37–44, 1996.
- [30] Movimiento mundial para los bosques tropicales. El chocó colombiano: una región megadiversa en un país megadiverso . . . ¿por cuánto tiempo más? <http://www.wrm.org.uy/boletin/44/Colombia.html>, 2006.
- [31] National biodiesel board. Biodiesel production.
- [32] G. Cabrera, M. Rivera, and S. Laín. Estudio de la viabilidad técnico económica del biodiesel obtenido a partir de oleína de palma. *El hombre y la máquina*, 25:110–119, 2001.

- [33] M. Bender. Economyc feasibility review for community-scale farmer cooperatives for biodiesel. *Biosource Technology*, 70:81–87, 1999.
- [34] OGJ editors. China promotes biofuels as energy alternatives. 2007.
- [35] Colectivo. Rendimiento de cultivos oleaginosos por hectárea aptos para biodiesel. <http://www.biodiesel.uruguay.com/articulos>, 15(1):1–2, 2007.
- [36] Centro de documentación e información empresarial sobre IberoAmerica. Glosario. <http://www.cideiber.com>, 15(1):1–120, 2007.