



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL  
EJÉRCITO  
SEDE LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**TESIS DE GRADO**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LABORATORIO A LAS MISMAS  
CONDICIONES DEL BIODIESEL (PIÑÓN Y PALMA AFRICANA)  
MEZCLADO EN PORCENTAJES DEL 2% Y 5% CON DIESEL  
ECUATORIANO COMERCIAL”**

**TIPANLUISA SARCHI LUIS EDUARDO**

**Latacunga – Ecuador**

**2008**

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por el apoyo incondicional que siempre me ha dado; por educarme con principios morales y éticos que he sido capaz de aplicarlos a lo largo de mi vida; por los consejos que me ha dado; por ayudarme a desarrollar un pensamiento creativo y una capacidad de análisis que han sido de gran ayuda durante mi carrera.

A mis hermanos, por el apoyo solidario que me han ofrecido, por ser un buen ejemplo de superación y éxito, por compartir gratos momentos a lo largo de mi vida.

A mis amigos que me han acompañado y ayudado durante todos estos años de estudio y con quienes espero mantener una amistad eterna.

**Tipanluisa Sarchi Luis Eduardo**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al director, el Ing. Luis Mena, por haberme transmitido sus conocimientos y guiar de la mejor manera a lo largo de todo este camino.

Al codirector, el Ing. Mario Mayorga, por creer en mi y en mi trabajo.

Al Ing. Mayo. de A. Byron Sierra director del DECEM por autorizar el uso de todos los laboratorios del Departamento. A la Carrera de Ingeniería Mecánica. Pero muy especialmente al Ing. Alberto Naranjo por haberme dado su ayuda incondicional, por su calidad humana y generoso apoyo en todo momento para la realización de este proyecto.

Al Departamento de Ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional, Laboratorio Planta Piloto de Ciencias de Alimentos y Biotecnología y Laboratorio de Investigación de Procesos, en especial al Ing. Jhony Lucas.

A la Facultad de Ingeniería en Petróleos de la Universidad Central del Ecuador, por haberme extendido la mano, en especial al Ing. Renán Criollo.

Al CCICEV por colaborarme en la realización de las pruebas de opacidad, con la prestación del equipo y personal capacitado en especial al Ing. Ángel Portilla.

Al Ing. Eriberto Mendosa de INIAP Portoviejo por grata información sobre la semilla de piñón.

Al Ing. Roberto Reinch de la empresa EPACEM y Sra. María Isabel Pacheco por las facilidades en la venta del aceite de palma RBD.

A todos aquellos que de una u otra manera han hecho posible que este proyecto de grado sea una realidad.

**Tipanluisa Sarchi Luis Eduardo**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto fue realizado en su totalidad por el señor, **Tipanluisa Sarchi Luis Eduardo**, bajo nuestra dirección y codirección, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Automotriz.

---

**Ing. Luis Mena N.**  
DIRECTOR DE TESIS

---

**Ing. Mario Mayorga**  
CODIRECTOR DE TESIS

Latacunga, Abril del 2008

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	iv
<b>RESUMEN</b> .....	xiv

## CAPÍTULO I

1.1 NOMENCLATURA.....	1
1.2 DEFINICIONES.....	3

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1 EL DIESEL.....	12
2.1.1 Propiedades del diesel.....	13
2.1.2 Especificaciones del diesel.....	13
3.1.3 Propiedades del diesel y biodiesel.....	14
2.2 EL ACEITE DE PALMA.....	19
2.2.1 La palma.....	19
2.2.2 El aceite de palma en el Ecuador.....	20
2.2.3 Proceso de refinación físico - química.....	20
2.3 EL ACEITE DE PIÑÓN.....	23
2.3.1 El piñón.....	23
2.3.2 El aceite de piñón en el Ecuador.....	24
2.3.3 Proceso de extracción.....	25
2.4 EL BIODIESEL.....	27
2.4.1 Proceso productivo del biodiesel.....	27

2.4.2 Propiedades del biodiesel.....	28
2.4.2.1 Propiedades químicas del biodiesel.....	29
2.4.3 Estado del arte.....	31
2.4.4 Normas para el biodiesel.....	38
2.5 NORMAS AMBIENTALES RESPECTO A LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN EN AUTOMOTORES A DIESEL.....	40

### **CAPÍTULO III**

#### **METODOLOGÍA Y EQUIPAMIENTO**

3.1 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN PARA COMBUSTIBLES.....	42
3.1.1 Densidad API.....	42
3.1.2 Viscosidad cinemática.....	44
3.1.3 Punto de inflamación.....	46
3.1.4 Destilación ASTM.....	47
3.1.5 Número de cetano.....	50
3.1.6 Poder calórico.....	50
3.1.7 Punto de nebulización y de vertido.....	54
3.2 PRUEBAS DE RENDIMIENTO A VELOCIDAD VARIABLE.....	56
3.2.1 Medición de los parámetros de desempeño.....	56
3.2.2 Medición del porcentaje de opacidad de los gases de escape.....	59

### **CAPÍTULO VI**

#### **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN**

4.1 DENSIDAD.....	61
4.2 VISCOSIDAD CINEMÁTICA.....	62
4.3 PUNTO DE INFLAMACIÓN.....	63
4.4 DESTILACIÓN ASTM.....	64
4.5 NÚMERO DE CETANO.....	65

4.6 PODER CALÓRICO.....	66
4.7 PUNTO DE NEBULIZACIÓN Y DE VERTIDO.....	67

## **CAPÍTULO V**

### **ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DIESEL Y EL PORCENTAJE DE OPACIDAD DE LOS GASES DE ESCAPE DEBIDO AL USO DE MEZCLAS AL 2% Y 5% DE ACEITE DE PALMA RBD Y ACEITE DE PIÑÓN CON DIESEL 2 ECUATORIANO COMO COMBUSTIBLE**

5.1 EVALUACIÓN EN CONDICIONES ESTÁNDAR DE UN MOTOR.....	68
5.1.1 Potencia al freno y torque.....	72
5.1.2 Consumo másico de combustible.....	75
5.1.3 Consumo específico de combustible.....	76
5.1.4 Consumo másico de aire.....	77
5.1.5 Relación aire combustible.....	79
5.1.6 Eficiencia térmica.....	80
5.1.7 Temperatura de los gases de escape.....	81
5.1.8 Eficiencia volumétrica.....	83
5.2 PRUEBAS DE OPACIDAD DE LOS GASES CONTAMINANTES.....	85
5.2.1 Porcentaje de opacidad de los gases contaminantes.....	85

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

6.1 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO.....	87
6.1.1 Análisis del torque, potencia y consumo másico de aire.....	87
6.1.2 Análisis del C.E.C. y de la eficiencia térmica.....	88
6.1.3 Análisis del consumo másico de aire, la relación a/c y de la eficiencia volumétrica.....	89
6.1.4 Análisis de la temperatura de los gases de escape.....	90

6.2 EMISIONES CONTAMINANTES.....	91
6.2.1 Análisis del porcentaje de opacidad de gases contaminantes.....	91
6.3 DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA ÓPTIMA.....	93

## **CAPÍTULO VII**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO**

7.1 PERSONAL.....	94
7.2 MISCELÁNEOS.....	94
7.3 COSTOS DIRECTOS.....	94
7.3.1 Ingeniería y Administración.....	94
7.3.2 Adquisición de materiales.....	95
7.3.3 Costos de ensayos y de pruebas de laboratorios.....	96
7.4 COSTO TOTAL.....	97

## **CAPÍTULO VIII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

8.1 CONCLUSIONES.....	98
8.2 RECOMENDACIONES.....	100

<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>101</b>
-------------------------	------------

<b>ANEXOS.....</b>	<b>I</b>
--------------------	----------

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Emisiones para fuentes a diesel en Quito en el año 2003.....	12
<b>Tabla 2.2</b> Especificaciones para el uso de Diesel y el Biodiesel.....	13
<b>Tabla 2.3</b> Composición del aceite de palma.....	19
<b>Tabla 2.4</b> Formula estructural, puntos de fusión y ebullición de ácidos grasos y sus metilesteres.....	30
<b>Tabla 2.5</b> La producción de biodiesel en algunos países europeos.....	34
<b>Tabla 2.6</b> Norma ASTM D 6751-03.....	39
<b>Tabla 2.7</b> Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diesel (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos).....	40
<b>Tabla 2.8</b> Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diesel (prueba dinámica) * a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos).....	41
<b>Tabla 2.9</b> Opacidad Aceleración Libre.....	41
<b>Tabla 3.1</b> Condiciones limitantes y condiciones de prueba.....	44
<b>Tabla 5.1</b> Datos de desempeño para el diesel ecuatoriano.....	69
<b>Tabla 5.2</b> Parámetros de desempeño para el diesel ecuatoriano.....	72
<b>Tabla 5.3</b> Datos del porcentaje de opacidad para el diesel ecuatoriano.....	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Fruto de la palma.....	19
<b>Figura 2.2</b> <i>Jatropha curcas</i> .....	23
<b>Figura 2.3</b> Composición de varios aceites vegetales.....	29
<b>Figura 3.1</b> Hidrómetro ASTM H4.....	43
<b>Figura 3.2</b> Viscosímetro Canon-Fenske para líquidos transparentes.....	45
<b>Figura 3.3</b> Baño (Laboratorio de Petróleos de la Universidad Central).....	45
<b>Figura 3.4</b> Copa de Pensky – Matters.....	47
<b>Figura 3.5</b> Balón de destilación.....	48
<b>Figura 3.6</b> Equipo de destilación ASTM.....	49
<b>Figura 3.7</b> Bomba de calor.....	52
<b>Figura 3.8</b> Bomba calorimétrica adiabática.....	53
<b>Figura 3.9</b> Muestra de diesel ecuatoriano congelada.....	55
<b>Figura 3.10</b> Sistema de medición del consumo de combustible.....	58
<b>Figura 3.11</b> Medición del porcentaje de opacidad (Opacímetro del CCICEV)	60
<b>Figura 4.1</b> Densidades de las mezclas combustibles utilizadas.....	62
<b>Figura 4.2</b> Viscosidades de las mezclas combustibles utilizadas a temperatura ambiente.....	62
<b>Figura 4.3</b> Viscosidades de las mezclas combustibles utilizadas a temperatura de 80 [°C].....	63
<b>Figura 4.4</b> Puntos de inflamación de las mezclas de combustible utilizadas	64
<b>Figura 4.5</b> Curvas comparativas de destilación de las mezclas combustibles utilizadas.....	64
<b>Figura 4.6</b> Temperaturas de destilación T90 de las mezclas combustibles utilizadas.....	65
<b>Figura 4.7</b> Números de cetano de las mezclas de combustible utilizadas....	66
<b>Figura 4.8</b> Poder calórico de las mezclas de combustibles utilizadas.....	66
<b>Figura 4.9</b> Puntos de nebulización de las mezclas combustibles utilizadas.	67
<b>Figura 4.10</b> Puntos de vertido de las mezclas de combustible utilizadas....	67
<b>Figura 5.1</b> Curvas comparativas de torque con diferentes mezclas combustibles.....	72

<b>Figura 5.2</b> Curvas comparativas de la potencia al freno con diferentes mezclas combustibles.....	73
<b>Figura 5.3</b> Variación de torque en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	74
<b>Figura 5.4</b> Variación de la potencia al freno en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	74
<b>Figura 5.5</b> Curvas comparativas del consumo másico de combustible con diferentes mezclas combustibles.....	75
<b>Figura 5.6</b> Variación del consumo másico de combustible en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	76
<b>Figura 5.7</b> Curvas comparativas del consumo específico de combustible con diferentes mezclas combustibles.....	76
<b>Figura 5.8</b> Variación del consumo específico de combustible en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	77
<b>Figura 5.9</b> Curvas comparativas del consumo másico de combustible con diferentes mezclas combustibles.....	78
<b>Figura 5.10</b> Variación del consumo másico de aire en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	78
<b>Figura 5.11</b> Curvas comparativas de la relación aire - combustible con diferentes mezclas combustibles.....	79
<b>Figura 5.12</b> Variación de la relación aire - combustible en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	80
<b>Figura 5.13</b> Curvas comparativas de la eficiencia térmica con diferentes mezclas combustibles.....	80
<b>Figura 5.14</b> Variación de la eficiencia térmica en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	81
<b>Figura 5.15</b> Curvas comparativas de la temperatura de los gases de escape con diferentes mezclas combustibles.....	82
<b>Figura 5.16</b> Variación de la temperatura de los gases de escape en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	82
<b>Figura 5.17</b> Curvas comparativas de la eficiencia volumétrica con diferentes mezclas combustibles.....	83

<b>Figura 5.18</b> Variación de la eficiencia volumétrica en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles.....	84
<b>Figura 5.19</b> Variación del porcentaje de opacidad con diferentes mezclas combustibles.....	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

A: Hoja de datos técnicos del banco de pruebas PLINT TE-16 perteneciente al Laboratorio de motores de combustión interna de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la ESPE.....	II
B: Certificado de calibración D1 3100ZE1 – D34 del opacímetro (Diesel Smoke Tester) utilizado en las pruebas de opacidad .....	III
C: Tablas de los ensayos de caracterización realizados en el Laboratorio de Petróleos de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador.....	V
D: Tablas de datos obtenidos en las pruebas de desempeño.....	XIII
E: Tablas de cálculos de los parámetros de desempeño.....	XIX
F: Tablas de datos obtenidos en las pruebas de opacidad.....	XXV

## RESUMEN

Este proyecto pretende analizar y comparar propiedades físico químicas y parámetros desempeño de un motor diesel; en mezclas al 2% y 5% de aceite de palma RBD y aceite de piñón (*Jatropha curcas*) con diesel 2 ecuatoriano bajo las mismas condiciones. Actualmente, el uso de los bio-combustibles está en auge en respuesta a los altos precios del petróleo y a las ventajas ambientales que estos brindan. Los oxigenados como el biodiesel, son conocidos por su efecto en la reducción de emisiones por material particulado. El Ecuador es el segundo productor de palma en América. El Piñón se desarrolla de manera silvestre en zonas de las provincias de Manabí, Loja y Machala, así como en menor escala en Guayas, lo que muestra el gran potencial que tiene este país para la producción de bio-combustibles.

Las mezclas usadas en el análisis comparativo se obtuvieron combinando diesel 2 ecuatoriano y dosificaciones de aceite de palma RBD y aceite de piñón. Para llevar a cabo la evaluación de mezclas, inicialmente se determinaron sus propiedades físico-químicas, aplicando los métodos recomendados por la norma ASTM. Las propiedades en análisis son la densidad API, viscosidad cinemática, punto de inflamación, destilación ASTM, número de cetano, poder calórico y puntos de nebulización y vertido. Los parámetros de desempeño y el porcentaje de opacidad de los gases de escape se evaluaron en un motor a diesel del banco de pruebas PLINT TE-16 del Laboratorio de Motores de la ESPE. Para estas pruebas se usaron mezclas diesel-aceite de palma RBD y diesel-aceite de piñón de 98:2 y 95:5%. Entre los parámetros analizados están el torque, la potencia, consumo másico y específico de combustible, consumo másico de aire, relación aire - combustible, temperatura de los gases de escape y eficiencias térmica y volumétrica. El porcentaje de opacidad de los gases de escape se realizó según la NTE INEN 2 202:2002 con un equipo de medición de opacidad portátil MAHA, tipo MOD 2 perteneciente al CCICEV.

Los resultados de los ensayos indican que el torque y la potencia máxima se mantienen en los porcentajes tanto de aceite de palma RBD como de aceite de piñón añadidos al diesel puro, teniendo un mejor comportamiento las mezclas de aceite de piñón. Por el contrario el consumo másico de combustible se incrementa 0,3% en el aceite de palma RBD y 0,5% en el aceite de piñón. En general se observa reducciones promedio de hasta el 37% para las mezclas de aceite de palma RBD y del 60% para las mezclas aceite de piñón en la opacidad de los gases de escape.

La mezcla al 5% de aceite de piñón con diesel, tiene el mejor balance en disminución del porcentaje de opacidad versus el comportamiento de torque, potencia al freno y aumento del consumo másico de combustible, por tanto es la que presentó las mejores propiedades de desempeño en comparación a la disminución de la opacidad de los gases de escape.

# CAPÍTULO I

## 1.1 NOMENCLATURA

**ASTM:** American Society for Testing and Material (Asociación Americana para Ensayar con Materiales).

**NBB:** National Biodiesel Board (Junta Nacional del Biodiesel).

**CCICEV:** Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares.

**CFPP:** Could Filter Pluggin Point (Punto de Taponamiento del Filtro Frío).

**CO:** Monóxido de Carbono.

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de Carbono.

**CORPAIRE:** Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito.

**EPA:** Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos).

**DOE:** Deparment of Energy (Departamento de Energía de los Estados Unidos).

**G.L.P:** Gas Licuado de Petróleo.

**IFP:** Instituto Francés de Petr6leos.

**INEN:** Instituto Ecuatoriano de Normalizaci6n.

**INTI:** Instituto Nacional de Tecnologa Industrial (Argentina).

**IRAM:** Instituto Argentino de Normalizaci6n y Certificaci6n.

**nPAH:** Hidrocarburos Nitro-poliaromáticos.

**N<sub>2</sub>:** Nitr6geno.

**O<sub>2</sub>:** Ox6geno.

**PAH:** Hidrocarburos poliaromáticos.

**PM:** Material Particulado Total.

**SOF:** Fracci6n Orgánica Soluble y Volátil.

**SO<sub>x</sub>:** Óxido de Azufre.

**TBHQ:** Butilhidroquinona Terciaria.

**THC:** Total de Hidrocarburos no quemados.

## 1.2 DEFINICIONES

### **Aceleración Libre:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es el aumento de revoluciones del motor de la fuente móvil, llevado rápidamente a máxima aceleración estable, sin carga y en neutro (para cajas manuales) y en parqueo (para cajas automáticas).

### **Ácidos grasos:**

Son moléculas orgánicas formadas por una larga cadena de hidrocarburos de tipo lineal, y con un número par de átomos de carbono, donde el extremo de la molécula donde se encuentra el grupo carboxilo (-COOH) es el que se combina con uno de los grupos hidroxilos (-OH) de la glicerina para formar grasas. Las cadenas carbonadas de los ácidos que reaccionan con el glicerol, pueden ser saturadas o insaturadas. Si son saturadas, no hay ningún doble enlace carbono-carbono por lo que la cadena posee todos los átomos de hidrógeno que puede llegar a acomodar. <sup>(1)</sup>

### **Aldehídos:**

Son compuestos orgánicos caracterizados por poseer el grupo funcional CHO. Se conoce que tienen propiedades mutagénicas y cancerígenas.

### **Alquilo:**

Es un radical orgánico que resulta de eliminar un átomo de hidrógeno de un hidrocarburo alifático. <sup>(3)</sup>

**Aromáticos:**

Son una clase de hidrocarburos cíclicos, no saturados, que tienen una estabilidad superior a las estructuras de cadena abierta con igual número de enlaces múltiples. <sup>(1)</sup>

**Biodiesel:**

Es un combustible formado por ésteres monoalquílicos de cadena larga de ácidos grasos derivados de los aceites de vegetales o de grasas animales, designado como B-100. <sup>(2)</sup>

**B-x:**

Se refiere a las mezclas de biodiesel. Por ejemplo una mezcla de 20 % de biodiesel y 80 % de Diesel 2 se la denomina B-20. El biodiesel puro es el B-100.

**Catalizador:**

Es una sustancia que es capaz de acelerar o retardar una reacción química sin que esta sea alterada. Este proceso se llama catálisis. Por catalizador también nos referimos a todo el aparato utilizado para la catálisis de los gases de escape. Los catalizadores no alteran el balance energético final de la reacción química, sino que sólo permiten que se alcance el equilibrio con mayor o menor velocidad.

**Ciclo de Prueba:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es una secuencia de operaciones estándar a las que es sometido un vehículo automotor o motor, para determinar el nivel de emisiones que produce. Para motores Diesel se utilizan los ciclos ECE-15+EUDC, el ECE-49 y el FTP-75.

**Ciclo ECE-15 + EUDC:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Unión Europea para los vehículos livianos y medianos de gasolina y o diesel.

**Ciclo ECE-49:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es el ciclo de prueba estacionario dinámico establecido por la Unión Europea para los vehículos pesados de diesel.

**Ciclo FTP-75:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es el ciclo de prueba dinámico establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para los vehículos livianos y medianos de gasolina o diesel.

**Ciclo transiente pesado:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es el ciclo de prueba de estado transitorio establecido por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), para las emisiones de motores diesel y gasolina utilizado en vehículos pesados.

**Cenizas Sulfatadas:**

Según la ASTM D 6751 – 03a, es una medida de la cantidad de residuos de sólidos abrasivos, jabones metálicos solubles y residuos de catalizadores, así como cualquier compuesto formado por cenizas que puede contribuir a la existencia de depósitos en los inyectores y en el sistema de combustible.

**Contenido de Fósforo:**

Según la ASTM D 6751 – 03a, se debe controlar la cantidad de fósforo para evitar posibles daños a los convertidores catalíticos.

**Corrosión en el Cobre:**

Según la ASTM D 6751 – 03a, es una medida de las posibles dificultades a causa de la presencia de cobre, latón o bronce en los elementos del sistema de combustible.

**Dinamómetro:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es el aparato utilizado para medir la potencia generada por un vehículo automotor o motor solo, a través de aplicaciones de velocidad y torque.

**D-x:**

Se refiere al tipo de Diesel; D-1 es para el Diesel 1 o Kerosén, D-2 para el Diesel 2.

**Estabilidad Oxidativa:**

Es la resistencia a la oxidación que presenta una sustancia. Es importante considerar esta propiedad para determinar los parámetros y materiales adecuados para el almacenamiento.

**Éster:**

Es un compuesto orgánico resultante de la sustitución de un átomo de hidrógeno en un ácido por un radical alcohólico. El biodiesel es un éster formado a partir de la reacción entre ácidos grasos y un alcohol, que por lo general es el Metanol (CH<sub>4</sub>). <sup>(1)</sup>

**Gravedad Específica:**

Es el término utilizado para comparar la densidad de un líquido con relación a la densidad del agua, la cual es tomada como 1,0 g/ml a 4°C.

**Hidrogenación:**

Es un proceso mediante el cual se adiciona hidrógeno a compuestos orgánicos no saturados. <sup>(1)</sup>

**Isómeros:**

Son compuestos de igual composición química pero con distintas propiedades físicas. <sup>(3)</sup>

**Llama Difusa:**

Es una llama en la que el oxidante se combina con el combustible por difusión. Como resultado, la velocidad de la llama está limitada al rato de difusión por lo que, normalmente, la combustión produce una mayor cantidad de hollín que con una llama premezclada.

**Material Particulado Total:**

Según la EPA, es la materia sólida o condensada que se puede recoger en un filtro apropiado, a una temperatura de 52 °C o menor. El material particulado incluye el hollín, derivados del combustible y del aceite de lubricación y aerosoles de ácido sulfúrico. Normalmente se la puede clasificar como la fracción orgánica soluble, la fracción volátil y carbón. El material particulado provoca irritación de ojos y del sistema respiratorio, asma, tumores bronquiales, interfieren en la fotosíntesis de las plantas, causan el ennegrecimiento de los edificios y bienes y potencian el efecto de otros contaminantes. <sup>(4) (5)</sup>

**NOx:**

Son emisiones reguladas y refieren al Óxido Nítrico (NO) y al Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>) los cuales provocan irritación en los ojos nariz y bronquios y en grandes cantidades pueden causar edema y muerte. También afectan al

crecimiento de las plantas y si se mezclan con agua pueden formar ácido nítrico y por lo tanto lluvia ácida. <sup>(4)</sup>

#### **Número Ácido:**

Para el biodiesel es un indicador de la cantidad de ácidos grasos libre. Este número puede ser alto debido a un proceso de manufactura defectuoso o también por degradación oxidativa. <sup>(2)</sup>

#### **Número de Cetano:**

Es una medida de la demora de la ignición de un combustible. Con números de cetano mayores, existe un menor intervalo de tiempo entre el momento que se produce la inyección y la ignición. Se desea que este tiempo sea el menor posible por lo que se prefieren números de cetano altos. <sup>(5)</sup>

#### **Número de Glicerina Libre:**

Según la ASTM D6751 –03<sup>a</sup>, es una medida de los residuos de glicerina en el combustible.

#### **Número de Glicerina Total:**

Según la ASTM D6751 –03<sup>a</sup>, es la suma de la glicerina libre y la porción de glicerina de cualquier grasa o aceite que no ha reaccionado o lo ha hecho parcialmente.

#### **Número de Goma:**

Es una medida de la formación de depósitos o de residuos. <sup>(5)</sup>

**Número de Yodo:**

Es una medida del grado de insaturación del combustible. <sup>(5)</sup>

**Opacidad:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es el grado de la reducción de la intensidad de la luz visible que ocasiona una sustancia al pasar, aquella a través de esta.

**Poder Calórico:**

Según la ASTM D 240, se llama poder calórico bruto a la cantidad de energía liberada cuando una unidad de masa de combustible es quemada en un volumen cerrado y los productos son gaseosos mas agua condensada. Cuando el agua está en estado gaseoso, la energía liberado producto de la combustión se llama poder calórico neto.

**Polimerización:**

Es un proceso en el que se agrupan químicamente los monómeros (compuestos de bajo peso molecular) entre si, formando una macromolécula llamada polímero. <sup>(1)</sup>

**Proceso Adiabático:**

Es un proceso en el que no hay transferencia de calor entre diferentes sistemas termodinámicos, por lo que se asume que hay cero pérdidas.

**Prueba Dinámica:**

Según la NTE INEN 2 207:2002, es la medición de emisiones que se realiza con el vehículo o motor sobre un dinamómetro.

**Punto de Ebullición:**

Es la temperatura a la cual una sustancia empieza a cambiar de fase líquida a gaseosa.

**Punto de Fusión:**

Es la temperatura a la cual una sustancia empieza a cambiar de fase sólida a líquida

**Punto de Inflamación:**

Según la ASTM D 93, es la menor temperatura, corregida a una presión barométrica de una atmósfera, a la cual la muestra enciende al aplicarse una fuente de ignición bajo condiciones especificadas de prueba.

**Punto Nube:**

Según la ASTM D-2500, es la temperatura a la cual la formación de cera es suficiente para empezar a tapar el filtro de combustible. Esta temperatura se la mide con la primera formación de cristales de cera a medida que el combustible es enfriado. <sup>(5)</sup>

**Punto de Vertido:**

Según la ASTM D-97, es la temperatura a la que el combustible ya no puede ser bombeado. <sup>(5)</sup>

**Residuos de Carbón:**

Según la ASTM D 6751 – 03a, es una medida de las tendencias del combustible a la deposición de carbón. Esta propiedad es considerada una aproximación pues no está directamente relacionada con los depósitos en el motor.

**SOx:**

Son emisiones reguladas y el principal es Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) el cual provoca irritación en los ojos, enfermedades ORL y respiratorias, corrosión en metales como el hierro y el zinc, y decoloración de las hojas de los vegetales. Adicionalmente, si se mezcla con el agua pueden formar ácido sulfúrico y por lo tanto lluvia ácida. <sup>(4)</sup>

**Temperatura de Destilación:**

La temperatura de destilación, es aquella temperatura donde se logra separar un determinado compuesto de una mezcla mediante destilación. Por esto se aprovecha la existencia de compuestos con distintos puntos de ebullición. <sup>(1)</sup>

**Tensión Superficial:**

Es la fuerza que produce efectos de tensión en la superficie de los líquidos causada por la cohesión intermolecular y por fuerzas de adhesión del líquido al sólido.

**Transesterificación:**

Es un proceso químico en el cual se intercambia un grupo Alcoxi de un éster por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base. <sup>(1)</sup>

**Tx:**

Temperatura a la cual se obtiene el x % del volumen del destilado total. Por ejemplo en la T90 se obtiene el 90 % de destilado.

**Viscosidad Cinemática:**

Según la ASTM D 445, es la resistencia de un fluido a fluir debido a la gravedad.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

#### 2.1 EL DIESEL

El Diesel a semejanza de la gasolina es un combustible derivado del petróleo. Es obtenido como producto intermedio en la columna de destilación atmosférica a temperaturas entre los 190 a 400 [°C]. El diesel esta formado principalmente por hidrocarburos parafínicos, aromáticos y naftalenicos que en general tienen entre 10 a 22 carbonos en su cadena <sup>(6)</sup>.

Adicionalmente, en su composición se encuentra nitrógeno, azufre, metales pesados como el vanadio, oxigeno, etc.

La calidad del diesel en muy importante para el desempeño del motor por lo que este combustible debe cumplir con las especificaciones mencionadas en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Emisiones para fuentes a diesel en Quito en el año 2003

CONTAMINANTES	FUENTES A DIESEL	
	MOVILES [Ton/año]	FIJAS [Ton/año]
CO	8523	83
CO <sub>2</sub>	737813	116550
NOx	10788	152
PM	2338	66
SO <sub>2</sub>	2822	462

Fuente: Inventario de emisiones 2003, CORPAIRE <sup>(7)</sup>

## 2.1.1 PROPIEDADES DEL DIESEL

Un gasoil esta compuesto principalmente por compuestos parafínicos, naftalénicos y aromáticos. El número de carbonos es bastante fijo y se encuentra entre C<sub>10</sub> y C<sub>22</sub>.

## 2.1.2 ESPECIFICACIONES DEL DIESEL

En la Tabla 2.2 se hace una comparativa entre las propiedades de un biodiesel y un diesel. Como se observa, algunas son muy parecidas, pero otras difieren ampliamente. Estas últimas van a ser las causantes de la mayor parte de los problemas asociados al motor por el uso de este tipo de biocombustibles.

**Tabla 2.2** Especificaciones para el uso de Diesel y el Biodiesel

<b>Parámetro</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidades</b>	<b>UNE EN 590* Diesel #2</b>	<b>Límite CEN/TC 19** Biodiesel</b>
Densidad (15°C)	EN ISO 12185	g/cm <sup>3</sup>	0.820-0.845	0.860-0.900
Viscosidad Cinemática 40°C	EN ISO 3104	cSt	2.0-4.5	3.5-5.0
Punto Inflamación	EN 22719 ISO/CD 3679	°C	55 mín.	101 mín.
Azufre	EN ISO 14596	ppm	350 máx.	10 máx.
Residuo Carbonoso (10%)	EN ISO 10370	%	0.30 máx.	0.30 máx.
Contaminación Total	EN 12662	ppm	24 máx.	24 máx.
Agua	EN ISO 12937	ppm	200 máx.	500 máx.
Corrosión al cobre	EN ISO 2160	-	Clase 1	Clase 1
Cenizas Sulfatadas	EN ISO 6245 ISO 3987	%	0.01 máx.	0.02 máx.
Estabilidad Oxidación	EN ISO 12205 prEN 14112	mg/l	25 máx.	6 h mín.
Número de Cetano	EN ISO 5165	-	51 mín.	51 mín.
Índice de Cetano	EN ISO 4264	-	46 mín.	

\* Límites Julio 2000

\*\* Límites Mayo 2001

Fuente: J. Ignacio Ciria, [www.wearcheckiberica.es](http://www.wearcheckiberica.es) <sup>(8)</sup>

### 2.1.3 PROPIEDADES DEL DIESEL Y BIODIESEL

Las propiedades de un Diesel y Biodiesel comerciales dependen tanto del proceso de fabricación como de la naturaleza de los lípidos a partir de los cuales se ha producido en el caso del último. El Biodiesel en función de la naturaleza de la fuente, animal o vegetal, proporcionará unas características particulares al nuevo combustible:

- **Punto de Inflamación.** Este parámetro generalmente se determina para satisfacer temas legales de seguridad. También es útil para conocer si existe una cantidad excesiva de alcohol no reaccionado en el proceso de obtención en el caso del biosiesel.

- **Viscosidad.** Debe poseer una viscosidad mínima para evitar pérdidas de potencia debidas a las fugas en la bomba de inyección y en el inyector. Además, le da características de lubricidad al sistema de combustible. Por la otra parte también se limita la viscosidad máxima por consideraciones de diseño y tamaño de los motores, y en las características del sistema de inyección.

- **Densidad.** Da idea del contenido en energía del combustible. Mayores densidades indican mayor energía térmica y una economía de combustible mejor.

- **Cenizas Sulfatadas.** Los materiales que forman cenizas en un Biodiesel se pueden presentar de tres formas:

- \* Sólidos abrasivos,
- \* Jabones metálicos solubles,
- \* Catalizadores no eliminados en el proceso.

En el caso del diesel, normalmente solo aparecen los primeros o gomas solubles <sup>(8)</sup>.

Tanto los sólidos abrasivos como los catalizadores no eliminados favorecen al desgaste del inyector, bomba de inyección, pistón y anillos, además de contribuir a la formación de depósitos en el motor.

Los jabones metálicos solubles tienen un efecto menor en el desgaste pero pueden afectar más al taponamiento de filtros y depósitos en el motor.

- **Azufre.** Contribuye al desgaste del motor y a la aparición de depósitos que varían considerablemente en importancia dependiendo en gran medida de las condiciones de funcionamiento del motor. También pueden afectar al funcionamiento del sistema de control de emisiones y a límites medioambientales.

- **Corrosión a la Lámina de Cobre.** Mediante la comprobación del desgaste de una lámina de cobre se puede observar si existen en el sistema compuestos corrosivos y/o presencia de ácidos que puedan atacar al cobre o a aleaciones de cobre como el bronce que forman parte del sistema de combustible.

- **Número de Cetano.** Es una medida de la calidad de ignición de un combustible e influye en las emisiones de humo y en la calidad de la combustión. El número de cetano depende del diseño y tamaño del motor, de las variaciones de la carga y velocidad y condiciones de arranque y atmosféricas.

Un bajo NC conlleva a ruidos en el motor, prolongando el retraso de la ignición y aumentando el peso molecular de las emisiones.

- **Índice de Yodo.** Indica la tendencia a la oxidación de un biodiesel porque da idea del grado de insaturaciones que poseen sus ésteres.

- **Punto de Nube.** Indica la temperatura a la cual empiezan a precipitar ciertos compuestos del combustible (parafinas, materia insaponificable,...). Es una medida muy importante a tener en cuenta cuando se usa el motor en climas fríos. El valor debe ser definido por el usuario, ya que depende del clima en el cual el motor se utilice <sup>(8)</sup>.

### - Agua y Sedimentos.

El Agua se puede formar por condensación en el tanque de almacenamiento.

La presencia de agua y sólidos de desgaste normalmente pueden taponar filtros y darle al combustible unas propiedades de lubricidad menores. El biodiesel puede absorber hasta 40 veces más agua que el diesel. <sup>(8)</sup>

El agua puede provocar dos problemas en el motor.

\* Corrosión en los componentes del motor, generalmente herrumbre. El agua se acidifica y acaba atacando a los tanques de almacenamiento.

\* Contribuye al crecimiento de microorganismos (fungi, bacterias,...). Forman lodos y limos que pueden taponar los filtros. Además, algunos de estos microorganismos pueden convertir el azufre que posea el combustible en ácido sulfúrico, que corroe la superficie metálica del tanque.

El agua se puede presentar en el tanque de dos formas:

\* Disuelta en el combustible. La cantidad de agua depende de la solubilidad de ésta en el biodiesel.

\* Separada de la fase de combustible en forma libre. La cantidad de esta depende de cómo se manipule y transporte el combustible <sup>(8)</sup>.

Los Sedimentos pueden ser debidos principalmente a un mal proceso de purificación del combustible o contaminación. Afectan principalmente a la temperatura de cristalización y al Número de Cetano <sup>(8)</sup>.

- **Residuo Carbonoso.** Da una idea de la tendencia del combustible a formar depósitos carbonosos. Se aproxima a la tendencia del motor a formar depósitos. Normalmente para el Diesel se suele utilizar el 10% que queda en la destilación, pero debido a que el Biodiesel tiene un perfil muy diferente de destilación (en un pequeño rango de temperaturas se destila toda la muestra ya que posee una distribución de moléculas diferentes muy pequeña), se debe utilizar el 100% de la muestra.

También se puede obtener información, a parte de la contaminación (glicerina libre y total), de la calidad de la purificación del biodiesel cuando se fabrica <sup>(8)</sup>.

- **Destilación.** Indica la temperatura máxima a la que se debe evaporar el combustible a unas condiciones de presión y temperaturas dadas.

\* El biodiesel a la temperatura de 360 °C tiene que estar el 90% destilado, según la norma ASTM D1160.

\* El diesel a la temperatura de 360 °C tiene que estar el 95% destilado, según la norma ASTM D86 <sup>(8)</sup>.

- **Número Ácido, TAN.** Determina el nivel de ácidos grasos, ó generados por degradación, que se presentan en el combustible. Si posee un alto grado de acidez se formaran una cantidad importante de depósitos y también se producirá mayor corrosión en el sistema.

- **Contenido en metales (Na, K, P,...) y Ácidos grasos libres.** Contribuyen al aumento del residuo carbonoso de manera notable y también a las cenizas, generando residuos inorgánicos parcialmente quemados. Además, también se pueden formar jabones que colmatan los filtros del combustible.

- **Lubricidad.** Es la cualidad de un líquido para proporcionar una lubricación adecuada para prevenir el desgaste entre dos superficies en movimiento. Los combustibles con un contenido bajo en azufre o baja viscosidad tienden a tener una lubricidad menor.

- **Glicerina Libre.** Determina el nivel de glicerina no enlazada presente en el Biodiesel. Su presencia normalmente se debe a una mala purificación del biodiesel. Niveles altos pueden causar problemas de depósitos en el inyector, así como taponamiento de filtros. Pueden dañar los sistemas de inyección debido a los compuestos inorgánicos y jabones que se acumulan en la glicerina. Si la cantidad de glicerina es superior al 0.5% esta puede afectar al contenido del residuo carbonoso <sup>(8)</sup>.

- **Glicerina Total.** Determina el nivel de glicerina enlazada y no enlazada presente en el combustible. Niveles bajos significan que se he producido un alto grado de conversión en el aceite o grasa, y se han formado gran cantidad

de monoésteres. Niveles altos de mono, di y triglicéridos pueden provocar el taponamiento de los filtros, depósitos carbonosos en los inyectores y pueden afectar adversamente a las propiedades a bajas temperaturas. Esto es debido a que al poseer temperaturas de ebullición superiores provocan que la combustión sea bastante peor. Además, aumentan la viscosidad del biodiesel.

- **Contenido en alcohol.** Puede provocar problemas de lubricidad y en el Número de Cetano. Desde el punto de vista de la seguridad el Punto de Inflamación disminuye. Por otro lado, junto a la presencia de alcohol puede venir asociada glicerina disuelta en este con los consiguientes problemas antes comentados<sup>(8)</sup>.

- **Estabilidad a la Oxidación.** Se determina la vida de almacenamiento y la degradación potencial de un combustible durante su almacenamiento.

La oxidación de un combustible suele venir acompañada de la formación de gomas solubles e insolubles que pueden actuar de la siguiente manera:

\* Gomas insolubles. Problemas de taponamiento de filtros.

\* Gomas solubles. Formación de depósitos en la punta del inyector y fallos en las boquillas de los inyectores.

Además, dicha estabilidad a la oxidación se puede ver alterada por los diversos contaminantes que pueden estar presentes en el biodiesel<sup>(8)</sup>.

Hay que tener en cuenta que el biodiesel se puede usar puro o mezclado con el gasoil. Esto hará que las propiedades que sean más diferentes entre ellos se irán igualando o diferenciando en función del porcentaje utilizado. Cuando se usa puro se denomina B100 y cuando participa en una mezcla, por ejemplo, 20/80 con gasoil se denomina B20. Pero esto no significa que no se pueda usar en otras proporciones. De hecho en Francia y otros países usan el B2, B5, etc.

<sup>(8)</sup>

## 2.2 EL ACEITE DE PALMA

Este aceite proviene de la pulpa de los frutos de la palma, planta robusta que alcanza hasta 20m de altura.

A su vez dentro de la pulpa se encuentra una pepa de la cual se extrae el aceite de palmiste, esta pepa por su lado contiene una almendra de donde también se extrae aceite y torta de palmiste, siendo el último producto una de las bases principales para el alimento del ganado bobino y equino.

**Tabla 2.3** Composición del aceite de palma

ÁCIDO GRASO	COMPOSICIÓN
Palmítico (C16:0)	44,0
Oléico (C18:1)	39,2
Linoléico (C18:2)	10,1
Esteárico (C18:0)	4,5
Mirístico (C14:0)	1,1
Láurico (C12:0)	0,2
Otros	0,9

Fuente: Palm Oil Refinery.htm <sup>(9)</sup>



**Figura 2.1** Fruto de la palma <sup>(1)</sup>

### 2.2.1 LA PALMA

La palma es una planta robusta que alcanza hasta 20 m de altura. El hábitat natural de esta planta se encuentra en los trópicos húmedos, quince grados al norte y al sur de la línea Ecuatorial. Las zonas entre 1700 a 2500 m SNM, con

temperaturas entre los 22 a 23 [°C], humedad del 80% y precipitación 1,5 a 3 m anuales; son ideales para el crecimiento de esta planta <sup>(10)</sup>.

### **2.2.2 EL ACEITE DE PALMA EN EL ECUADOR**

En el Ecuador hace su aparición a principio de los 50, pero es casi dos décadas después cuando las plantaciones de palma tienen una presencia significativa en el país, con un poco de 1000 [Ha] sembradas. En Santo Domingo, Quindé y Buena Fé se dan las condiciones óptimas para el cultivo de esta planta.

En el país existen 39 plantas extractoras de palma <sup>(10)</sup>.

### **2.2.3 PROCESO DE REFINACIÓN FÍSICO - QUÍMICA**

El proceso de refinación del aceite tiene como primer paso la extracción misma del aceite crudo, el mismo que en este punto posee muchas impurezas y además ácidos grasos, proteínas, hidratos de carbono, agua, etc.

Este proceso se lo puede realizar de dos formas: por inmersión o por percolación; e incluso se puede combinar ambas formas.

Una vez que se extraiga este, se lo transporta hacia la fábrica donde comienza el proceso de refinación

En este proceso efectuado dentro de planta, se incluyen los subprocesos de desgomación y refinación química, blanqueo, desodorización y fraccionamiento, en la cual ingresan los aceites crudos adquiridos como materias primas para reducir su acidez, color y olor y además para la separación de sus fases líquida y sólida.

En la desgomación se extraen gomas e impurezas del aceite crudo, que no son más que fosfátidos, que sino son extraídos pueden causar problemas al momento de almacenar el aceite, y en general para conservar al aceite; esto es se añade de 2 a 3% de agua, se realiza un calentamiento hasta temperaturas

entre los 60 °C y 70 °C, y mediante centrifugación se da la separación de las impurezas.

Existe un proceso intermedio entre la desgomación y el blanqueo al que se lo conoce como neutralización o refinación química, es aquí donde se retiran del aceite los ácidos grasos libres, fosfolípidos y monoacilglicéridos; por medio de una saponificación mediante el uso de sosa cáustica. Esta saponificación consiste en agregar hidróxido de sodio del 12% al 15%, de tal forma que este reaccione con los ácidos grasos que se buscan eliminar; se realiza un calentamiento del aceite e hidróxido hasta temperaturas de 70 °C, lo que permite que la reacción se acelere produciéndose una pasta jabonosa que es eliminada por medio de la centrifugación. Se procura llegar a una concentración de ácidos grasos menor a 01%.

En el blanqueo o decoloración, el color se reduce a través del uso de de agentes adsorbentes, en un proceso de adsorción. Estos agentes son tierras filtrantes, arcillas neutras, arcillas ácidas o carbón activado que serán separados por filtración, más ácido fosfórico y ácido cítrico. La mezcla del aceite y los agentes adsorbentes se calienta a temperaturas de 80 °C a 90 °C, por un tiempo de 15 a 20 minutos; para luego pasar a través de los filtros que separan por un lado el aceite y por otro los adsorbentes, los mismos que pueden ser reutilizados.

Se ha comprobado que el agente adsorbente más efectivo es la mezcla de arcilla neutra con un 5% a 10% de carbón activado.

El proceso que le sigue es la desodorización, donde se busca eliminar sustancias volátiles que dan un olor indeseable al aceite, estos olores provienen de reacciones de oxidación.

Este proceso se empieza con el calentamiento del aceite a temperaturas entre los 150 °C y 160 °C, se hace circular una corriente de vapor desaireado que arrastra a dichos compuestos indeseables, ambos son removidos por vacío; el lugar donde se realiza dicho proceso se lo conoce como un cilindro de aireador.

Este proceso se lo realiza a bajas presiones (5mmHg), dado que esto evita el deterioro del aceite.

En este proceso en ciertas ocasiones se suelen añadir agentes anti-oxidantes.

El Fraccionamiento permite la separación de las fases líquida y sólida del aceite de palma por medio del enfriamiento controlado y filtración.

En la hidrogenación se realiza la saturación de enlaces químicos de moléculas grasas con la adición de hidrógeno.

Los aceites y mantecas producidos en Refinación Físico Química son envasados para su distribución <sup>(11)</sup>.

## 2.3 EL ACEITE DE PIÑÓN

"Las semillas de la *Jatropha* tienen la forma de una nuez, aunque son un poco más pequeñas. Cuando su cáscara exterior, que normalmente es de color verde, empieza a tomar una tonalidad amarillenta, las semillas están listas para ser recolectadas. Al retirar la cáscara, encontramos otras tres semillas. Cada una de ellas contiene un 40% de aceite", explica el profesor Klaus Becker, que se dedica a probar la resistencia de la *Jatropha* en países como Egipto, la India o Madagascar<sup>(12)</sup>.



**Figura 2.2** *Jatropha curcas*<sup>(12)</sup>

### 2.3.1 EL PIÑÓN

La *Jatropha Curcas* nombre científico, tiene ventajas naturales y prácticas sobre otros biodiesel hasta ahora producidos.

Desde hace dos años, Becker trabaja apoyado por la empresa automovilística Daimler-Chrysler. Teniendo en cuenta los precios del crudo, los ecologistas no son los únicos interesados en buscar alternativas al petróleo.

"El combustible está todavía en fase de desarrollo. Pero el carburante de aceite de Jatropha que hasta ahora hemos producido se ajusta a las cualidades que un combustible ha de tener para hacer funcionar a los motores de diesel modernos", dijo Stefan Keppeler, ingeniero encargado de evaluación de combustibles <sup>(12)</sup>.

El aceite de la Jatropha no sería el primer carburante natural que se utilizara en Europa. Hasta ahora, los científicos extraían aceite de otras plantas como la colza, una especie de col, que no crece sobre cualquier suelo ni bajo cualquier circunstancia. Así, la ventaja de la Jatropha ante la colza es su resistencia.

"En Madagascar se podrían sembrar de 10 a 20 millones de hectáreas si diéramos con una planta que aguantase un poco el frío. Esto significaría que en siete años seríamos capaces de producir todo el combustible que Madagascar necesita, más remesas suficientes de carburante para ser exportadas", señaló Becker. También para América Latina las plantaciones de Jatropha se presentan como una oportunidad única <sup>(12)</sup>.

### **2.3.2 EL ACEITE DE PIÑÓN EN EL ECUADOR**

En el caso de Jatropha curcas (Piñón en Ecuador), este es un cultivo que se ha desarrollado de forma silvestre en zonas marginales, y se usa en algunos casos como cercas vivas para alejar animales en razón de sus características un tanto tóxicas de hojas y fruto. En una experiencia en Guatemala (Aceite Vegetal para Biodiesel) se indica que en un lote de 100 manzanas (Mz) se obtuvo una producción de 28 a 42 TM de fruta fresca por manzana, con una generación de entre unos 2700 a 4200 kg de almendra, de los que se extraen entre 1500 a 2300 litros de biodiesel producidos por manzana; las cifras mayores corresponden al uso de riego en la plantación. Se puede obtener hasta unos 3000 litros/ha-año bajo condiciones cuidadosas (unos 800 galones/ha-año). Con una producción realista de 1500 litro/ha-año (400 galones/ha-año) se requeriría unas 63000 hectáreas para suministrar el biodiesel para "blending" de reemplazo al 5% del diesel consumido en uso

automotor en el país, con una demanda adicional del mismo orden para aplicaciones no vehiculares. Obviamente esto requiere una estrategia de producción escalonada en la que se combine biodiesel de varios cultivos.

En Ecuador el Piñón se desarrolla de manera silvestre en zonas de las provincias de Manabí, Loja y Machala, así como en menor escala en Guayas. No se conoce el hectareaje total, pero se considera que no supera el equivalente de unos pocos cientos de hectáreas (de tipo silvestre e informal, como cercas vivas en muchos casos <sup>(13)</sup>).

### **2.3.3 PROCESO DE EXTRACCIÓN**

#### **Extracción del Aceite**

Las semillas se calientan para extraer su aceite, ya sea exponiéndolas directamente al calor de la luz solar sobre lienzos de plástico negro durante varias horas, o tostándolas durante diez minutos aproximadamente.

Las semillas deben ser calentadas, no quemadas. El calentamiento rompe las células de las semillas que contienen el aceite, permitiendo que fluya fácilmente. El calor adelgaza el aceite y facilita su extracción.

#### **El aceite de *Jatropha* se purifica mediante tres métodos:**

##### **1. Sedimentación:**

Este es el método más sencillo para aclarar ó limpiar el aceite, sedimentando entre 20% y 25% de las impurezas en el volumen total de aceite crudo. Este método puede durar hasta una semana.

##### **2. Hirviendo el Aceite con Agua:**

La purificación del aceite mediante este método resulta mucho más rápida. Se hierve el aceite con 20% de agua aproximadamente. El hervor debe continuar

hasta que el agua se haya evaporado y no se presenten burbujas de vapor. Después de algunas horas el aceite se torna transparente.

### **3. Filtrado:**

Pasar el aceite crudo a través de un filtro, es un proceso muy lento que no tiene ventaja con respecto al método de sedimentación. <sup>(14)</sup>

## 2.4 EL BIODIESEL

Biodiesel se compone de los Ésteres Etílicos o Metílicos de Ácidos Grasos obtenidos a partir de aceites vegetales o aceites animales. En inglés se denominan Fatty Acide Ethyl Ester o Fatty Acid Methyl Ester.

### 2.4.1 PROCESO PRODUCTIVO DEL BIODIESEL

Básicamente existen tres caminos para producir biodiesel a base de aceites vegetales o grasas animales:

- Transesterificación del aceite con un catalizador básico.
- Transesterificación del aceite con un catalizador ácido.
- Conversión del aceite sus ácidos grasos y posteriormente a biodiesel.

El biodiesel se produce por la reacción del aceite vegetal con etanol o metanol, en presencia de un catalizador como NaOH o KOH, generando el éster etílico o metílico, y como subproducto glicerol. El proceso se denomina de **transesterificación**.

Los aceites vegetales y grasas animales son mono, di y tri-glicéridos que contienen glicerina. Para fabricar biodiesel se requiere transformar los glicéridos en ésteres por medio de una reacción química con etanol puro (o metanol), utilizando algún catalizador apropiado. Se genera glicerina como subproducto de la reacción, que precipita al fondo de recipiente (reactor) mientras el biodiesel flota encima. Catalizadores de esta reacción son el hidróxido de sodio (NaOH) y el hidróxido de potasio (KOH). La mezcla de metanol (o etanol) con hidróxido de potasio (o de sodio) forma el denominado metóxido (o etóxido en caso de etanol) que es un producto de manejo cuidadoso por su reactividad.

Detalles de fabricación a pequeña escala pueden verse en el artículo *Make your own Biodiesel* citado en su sitio web de 2005. Puede usarse productos químicos de fácil adquisición como lejía (hidróxido de sodio) o hidróxido de

potasio. En trans-esterificación, el hidróxido de potasio se mezcla con metanol generando un producto enlazado por su polaridad, metóxido de potasio que rompe las moléculas de ácidos grasos del aceite y genera esteres metílicos (biodiesel) además de glicerina que se precipita. La presencia de humedad en el aceite, o de agua generada durante la reacción química puede tender a formar jabones que flotan o precipitan, generando problemas para el manipuleo y uso posterior (tupido de inyectores, coquificación en motor, etc).

El biodiesel presenta ventajas y desventajas sobre el diesel de origen fósil.

Ventajas:

No contiene azufre ni compuestos aromáticos poli nucleares.

Puede producir una combustión más limpia, con menos hidrocarburos sin quemar, monóxido de carbono y aldehídos.

Desventajas (La mayoría dependen del proceso de fabricación):

Puede aumentar los óxidos de nitrógeno en las emisiones.

Puede aumentar la viscosidad con la reducción de la temperatura.

Puede haber deposición (precipitación) de mono, di y tri-glicéridos.

Puede haber corrosión (por restos de etanol o metanol).

Puede tener restos de glicerina (mal separada en el proceso), elevando las emisiones de aldehídos.

Puede haber restos de agua.

Puede tener restos de metales (Na, K, Ca y Mg), sea por restos de catalizador, o por presencia de jabones insolubles <sup>(13)</sup>.

## **2.4.2 PROPIEDADES DEL BIODIESEL**

Como ya se mencionó, existe una alta variación en los resultados de los estudios sobre biodiesel. De dichos resultados se puede considerar, cualitativamente, ciertas características químicas que determinan las propiedades de este combustible.

### 2.4.2.1 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL BODIESEL

Se conoce que los compuestos aromáticos provocan un incremento en las emisiones por material particulado y  $\text{NO}_x$ , por lo que no son deseables dentro de la composición de un combustible. El Diesel común contiene del 20 al 40 % en volumen de compuestos aromáticos <sup>(15)</sup>. La ASTM D-975 los limita hasta 500 ppm. para el Diesel 2. En contraste, el biodiesel no tiene aromáticos ni tampoco sulfuros. Sin embargo estudios anteriores demuestran que el uso del biodiesel provoca un incremento en las emisiones  $\text{NO}_x$ .

Un biodiesel contiene del 10 al 12 % en peso de Oxígeno en su composición <sup>(15)</sup>, lo que disminuye tanto el poder calórico del combustible como las emisiones por material particulado, debido al mejoramiento de la combustión. Este hecho provoca un incremento en la temperatura dentro de la cámara, ocasionando un incremento en los  $\text{NO}_x$ .

La composición química de un éster de aceite o de grasa depende de la longitud y del grado de insaturación de las cadenas alquílicas de ácidos grasos <sup>(15)</sup>. En general, lo que diferencia a un aceite son las distintas proporciones de ácidos grasos saturados, monosaturados y polisaturados. La composición de varios de estos aceites está detallada en la figura 2.3. Se puede decir que el biodiesel ideal es el constituido solo por ácidos grasos monosaturados <sup>(16)</sup>.

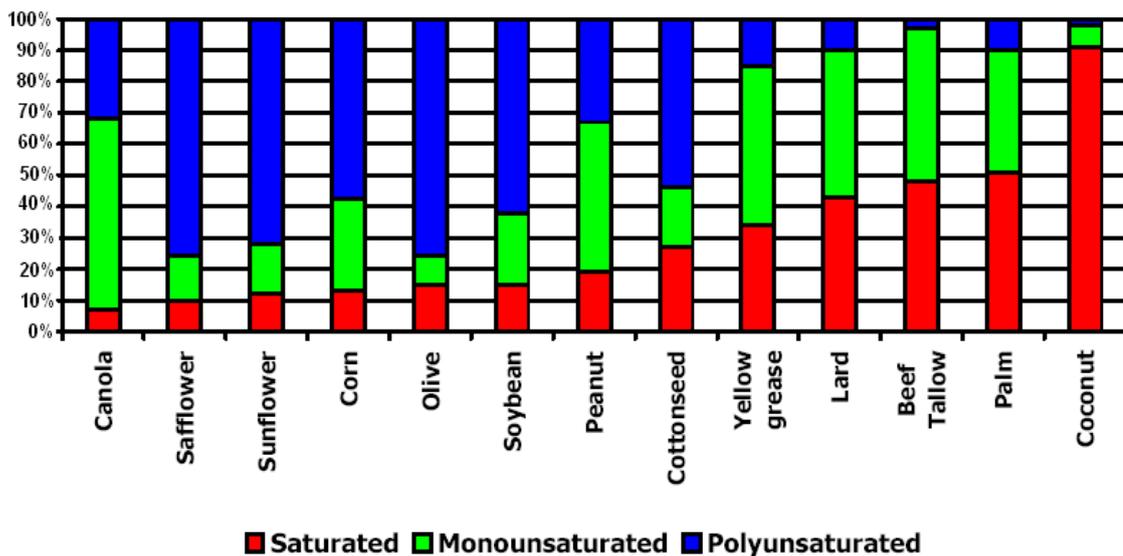


Figura 2.3 Composición de varios aceites vegetales <sup>(16)</sup>

Los ácidos saturados tienen puntos de fusión mayores a los de los ácidos insaturados <sup>(15)</sup>. Análogamente, sus puntos de ebullición dependen de la longitud de la cadena de carbonos, mas no de su grado de insaturación <sup>(15)</sup>.

Como se puede ver en la tabla 2.4, dicho comportamiento se aplica también a los ésteres de los ácidos grasos. De la misma forma se observa que los ácidos grasos de la palma tienen su punto de fusión a los 33 °C, lo que significa que está sólido a temperatura ambiente. Sin embargo su metil éster respectivo tiene un punto de fusión a 0 °C lo que permite su uso como combustible, aunque en países donde las temperaturas son menores a 0 °C en el invierno, el biodiesel presenta problemas de fluidez, propiedad que se detallará más adelante.

**Tabla 2.4** Formula estructural, puntos de fusión y ebullición de ácidos grasos y sus metilesteres

ACIDOS	Nº de C	ESTRUCTURA	ACIDOS GRASOS		METILESTERES	
			Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)	Punto de fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)
Caprílico	8	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH	16,5	239	-40	193
Cáprico	10	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>8</sub> COOH	31,3	269	-18	224
Laúrico	12	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> COOH	43,6	304	5,2	262
Mirístico	14	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>12</sub> COOH	58,0	332	19	295
Palmítico	16	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>14</sub> COOH	62,9	349	30	338
Palmitoleítico	16	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	33	-	0	-
Estérico	18	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>16</sub> COOH	69,9	371	39,1	352
Oleico	18	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	16,3	-	-19,9	349
Linoleico	18	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	-5	-	-35	366
Linolenico	18	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CHCH <sub>2</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH	-11	-	-	-
Arachídico	20	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>18</sub> COOH	75,2	-	50	-
Eicosenoico	20	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>9</sub> COOH	23	-	-15	-
Behénico	22	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>20</sub> COOH	80	-	54	-
Erúxico	22	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>11</sub> COOH	34	-	-	-

Fuente: Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in Diesel engines

Adicionalmente, la estabilidad oxidativa mejora a medida que los ácidos grasos son más saturados. Por cada incremento en el nivel de insaturación, la estabilidad mejora en un factor de 10. Por ejemplo, un combustible principalmente compuesto de polisaturados de 2 niveles es 100 veces más inestable que un ácido saturado. <sup>(16)</sup>

La naturaleza química del biodiesel hace posible que este sea mezclado con cualquier clase de destilado (Diesel 1 y 2, JET-A1, JP8, JP5, etc.). Una vez que el biodiesel ha sido mezclado con el Diesel, ya no se separa (asumiendo que se mantenga a temperaturas mayores al punto nube). <sup>(16)</sup>

### **2.4.3 ESTADO DEL ARTE**

El estudio del uso de los aceites vegetales como combustibles para un motor Diesel, tiene su origen en 1900 cuando Rudolf Diesel, inventor del motor que lleva su nombre, utilizó aceite de maní como combustible en dicho motor.

Décadas después (1938), Walton J. ensayó con aceite de palma, de soya y de semilla de algodón, con los cuales obtuvo eficiencias alrededor del 90% en comparación al Diesel. Sin embargo, todos los aceites dejaban depósitos de carbón, presentaban problemas con el punto pobre y el aceite de palma corroía significativamente el cobre y el latón. De esto, Walton concluyó que no se debía utilizar el aceite vegetal puro, por lo que recomendó el uso de los ácidos grasos, resultantes del rompimiento de las cadenas de triglicéridos. Esta idea dio origen al concepto del Biodiesel.

En 1944, Martínez de Vedia hizo ensayos con mezclas *aceite de lino – Diesel* al 20% y 40%, con las cuales observó que la cantidad de cenizas, acidez y depósitos de carbón aumentaban conforme su uso, e inclusive más rápidamente que al usar solo Diesel. Martínez recomendó que no se debieran

usar estas mezclas para periodos largos de operación y también el decantar primero las mezclas para proteger a los filtros de combustible e inyectores.

Pero fue hasta la década de los 70, que debido al alza en los precios del petróleo, así como a la crisis energética, se profundizan en estudios sobre el biodiesel, dentro de los que se destacan los realizados por Otto.

Otra investigación realizada por Huguenard, reveló que al usar mezclas *aceite de semilla de algodón – Diesel*, el motor podía funcionar con ángulos de adelanto al encendido mayores en comparación al uso solo del Diesel. Sin embargo los motores se carbonizaban en gran medida y presentaban daños en los anillos de compresión. En 1980, Bruwer y sus ayudantes demostraron que al utilizar esteres de aceite de girasol, en lugar del aceite de girasol, se lograba disminuir significativamente los depósitos de carbón en la cámara de combustión.

En un estudio realizado por Bacon y sus ayudantes, se encontró que mediante un proceso de transesterificación para aceites vegetales, se disminuía la polimerización y la carbonización de los aceites vegetales. No así, mediante un proceso de hidrogenización, con el cual, a pesar de que reducía la carbonización de los aceites vegetales, se obtenían propiedades de fluidez indeseables a bajas temperaturas.

Ahora bien, las pruebas técnicas con el biodiesel se las comenzaron a realizar en Alemania y Austria en el año de 1982.

En estudios posteriores, Fort y Blumberg determinaron que utilizando metilesteres de aceite de semilla de algodón en una prueba de resistencia de 200 horas, no se obtuvo variaciones en la potencia al freno del motor. Engler y sus trabajadores también realizaron pruebas de resistencia con mezclas *etilésteres de aceite de girasol – aceite de girasol* al 38%, 68% y 98%. Se encontraron depósitos de carbón inaceptables con las mezclas al 38% y 68%, sin embargo para la mezcla al 98% los depósitos eran insignificantes.

Años después, la IFP elaboró un proceso para la transesterificación de aceites vegetales, para el cual construyó un laboratorio a escala. Posteriormente lo probaron en una planta piloto y finalmente en una planta comercial que opera satisfactoriamente desde 1992.

En la actualidad ya el biodiesel es una realidad y en muchos países se lo está produciendo en grandes cantidades, más aún con el alza del barril de petróleo a niveles impensados y la creciente contaminación ambiental producto de la emanación de gases de medio de transporte; y se están creando e implementando normas acerca del uso de este combustible, donde poco a poco se establece la obligatoriedad de su uso.

Es así como países como Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Suecia, en Asia Malasia, Indonesia, son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles. Así se analizará de manera más profunda el estado actual de los biocombustibles en algunos de los países pioneros, así como en países en nuestro continente.

En el caso del continente europeo, la Comunidad Europea de Naciones, que abarca muchas de las naciones antes mencionadas, no ha escapado a esta realidad, y es así como ha fijado que ya “en el año 2005, se use un 5% de combustibles renovables, porcentaje que deberá ser duplicado para el año 2010”<sup>(17)</sup>.

El principal biodiesel vegetal en este continente es el RME (Rapeseed Methy Ester), que es el biodiesel hecho a base del aceite de colza y metanol, que puede en muchas ocasiones ser usado incluso de forma pura a pesar de los problemas que se pueden tener, dado que esto beneficia mucho al medio ambiente. Pero no es este el único biodiesel producido en Europa, sino en los últimos años, el biodiesel a base de girasol, soya y palma también se lo está produciendo en las diferentes plantas.

Se presenta a continuación una tabla 2.5 donde se muestra la producción de Biodiesel en algunos países europeos ya en el año 2000:

**Tabla 2.5** La producción de biodiesel en algunos países europeos

<b>País</b>	<b>Capacidad instalada (tn/año 2000)</b>	<b>Producción (tn/año 2000)</b>
Alemania	550.000	415.000
Francia	290.000	286.000
Italia	240.000	160.000
Bélgica	110.000	86.000
Inglaterra	2.000	2.000
Austria	20.000	20.000
Suecia	11.000	6.000
Checoslovaquia	47.000	32.000
<b>Total</b>	<b>1.270.000</b>	<b>1.005.000</b>

Fuente: SAGPyA, en base a "Biodiesel: El pasado del futuro" por Eugenio F. Corradini.

De forma más puntual, en Francia, se ha planteado en esos últimos dos años una norma donde se busca que todo combustible para autos diesel posee por lo menos un 1% de biodiesel, lo que demuestra de manera clara la importancia que ya en la actualidad tiene el biodiesel en este continente.

Por su parte en Alemania, ya existe una producción y comercialización de este biocombustible, es así como en aproximadamente 1000 estaciones de servicio de un total de 16000 estaciones de llenado de combustible, el biodiesel está siendo expendido; y es ya muy usado por cruceros turísticos que navegan por los diferentes lagos de este país.

Y la participación del biodiesel en el mercado alemán ha alcanzado ya un 0,3% en relación al diesel total vendido en este país, esto es, se está vendiendo 100000 toneladas; lo que se espera en el futuro suba notoriamente, pero no a un nivel donde se supla al diesel por completo.

Para el caso de otro de los países desarrollados como es los EEUU el biodiesel también se lo producido y comercia en grandes cantidades, dado que ya para el año de 1998, la DOE designó oficialmente al biodiesel puro como un

combustible alternativo. La flota de carga norteamericana es uno de los grandes usuarios de este biocombustible.

Dentro de Sudamérica Argentina y Colombia son los países que más se han preocupado tanto de la investigación, producción y uso del biodiesel; así como de la creación de normas de uso del mismo.

Para el caso argentino el biodiesel de mayor uso es el proveniente del aceite de soya, pero, este no sería suficiente para reemplazar en su totalidad al diesel, dado de esto darse, sólo quedaría un 16% de la producción total para destinarlo a la industria de los alimentos, lo que no satisficiera de ninguna manera la demanda del mercado local; sin embargo Argentina no tendría ningún problema en este sentido, dado que a lo largo de su superficie se encuentran innumerables productos que pueden ser transformados en aceite y posteriormente en biodiesel, así encontramos maní, girasol, colza, palma etc.

En la actualidad se localizan diversas plantas distribuidas fundamentalmente a lo largo de 6 provincias.

En lo que respecta a las normas relacionadas con la producción de biodiesel el IRAM, en conjunto con varias instituciones tales como La Universidad Tecnológica Nacional, el INTI; compañías involucradas en el área petrolera y fabricantes de biodiesel; se encuentra desarrollando la Norma de Especificaciones del Biodiesel.

Colombia por su parte, constituye el mayor productor de Palma en todo el continente americano, lo que es un incentivo para desarrollar una alternativa energética en base a este recurso, como lo es el biodiesel, de esta manera es como el Grupo de Recursos y Procesos Térmicos de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, trabaja conjuntamente con el Grupo de Ciencia y Tecnología del Gas y Uso Racional de Energía de la Universidad de Antioquia, y con la empresa privada Interquim S.A, en optimizar la reacción química o transterificación utilizada para la obtención del biodiesel,

con el fin de que al producirlo en grandes cantidades, se logre una mayor eficiencia y el menor costo.

Estudios argumentan que en el caso del biodiesel Colombiano, lo ideal sería el uso de una mezcla 30-70, es decir, 30% de biodiesel y 70% de diesel (B30); lo que implicaría que para satisfacer a la totalidad de la demanda, que sería de 18 mil barriles por día, se deben plantar 270 mil hectáreas más de palma, que es aproximadamente la mitad que se tenía planeado hacer para el año 2020(640mil). A breves rasgos, una de las ventajas más importantes derivadas del uso del biodiesel B30 es el eliminar las importaciones de diesel. Pero además esto para un país que no es del primer mundo traería más que beneficio económicos-ambientales; sino también sociales, dado que para el 2020, en caso de que esas hectáreas fuesen sembradas, se tendrían 100mil puestos de trabajo más. Además se atraería más inversión extranjera, entre otros beneficios.

Además, en otros lugares de Latinoamérica experiencias con el biodiesel a diferentes niveles están siendo realizadas. Tal es el caso de Costa Rica; donde Jorge Badilla Pérez, investigador de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UCR, junto a un grupo de especialistas de la Facultad de Ingeniería, desarrollan investigaciones y aplicaciones del Biodiesel.

El propósito de Badilla con este proyecto, es como en la totalidad de países donde se ha desarrollado el Biodiesel, es el de buscar un sustituto o una alternativa a un recurso con un precio que cada día asciende y que se va agotando con el correr del tiempo; es decir, una fuente alternativa de energía. Y teniendo en cuenta que Costa Rica posee recursos agrícolas suficientes como para desarrollar una opción energética en base a esto; la UCR ha decidido comenzar con los estudios pertinentes.

Sin embargo hay la contraparte, que duda que con las posibilidades agrícolas del país se puede comenzar con la producción del biodiesel para ser usado como combustibles. Sin embargo las investigaciones están en pie y lo que se desprenda de ellas determinará si Costa Rica está apto o no para producir esta

nueva alternativa de combustible, como lo argumenta el Dr. Julio Mata Segreda, Coordinador del Laboratorio de Química Bioorgánica de la Escuela de Química, duda de que Costa Rica “Desconocemos si el país podría producir biodiesel con las posibilidades agrícolas actuales o futuras, con el fin de ser usado como combustible, en la mezcla típica petrodiesel/biodiesel”<sup>(18)</sup>.

En Uruguay, por otra parte, la situación es diferente, y ya existe una planta de producción de biodiesel, la que pertenece a la Intendencia sanducera y se encuentra ubicada en Paysandú, y que ha sido construida y puesta en servicio, dicha planta no posee una capacidad muy alta y está actualmente destinada a producir biodiesel para abastecer a los vehículos del municipio con un combustible B20 y B30, esto como ya se vio es un combustible con un 20 o 30% de biodiesel y el resto diesel; sin embargo, esta ha sido un gran inicio para que el biodiesel poco a poco vaya siendo usado en Uruguay. A esto se le suma que de la producción de biodiesel a partir de productos agrícolas, se fomenta también la mayor y más efectiva producción de estos, el aumento de puestos de trabajo, entre otras ventajas socio-económicas para el país.

Sin embargo para que esta planta sea una realidad se tuvo que pasar por un largo camino que presentó muchas dificultades, donde se tuvo que contactar y convencer de esta idea en primera instancia al directorio de ANCAP, para luego hacerlo con el intendente y el gobernador, Una vez esto realizado se procedió a que el Parlamento lo apruebe, declarando de interés nacional la producción de biocombustible. A fines del año 2003 un decreto del Poder Ejecutivo exonera de impuestos hasta el 30 de diciembre de 2005.

Meses más tarde el Ancap no siguió interesado en una propuesta de mayor envergadura que teníamos, a pesar de esto se dio el paso decisivo de establecer una planta.

Para la cual se tuvo que comprar equipo tanto de India como de Argentina con una capacidad de 200000 lts. Desde la India se trajo una procesadora de aceite, y desde Argentina los reactores donde se produce el proceso de transesterificación del aceite vegetal que sale de la prensa de origen indio.

A nivel mundial, Malasia es el mayor productor de aceite de palma con 15 millones de toneladas anuales, esto ha motivado a que este recurso que parecería ilimitado, sea usado para la producción de biodiesel, de una forma descontrolada, que ha derivado en una prohibición por parte del gobierno para abrir cualquier otra planta productora de biodiesel. Y la razón es simple, este desenfreno para producir biodiesel en base al aceite de palma, ha hecho que exista el riesgo que este aceite se consuma de manera total en esta aplicación y ya no abastezca su uso natural que es el comestible.

“Hasta el día de hoy 32 proyectos para abrir plantas de biodiesel fueron aprobados en Malasia, lo que significa una producción anual de 3 millones de toneladas de biodiesel, y además 87 proyectos más se encuentran en carpeta hasta cuando esta prohibición fue realizada” <sup>(18)</sup>.

La solución a este problema es lógica y es que se debe llegar a un equilibrio en el uso del aceite de palma, de tal forma que tanto la industria alimenticia quede satisfecha, así como la industria del biodiesel; es en este sentido, que el gobierno malasio ha solicitado el estudio del impacto de la producción del biodiesel en la aplicación alimenticia del aceite de palma, con una proyección a futuro. Una vez realizado esto se abrirán únicamente aquellas plantas que se crean necesarias en base a los resultados arrojados por este estudio.

En Ecuador, se incorporó en las políticas nacionales el apoyo al uso de bio-combustibles por medio del Decreto Ejecutivo 2332, Registro Oficial 482, 15 Diciembre 2004. En el se declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de bio-carburantes como componentes de los combustibles que se consumen en el país, y se crea el Consejo Consultivo de Bio-combustibles. Sin embargo, y a pesar de proyectos planteados, no se ha cristalizado hasta la presente (noviembre 2007) proyecto alguno <sup>(13)</sup>.

## 2.4.4 NORMATIVAS PARA EL BIODIESEL

La ASTM elaboró la especificación D-6751 (Ver Tabla 2.6) para asegurar así la calidad del biodiesel producido. Aunque originalmente se trató de hacer una norma para el uso del B-100 como combustible único en motores Diesel, la falta de experiencia con mezclas altamente concentradas impidió que esto ocurra. Por lo tanto, este estándar es aplicable para realizar mezclas B-20 o menores. A pesar de ello, muchos usuarios en EEUU utilizan el B-100 basándose en esta norma.

**Tabla 2.6** Norma ASTM D 6751-03

PROPIEDAD	MÉTODO ASTM	LÍMITES	UNIDADES
Punto de Inflamación	D-93	130,0 min.	°C
Agua y Sedimentos	D-2709	0,050 máx.	% vol.
Viscosidad Cinemática @ 40 °C	D-445	1,9 @ 6,0	mm <sup>2</sup> /s
Cenizas Sulfatadas	D-874	0,020 máx.	% masa
Sulfuro*	D-5453	0,0015 máx. ( S 15 ) 0,0500 máx ( S 500 )	% masa
Corrosión en el Cobre	D-130	No 3. máx.	
Número de Cetano	D-613	47 mín.	
Punto Nube	D-2500	Reportar al usuario**	°C
Residuos de Carbón***	D-4530	0,050 máx.	% masa
Número Ácido	D-664	0,80 máx.	mg. KOH/g
Glicerina Libre	D-6584	0,020 máx.	% masa
Glicerina Total	D-6584	0,240 máx.	% masa
Contenido de Fósforo	D-4951	0,001 máx.	% masa
Temperatura de Destilación ( T 90 )****	D-1160	360 máx.	°C

\* El contenido de sulfuro será reducido a 15 ppm para el 2006 en los EEUU.

\*\* Se debe tomar en cuenta que el punto nube aumenta al realizar las mezclas

\*\*\* El contenido de carbón debe ser medido en el 100 % de la muestra.

\*\*\*\* Temperatura atmosférica equivalente.

Fuente: Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels.

La ASTM D-6751 está basada en las propiedades físicas y químicas necesarias para un buen y seguro funcionamiento del motor Diesel, mas no en la materia prima utilizada o en el proceso productivo aplicado para hacer el biodiesel.

## 2.5 NORMAS AMBIENTALES RESPECTO A LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN EN AUTOMOTORES A DIESEL

Para el caso del diesel puro, las emisiones de los gases contaminantes provenientes del proceso de combustión dentro de vehículos automotores, tienen que encontrarse dentro de ciertos límites normados. Mundialmente muchos países adoptan los estándares EURO como base para el control de las emisiones. En el Ecuador, estos límites se detallan en la norma NTE INEN 2 207:2002. El alcance de esta norma abarca todos los motores de fuentes móviles de más de 3 ruedas que usan diesel como combustible, las cuales pueden ser bien importadas o ensambladas en el país. En la tabla 2.7 y 2.8 se detallan los límites máximos de emisiones permitidos.

**Tabla 2.7** Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diesel (prueba dinámica) \* a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	Peso del vehículo cargado Kg	CO gr/Km	HC gr/Km	NOx gr/Km	Partículas gr/Km	CICLOS DE PRUEBA
Vehículos livianos	Todos	Todos	2,10	0,25	062	0,12	FTP-75
Vehículos medianos	≤ 3860	≤ 1700	6,2	0,5	0,75	0,16	
		> 1700 ≤ 3860	6,2	0,5	1,1	0,28	
Vehículos Pesados**	>3860	Todos	15,5	1,3	0,5	0,10***	Transiente pesado
* Prueba realizada a nivel del mar ** en g/b HP-h (gramos/brake Horse Power-hora) *** para buses urbanos el valor es 0,07 g/b HP-h							

Fuente: NTE INEN 2 207:2002

**Tabla 2.8** Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diesel (prueba dinámica) \* a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos)

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	Peso de Referencia Kg	CO gr/Km	HC gr/Km	NOx gr/Km	Partículas gr/Km	CICLOS DE PRUEBA
M1 <sup>(1)</sup>	≤ 3500	Todos	2,72	0,97 <sup>(4)</sup>		0,12	ECE-15 + EUDC
M1 <sup>(2)</sup> , N1		≤ 1250	2,72	0,97 <sup>(4)</sup>		0,16	
		> 1250 ≤ 1700	5,17	1,4 <sup>(4)</sup>		0,28	
		> 1700	6,9	1,7 <sup>(4)</sup>			
Vehículos Pesados**	>3860	Todos	15,5	1,3	0,5	0,10***	ECE-49

\* Prueba realizada a nivel del mar  
 \*\* en g/b HP-h (gramos/brake Horse Power-hora)  
 \*\*\* para buses urbanos el valor es 0,07 g/b HP-h

Fuente: NTE INEN 2 207:2002

Esta norma hace referencia también a los límites de opacidad permitidos para las emisiones realizadas por los vehículos a diesel, dichos límites se presentan en la tabla 2.9 y están dados en condición de aceleración libre.

**Tabla 2.9** Opacidad Aceleración Libre

% Opacidad	Año Modelos
50	2000 y posteriores
60	1999 y anteriores

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y EQUIPAMIENTO**

#### **3.1 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN**

Para la caracterización de los combustibles se considero conveniente determinar las propiedades como la densidad API, la viscosidad, el poder calórico, el punto de inflamación, el punto de vertido, temperatura de destilación y número de cetano. Estas propiedades se determinan siguiendo los procedimientos estandarizados por las normas ASTM.

##### **3.1.1 DENSIDAD API**

Este ensayo se lo realiza siguiendo lo expresado en la norma ASTM D-287 o D-1298. El método utilizado se basa en el principio de que la densidad de un líquido varía directamente con la profundidad de inmersión de un cuerpo sólido que flota en dicho líquido. En el ensayo, este cuerpo se encuentra graduado en unidades de densidad API y recibe el nombre de Hidrómetro API.

##### **A. Materiales y Equipos**

###### **Materiales**

- 900 ml de muestra de combustible
- Recipiente graduado o probeta

## Instrumentos

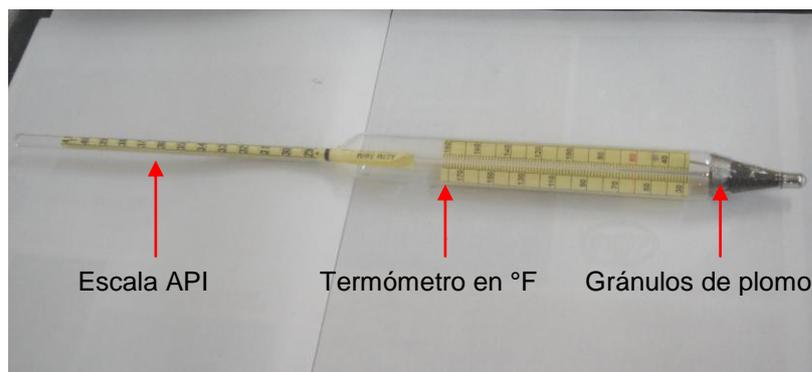
- Hidrómetro ASTM H4 (Rango: 29-41 °API, apreciación: 0,1 °API)

## Implementos de seguridad Industrial

- Mandil

## B. Procedimiento

Se coloca 900 ml de la muestra de combustible en una probeta, para inmediatamente después colocar el hidrómetro adecuado dentro de dicha probeta. Para seleccionar el hidrómetro adecuado, se debe tener en cuenta que estos poseen una numeración consistente en un número seguido por una "H". Mientras mas denso es el líquido, el hidrómetro que se va a sumergir debe ser más pesado lo que significa que su numeración es más baja.



**Figura 3.1** Hidrómetro ASTM H4

Si el hidrómetro flota en la muestra, significa que se ha seleccionado un hidrómetro adecuado. Cuando esto sucede se debe esperar un tiempo hasta que el hidrómetro se estabilice para tomar la medida tanto de la densidad API, así como la de la temperatura. Dicha temperatura debe rondar los 60 [°F] según lo expresa la norma, aunque se admite trabajar con cualquier temperatura entre -18 y 90 °C, siempre y cuando la muestra cumpla con las condiciones de la tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Condiciones limitantes y condiciones de prueba

TIPO DE MUESTRA	LÍMITES DE DENSIDAD	LÍMITE INICIAL DEL PUNTO DE EBULLICIÓN	OTROS LÍMITES	TEMPERATURA DE PRUEBA
Altamente volátil	Mas ligero de 70° API	–	–	Enfriado a 2 °C o mas bajo en un recipiente original cerrado
Moderadamente volátil	Mas pesado de 70° API	Bajo 120 °C	–	
Moderadamente volátil y viscoso	Mas pesado de 70° API	Bajo 120 °C	Viscosidad muy alta a 18 °C	Calentamiento a la mínima temperatura para que tenga suficiente fluidez
No - volátil	Mas pesado de 70° API	Bajo 120 °C	–	Cualquier temperatura entre 18 y 90 °C
Mezcla de productos no derivados del petróleo	–	–	–	15,56 ± 0,1 °C

Fuente: Norma ASTM D-287

### 3.1.2 VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Este ensayo se lo realiza siguiendo lo expresado en la norma ASTM D-445. El método utilizado consiste en medir el tiempo que se demora un cierto volumen del líquido en análisis en fluir por la gravedad a través de un tubo capilar de un viscosímetro calibrado a temperatura controlada conocida.

#### A. Materiales y Equipos

##### Materiales

- Muestras de combustible.

##### Instrumentos

- Termómetro de mercurio. (Rango: -30 a 50 [°C], apreciación: 0,5 [°C])
- Tubo de ensayo

##### Equipo

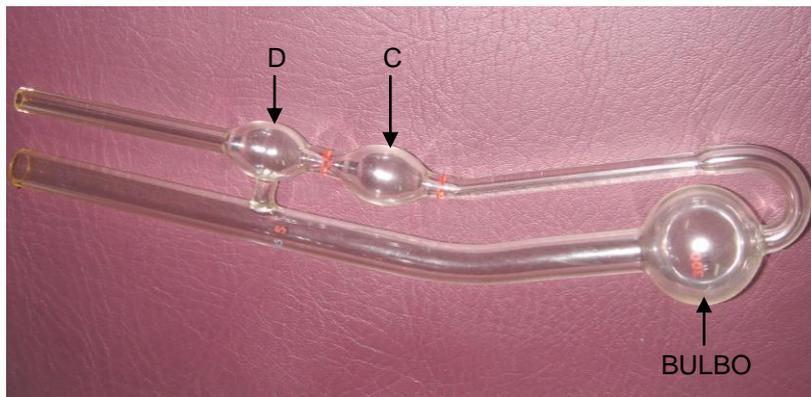
- Viscosímetro N° 75 (Rango: de 1,6 – 8 y constante de 0,008 [mm<sup>2</sup>/s])

##### Implementos de seguridad Industrial

- Mandil

## B. Procedimiento

Primero se debe identificar el viscosímetro (ver figura 3.2) según especificado en la norma ASTM D-446. Cada viscosímetro posee una numeración que se encuentra en función del rango de viscosidad del fluido. Mientras dicha numeración es menor, lo es también el diámetro del capilar del viscosímetro por lo que se presenta una mayor resistencia al paso del fluido.



**Figura 3.2** Viscosímetro Canon-Fenske para líquidos transparentes

Una vez seleccionado el viscosímetro se llena su bulbo con la muestra a estudiar en  $3/4$  de su capacidad total. Inmediatamente después se realiza la etapa de control de temperatura, donde se coloca el viscosímetro dentro del baño (ver figura 3.3) y se lo deja dentro por alrededor de 5 minutos. La temperatura se la coloca por medio de un control digital ubicado en la parte superior del baño.



**Figura 3.3** Baño (Laboratorio de Petróleos de la Universidad Central)

Una vez que la muestra se encuentra a la temperatura deseada, se coloca una pera (dispositivo para crear vacío) en el extremo de menor diámetro del viscosímetro y se succiona la muestra que se encuentra en el bulbo D (ver figura 3.2). Hecho esto, se retira la pera y se toma el tiempo que se demora la muestra en fluir por el efecto de la gravedad entre dos puntos ubicados antes y después del bulbo C. Finalmente, para obtener la viscosidad cinemática se multiplica el tiempo obtenido por la constante del viscosímetro seleccionado.

### **3.1.3 PUNTO DE INFLAMACIÓN**

Este ensayo se lo realiza siguiendo lo expresado en la norma ASTM D-93 y consiste en un método dinámico en el cual la presión se controla por medio del valor del incremento de la temperatura que se aplica.

#### **A. Materiales y Equipos**

##### Materiales

- 75 ml de muestra de combustible
- Cilindro de GLP

##### Instrumentos

- Termómetro de mercurio (Rango: -20 a 20 [°C] y apreciación: 2 [°C])

##### Equipo

- Copa de Pensky-Matters

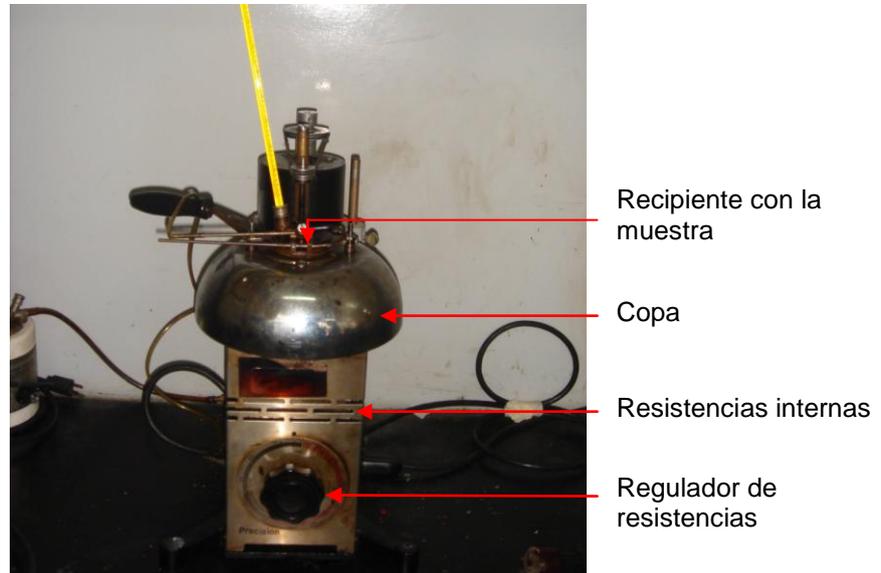
##### Implementos de seguridad Industrial

- Mandil

#### **B. Procedimiento**

Se coloca la muestra de combustible en el recipiente hasta la línea indicadora (75 ml). Luego se ubica este recipiente en la parte superior del equipo llamado "Copa de Pensky-Matter" (ver la figura 3.4), el mismo que internamente

contiene resistencias que cumplen la función de calentar la muestra. Los gases que se desprenden de dicha muestra son agitados constantemente.



**Figura 3.4** Copa de Pensky - Matters

Se debe calentar la muestra lentamente de tal forma que los vapores producidos, sean distribuidos a lo largo de toda la cámara ayudándolos por un agitador interno. Con cada incremento de 2 [°C] en la temperatura de los gases, se enciende una llama piloto o fuente de ignición (que no es mas que una pequeña llama de alrededor de 3 mm). Mediante un mecanismo, esta llama es introducida en la cámara donde se encuentran los gases o vapores del combustible. Si existe una explosión al introducir esta llama, se ha encontrado el punto de inflamación.

### **3.1.4 DESTILACIÓN ASTM**

Este ensayo se lo realiza siguiendo lo expresado en la norma ASTM D-86 y abarca la destilación atmosférica de los productos derivados del petróleo, teniendo como finalidad determinar cuantitativamente las características de volatilidad de dichos productos, por medio de un equipo de destilación de laboratorio.

## A. Materiales y Equipos

### Materiales

- 100 ml de muestra de combustible

### Instrumentos

- Termómetro de mercurio (Rango: 0 a 400 [°C], apreciación: 1 [°C])
- Balón graduado (Volumen total: 125 ml)
- Probeta graduada (Volumen total: 100 [ml] y apreciación: 2 [ml])

### Equipos

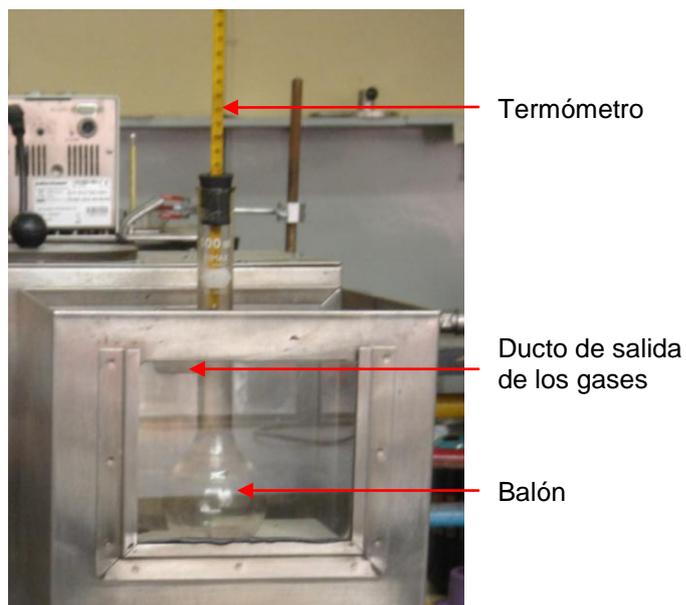
- Equipo de destilación ASTM

### Implementos de seguridad Industrial

- Mandil
- Mascarilla

## B. Procedimiento

Se coloca la muestra del combustible (100 ml) dentro de un balón graduado. Acto seguido se introduce un termómetro de mercurio dentro del tapón y este tapa la boca del balón. El bulbo del termómetro debe coincidir con el ducto de salida de los gases, como se puede observar en la figura 3.5.



**Figura 3.5** Balón de destilación

Una vez asegurado el termómetro, se pone el balón sobre el equipo de destilación. Luego se coloca una tapa para reducir las pérdidas de calor y se procede a encender el equipo. Se debe colocar la probeta a la salida del condensado con el fin de recibir dicha destilación y medir el volumen destilado como se indica en la figura 3.6.



**Figura 3.6** Equipo de destilación ASTM

Al encender el equipo, las resistencias eléctricas empiezan a calentar la muestra de combustible contenida en el balón, provocando que dicha muestra se evapore. Los gases de evaporación ingresan al ducto refrigerante donde estos se condensan y fluyen hasta la probeta graduada. El conducto refrigerante es mantenido a 60 [°C] para evitar la formación de depósitos.

Se debe tomar la temperatura inicial cuando cae la primera gota de condensado dentro de la probeta. A partir de ahí, se toman los datos de temperatura cada 5 ml de condensado hasta los 95 ml. Adicionalmente se toma la temperatura en el punto final (cundo ya no cae mas condensado) y los volúmenes de destilado y de residuo. Finalmente se calcula el volumen de pérdida restando el volumen de condensado y de residuo del volumen total.

### 3.1.5 NÚMERO DE CETANO

Este ensayo se lo realiza siguiendo lo expresado en la norma ASTM D-976. Tras obtener los datos de densidad API y de destilación ASTM mediante lo especificado en las normas D-287 o D-1298 y D-86 respectivamente se calcula el número de cetano mediante la siguiente expresión.

Ecuación para calcular el índice de cetano. (3.1)

$$\text{Índice de cetano calculado} = -420,34 + 0,016 \cdot G^2 + 0,192 \cdot G \cdot \log(M) + 65,01 \cdot [\log(M)]^2 - 0,0001809 \cdot M^2.$$

ó (3.2)

$$\text{Índice de cetano calculado} = 454,74 - 1641,416 \cdot D + 744,74 \cdot D^2 - 0,554 \cdot B + 97,803 \cdot [\log(B)]^2.$$

Donde:

G: es la densidad API según la norma ASTM D-287 ó D-1298,

M: es la temperatura media de destilación según la norma ASTM D-86,

D: es la densidad a 15 [°C], (g/ml) según la norma D-1298,

B: es la temperatura media de destilación según la norma ASTM D-86.

### 3.1.6 PODER CALÓRICO

Este ensayo se lo realiza siguiendo lo expresado en la norma ASTM D-240. El ensayo consiste en quemar una cantidad de combustible previamente pesado en un ambiente saturado de oxígeno dentro de una bomba calorimétrica adiabática.

El poder calórico superior es determinado al computar las temperaturas medidas antes, durante y después de la combustión y es expresado en [KJ/Kg].

## **A. Materiales y Equipos**

### Materiales

- 50 ml de cada muestra de combustible
- Gotero
- Oxígeno
- Agua
- Lana
- Alambre de ignición
- Ácido Benzoico

### Instrumentos

- Balanza digital (Apreciación: 0,1 [g])
- Termómetros de mercurio (Rango: 20,9 a 27,1 [°C], apreciación: 0,01 [°C] y rango: -10 a 100 [°C], apreciación: 0,1 [°C])
- Prensa manual de tornillo y matricería.

### Equipos

- Bomba calorimétrica adiabática

### Implementos de seguridad Industrial

- Mandil

## **B. Procedimiento**

El ensayo empieza con la calibración de la bomba calorimétrica adiabática. Para esto se usa ácido benzoico, sustancia cuyo poder calórico es conocido. Primero se prepara una pastilla de ácido benzoico colocando 1 g del ácido en polvo en una matriz y prensando para formar una pastilla. Para calibrar la bomba se necesita conocer el poder calórico práctico del ácido benzoico, para el cual se utiliza el mismo procedimiento que se utilizaría para medir el poder calórico de cualquier combustible sólido o líquido.

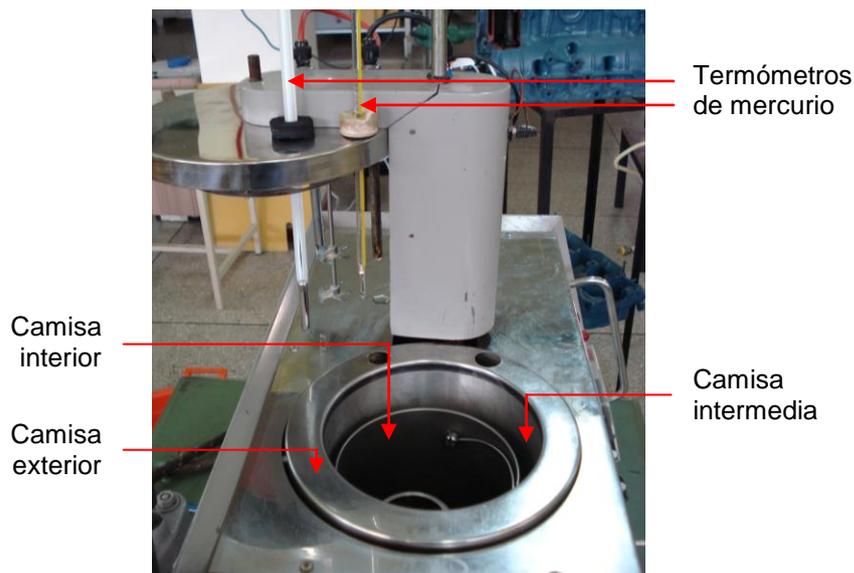
Se comienza colocando el alambre de ignición entre dos electrodos. Se ata un tramo de la lana a dicho alambre, de manera que esta haga el papel de mecha hasta el crisol donde se coloca la muestra. Se encera la balanza con el peso

del crisol vacío y con el gotero se coloca 0,8 g de la muestra de combustible. Luego se coloca el crisol con el combustible el soporte que esta sujeto a la tapa de la bomba tal como se ve en la figura 3.7.



**Figura 3.7** Bomba de calor

Adicionalmente, se coloca una gota de agua dentro de la bomba para que el ambiente quede saturado de humedad y por lo tanto el agua, producto de la combustión, se condensará en lugar de quemar como vapor de agua. Se procede a cerrar la bomba y se inyecta oxígeno a 15 [psi] de presión durante 50 s. Se coloca la bomba dentro de una camisa de agua (figura 3.8) a una temperatura muy cercana a 21 °C. Alrededor de esta camisa esta, una camisa intermedia y luego una camisa exterior, que se encuentra siempre a la misma temperatura. De esta forma se logra que la camisa interior no pierda calor, ya que a medida que esta se calienta, la exterior lo hace en la misma medida por medio de resistencias eléctricas. Por esta razón, se coloca un termómetro para la camisa interior y otro para la exterior. La diferencia de temperaturas de estas camisas no debe ser mayor a 0,2 °C. Cabe mencionar que existe un agitador para la camisa interior.



**Figura 3.8** Bomba calorimétrica adiabática

Para tomar los datos se tapa el conjunto, se enciende el equipo y se comprueba que exista un buen contacto para la ignición. Una vez que las temperaturas estén reguladas a 21 [°C] se provoca la ignición con lo que se quema el combustible colocando en el crisol.

Para determinar el poder calórico se debe tomar la temperatura inicial ( $T_o$ ) y la temperatura final ( $T_f$ ) a la que se eleva el agua de la camisa interna. Con estos datos se procede a calcular el poder calórico con la siguiente ecuación.

(3.3)

$$PC_C = \frac{\left( T_f - T_o \right) \cdot \frac{PC_B \cdot m_B}{m_C}}{\left( T_B - T_{o_B} \right)}$$

Donde:

$PC_C$  = es el poder calórico buscado (del combustible),

$T_{f_C}$  = es la temperatura final alcanzada (con el combustible),

$T_{o_C}$  = es la temperatura inicial (con el combustible  $\approx 21$  [°C]),

$PC_B$  = es el poder calórico de ácido benzoico (26454 [KJ/Kg]),

$m_B$  = es la masa del ácido benzoico quemada (1 [g]),

$T_{f_B}$  = es la temperatura final alcanzada (con el ácido benzoico),

$T_{o_B}$  = es la temperatura inicial (con el ácido benzoico  $\approx 21$  [°C]) y

$m_C$  = es la masa del combustible quemada (0,8 [g]).

### **3.1.7 PUNTO DE NEBULIZACIÓN Y VERTIDO**

Los ensayos de punto de nebulización y vertido se los realiza siguiendo lo especificado en la normas ASTM D-2500 y D-97 respectivamente. Estos ensayos constan de procesos similares y tienen la finalidad de determinar las propiedades de fluidez a las bajas temperaturas de los combustibles derivados del petróleo.

#### **A. Materiales y Equipos**

Materiales

- 75 ml de cada combustible

Instrumentos

- Termómetro de mercurio (Rango: -30 a 50 [°C], apreciación: 0,5 [°C])
- Probeta (Rango: -10 a 100 [°C], apreciación: 1 [°C])

Equipo

- Refrigeradora para petróleos

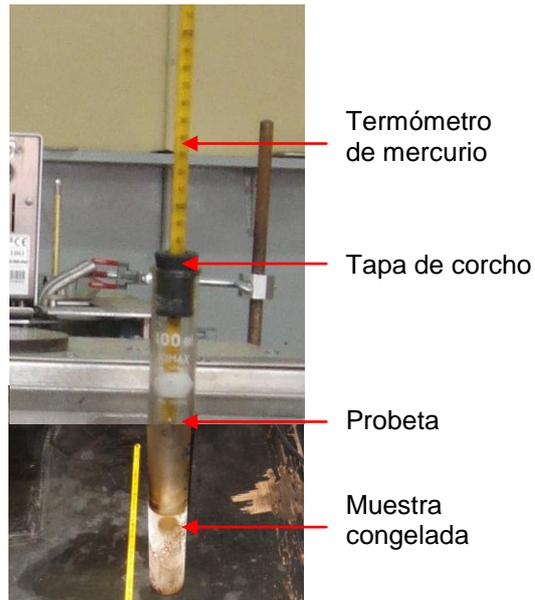
Implementos de seguridad Industrial

- Mandil

#### **B. Procedimiento**

Primero se coloca 75 [ml] de la muestra en una probeta y se la guarda en la refrigeradora hasta que dicha muestra se congele (alrededor de tres días). Transcurrido este tiempo, se introduce el termómetro dentro de la muestra y se la tapa por medio de un corcho y se espera a que se estabilice la temperatura (ver figura 3.9).

Para obtener el punto de vertido, se inclina el tubo a un ángulo de 45 grados, si la muestra presenta movimiento o vertido, se ha encontrado el punto de vertido. Caso contrario, se espera que la muestra suba 3 °C y se repite el procedimiento hasta que esta presente movimiento.



**Figura 3.9** Muestra de diesel ecuatoriano congelada

Para el caso del punto del punto de nebulización se realiza una especie de juego con la temperatura de la muestra. Esto es, si la muestra presenta una apariencia transparente (no posee presencia de cristales), se la debe enfriar hasta que la cristalización ocurra. Cuando existe la primera manifestación de la presencia de cristales, se ha encontrado el punto de nebulización. Si ocurre lo contrario, es decir, cuando se observa una abundante presencia de cristales, se debe calentar la muestra para encontrar el punto de nebulización. Los intervalos de calentamiento o enfriamiento son de 3 °C.

## **3.2 PRUEBAS DE RENDIMIENTO A VELOCIDAD VARIABLE**

Estas pruebas se hacen principalmente para determinar el consumo específico de combustible, el torque y la potencia al freno. Al utilizar una aceleración constante, se puede controlar la variación de la velocidad con la carga aplicada sobre el eje y de esta forma hallar las curvas de estos parámetros de desempeño en relación a la velocidad. Para este estudio se evalúa también el consumo másico de combustible y de aire, la relación aire combustible, la temperatura de los gases de escape, la eficiencia térmica y volumétrica y la opacidad de los gases de escape.

### **3.2.1 MEDICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO**

Esta prueba persigue el objetivo de calcular los diferentes parámetros que determinan el desempeño de un motor, a partir de datos básicos como son: la carga, velocidad de giro, caída de presión, temperatura de escape y tiempo de consumo de volumen de prueba. Esta prueba se realiza en el banco de pruebas PLINT TE-16 perteneciente al Laboratorio de Motores de la ESPE.

#### **A. Materiales y Equipos**

##### Materiales

- 2 galones de cada combustible a evaluarse (Diesel y mezclas)
- Embudo
- Guaipes

##### Equipo

- Banco de pruebas PLINT TE-16 (ver Anexo A)

##### Implementos de seguridad Industrial

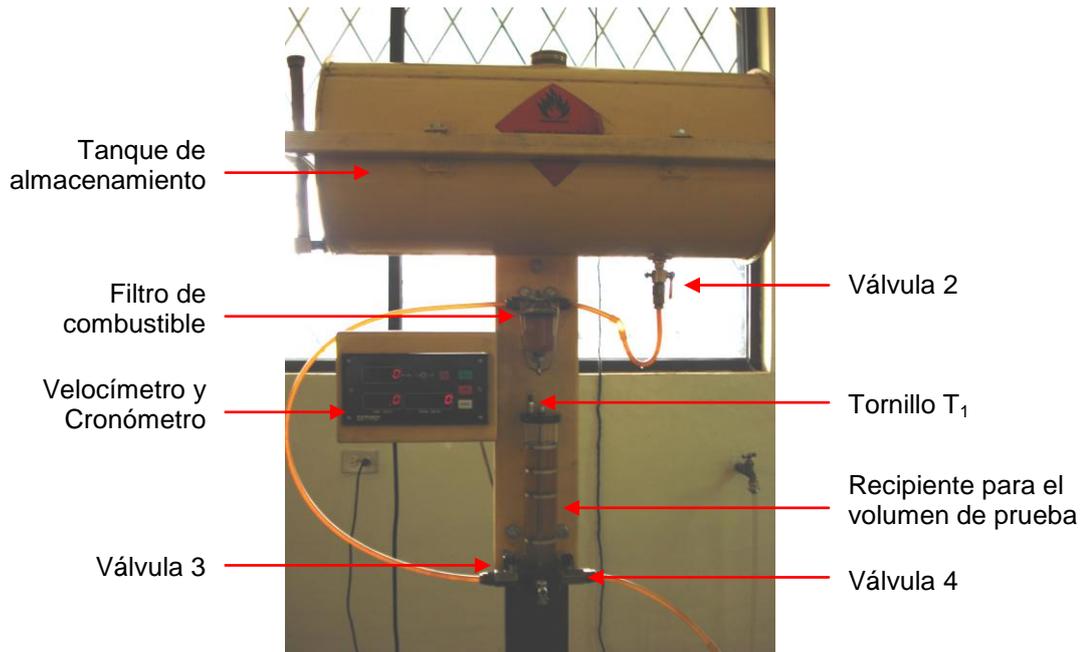
- Overol
- Orejeras
- Mascarilla

## **B. Procedimiento**

Para realizar esta prueba primero se comienza con la configuración inicial del banco, para esto comprende asegurarse que el banco esté alimentado, haya agua en el reservorio, esté conectada la bomba de agua, haya combustible en el tanque, las líneas de paso de combustible estén abiertas, así como los accionadores de los cilindros de las bombas de ignición y que la palanca de descompresión este accionada.

Se debe tomar en cuenta que el sistema de combustible debe estar purgado. El calentamiento del motor se lo realiza en ralentí (cero aceleraciones) y con cero cargas. Para el arranque del motor, se puede usar el freno eléctrico (generador) como motor de arranque. Se debe esperar entre 40 a 50 minutos a que el motor se caliente, lo que se controla con la temperatura de agua del reservorio, que debe alcanzar los 70 [°C]. Durante el calentamiento se puede reducir el caudal del refrigerante para que el motor se caliente más rápido.

Para iniciar la toma de datos, el motor de estar funcionando a una aceleración del 100% y cero cargas. Los datos de carga, caída de presión, temperatura de escape, y velocidad de giro se los toma directamente en los instrumentos de medición. Para ver el consumo (figura 3.10), primero se abre el tornillo 1 y se espera a que se llene el recipiente, inmediatamente se cierra la válvula 3 y se cronometra el tiempo que el motor se demora en consumir el volumen de prueba establecido. Para la toma de datos a diferentes velocidades se debe aumentar la carga de acuerdo al objetivo que se persiga en las pruebas y permitiendo que el motor se estabilice. El motor no debe tener una variación mayor a  $\pm 10$  rpm durante un minuto como mínimo para considerar que el motor esta estabilizado. La temperatura del refrigerante en el reservorio debe mantener entre los 60 y 80 [°C].



**Figura 3.10** Sistema de medición del consumo de combustible

Como precaución adicional para la medición del tiempo en que se consume el volumen de prueba, se tomó también el dato de velocidad de giro total durante dicho tiempo. De esta forma es posible calcular una velocidad media de giro a la que se mantuvo el motor y compararla con la velocidad a la que se pretendía estabilizar el motor para el dato correspondiente. Para esto se estableció una tolerancia de  $\pm 5$  rpm. Para el caso de estudio se ha determinado el límite máximo y mínimo de revoluciones que alcanza el motor, sin carga y con carga máxima respectivamente, con el fin de obtener alrededor de 10 datos dentro de este rango.

Observación: se debe calentar a  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  aproximadamente el aceite de palma RBD puro antes de ser mezclado a los porcentajes establecidos con el diesel ecuatoriano ya que el aceite de palma RBD presentaba cierta precipitación (formación de sólidos en suspensión) a temperatura ambiente. Cosa que no sucedió con el aceite de piñón.

### **3.2.2 MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD DE LOS GASES DE ESCAPE**

Esta prueba se lo realiza siguiendo lo expresado en la NTE INEN 2 202:2002 y la NTE INEN 2 207:2002. En estas pruebas se mide el porcentaje de opacidad de los gases de escape producto de la combustión del motor diesel.

#### **A. Materiales y Equipos**

##### Materiales

- 1 litro de cada combustible a evaluarse (Diesel y mezclas)
- Guaipes

##### Equipo

- Banco de pruebas PLINT TE-16 (ver Anexo A)
- Opacómetro (ver anexo B)

##### Implementos de seguridad Industrial

- Overol
- Orejeras
- Mascarilla

#### **B. Procedimiento**

Verificar que no haya ningún impedimento físico para el libre movimiento del acelerador.

Con el motor funcionando en “ralentí”, realizar por lo menos tres aceleraciones consecutivas, desde la posición de “ralentí” hasta la posición de máximas revoluciones, con el fin de limpiar al tubo de escape.

Conectar la sonda de prueba a la salida del sistema de escape del vehículo. Aplicar aceleración libre al vehículo y permitir que el motor regrese a condición de “ralentí”, repetir lo indicado por lo menos seis veces, consecutivamente.

En cada ciclo, registrar el valor de porcentaje de opacidad máximo obtenido. No se debe tener en cuenta los valores leídos mientras el motor esta en marcha mínima, después de cada aceleración.

Para el resultado final, considerar como mínimo tres lecturas tomadas en estado estable, es decir, cuando al menos estas tres lecturas consecutivas se sitúen dentro de un rango del 10%, y formen una secuencia decreciente.



**Figura 3.11** Medición del porcentaje de opacidad (Opacómetro del CCICEV)

Observación: antes de realizar la toma de datos de cada una de las mezcla combustibles utilizadas, se debe cambiar el aceite de motor, filtros de aire, de combustible y de aceite.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN**

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización descritos en 3.1. Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Petróleos de la Universidad Central del Ecuador a excepción de los ensayos de poder calórico, los que se realizaron en el Laboratorio de Termodinámica de la ESPE. Se caracterizaron las mezclas al 2% y 5% con diesel ecuatoriano, además del diesel, aceite de palma RBD y aceite de piñón puro. Los datos tabulados obtenidos en los ensayos de caracterización están documentados en el Anexo C (tablas LT-1 a la LT-7).

#### **4.1 Densidad**

Para un análisis comparativo de los resultados de los ensayos de caracterización, el diesel puro ha sido tomado como valor referencial del 100%. Esto significa que todo valor sobre el 100% debe ser interpretado como incremento o aumento y todo valor bajo este, será interpretado como decrementos o disminuciones.

En la figura 4.1 se pueden apreciar claramente que la densidad aumenta con el aumento de la concentración tanto en el aceite de palma como en el aceite de piñón. Se tiene aumentos de 0,06% y 0,36% en mezclas de aceite de palma RBD y aumentos de 0,12% y 0,36% para mezclas de aceite de piñón al 2% y 5% respectivamente. La mezcla al 2% de aceite piñón presenta una diferencia

0,06% mayor en el incremento de la densidad que la mezcla de aceite de palma RBD.

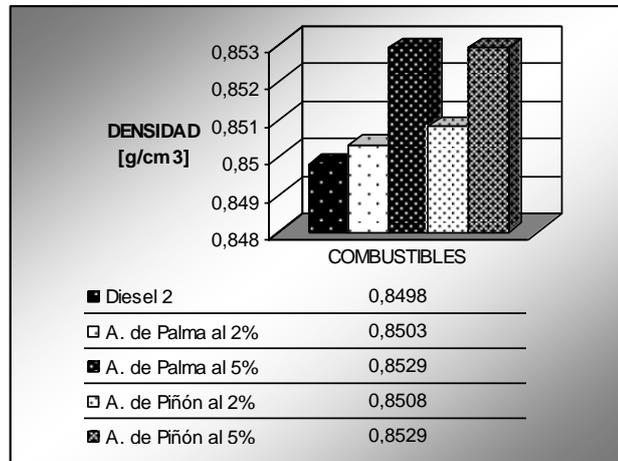


Figura 4.1 Densidades de las mezclas combustibles utilizadas

## 4.2 Viscosidad Cinemática

En la figura 4.2 se pueden apreciar claramente que la viscosidad cinemática disminuye con el aumento de la concentración tanto en el aceite de palma como en el aceite de piñón a temperatura ambiente. Las mezclas al 2% y 5% con aceite piñón con diesel presentan una diferencia de 7,71% y 6,53% mayores respectivamente en la disminución de la viscosidad cinemática que las del aceite de palma.

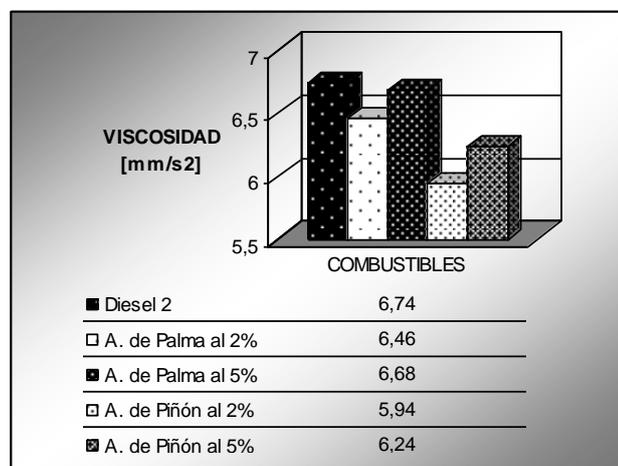
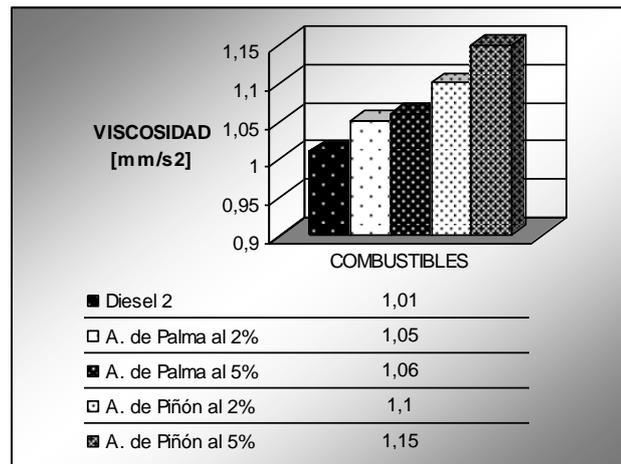


Figura 4.2 Viscosidades de las mezclas combustibles utilizadas a temperatura ambiente

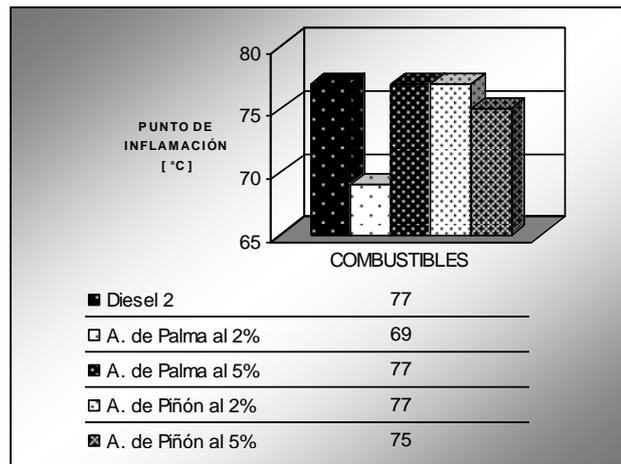
En la figura 4.3 se pueden apreciar claramente que la viscosidad cinemática aumenta con el aumento de la concentración tanto en el aceite de palma como en el aceite de piñón a la temperatura de 80 °C. Las mezclas al 2% y 5% de aceite piñón con diesel presentan una diferencia de 4,95% y 8,91% mayores respectivamente en el incremento de la viscosidad cinemática que las mezclas de aceite de palma RBD.



**Figura 4.3** Viscosidades de las mezclas combustibles utilizadas a temperatura de 80 [°C]

### 4.3 Punto de Inflamación

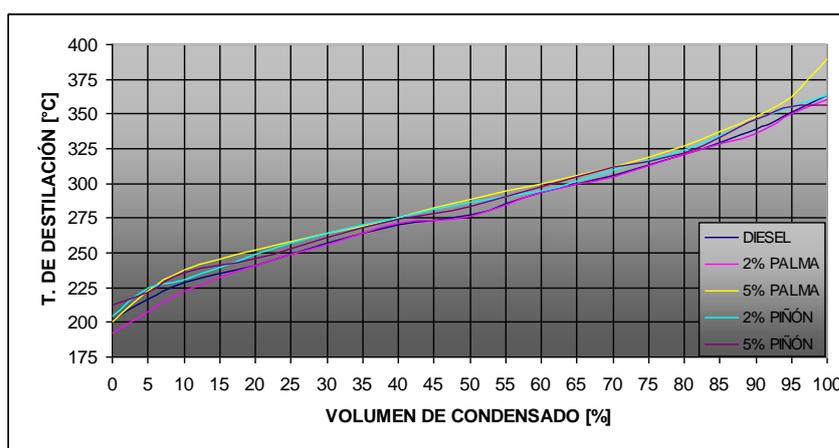
En la figura 4.4 se pueden apreciar claramente que el punto de inflamación disminuye con el aumento de la concentración tanto en el aceite de palma como en el aceite de piñón. La mezcla al 2% de aceite de palma RBD con diesel tiene una disminución de 10,39% y la mezcla al 5% de aceite piñón con diesel presenta una disminución de 2,58%. Se puede observar que las mezclas de aceite de piñón presentan una menor disminución en el punto de inflamación que las mezclas de aceite de palma RBD.



**Figura 4.4** Puntos de inflamación de las mezclas de combustible utilizadas

#### 4.4 Destilación ASTM

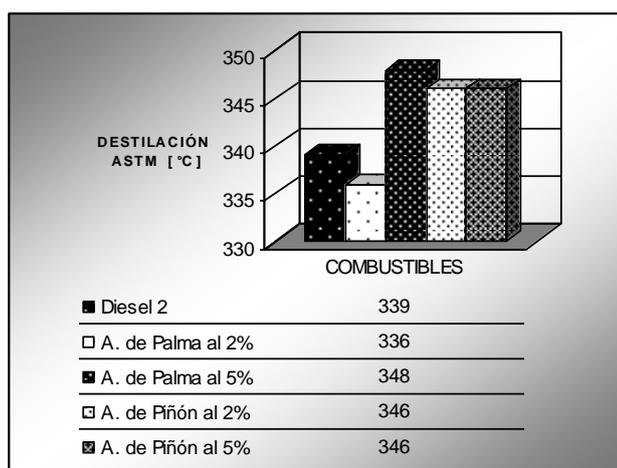
En la figura 4.5 se muestran las curvas de destilación para todos los combustibles. A simple vista se aprecia que la mezcla de aceite de palma RBD al 5% presenta temperaturas de destilación más altas para volúmenes de condensados pequeños en comparación con el diesel y las mezclas de aceite de piñón. Se observa que las temperaturas varía directamente con el volumen de condensado.



**Figura 4.5** Curvas comparativas de destilación de las mezclas combustibles utilizadas

En la figura 4.6 se pueden apreciar claramente que la destilación ASTM aumenta con el aumento de la concentración tanto en el aceite de palma RBD

como en el aceite de piñón, a excepción de la mezcla de aceite de palma al 2% que disminuye. La mezcla al 2% de aceite de palma RBD tiene una disminución de 0,88% y la mezcla al 5% un aumento de 2,65%. Las mezclas al 2% y 5% de aceite piñón con diesel presenta un aumento de 2,06%. Se puede observar que las mezclas de aceite de piñón presentan mayor estabilidad en la destilación ASTM que las del aceite de palma RBD.



**Figura 4.6** Temperaturas de destilación T90 de las mezclas combustibles utilizadas

#### 4.5 Número de Cetano

En la figura 4.7 se observa el número de cetano presenta poca relación con la concentración. La mezcla al 5 % de aceite de palma RBD con diesel se incrementa en 4,08% y la mezcla al 2% de aceite de piñón con diesel de igual manera. La mezcla al 2% de aceite piñón presenta una diferencia mayor de 4,08% en el incremento del número de cetano que la mezcla de aceite de palma RBD y viceversa en la mezcla al 5% de aceite de piñón. En general se ve que el número de cetano tiende a reducirse a medida que aumenta la concentración para mezclas con aceite de piñón.

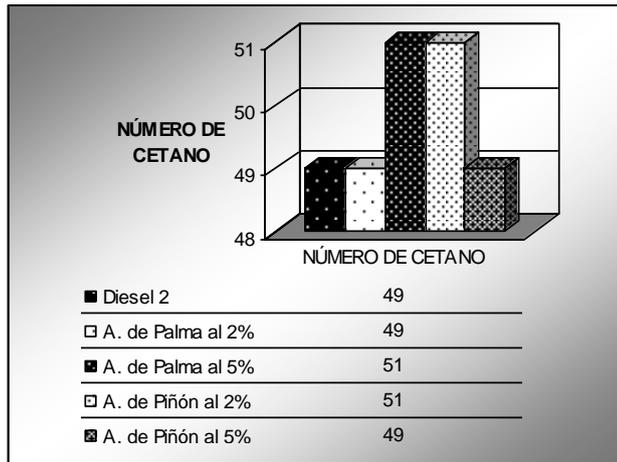


Figura 4.7 Números de cetano de las mezclas de combustible utilizadas

#### 4.6 Poder Calórico

En la figura 4.8 se pueden apreciar claramente que el poder calórico aumenta con el aumento de la concentración tanto en el aceite de palma RBD como en el aceite de piñón. La mezcla al 2% de aceite de palma RBD con diesel tiene un aumento de 16,84% y la mezcla al 5% un aumento de 7,16%. Mientras que la mezcla al 2% de aceite de piñón con diesel tiene un aumento de 18,27% y la mezcla al 5% un aumento de 7,52%.

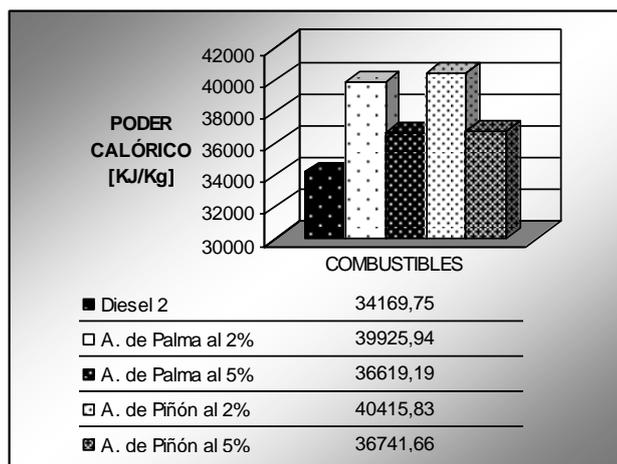


Figura 4.8 Poder calórico de las mezclas de combustibles utilizadas

#### 4.7 Punto de Nebulización y Vertido

En la figura 4.9 se pueden apreciar que el punto de nebulización tiende a incrementarse a medida que aumenta la concentración tanto en el aceite de palma como en el aceite de piñón. Las mezclas al 2% y 5% de aceite de palma RBD con diesel tienen un incremento de 80% y las mezclas de aceite de piñón con diesel un incremento de 40%. Se puede observar que las mezclas de aceite de piñón presentan menor incremento que las del aceite de palma RBD.

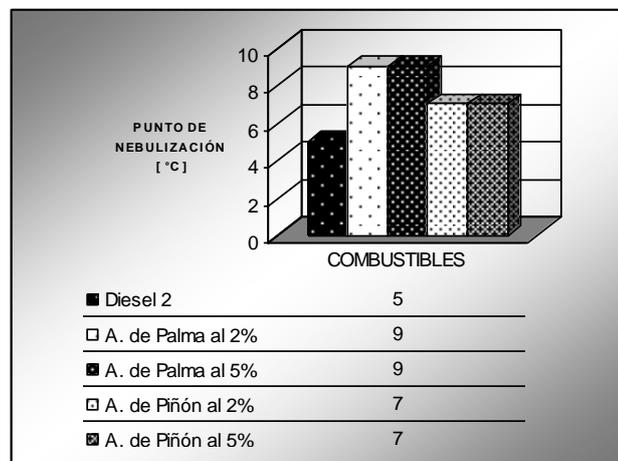


Figura 4.9 Puntos de nebulización de las mezclas combustibles utilizadas

Los puntos de vertido son menores a 0 [°C], como se observa en la figura 4.10 y no presentan variación alguna respecto a la concentración.

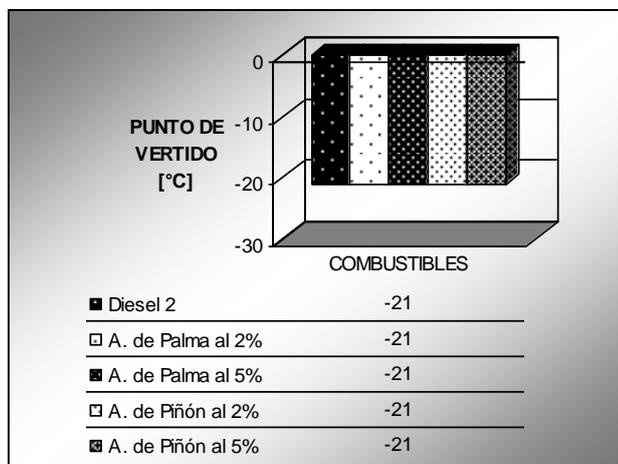


Figura 4.10 Puntos de vertido de las mezclas de combustible utilizadas

## **CAPÍTULO V**

### **ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR DIESEL Y EL PORCENTAJE DE OPACIDAD DE LOS GASES DE ESCAPE DEBIDO AL USO DE MEZCLAS AL 2% Y 5% DE ACEITE DE PALMA RBD Y ACEITE DE PIÑÓN CON DIESEL 2 ECUATORIANO COMO COMBUSTIBLE**

#### **5.1 EVALUACIÓN EN CONDICIONES ESTÁNDAR DE UN MOTOR**

Se realizaron pruebas de rendimiento de un motor Diesel con mezclas diesel - aceite de palma RBD y diesel - aceite de piñón en concentraciones de 2% y 5 % a fin de comparar y evaluar el desempeño usando bio - combustible y diesel convencional. Las pruebas se las realizaron según lo especificado en 3.2.1 a continuación se muestran los datos obtenidos para el diesel 2 ecuatoriano en las pruebas de rendimiento con el motor diesel PLINT TE-16 del Laboratorio de Motores de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la ESPE.

Los datos de las mezcla diesel - aceite de palma RBD y diesel - aceite de piñón están documentados en el anexo D (tablas LT-1 a la LT-5).

**Tabla 5.1** Datos de desempeño para el diesel ecuatoriano

TEST	VELOCIDAD	CONTADOR	TIEMPO	FUERZA	MANÓMETRO	ESCAPE
	[N]	REVS. [N <sub>T</sub> ]	t	F	h <sub>o</sub>	Te
Nº	RPM	Nº	seg	N	mm H <sub>2</sub> O	°C
1	2108	6489	184,7	48	46,5	200
2	2058	4142	120,7	142	43,5	290
3	2008	1955	58,5	284	39	440
4	1958	1882	57,8	290	37	485
5	1908	1873	59	290	35	500
6	1858	1876	60,7	290	34	500
7	1808	1876	62,3	290	32	500
8	1758	1879	64,2	290	30,5	500
9	1708	1891	66,6	290	29	500
10	1658	1894	68,6	290	27,5	490
11	1608	1884	70,4	290	26	490

Con los datos de parámetro medidos en los ensayos de rendimiento del motor diesel, propiedades termodinámicas e hidráulicas y dimensiones del motor diesel y accesorios, se procede a realizar los cálculos de torque, potencia al freno, consumo másico de combustible, consumo específico de combustible, consumo másico de aire, relación aire - combustible, eficiencia térmica y eficiencia volumétrica.

**Datos:**

Bp: Brazo de palanca (318 [mm]).

Vp: Volumen de la prueba (100 [cm<sup>3</sup>]).

dpo: Diámetro de la placa orificio (39 [mm]).

Patm: Presión atmosférica (75041,97368 [Pa]).

Ta: Temperatura ambiente (290 [K]).

R: Constante universal de los gases ideales (287,08 [N-m/Kg°K]).

C<sub>1</sub>: Factor de transformación de unidades (9,81 [Pa/mmH<sub>2</sub>O]).

c: Coeficiente de perdidas por fricción del aire (0,62).

Vd: Volumen desplazado de aire o cilindrada (1620 [cm<sup>3</sup>]).

pa: densidad del aire a 2500 metros sobre el nivel del mar (0,95815 [Kg/m<sup>3</sup>]).

N: Velocidad angular en [rpm].

N<sub>T</sub>: Revoluciones totales durante el consumo del Vp en [rpm].

F: Carga del motor en [N].

- $h_0$ : Caída de presión en la placa orificio en [mmH<sub>2</sub>O].  
 $t$ : Tiempo de consumo de un volumen de “100 ml” en [s].  
 $T_e$ : Temperatura de los gases de escape a la salida del múltiple en [°C].  
 $\rho$ : Densidad del combustible a 60 [°F] en (g/cm<sup>3</sup>) (figura 4.1).  
 $Q$ : Poder calórico del combustible en [KJ/Kg] (figura 4.8).

### Parámetros a Calcular:

- $T_q$ : Torque en [N-m].  
 $P_f$ : Potencia al freno [Hp].  
 $m_c$ : Consumo másico de combustible en [Kg/h].  
 $CEC$ : Consumo específico de combustible en [Kg/kw-h].  
 $m_a$ : Consumo másico de aire en [Kg/h].  
 $A/C$ : Relación aire – combustible.  
 $\eta_t$ : Eficiencia térmica en [%].  
 $\eta_v$ : Eficiencia volumétrica en [%].

### Cálculos:

$$T_q = F * B_p = 284 \text{ [N]} * 0,318 \text{ [m]} = 9,31 \text{ [N-m]}$$

$$P_f = N * T_q = \left( \frac{\pi}{30} * 2005,13 \right) \left[ \frac{rad}{s} \right] * 90,31 \text{ [N-m]} * \frac{1 \text{ [Hp]}}{745,7 \text{ [W]}} = 25,43 \text{ [Hp]}$$

$$m_c = \frac{\rho * V_p}{t} = \frac{0,84984 \left[ \frac{g}{cm^3} \right] * 100 \text{ [m}^3] * \frac{1 \text{ [kg]}}{1000 \text{ [g]}}}{58,5 \text{ [s]} * \frac{1 \text{ [h]}}{3600 \text{ [s]}}} = 5,23 \text{ [Kg/h]}$$

$$CEC = \frac{m_c}{P_f} = \frac{5,23 \frac{Kg}{h}}{25,97 \text{ [Hp]} * \frac{0,7457 \text{ [Kw]}}{1 \text{ [Hp]}}} = 0,27 \text{ [Kg/Kw-h]}$$

$$m_a = \frac{\pi * d_{po}^2 * c}{4} * \sqrt{\frac{2 * C_1 * h_0 * P_{atm}}{R * T_a}}$$

$$m_a = \frac{\pi * 0,039^2 \text{ [m]}^2 * 0,62}{4} * \sqrt{\frac{2 * 9,81 \left[ \frac{\text{Pa}}{\text{mmH}_2\text{O}} \right] * 39 \text{ [mmH}_2\text{O]} * 75041,97 \text{ [Pa]} * 3600 \text{ [s]}}{287,08 \left[ \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{Kg} \cdot \text{K}} \right] * 290 \text{ [K]} * 1 \text{ [s]}}}$$

$$m_a = 70,02 \text{ [Kg/h]}$$

$$A/C = \frac{m_a}{m_c} = \frac{70,02 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]}{5,23 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]} = 13,38$$

$$\eta_t = \frac{P_f}{Q * m_c} * 100 \text{ [%]} = \frac{25,43 \text{ [Hp]} * \frac{0,7457 \text{ [Kw]}}{1 \text{ [Hp]}}}{34169,75 \left[ \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right] * 5,23 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right] * \frac{1 \text{ [h]}}{3600 \text{ [s]}}} * 100 \text{ [%]} = 38,20 \text{ [%]}$$

$$\eta_v = \frac{m_a}{m_D} = \frac{m_a}{V_D * \rho_a} = \frac{m_a}{\frac{V_d * N}{2} * \rho_a}$$

$$\eta_v = \frac{70,02 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \right]}{\frac{0,00162 \text{ [m]}^3 * 2005,13 \left[ \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right] * \frac{60 \text{ [min]}}{1 \text{ [h]}} * 0,95815 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]}{2}} * 100 \text{ [%]} = 75 \text{ [%]}$$

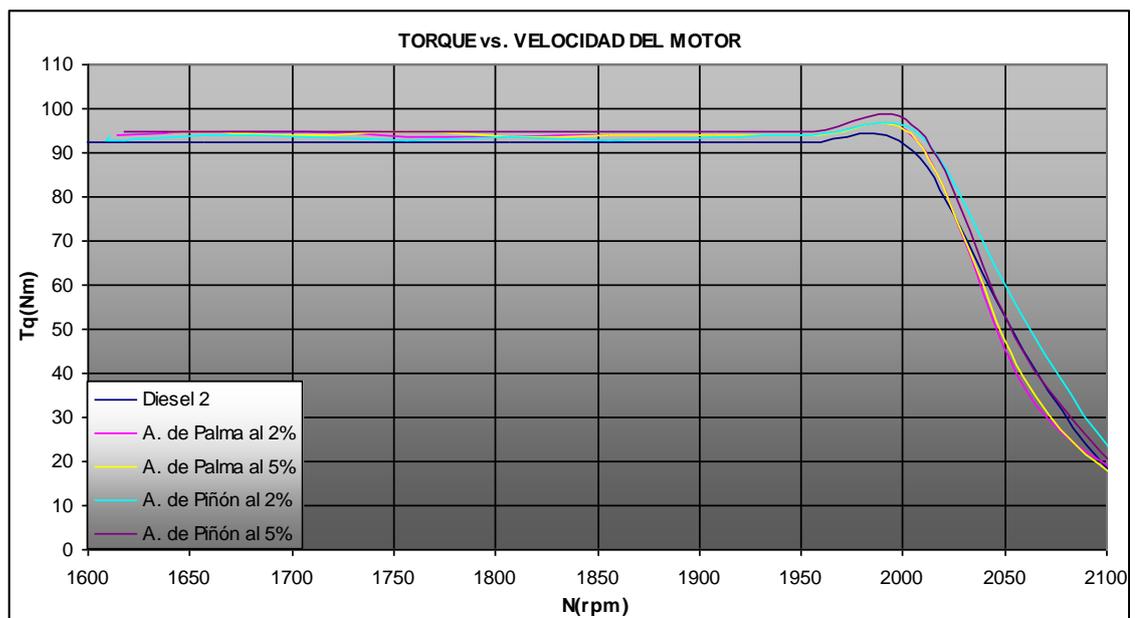
De esta forma se construye la tabla 5.2 los cálculos de los parámetros de rendimiento al utilizar las mezclas diesel - aceite de palma RBD y diesel - aceite de piñón a los porcentajes establecidos están documentados en el anexo E (tablas LT-1 a la LT-5).

**Tabla 5.2** Parámetros de desempeño para el diesel ecuatoriano

Test	N	Tq	Pf	AIRE		COMBUSTIBLE		EFICIENCIA	
				$m_a$	A/C	$m_c$	CEC	$n_t$	$n_v$
No.	RPM	Nm	Hp	Kg/h	-	Kg/h	Kg/Kw-h	[%]	[%]
1	2107,96	15,26	4,52	76,46	46,16	1,66	0,49	21,43	77,89
2	2058,99	45,16	13,06	73,95	29,18	2,53	0,26	40,47	77,13
3	2005,13	90,31	25,43	70,02	13,39	5,23	0,28	30,20	75,00
4	1953,63	92,22	25,30	68,20	12,89	5,29	0,28	37,55	74,97
5	1904,75	92,22	24,67	66,34	12,79	5,19	0,28	37,37	74,79
6	1854,37	92,22	24,02	65,38	12,97	5,04	0,28	37,43	75,72
7	1806,74	92,22	23,40	63,43	12,92	4,91	0,28	37,43	75,39
8	1756,07	92,22	22,74	61,92	12,99	4,77	0,28	37,49	75,73
9	1703,60	92,22	22,06	60,38	13,14	4,59	0,28	37,73	76,12
10	1656,56	92,22	21,45	58,80	13,18	4,46	0,28	37,79	76,23
11	1605,68	92,22	20,79	57,17	13,16	4,35	0,28	37,59	76,47

### 5.1.1 POTENCIA AL FRENO Y TORQUE

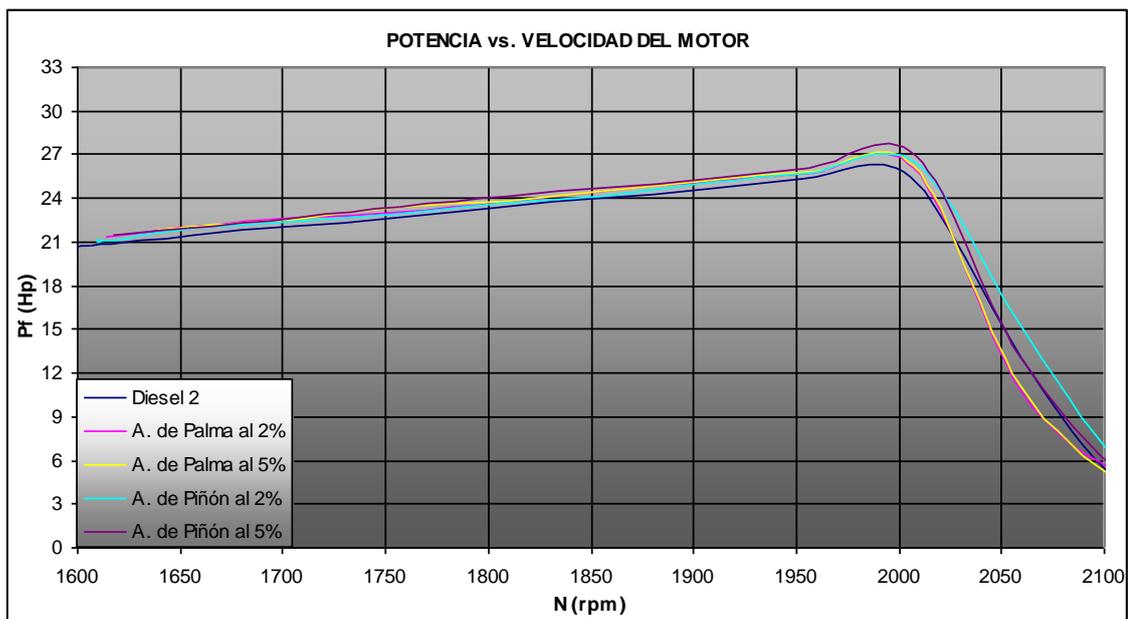
En la figura 5.1 se presenta las curvas del torque obtenido para todos los valores de velocidad y para las diferentes mezclas. Se puede apreciar que el torque se mantiene parcialmente constante hasta las 1950 - 2000 rpm. A partir de esta velocidad, este parámetro decae para todos los combustibles.



**Figura 5.1** Curvas comparativas de torque con diferentes mezclas combustibles

En general las mezclas tienden a mantener el torque un poco más estable en los valores altos, existe un pequeño incremento del torque respecto al diesel puro entre 1600 - 2000 rpm. A partir de las 2000 rpm existe nuevamente una pequeña pérdida del torque para las mezclas de aceite de palma RBD con diesel, mientras que las mezclas de aceite de piñón con diesel mantienen el torque sobre el diesel puro.

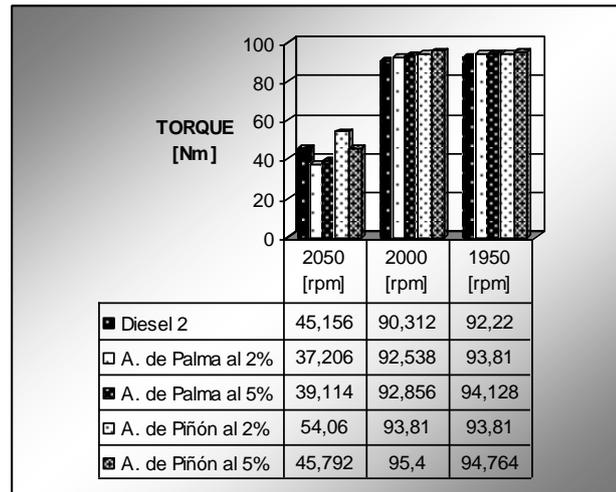
En la figura 5.2 se puede apreciar las curvas de potencia al freno para todos los valores de velocidad y para las diferentes mezclas. En general se observa que la potencia se comporta de igual forma que el torque. Se puede apreciar que la potencia máxima se da alrededor de las 1950 a 2000 rpm. Las mezclas tienden a mantener la potencia un poco más estable en los valores altos al igual que el torque. Con una pequeña diferencia de las mezclas a partir de las 2000 rpm.



**Figura 5.2** Curvas comparativas de la potencia al freno con diferentes mezclas combustibles

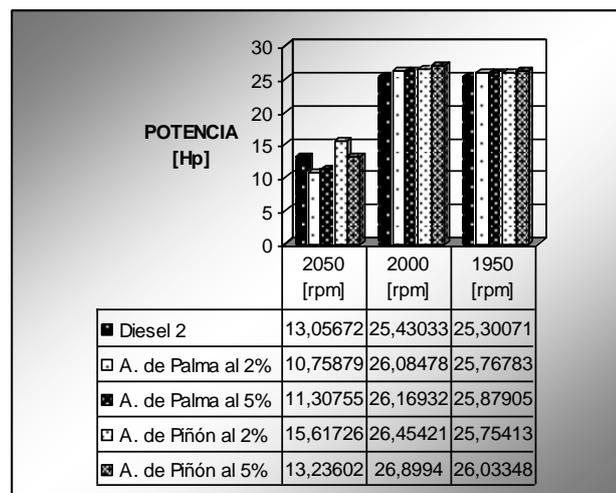
Comparando las áreas bajo la curva se puede cuantificar porcentualmente la variación del torque y de la potencia al freno. Para esta cuantificación, el diesel puro se lo toma como un valor referencial del 100%. Esto significa que todo valor sobre el 100% debe ser interpretado como ganancia y todo valor bajo este, será interpretado como pérdida. En el análisis comparativo se lo hace a la velocidad donde el torque y la potencia al freno son máximos, la cual es la

velocidad de 2000 rpm. En figura 5.3 podemos observar que en general el torque se mantiene estable con unos pequeños incrementos de las mezclas respecto al diesel. Tenemos incrementos de 2,46% y 2,81% en las mezclas de aceite de palma RBD e incrementos de 3,87% y 5,63% en las mezclas de aceite de piñón.



**Figura 5.3** Variación de torque en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

En la figura 5.4 se puede observar que la potencia al freno se comporta de manera similar al torque. Se Tiene incrementos de la potencia al freno de 2,57% y 2,90% en las mezclas de aceite de palma RBD e incrementos de 4,02% y 5,77% en las mezclas de aceite de piñón.



**Figura 5.4** Variación de la potencia al freno en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

### 5.1.2 CONSUMO MÁSIKO DE COMBUSTIBLE

En la figura 5.5 se presentan las curvas del consumo másiko de combustible obtenidas para todas las mezclas para todo el rango de velocidad analizado. Se observa que estas curvas tienen el mismo comportamiento que las curvas de potencia y torque. El consumo másiko de combustible se mantiene alto cuando el motor se mantiene sometido a altas cargas. A medida que estas disminuyen, la velocidad aumenta y el consumo disminuye.

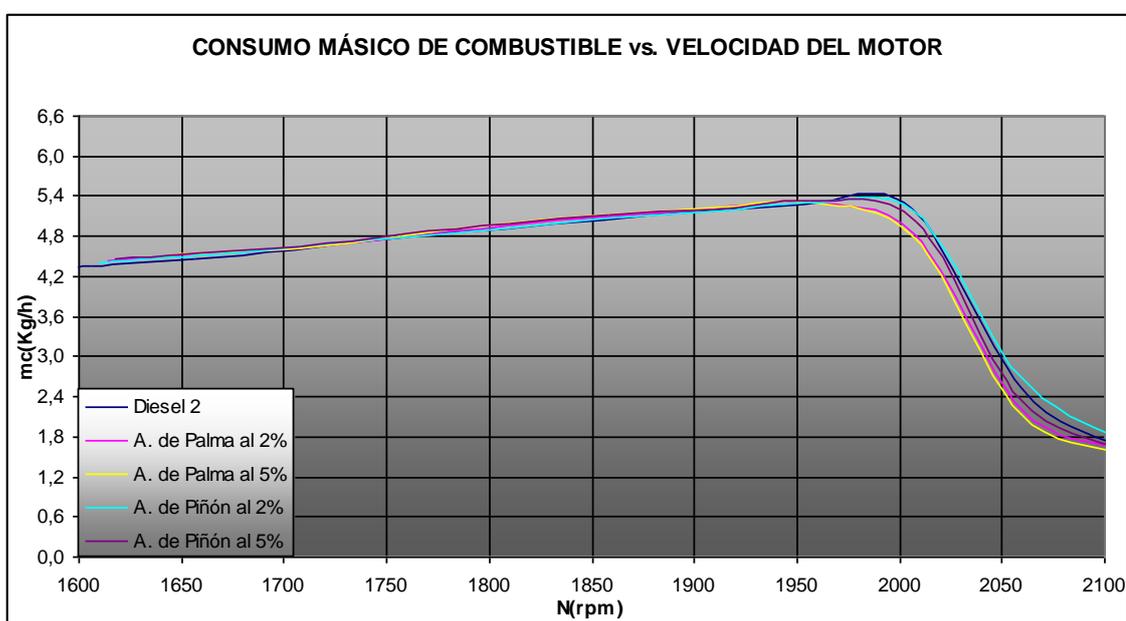
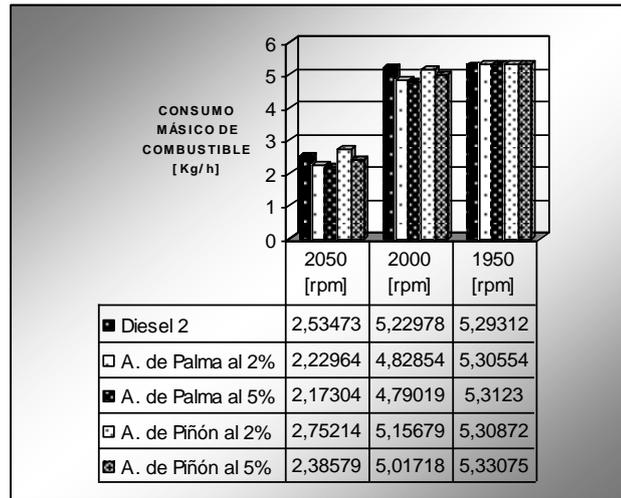


Figura 5.5 Curvas comparativas del consumo másiko de combustible con diferentes mezclas combustibles

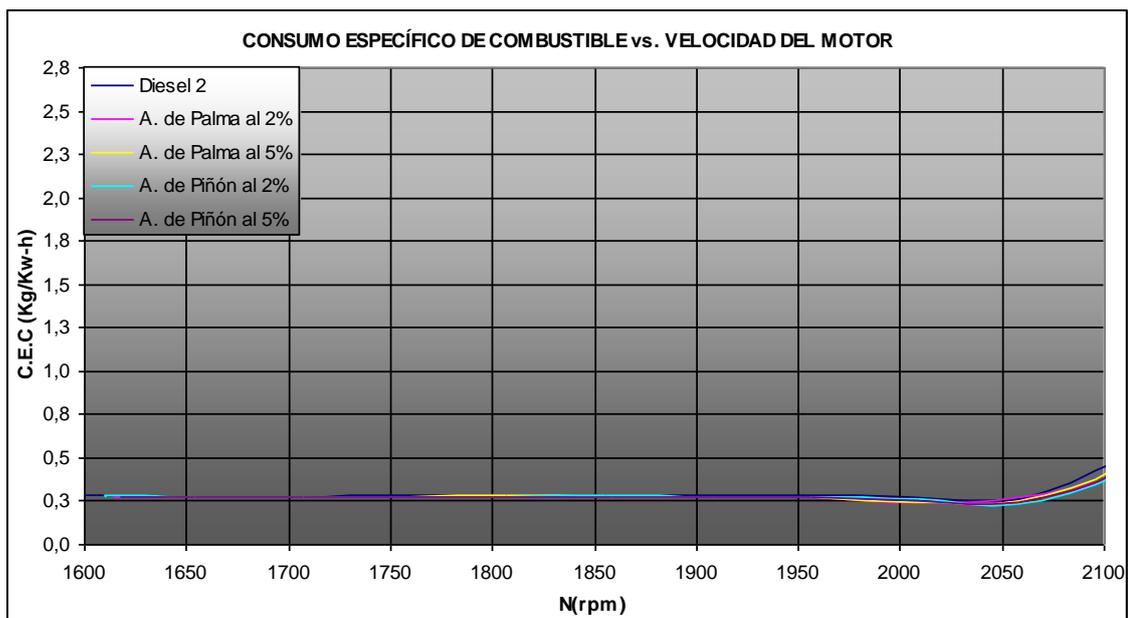
En la figura 5.6 se observa que existe un pequeño aumento del consumo másiko de combustible de las mezclas respecto al diesel a la velocidad de 1950 rpm. Se tiene incrementos del consumo másiko de combustible de 0,23% y 0,36% respectivamente en las mezclas de aceite de palma RBD con diesel e incrementos de 0,29% y 0,71% respectivamente en las mezclas de aceite de piñón con diesel.



**Figura 5.6** Variación del consumo másico de combustible en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

### 5.1.3 CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE

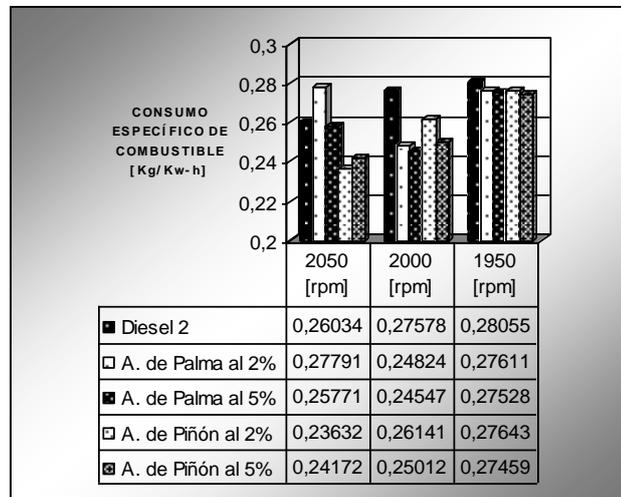
En la figura 5.7 se muestran las curvas del consumo específico de combustible en función de la velocidad para todos los combustibles. Se puede observar que el consumo específico de combustible se mantiene parcialmente variable en un valor cercano al 0.27 (Kg/Kw-h) hasta las 2050 rpm. A partir de este punto el C.E.C se eleva drásticamente para todas las mezclas.



**Figura 5.7** Curvas comparativas del consumo específico de combustible con diferentes mezclas combustibles

También se observa que el mínimo consumo específico de combustible se da a las 2000 rpm.

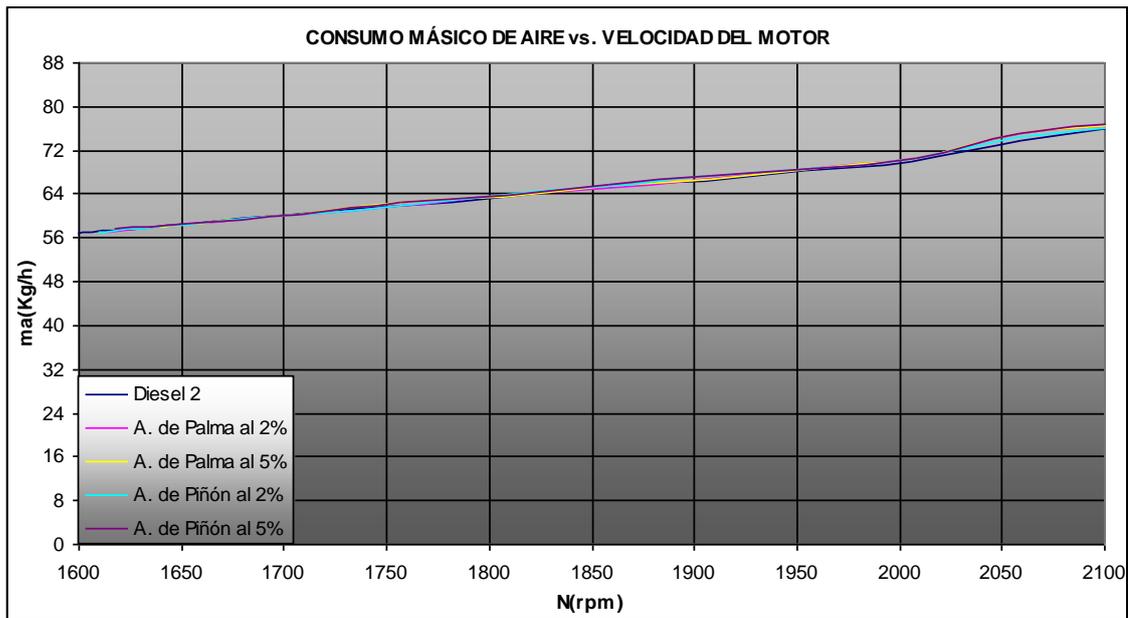
En la figura 5.8 se observa que existe una disminución del consumo específico de combustible de las mezclas respecto al diesel a la velocidad de 2000 rpm. Se tiene decrementos del consumo específico de combustible de 9,97% y 10,99% respectivamente en las mezclas de aceite de palma RBD con diesel, también se tiene decrementos de 5,18% y 9,28% respectivamente en las mezclas de aceite de piñón con diesel.



**Figura 5.8** Variación del consumo específico de combustible en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

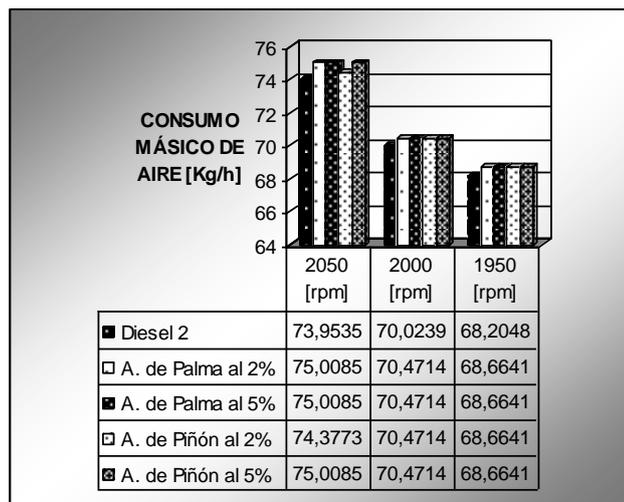
#### 5.1.4 CONSUMO MÁSIKO DE AIRE

En la figura 5.9 se presentan las curvas del consumo másiko de aire obtenido para todos los valores de velocidad y para las diferentes mezclas combustibles y el diesel. Se puede ver que el consumo másiko de aire varia directamente con la velocidad del motor, en el rango analizado. El comportamiento es parcialmente lineal tanto para las mezclas que con el diesel.



**Figura 5.9** Curvas comparativas del consumo másico de combustible con diferentes mezclas combustibles

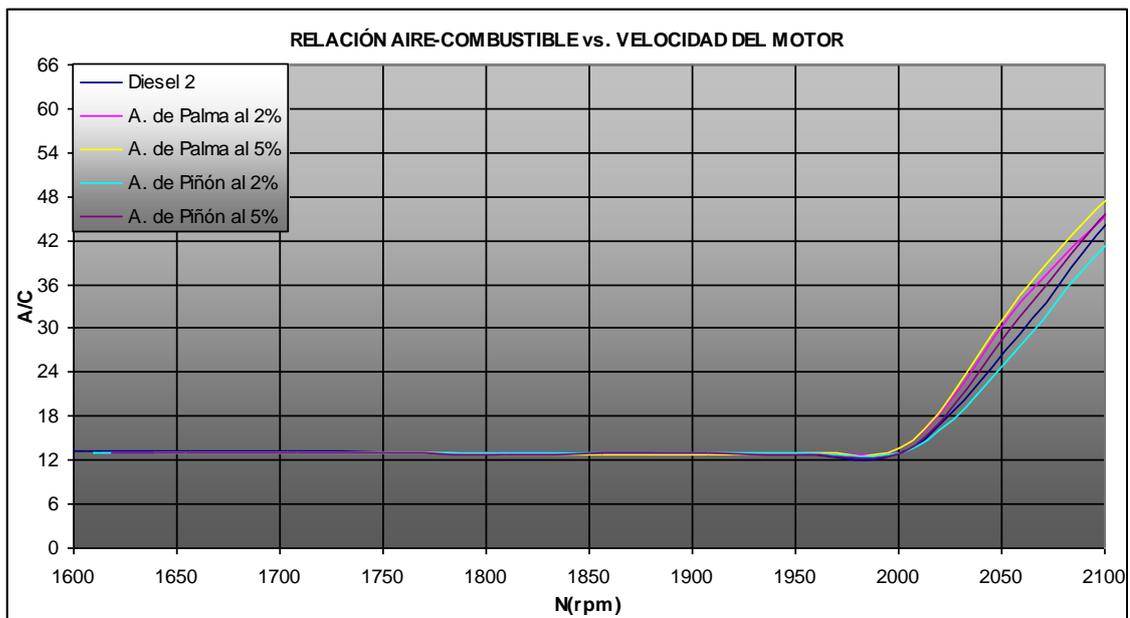
En la figura 5.10 se observa la variación del consumo másico de aire en función de la velocidad de las diferentes mezclas combustibles y del diesel. Se observa que existe un parcial aumento del consumo específico de combustible de las mezclas respecto al diesel a la velocidad de 2000 rpm. Se tiene incrementos del consumo másico de aire de 0,63% para todas las mezclas tanto de aceite de palma RBD como las mezclas de aceite de piñón.



**Figura 5.10** Variación del consumo másico de aire en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

### 5.1.5 RELACIÓN AIRE COMBUSTIBLE

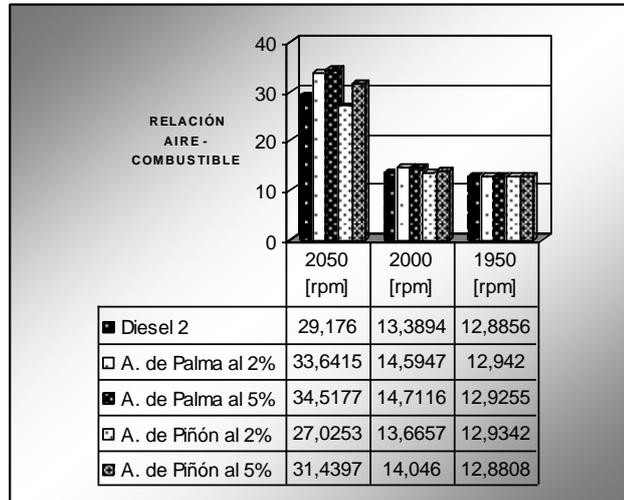
En la figura 5.11 se presentan las curvas de la relación aire - combustible obtenidas para todos los valores de velocidad. Se aprecia que a cargas de freno elevadas, la relación A/C tiende a mantenerse cerca de la estequiométrica. A partir de las 2000 rpm se observa que la relación aire A/C aumenta proporcionalmente a medida que aumenta la velocidad. Hasta las 2000 rpm existe poca diferencia entre los datos de las mezclas tanto de aceite de palma como de aceite de piñón y el del diesel puro. A partir de este valor las relaciones A/C de las mezclas se van dispersando y en general mostrando valores menores al diesel.



**Figura 5.11** Curvas comparativas de la relación aire - combustible con diferentes mezclas combustibles

En la figura 5.12 se observa la variación de la relación aire - combustible en función de la velocidad de las diferentes mezclas combustibles y del diesel. Se observa que existe un aumento de la relación aire - combustible de las mezclas respecto al diesel a la velocidad de 2000 rpm. Se tiene incrementos de la relación aire - combustible de 9% y 9,87% respectivamente en las mezclas de aceite de palma RBD. Mientras que en la mezcla al 2% de aceite de piñón se

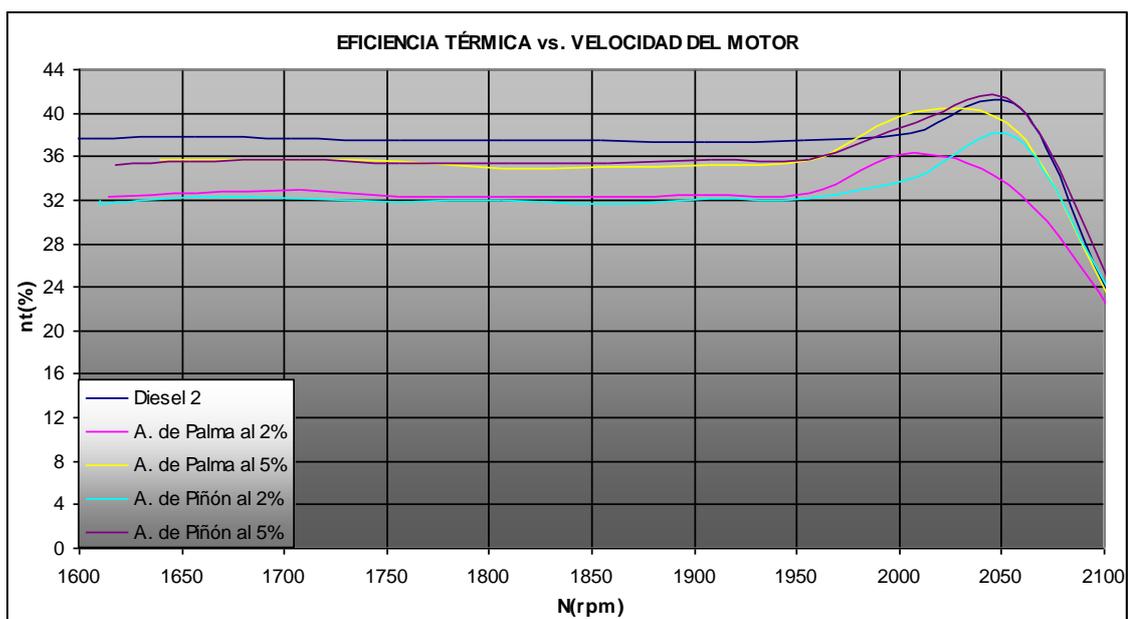
un decremento de 2,06% y en la mezcla al 5% de aceite de piñón se tiene un incremento de 4,90%.



**Figura 5.12** Variación de la relación aire - combustible en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

### 5.1.6 EFICIENCIA TÉRMICA

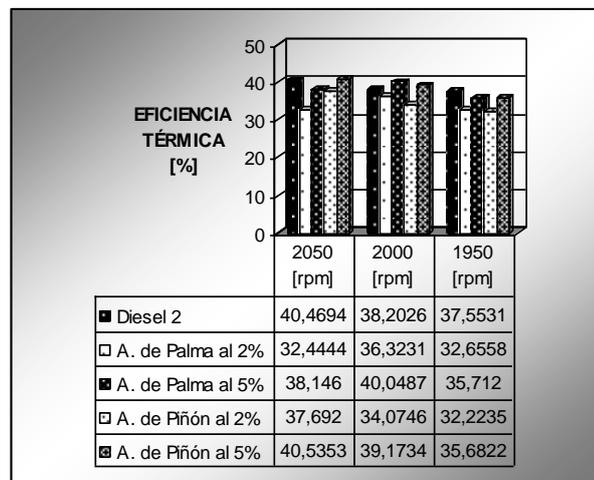
En la figura 5.13 se presentan las curvas de la eficiencia térmica en función de la velocidad de las diferentes mezclas combustibles y del diesel.



**Figura 5.13** Curvas comparativas de la eficiencia térmica con diferentes mezclas combustibles

Se puede observar que se tiene la máxima eficiencia térmica (34 - 40%), a una velocidad cercana a las 2000 rpm la eficiencia térmica se mantiene durante todo el rango que el motor está sometido a cargas altas. Durante todo este rango la eficiencia térmica es de 32 - 37% aproximadamente tanto para las mezclas de aceite de palma RBD con diesel como en las mezclas de aceite de piñón con diesel. Finalmente la eficiencia térmica disminuye casi linealmente a medida que aumenta la velocidad.

En la figura 5.14 se observa la variación de la eficiencia térmica en función de la velocidad de las diferentes mezclas combustibles y del diesel. Se observa que existe una disminución de la eficiencia térmica a la velocidad de 1950 rpm. Se tiene decrementos de 13,04% y 4,90% respectivamente en las mezclas de aceite de palma RBD, también se tienen decrementos de 14,19% y 4,98% respectivamente en las mezclas de aceite de piñón.

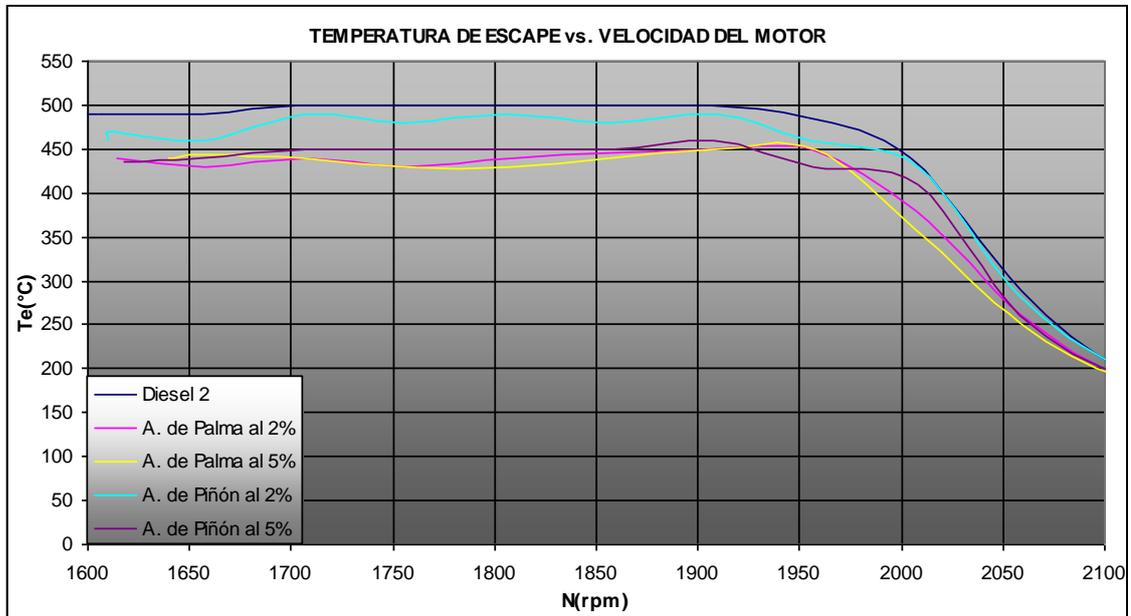


**Figura 5.14** Variación de la eficiencia térmica en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

### 5.1.7 TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE

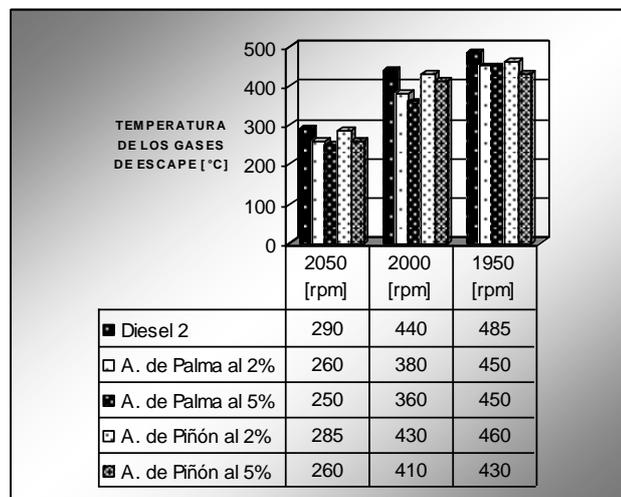
En la figura 5.15 se muestran las curvas de la temperatura de los gases de escape en función de la velocidad de las diferentes mezclas combustibles y del diesel. Se puede observar que las máximas temperaturas están alrededor de los 500 °C. A partir de las 1950 rpm disminuye la carga y también lo hace la

temperatura llegando a valores un poco menores a los 200 °C a las 2100 rpm. Se observa que el comportamiento es similar a las curvas de potencia y de consumo másico de combustible.



**Figura 5.15** Curvas comparativas de la temperatura de los gases de escape con diferentes mezclas combustibles

En la figura 5.16 se observa la variación de la temperatura de los gases de escape en función de la velocidad de las diferentes mezclas combustibles y del diesel. Se observa que existe una disminución de la temperatura de los gases de escape a la velocidad de 2000 rpm.



**Figura 5.16** Variación de la temperatura de los gases de escape en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

Se tiene decrementos de la temperatura de los gases de escape de 13,63% y 18,18% respectivamente en las mezclas de aceite de palma RBD con diesel, también se tienen decrementos de 2,27% y 6,81% respectivamente en las mezclas de aceite de piñón con diesel.

### 5.1.8 EFICIENCIA VOLUMÉTRICA

En la figura 5.17 se muestran las curvas de eficiencia volumétrica de las diferentes mezclas combustibles y del diesel.

Como se ve la eficiencia volumétrica tiende a mantenerse estable en un valor alrededor del 75% hasta las 2000 rpm tanto en las mezclas con aceite de palma RBD como en las mezclas con aceite de piñón y el diesel. A partir de esta velocidad, la eficiencia se incrementa hasta un 78,47% donde parece alcanzar su máximo valor a las 2100 rpm.

Se puede apreciar que no existe una relación entre la eficiencia volumétrica y las mezclas tanto de aceite de palma RBD con diesel como en las mezclas de aceite de piñón con diesel. En general las variaciones de la eficiencia volumétrica son menores al 0,55% para todos los casos.

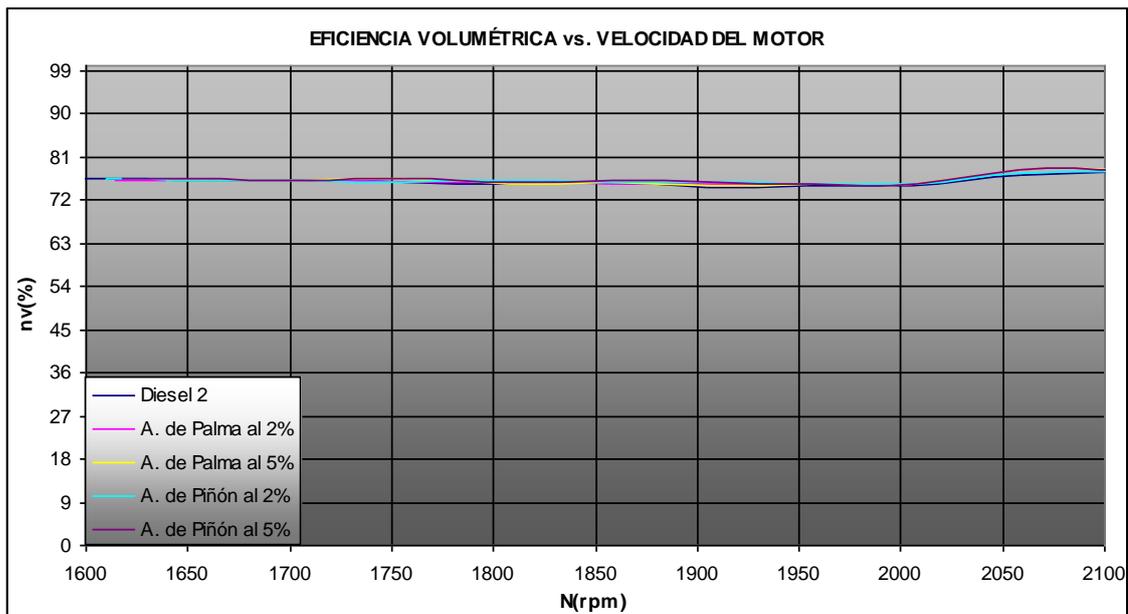
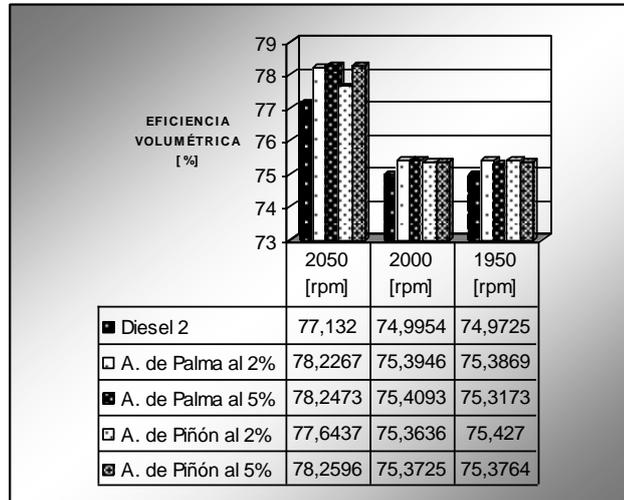


Figura 5.17 Curvas comparativas de la eficiencia volumétrica con diferentes mezclas combustibles

En la figura 5.18 se observa la variación de la eficiencia volumétrica en función de la velocidad de las diferentes mezclas combustibles y del diesel.



**Figura 5.18** Variación de la eficiencia volumétrica en función de la velocidad con diferentes mezclas combustibles

Se observa que existe un aumento de la eficiencia volumétrica en las mezclas tanto de aceite de palma RBD como aceite de piñón respecto al diesel a la velocidad de 2000 rpm. Se tiene incrementos de la eficiencia volumétrica de 0,53% y 0,55% respectivamente en las mezclas de aceite de palma RBD e incrementos de 0,49% y 0,5% respectivamente en las mezclas de aceite de piñón.

## 5.2 PRUEBAS DE OPACIDAD DE GASES CONTAMINANTES

Se realizaron pruebas de opacidad con un opacímetro portátil (ver Anexo B) en el mismo motor diesel (ver Anexo A) con mezclas diesel - aceite de palma RBD y diesel - aceite de piñón en las concentraciones establecidas a fin de comparar y evaluar su efecto en las emisiones de gases contaminantes.

### 5.2.1 PORCENTAJE DE OPACIDAD DE LOS GASES CONTAMINANTES

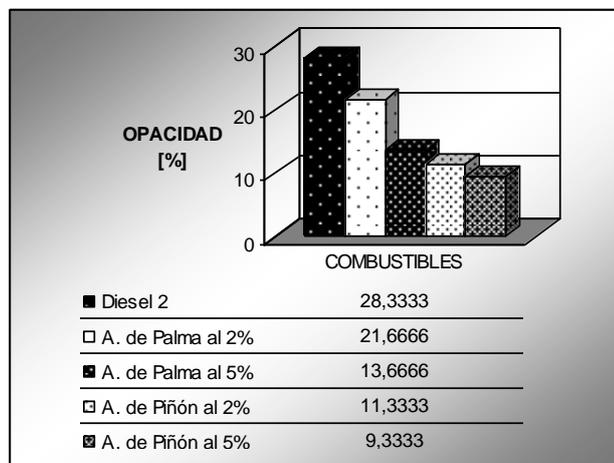
Las pruebas se lo efectuaron según lo especificado en 3.2.2. A continuación se presenta la tabla 5.3, los datos obtenidos para el diesel ecuatoriano en la prueba de opacidad. Los datos de las mezclas diesel - aceite de palma RBD y diesel - aceite piñón están documentados en el anexo F (tablas LT-1 a la LT-5).

**Tabla 5.3** Datos del porcentaje de opacidad para el diesel ecuatoriano.

Resultado Prueba de Aceleración Libre		Prueba No. 1	Prueba No. 2	Prueba No. 3	Prueba No. 4	Prueba No. 5
N. de mediciones	Régimen [rpm]	Opacidad [%]				
1ra. medición	1750 -1850	-	-	-	69	-
2da. medición	1750 -1850	-	53	69	52	-
3ra. medición	1750 -1850	32	26	25	43	-
4ta. medición	1750 -1850	19	22	34	58	-
5ta. medición	1750 -1850	28	20	41	38	-
6ta. medición	1750 -1850	-	-	32	35	-
<b>PROMEDIO</b>		26	23	36	44	-
<b>Resultado según NTE INEN 2 207:2002</b>		<b>Aprueba Si / No</b>				
		SI	SI	SI	SI	-

De la misma manera para el análisis comparativo el diesel puro se lo toma como un valor referencial del 100%. Esto significa que todo valor sobre el 100% debe ser interpretado como incremento y todo valor bajo este, será interpretado como decremento.

En la figura 5.19 se muestran la variación del porcentaje de opacidad con las diferentes mezclas combustibles y el diesel. Claramente se observa que existe una reducción del porcentaje de opacidad en todas las mezclas combustibles utilizadas. Se tiene disminuciones del porcentaje de opacidad respecto al diesel de 23,52% y 51,76% respectivamente en las mezclas de aceite de palma RBD con diesel, también se tiene disminuciones de 60% y 67,05% respectivamente en las mezclas de aceite piñón con diesel.



**Figura 5.19** Variación del porcentaje de opacidad con diferentes mezclas combustibles

Observación: se debe considerar un margen de error del 10% como lo señala la NTE INEN 2 202:2002 en la toma de los datos.

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **6.1 PARÁMETROS DE DESEMPEÑO**

En la caracterización de los combustibles se observó que existe un incremento del poder calorífico a medida que aumenta la concentración. Esta propiedad impacta significativamente en la potencia del motor. Por otro lado, se tiene un aumento de la densidad (mezclas más concentradas), más evidentes en las mezclas de aceite de palma RBD, que contribuyen a que no haya reducción notoria de la potencia pero a su vez se refleja en parte un mínimo incremento del consumo másico de combustible.

##### **6.1.1 ANÁLISIS DEL TORQUE, POTENCIA Y CONSUMO MÁSICO DE COMBUSTIBLE**

La potencia, el torque y el consumo másico de combustible son los parámetros de desempeño más importantes en un motor de combustión interna. El torque y la potencia al freno se comportan de igual forma ya que la potencia depende directamente del torque. Generalmente en un motor se obtiene el torque máximo cuando la eficiencia volumétrica es máxima, sin embargo en este motor se puede observar que la eficiencia volumétrica continua aumentando luego de las 2000 rpm (donde el torque es máximo). Esto indica que el torque decae a partir de las 2000 rpm debido a que el regulador de combustible

controla la entrada de combustible a esta velocidad, provocando que la masa de combustible disminuya. Por esta razón se observa que las curvas de torque, potencia al freno, consumo másico de combustible y temperatura de los gases de escape tienen el mismo comportamiento en función de la velocidad.

Al aumentar la concentración de las mezclas tanto de aceite de palma RBD con diesel como en las mezclas de aceite de piñón con diesel, se constata que el consumo másico de combustible aumenta proporcionalmente hasta 1950 rpm (ver figura 5.5).

Existen ciertas zonas de ganancia de torque y potencia (de las mezclas vs. diesel puro) hasta las 2000 rpm (ver figuras 5.1 y 5.2), a partir de las 2000 rpm hay pérdidas para las mezclas de aceite de palma RBD mientras que las mezclas de aceite de piñón se mantiene.

Las mezclas de aceite de piñón son las que presentan un mayor incremento de torque y potencia al freno respecto a las mezclas de aceite de palma RBD de 1,4% y 2,8% respectivamente (ver figuras 5.3 y 5.4). También que las mezclas presentan un ligero incremento del consumo másico de combustible de 0,23% y 0,36% respectivamente de aceite de palma RBD y un incremento de 0,29% y 0,71% respectivamente de aceite de piñón (ver figura 5.6).

### **6.1.2 ANÁLISIS DEL C.E.C. Y DE LA EFICIENCIA TÉRMICA**

El consumo específico de combustible disminuye (ver figura 5.7) debido a que el consumo másico de combustible no presenta aumento significativo. Estas disminuciones son relativamente pequeñas (centésimas de [Kg/kw-h], ver figura 5.8), por lo menos hasta las 2050 rpm donde el consumo específico de combustible es mínimo. A partir de este punto, los valores bajos de potencia hacen que el C.E.C. se dispare.

La eficiencia térmica disminuye ligeramente en las mezclas tanto de aceite de palma RBD con diesel como en las mezclas de aceite de piñón con diesel (ver

figura 5.13). Se tiene la mayor eficiencia térmica cerca de las 2000 rpm (ver la figura 5.14), pues el consumo de combustible decae un poco antes que la potencia.

Las mezclas de aceite de palma RBD y las mezclas de aceite de piñón presentan disminución de la eficiencia térmica respecto al diesel de 14% y 4,9% a los porcentajes de 2% y 5% respectivamente (ver figura 5.14). También podemos indicar que las mezclas de aceite de palma RBD presentan una mayor disminución del C.E.C. respecto las mezclas de aceite de piñón de 4,7% y 1,7% respectivamente (ver figura 5.8).

### **6.1.3 ANÁLISIS DEL CONSUMO MÁSIKO DE AIRE, DE LA RELACIÓN A/C Y DE LA EFICIENCIA VOLUMÉTRICA**

El consumo másiko de aire varía directamente proporcional con la velocidad del motor, en el rango de velocidad analizado (ver figura 5.9). Sin embargo existe un aumento más drástico a partir de las 2000 rpm. Esto se debe a que la eficiencia volumétrica aumenta en mayor medida a esas velocidades. A medida que aumenta la velocidad se necesita una mayor masa de aire que ingrese a la cámara en el menor tiempo por lo que es lógico que el consumo másiko de aire varíe directamente con la velocidad. El consumo másiko de aire de las mezclas es ligeramente mayor que el diesel (ver figura 5.9).

La relación aire - combustible prácticamente muestra un comportamiento inverso al consumo másiko de combustible, ya que el consumo másiko de aire crece a un ritmo constante. La relación se mantiene cerca de su valor estequiométrico cuando las cargas son elevadas. A partir de las 2000 rpm, la mezcla se empobrece rápidamente (ver figura 5.11) pues a partir de esta velocidad, el consumo de combustible cae (ver figura 5.5).

La eficiencia volumétrica depende de la velocidad del motor, llegando así a su máximo cuando el arrastre de aire que entra (debido al vacío creado por los

gases de escape que salen) y el menor tiempo de llenado que existe (a medida que aumenta la velocidad), llegando a un equilibrio.

La eficiencia volumétrica no depende del tipo de combustible utilizado si no de los factores constructivos del motor, como son el diseño de las válvulas, su calibración, diseño de los múltiples de admisión y escape, etc. De esta forma y como se aprecia en la figura 5.17, la eficiencia volumétrica se mantiene constante e independiente de las mezclas y su concentración.

Las mezclas de aceite de palma RBD y las mezclas de aceite de piñón presentan un incremento del consumo másico de aire de 0,63% respectivamente (ver figura 5.10). También podemos indicar que las mezclas de aceite de palma RBD no presentan diferencia significativa de la relación A/C respecto las mezclas de aceite de piñón (ver figura 5.12).

#### **6.1.4 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA DE LOS GASES DE ESCAPE**

La temperatura de los gases de escape varía de la misma forma que el consumo másico de combustible en relación a la velocidad (ver figura 5.15), ya que al existir una mayor masa de combustible dentro de la cámara, se dispone de una mayor energía para ser quemada produciendo así un incremento de la temperatura. La temperatura de los gases de escape es menor tanto para las mezclas de aceite de palma RBD como para las mezclas de aceite de piñón respecto al diesel.

Las mezclas de aceite de palma RBD con diesel son las que presentan un menor decremento de la temperatura de los gases de escape respecto a las mezclas de aceite de piñón con diesel de 11,36% respectivamente (ver figura 5.16).

## **6.2 EMISIONES CONTAMINANTES**

De la caracterización de las mezclas se tiene que existe menor disminución de la viscosidad a temperatura ambiente en las mezclas con aceite de palma RBD con diesel respecto a las mezclas de aceite de piñón con diesel de 7,7% y 6,5% respectivamente (ver figura 4.2). Mientras que existe un incremento menor de la viscosidad a la temperatura de 80 °C de las mezclas de aceite de palma RBD respecto a las mezclas de aceite de piñón de 4,9% y 8,9% respectivamente (ver figura 4.3). Esto nos indica que las mezclas de aceite piñón presentan una mejor propiedad.

Las mezclas tienen un incremento en las temperaturas de destilación alrededor del 2% de las mezclas respecto al diesel. Se tiene que existe un mayor incremento en la mezcla al 5% de aceite de palma RBD con diesel respecto a las mezclas de aceite de piñón con diesel de 0,6% (ver figura 4.6). Esto significa que la volatilidad del combustible disminuye, al ser menos volátiles se dificulta también la difusión del combustible con el aire afectando así también a la combustión especialmente por llama premezclada.

### **6.2.1 ANÁLISIS DEL PORCENTAJE DE OPACIDAD DE LOS GASES CONTAMINANTES**

Existe una clara reducción del porcentaje de opacidad en las mezclas combustibles utilizadas. Teniendo reducciones del porcentaje de opacidad respecto al diesel de 23,52% en la mezcla al 2% de aceite de palma RBD con diesel y de 51,76% en la mezcla al 5% de aceite de palma RBD con diesel. Reducciones de 60% en la mezcla al 2% de aceite de piñón con diesel y 67,05% en la mezcla al 5% de aceite de piñón con diesel, respecto al diesel puro (ver figura 5.19).

Existe una diferencia en las mezclas tanto de aceite de palma RBD con diesel como aceite de piñón con diesel, esta diferencia es de 36,48% para las mezclas al 2% y 15,29% para las mezclas al 5%. Esto nos indica que las

mezclas de aceite de piñón son las que menor porcentaje de opacidad presentan.

Existe reducción del elemento carburante al utilizar mezclas de aceites de bio-combustibles como son el aceite de palma y el aceite de piñón, a esto se atribuye la reducción del porcentaje de opacidad de los gases de escape.

### **6.3 DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA ÓPTIMA**

Inicialmente se determinó que la mezcla óptima no debe tener una viscosidad mayor a 6 [mm<sup>2</sup>/s] a la temperatura de 40 [°C], pues este es el límite máximo permitido para biodiesel según lo expresa la norma ASTM D-6751. Tal cual como se observó esta propiedad es de suma importancia para el comportamiento del motor, sobre todo a lo que en emisiones se refiere.

Tras realizar las pruebas de desempeño, existen ganancias de la potencia máxima de 2,81% en la mezcla al 5% aceite de piñón respecto al diesel.

El torque se comportó de igual manera que la potencia en el motor utilizado.

Se registraron aumentos en el consumo másico de combustible alrededor de 0.23% para mezclas al 2% y de 0,71% para mezclas al 5%. Básicamente estos son los tres parámetros que determinan el desempeño del motor.

En cuanto a las emisiones, se realizaron pruebas de opacidad de los gases de escape para mezclas de aceite de palma RBD con diesel y mezclas de aceite de piñón con diesel a los porcentajes indicados. Se determinó que las mezclas de aceite de piñón al 2% y 5% presentan la menor opacidad, teniendo reducciones de 60% y 67,05% respectivamente respecto al diesel.

Debido a los altos puntos de nebulización y vertido que presenta las mezclas de aceite de palma RBD con diesel del 80% respecto al diesel puro y las mezclas de aceite de piñón con diesel del 40% respecto al diesel puro. Para que el punto de nebulización se eleve considerablemente, lo que indica que no existe una buena solubilidad de la palma RBD en el diesel tal vez por las estructuras químicas. El aceite de piñón posee mejor comportamiento.

La mezcla al 5% de aceite de piñón con diesel, tiene el mejor balance en disminución del porcentaje de opacidad versus el comportamiento de torque, potencia al freno y aumento del consumo de combustible, por tanto es la que presentó las mejores propiedades de desempeño en comparación a la disminución de la opacidad de los gases de escape.

## CAPÍTULO VII

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 7.1 PERSONAL

El costo del personal está incluido en los costos de los ensayos y laboratorios.

#### 7.2 MISCELÁNEOS

Descripción	Valor Total [USD]
Manuales de consulta, Normas	60,00
Internet	30,00
Utilización de computadores	40,00
Suministros de Oficina	50,00
Servicios básicos	300,00
Otros gastos	20,00
<b>SUBTOTAL 7.2</b>	<b>500,00</b>

#### 7.3 COSTOS DIRECTOS

##### 7.3.1 Ingeniería y Administración

#	Posición	Total
1	Ingeniería y Administración	500
	<b>SUBTOTAL 7.3.1</b>	<b>500</b>

### 7.3.2 Adquisición de Materiales

<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Unitario [USD]</b>	<b>Total [USD]</b>
30	Galones de diesel ecuatoriano	1,02	30,62
3	Quintales de semilla de piñón	18,33	55,00
10	Pliegos de papel filtro	1,50	15,00
15	Kilogramos de aceite de palma	1,40	21,00
2	Galones aceite de motor URSA LA-3	12	24,00
1	Filtro de aceite JET AC. (motor Petters)	3,50	3,50
3	Filtro de combustible LISTER	3,90	11,70
10	Metros de manguera de jardín	0,35	3,50
5	Metros manguera industrial nylon tubing	1,43	7,15
2	Tope brom., 5/16"	0,34	0,68
3	Pomos de 4 litros	1,95	5,85
7	Pomos de 2 litros	1,50	10,50
1	Papel aluminio	1,75	1,75
1	Cinta de embalaje	1,00	1,00
1	Embudo	1,05	1,05
1	Jarra de plástico 1 litro	1,50	1,50
3	Pares de guantes	1,00	3,00
10	Tanques de plástico de 5 litros	0,50	5,00
1	Tanque de plástico de 20 galones	18,00	18,00
3	Tanques de plástico de 5 galones	6,00	18,00
10	Vasos plásticos pequeños	0,01	0,10
10	Tubos de ensayo	1,20	12,00
-	Franela	4,00	4,00
-	Guaipes	3,00	3,00
<b>SUBTOAL 7.3.2</b>			<b>256,90</b>

### 7.3.3 Costos de Ensayos y de Pruebas

Ensayo / Prueba	Laboratorio	Equipos	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Medición de la densidad API	Laboratorio de petróleos de la UCE	Hidrómetro ASTM	4,48 /ensayo	31,36
Medición de la viscosidad cinemática	Laboratorio de petróleos de la UCE	Viscosímetro Canon ASTM, Baño	6,72 /ensayo	94,08
Medición del poder calórico	Laboratorio de termodinámica, ESPE Sangolquí	Bomba Calorimétrica Adiabática.	23 /ensayo	161
Determinación del índice de cetano	Laboratorio de petróleos de la UCE	Balón graduado, Termómetro ASTM e hidrómetro ASTM	7,84 /ensayo	54,88
Destilación ASTM	Laboratorio de petróleos de la UCE	Equipo de destilación ASTM, Termómetros, Balón y Probeta graduados ASTM	8,96 /ensayo	62,72
Determinación del punto de inflamación	Laboratorio de petróleos de la UCE	Aparato de copa - cerrada de Pensky - Martens	5,60 /ensayo	39,20
Determinación Punto de vertido y nebulización	Laboratorio de petróleos de la UCE	Tubo de vidrio, Termómetros ASTM, refrigeradora hasta -30 [°C]	5,60 /ensayo	78,40
Nitrógeno Total	Laboratorio de petróleos de la UCE	Espectrofotómetro de Hach	11,20 /ensayo	11,20
Azufre	Laboratorio de petróleos de la UCE	Espectrofotómetro de difracción de rayos X	22,40 /ensayo	22,40
Variación de la velocidad.	Laboratorio de motores de combustión interna ESPE Sangolquí	Banco de pruebas PLINT TE-16	58 /hora	1740
Medición de porcentaje de opacidad	Equipo portátil perteneciente al CCICEV	Opacímetro, Marca MAHA, Serial: 7826	11,2 /ensayo	280
Extracción del aceite de piñón	Laboratorio - Planta Piloto 03.04.03 Ciencias de Alimentos y Biotecnología de la EPN	Báscula, Estufa Selecta, Descascarador - Limpiador - Clasificador de Granos, Limpiador, Clasificador de granos, Caldero, Extrusor Brabender	241,52 /ensayos	241,52
Filtrado del aceite de piñón	Laboratorio de Investigación de procesos Departamento de Ingeniería Química de la EPN	Bomba de vacío	25 /ensayo	25
<b>SUBTOTAL 7.3.3</b>				<b>2842,76</b>
<b>SUBTOTAL 7.3</b>				<b>3599,66</b>

#### 7.4 COSTO TOTAL

SUBTOTAL 7.2 + SUBTOTAL 7.3	4099,66
10% POR IMPREVISTOS	409,96
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>4509,63</b>

## **CAPÍTULO VIII**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **8.1 CONCLUSIONES**

1. Las mezclas aceite de palma RBD - Diesel y aceite de piñón - Diesel presentan aumentos en la densidad, viscosidad, punto de nebulización, del poder calórico, así como de la destilación ASTM respecto al diesel. El punto de inflamación y el número de cetano presenta variaciones en disminución y aumento no muy significativos respecto al diesel. No existe variación del punto de vertido de las mezclas.
2. El torque y la potencia al freno se mantiene presentando un ligero incremento de las mezclas, destacando el mejor comportamiento de las mezclas de aceite de piñón con diesel. El consumo másico de combustible aumenta en un promedio de 0,3% para las mezclas de aceite de palma RBD con diesel y un promedio de 0,5% para las mezclas de aceite de piñón con diesel. Se atribuye este comportamiento al aumento del poder calórico de las mezclas.
3. Existe disminuciones del porcentaje de opacidad de las mezclas respecto al diesel de 23,52% en la mezcla al 2% de aceite de palma RBD con diesel, de 51,76% en la mezcla al 5% de aceite de palma RBD

con diesel, de 60% en la mezcla al 2% de aceite de piñón con diesel y de 67,05% en la mezcla al 5% de aceite de piñón con diesel.

4. La mezcla al 5% de aceite de piñón con diesel, tiene el mejor balance en disminución del porcentaje de opacidad versus el comportamiento de torque, potencia al freno y aumento del consumo de combustible, por tanto es la que presentó las mejores propiedades de desempeño en comparación a la disminución de la opacidad de los gases de escape.
5. El aceite de piñón presenta mejores propiedades a la temperatura ambiente (de 17°C a 20°C) que el aceite de palma RBD el cual presenta formación de sólidos que se visualizaron a esta temperatura.

## 8.2 RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de emisiones de CO, HC, NOx y partículas en las mezclas de aceite de piñón con diesel, con el fin de determinar en que porcentaje disminuyen estas emisiones respecto a la reducción del porcentaje de opacidad de los gases de escape.
2. Estudiar el efecto que tienen los aditivos que mejoran la fluidez del combustible a bajas temperaturas, así como también métodos que mejoran la solubilidad del aceite de palma RBD y aceite de piñón en el diesel.
3. Realizar estudios sobre la estabilidad, lubricidad, compatibilidad de materiales y durabilidad de distintos motores Diesel al utilizar mezclas aceite de piñón con diesel a 5% o concentraciones mayores.
4. Evaluar el comportamiento de los parámetros de desempeño y las emisiones de gases contaminantes, en pruebas en estado transitorio.
5. Calentar el aceite de palma RBD puro a una temperatura de 37°C antes de proceder a realizar las mezclas aceite de palma RBD con diesel.
6. Cambiar el aceite de motor, filtros de combustible, de aire y de aceite del motor utilizado, antes de la toma de datos de cada mezcla combustible a analizar.

## REFERENCIAS

6. <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>, Wikipedia enciclopedia libre, Español, 2006.
7. EEUU, US Department of Energy, (2006), *Biodiesel Handling and Use Guidelines*, ( S.E.), US Department of Energy, 2<sup>da</sup> Edición, p. 68, Springfield, EEUU.
8. CD, Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta®, Microsoft Corporation, 2005.
9. <http://www.mambiente.munimadrid.es/contamiweb.html#seccion16>, Emisiones contaminantes, Español, (s.f.)
10. Michael S. Graboski y Robert L. McCormick, ( 1998 ), *Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in Diesel engines*, Editorial Elsevier science, Colorado Institute for Fuels and High Altitude Engine Research and Department of Chemical Engineering and Petroleum Refining, Colorado School of Mines, p. 40, EEUU.
11. <http://es.wikipedia.org/wiki/Portada>, Wikipedia libre, Español, 2006.
12. <http://prueba.corpaire.org/paginas/articulos/inventario03.pdf>, Inventario de emisiones para el Distrito Metropolitano de Quito, Español, 2003.
13. [www.wearcheckiberica.es](http://www.wearcheckiberica.es), J. Ignacio Ciria, Propiedades y características de los combustibles diesel y biodiesel, Español, (s.f.)
14. <http://www.andrew.cmu.edu/user/jitkangl/Palm%20Oil/Refinery%20Palm%20Oil.htm>, Refinación de aceite de Palma, Inglés, (s.f.)
15. [http://www.superban.gov.ec/downloads/articulos\\_financieros/sector%20Palm%20africana.pdf](http://www.superban.gov.ec/downloads/articulos_financieros/sector%20Palm%20africana.pdf), Palma Africana en el Ecuador, Español, 2002.
16. [www.danec.com](http://www.danec.com), Características del aceite de Palma y proceso de refinación, Español, 2006.
17. <http://es.wikipedia.org/wiki/Jatropha> - Wikipedia, la enciclopedia libre.mht, Español, 2006.
18. [www.cds.espole.edu.ec](http://www.cds.espole.edu.ec), Producción y Uso de Aceites Vegetales y Biodiesel en el Ecuador, Español, 2007.
19. <http://www.buscagro.com/www.buscagro.com/biblioteca/JorgeDelaVega/Jatropha.pdf>, JATROPHA Y BIO-DIESEL, Español, 2008.

20. Michael S. Graboski y Robert L. McCormick, ( 1998 ), *Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in Diesel engines*, Editorial Elsevier science, Colorado Institute for Fuels and High Altitude Engine Research and Department of Chemical Engineering and Petroleum Refining, Colorado School of Mines, p. 40, EEUU.
21. EEUU, US Department of Energy, (2006), *Biodiesel Handling and Use Guidelines*, ( S.E.), US Department of Energy, 2<sup>da</sup> Edición, p. 68, Springfield, EEUU.
22. [www.oilfox.com.ar/b16.htm](http://www.oilfox.com.ar/b16.htm), Fluidez a bajas temperaturas, Español, (s.f.)
23. <http://www.oilfox.com.ar/b15.htm>, Compatibilidad de materiales - oxidación, estabilidad térmica y estabilidad del Biodiesel en depósito, Español. (s.f.)
24. <http://www.crisisenergetica.org/article.php?story=20060707221142535>.
25. Norma ASTM D-86, Inglés, EEUU, 2004.
26. Norma ASTM D-93, Inglés, EEUU, 2004.
27. Norma ASTM D-56, Inglés, EEUU, 2004.
28. Norma ASTM D-97, Inglés, EEUU, 2004.
29. Norma ASTM D-240, Inglés, EEUU, 2004.
30. Norma ASTM D-1298, Inglés, EEUU, 2004.
31. Norma ASTM D-287, Inglés, EEUU, 2004.
32. Norma ASTM D-445, Inglés, EEUU, 2004.
33. Norma ASTM D-446, Inglés, EEUU, 2004.
34. Norma ASTM D-297, Inglés, EEUU, 2004.
35. Norma ASTM D-2500, Inglés, EEUU, 2004.
36. Norma ASTM D-5751, Inglés, EEUU, 2003.
37. Norma INEN NTE INEN 2 202, Español, Ecuador, 2002.
38. Norma INEN NTE INEN 2 207, Español, Ecuador, 2002.

## **ANEXOS**

## Anexo A

HOJA DE DATOS TÉCNICOS DEL BANCO DE PRUEBAS PLINT TE-16  
PERTENECIENTE AL LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN  
INTERNA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA ESPE.

Equipo: Banco de pruebas con motor de 30 Hp  
Serial N<sub>o</sub>: TE-16 / 5234  
Fecha de adquisición: 1980-06-13

### MOTOR:

Tipo: Petters PJ2W  
Motor N<sub>o</sub>: 6606/PJ2WR  
Diámetro: 96,8 [mm]  
Carrera: 110 [mm]  
Cilindrada: 1620 [cm<sup>3</sup>]  
Relación de compresión: 17,5:1  
Velocidad máxima: 2100 [rpm]  
Diámetro del tubo de escape: 1,1/2" B.S.P  
Longitud del tubo de escape: 1 [m]  
Número de cilindros: 2

### DINAMÓMETRO:

Capacidad: 82 [A] @ 2000 [2000] & 220 [V]  
Velocidad máxima: 3000 [rpm]  
Generador N<sub>o</sub>: 57399/2  
Brazo de palanca (torque): 318 [mm]  
Altura del eje: 368 [mm]

### SISTEMAS ADICIONALES:

Refrigeración:

- Tanque de enfriamiento (radiador)
- Rotámetro (0 a 50 [L/min], ap.: 5 [L/min])
- Bomba de agua
- Termómetro de Hg (-10 a 90 [°C], ap.: 2[°C])
- Termostato

Sistema de suministro de Combustible:

- Tanque de almacenamiento
- Filtros de combustible
- Contenedor cilíndrico (200 cm<sup>3</sup>)
- Bomba de inyección con dos émbolos

Sistema de suministro de aire:

- Caja de aire (diám.= 610 x long.= 920 [mm])
- Placa orificio (diámetro= 39 [mm])
- Coeficiente de descarga= 0.62

### INTRUMENTOS ADICIONALES:

- Sensor de presión y de temperatura de aceite.
- Tacómetro cronómetro y contador de revoluciones.
- Termostato para los gases de escape (termocupla) (0 a 800 [°C], ap.: 20 [°C]).
- Indicador de la caída de presión en la placa orificio.

## **Anexo B**

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN D1 3100ZE1 – D34 DEL OPACÍMETRO  
(DIESEL SMOKE TESTER) UTILIZADO EN LAS PRUEBAS DE OPACIDAD.



## Hersteller-Kalibrierzertifikat Certificado de Calibración



D1 3100ZE1—D34

<b>Gegenstand / Equipo</b>	<b>Diesel Smoke Tester / Opacimetro</b>		
<b>Hersteller Fabricante</b>	MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. Hoyen 20, D - 87490 Haldenwang		
<b>Typ / Tipo</b>	MDO 2		
<b>Seriennummer / N° de Serie</b>	<u>7826</u>		
<b>Temperaturbereich Rango de temperatura</b>	- 10 °C → + 40 °C		
<b>Meßbereich / Rango medición</b>	Trübung / Opacidad 0 - 10 [1/m]		
	<u>Sollwert / Valor nominal</u>		<u>Istwert / Valor real</u>
<b>Nullpunkt Punto cero</b>	0 [1/m]		<u>0</u> [1/m]
<b>1. Meßpunkt / 1. Punto de medición</b>	<u>1,65</u> [1/m]		<u>1,38</u> [1/m]
<b>2. Meßpunkt 2. Punto de medición</b>	<u>1,65</u> [1/m]		<u>1,42</u> [1/m]
<b>Genauigkeit / Exactitud</b>	<input checked="" type="checkbox"/> ok 0,3 [1/m] bzw. 2% vom Skalenendwert: 0,3 [1/m] ó 2% referido al rango máximo de escala		
<b>Verwendete Prüfmittel Instrumento utilizado</b>	Kalibrierfilter; Seriennummer: Filtro de calibración		<u>1,65 ± 0,3 %</u>
<b>Ungenauigkeit der Kalibrierung Incertidumbre de calibración</b>	0,02 [1/m]		
<b>Umgebungsbedingungen Condiciones ambientales</b>	Temperatur / Temperatura:		<u>19 °C</u>
<b>Vorgeschlagenes Prüfintervall Intervalo de calibración recomendado</b>	1 Jahr / año		
<b>Stempel / Sello</b>	<u>2008-01-21</u>		 Unterschrift / Firma
<small>Es wird gegen ein Bezugsnormal kalibriert, dessen Genauigkeit auf nationale Normale rückführbar ist (in Deutschland EO18-9). Verwendete Prüfmittel unterliegen der Prüfmittelüberwachung gemäß DIN EN ISO 9001. Dieser Hersteller-Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge und Änderungen bedürfen der Genehmigung durch QM der Firma MAHA. Hersteller-Kalibrierscheine ohne Stempel und Unterschrift haben keine Gültigkeit.            La calibración cumple con los estándares establecidos por organismos legales. Todos los equipos de medición están sujetos a un control</small>			

D1 3100ZE1—003

MAHA Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG. • Hoyen 20 • 87490 Haldenwang • Germany  
 Tel. (0 83 74) 585-0 • Fax (0 83 74) 585-499 • <http://www.maha.de> • e-mail: [maha@maha.de](mailto:maha@maha.de)

## **Anexo C**

TABLAS DE LOS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE PETRÓLEOS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**

Informe No: 08-02-03-P-1  
 Fecha: 2008-03-19

Atención: Sr. Luis Eduardo Tipanluisa S.  
 Empresa: **PARTICULAR**  
 Dirección: Latacunga - ESPE  
 Tipo de ensayos: Físico Químicos  
 Tipo de muestra: Combustibles  
 Identificación de la muestra: LT-01 DIESEL 2 DE TRANSPORTE  
 Descripción de la muestra: Muestra tomada en envase de plástico transparente  
 Fecha de ingreso de muestra: 15-02-2008  
 Código de la muestra: 08-02-03-P-1  
 Fecha de realización de ensayos: Del 19 de Febrero al 17 de marzo de 2008

ENSAYO	UNIDAD	NORMA ASTM D	RESULTADOS	*NORMA	
				Limite mínimo	Limite máximo
Densidad API	°API	ASTM D 1298	35,0	-	-
Viscosidad Cinemática a temperatura ambiente	cSt	ASTM D 445	6,74	-	-
Viscosidad Cinemática a 80°C	cSt	ASTM D 445	1,01	-	-
Punto de Inflamación	°C	ASTM D 56	77	51	-
Índice de Cetano Calculado		ASTM D 97	49	45	-
Punto de vertido	°C	ASTM D 97	-21	-	-
Azufre	%P	ASTM D 4294	0,2460	-	0,7
Punto de nube	°C	ASTM D 2500	5	-	-
Nitrógeno total	mg/l	APHA 4500 N	0,023	-	-
Destilación ASTM					
PI	°C	PNE/DPEC/P/ASTMD86	201	-	-
5			217	-	-
10			229	-	-
20			241	-	-
30			257	-	-
40			270	-	-
50			277	-	-
60			294	-	-
70			306	-	-
80			321	-	-
90			339	-	360
95			351	-	-
PF			364	-	-
VD			97,9	-	-
VR			1,7	-	-
VP	0,4	-	-		
	%V				

Nota: Incertidumbre de destilación ASTM

Unidad	°C													ml	
	Punto	PI	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	PF	Volumen destilado
± U (K=2)	6,7	5,0	4,0	4,5	4,2	5,3	5,5	5,4	4,9	5,3	6,0	7,0	7,3	0,69	0,81

Observaciones: Los datos de destilación y punto de inflamación están corregidos a presión atmosférica (760 mmHg) según Norma NTE INEN 1489:99

AN: 9  
 jz



Revisado y Aprobado por

Ing. Renán Criollo R. MSc  
 DIRECTOR DEL DPEC



INFORMACIÓN: LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SE APLICAN SOLO A LAS MUESTRAS QUE EL CLIENTE ENTREGADO AL DPEC.  
 ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL, EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL DPEC.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: uiq.uc@andinanet.com  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-1

Hoja 1 de 1



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**

Informe No: 08-02-03-P-2  
 Fecha: 2008-03-19

Atención: Sr. Luis Eduardo Tipanluisa S.  
 Empresa: PARTICULAR  
 Dirección: Latacunga -ESPE  
 Tipo de ensayos: Físico Químicos  
 Tipo de muestra: Combustibles  
 Identificación de la muestra: LT-02 ACEITE DE PALMA  
 Descripción de la muestra: Muestra tomada en envase de plástico transparente  
 Fecha de ingreso de muestra: 15-02-2008  
 Código de la muestra: 08-02-03-P-2  
 Fecha de realización de ensayos: Del 19 de Febrero al 17 de marzo de 2008

ENSAYO	UNIDAD	NORMA ASTM D	RESULTADOS	*NORMA	
				Limite mínimo	Limite máximo
Densidad API	°API	ASTM D 1298	22,9	-	-
Viscosidad Cinemática a temperatura ambiente	cSt	ASTM D 445	No Fluye	-	-
Viscosidad Cinemática a 80°C	cSt	ASTM D 445	7,81	-	-
Punto de inflamación	°C	ASTM D 56	293	51	-
Índice de Cetano Calculado		ASTM D 97	41	45	-
Punto de vertido	°C	ASTM D 97	-15	-	-
Azufre	%P	ASTM D 4294	-	-	0,7
Punto de nube	°C	ASTM D 2500	24	-	-
Nitrógeno total	mg/l	APHA 4500 N	-	-	-
Destilación ASTM					
PI	°C	PNE/DPEC/P/ASTMD86	284	-	-
5			299	-	-
10			339	-	-
20			346	-	-
30			352	-	-
40			360	-	-
50			362	-	-
60			365	-	-
70			368	-	-
80			371	-	-
90			376	-	360
95			386	-	-
PF			392	-	-
VD			99,0	-	-
VR			0,2	-	-
VP	0,8	-	-		
	%V				

Nota: Incertidumbre de destilación ASTM

Unidad	°C													ml	
Punto	PI	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	PF	Volumen destilado	Volumen residuo
± U (K=2)	6,7	5,0	4,0	4,5	4,2	5,3	5,5	5,4	4,9	5,3	6,0	7,0	7,3	0,69	0,81

Observaciones: Los datos de destilación y punto de inflamación están corregidos a presión atmosférica (760 mmHg) según Norma NTE INEN 1489:99

AN:  
JZ

Revisado y Aprobado por

Ing. Renán Criollo R., MSc  
 DIRECTOR DEL DPEC

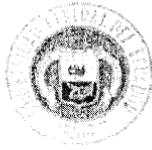


INFORMACIÓN: LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SE APLICAN SOLO A LAS MUESTRAS QUE EL CLIENTE ENTREGÓ AL DPEC.  
 ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL DPEC.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: uiq.uc@andinanet.com  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-1

Hoja 1 de 1



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**

Informe No: 08-02-03-P-3  
 Fecha: 2008-03-19

Atención: Sr. Luis Eduardo Tipanluisa S.  
 Empresa: PARTICULAR  
 Dirección: Latacunga - ESPE  
 Tipo de ensayos: Físico Químicos  
 Tipo de muestra: Combustibles  
 Identificación de la muestra: LT-03 ACEITE DE PIÑON  
 Descripción de la muestra: Muestra tomada en envase de plástico transparente  
 Fecha de ingreso de muestra: 15-02-2008  
 Código de la muestra: 08-02-03-P-3  
 Fecha de realización de ensayos: Del 19 de Febrero al 17 de marzo de 2008

ENSAYO	UNIDAD	NORMA ASTM D	RESULTADOS	*NORMA	
				Limite mínimo	Limite máximo
Densidad API	°API	ASTM D 1298	22,0	-	-
Viscosidad Cinemática a temperatura ambiente	CSt	ASTM D 445	84,45	-	-
Viscosidad Cinemática a 80°C	CSt	ASTM D 445	1,31	-	-
Punto de Inflamación	°C	ASTM D 56	263	51	-
Índice de Cetano Calculado		ASTM D 97	39	45	-
Punto de vertido	°C	ASTM D 97	-16	-	-
Azufre	%P	ASTM D 4294	-	-	0.7
Punto de nube	°C	ASTM D 2500	21	-	-
Nitrógeno total	mg/l	APHA 4500 N	-	-	-
Destilación ASTM					
PI			264	-	-
5			294	-	-
10			298	-	-
20			315	-	-
30			324	-	-
40			332	-	-
50			350	-	-
60			366	-	-
70			369	-	-
80			372	-	-
90			374	-	360
95			376	-	-
PF			378	-	-
VD			99,1	-	-
VR			0,1	-	-
VP			0,8	-	-

Nota: Incertidumbre de destilación ASTM

Unidad	°C													ml	
	Punto	PI	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	PF	Volumen destilado
± U (K=2)	6,7	5,0	4,0	4,5	4,2	5,3	5,5	5,4	4,9	5,3	6,0	7,0	7,3	0,69	0,81

Observaciones: Los datos de destilación y punto de inflamación están corregidos a presión atmosférica (760 mmHg) según Norma NTE INEN 1489:99

AN:   
 jz:

Revisado y Aprobado por

Ing. Renán Criollo R., MSc  
 DIRECTOR DEL DPEC

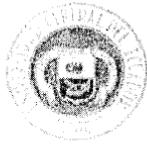


INFORMACIÓN: LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SE APLICAN SOLO A LAS MUESTRAS QUE EL CLIENTE ENTREGÓ AL DPEC.  
 ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL DPEC.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: uiq.uc@andinanet.com  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-1

Hoja 1 de 1



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**

Informe No: 08-02-03-P-4  
 Fecha: 2008-03-19

Atención:	Sr. Luis Eduardo Tipanluisa S.
Empresa:	<b>PARTICULAR</b>
Dirección:	Latacunga - ESPE
Tipo de ensayos:	Físico Químicos
Tipo de muestra:	Combustibles
Identificación de la muestra:	LT-04 MEZCLA DIESEL 2 - ACEITE DE PALMA 2%
Descripción de la muestra:	Muestra tomada en envase de plástico transparente
Fecha de ingreso de muestra:	15-02-2008
Código de la muestra:	08-02-03-P-4
Fecha de realización de ensayos:	Del 19 de Febrero al 17 de marzo de 2008

ENSAYO	UNIDAD	NORMA ASTM D	RESULTADOS	*NORMA	
				Limite mínimo	Limite máximo
Densidad API	°API	ASTM D 1298	34,9	-	-
Viscosidad Cinemática a temperatura ambiente	CSt	ASTM D 445	6,46	-	-
Viscosidad Cinemática a 80°C	CSt	ASTM D 445	1,05	-	-
Punto de Inflamación	°C	ASTM D 56	69	51	-
Índice de Cetano Calculado		ASTM D 97	49	45	-
Punto de vertido	°C	ASTM D 97	-21	-	-
Azufre	%P	ASTM D 4294	-	-	0.7
Punto de nube	°C	ASTM D 2500	9	-	-
Nitrógeno total	mg/l	APHA 4500 N	-	-	-
Destilación ASTM					
PI			192	-	-
5			207	-	-
10			223	-	-
20			241	-	-
30			256	-	-
40			271	-	-
50			276	-	-
60			294	-	-
70			305	-	-
80			321	-	-
90			336	-	360
95			350	-	-
PF			360	-	-
VD			98,6	-	-
VR	%V		1,0	-	-
VP			0,4	-	-

Nota: Incertidumbre de destilación ASTM

Unidad	°C													ml		
	Punto	PI	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	PF	Volumen destilado	Volumen residuo
± U (K=2)	6,7	5,0	4,0	4,5	4,2	5,3	5,5	5,4	4,9	5,3	6,0	7,0	7,3		0,69	0,81

Observaciones: Los datos de destilación y punto de inflamación están corregidos a presión atmosférica (760 mmHg) según Norma NTE INEN 1489:99

AN: jz



Revisado y Aprobado por

Ing. Renán Cigallo R., MSc  
 DIRECTOR DEL DPEC

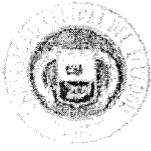


INFORMACIÓN: LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SE APLICAN SOLO A LAS MUESTRAS QUE EL CLIENTE ENTREGADO AL DPEC.  
 ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL DPEC.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: uiq.uc@andinanet.com QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-1

Hoja 1 de 1



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**

Informe No: 08-02-03-P-5  
 Fecha: 2008-03-19

Atención:	Sr. Luis Eduardo Tipanluisa S.
Empresa:	<b>PARTICULAR</b>
Dirección:	Latacunga - ESPE
Tipo de ensayos:	Físico Químicos
Tipo de muestra:	Combustibles
Identificación de la muestra:	LT-05 MEZCLA DIESEL 2 - ACEITE DE PALMA 5%
Descripción de la muestra:	Muestra tomada en envase de plástico transparente
Fecha de ingreso de muestra:	15-02-2008
Código de la muestra:	08-02-03-P-5
Fecha de realización de ensayos:	Del 19 de Febrero al 17 de marzo de 2008

ENSAYO	UNIDAD	NORMA ASTM D	RESULTADOS	*NORMA	
				Limite mínimo	Limite máximo
Densidad API	°API	ASTM D 1298	34,4	-	-
Viscosidad Cinemática a temperatura ambiente	cSt	ASTM D 445	6,68	-	-
Viscosidad Cinemática a 80°C	cSt	ASTM D 445	1,06	-	-
Punto de Inflamación	°C	ASTM D 56	77	51	-
Índice de Cetano Calculado		ASTM D 97	51	45	-
Punto de vertido	°C	ASTM D 97	-21	-	-
Azufre	%P	ASTM D 4294	-	-	0.7
Punto de nube	°C	ASTM D 2500	9	-	-
Nitrógeno total	mg/l	APHA 4500 N	-	-	-
Destilación ASTM					
PI			200	-	-
5			223	-	-
10			238	-	-
20			252	-	-
30			264	-	-
40			275	-	-
50			289	-	-
60			300	-	-
70			312	-	-
80			327	-	-
90			348	-	360
95			363	-	-
PF			390	-	-
VD			99,4	-	-
VR			0,2	-	-
VP			0,4	-	-

Nota: Incertidumbre de destilación ASTM

Unidad	°C													ml	
	Punto	PI	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	PF	Volumen destilado
± U (K=2)	6,7	5,0	4,0	4,5	4,2	5,3	5,5	5,4	4,9	5,3	6,0	7,0	7,3	0,69	0,81

Observaciones: Los datos de destilación y punto de inflamación están corregidos a presión atmosférica (760 mmHg) según Norma NTE INEN 1489:99

AN:   
 jz

Revisado y Aprobado por

Ing. Renan Criollo R, MSC  
 DIRECTOR DEL DPEC



INFORMACIÓN: LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SE APLICAN SOLO A LAS MUESTRAS QUE EL CLIENTE ENTREGADO AL DPEC.  
 ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL DPEC.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: uiq.uc@andinanet.com  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-1

Hoja 1 de 1



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**

Informe No: 08-02-03-P-6  
 Fecha: 2008-03-19

Atención: Sr. Luis Eduardo Tipanluisa S.  
 Empresa: **PARTICULAR**  
 Dirección: Latacunga -ESPE  
 Tipo de ensayos: Físico Químicos  
 Tipo de muestra: Combustibles  
 Identificación de la muestra: LT-06 MEZCLA DIESEL 2 - ACEITE DE PIÑON  
 Descripción de la muestra: Muestra tomada en envase de plástico transparente  
 Fecha de ingreso de muestra: 15-02-2008  
 Código de la muestra: 08-02-03-P-6  
 Fecha de realización de ensayos: Del 19 de Febrero al 17 de marzo de 2008

ENSAYO	UNIDAD	NORMA ASTM D	RESULTADOS	*NORMA	
				Limite mínimo	Limite máximo
Densidad API	°API	ASTM D 1298	34,8	-	-
Viscosidad Cinemática a temperatura ambiente	cSt	ASTM D 445	5,94	-	-
Viscosidad Cinemática a 80°C	cSt	ASTM D 445	1,10	-	-
Punto de Inflamación	°C	ASTM D 56	77	51	-
Índice de Cetano Calculado		ASTM D 97	51	45	-
Punto de vertido	°C	ASTM D 97	-21	-	-
Azufre	%P	ASTM D 4294	-	-	0.7
Punto de nube	°C	ASTM D 2500	7	-	-
Nitrógeno total	mg/l	APHA 4500 N	-	-	-
Destilación ASTM					
PI			204	-	-
5			225	-	-
10			231	-	-
20			249	-	-
30			264	-	-
40			275	-	-
50			286	-	-
60			295	-	-
70			310	-	-
80			324	-	-
90			346	-	360
95			355	-	-
PF			364	-	-
VD			98,3	-	-
VR			1,2	-	-
VP			0,5	-	-

Nota: Incertidumbre de destilación ASTM

Unidad	°C													ml	
	Punto	PI	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	PF	Volumen destilado
± U (K=2)	6,7	5,0	4,0	4,5	4,2	5,3	5,5	5,4	4,9	5,3	6,0	7,0	7,3	0,69	0,81

Observaciones: Los datos de destilación y punto de inflamación están corregidos a presión atmosférica (760 mmHg) según Norma NTE INEN 1489:99

AN:   
 jz:



ENSAYOS

Revisado y Aprobado por

Ing. Renari Cabillo R. MSc  
 DIRECTOR DEL DPEC



INFORMACIÓN: LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SE APLICAN SOLO A LAS MUESTRAS QUE EL CLIENTE A ENTREGADO AL DPEC.  
 ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL DPEC.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: uiq.uc@andinet.com  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-1

Hoja 1 de 1



**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA, CIENCIAS, FÍSICA Y MATEMÁTICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN**



**INFORME DE RESULTADOS**

Informe No: 08-02-03-P-7  
 Fecha: 2008-03-19

Atención: Sr. Luis Eduardo Tipanluisa S.  
 Empresa: **PARTICULAR**  
 Dirección: Latacunga -ESPE  
 Tipo de ensayos: Físico Químicos  
 Tipo de muestra: Combustibles  
 Identificación de la muestra: LT-07 MEZCLA DIESEL 2 - ACEITE DE PIÑON 5%  
 Descripción de la muestra: Muestra tomada en envase de plástico transparente  
 Fecha de ingreso de muestra: 15-02-2008  
 Código de la muestra: 08-02-03-P-7  
 Fecha de realización de ensayos: Del 19 de febrero al 17 de marzo de 2008

ENSAYO	UNIDAD	NORMA ASTM D	RESULTADOS	*NORMA	
				Limite mínimo	Limite máximo
Densidad API	°API	ASTM D 1298	34,4	-	-
Viscosidad Cinemática a temperatura ambiente	cSt	ASTM D 445	6,24	-	-
Viscosidad Cinemática a 80°C	cSt	ASTM D 445	1,15	-	-
Punto de Inflamación	°C	ASTM D 56	75	51	-
Índice de Cetano Calculado		ASTM D 97	49	45	-
Punto de vertido	°C	ASTM D 97	-21	-	-
Azufre	%P	ASTM D 4294	-	-	0,7
Punto de nube	°C	ASTM D 2500	7	-	-
Nitrógeno total	mg/l	APHA 4500 N	-	-	-
Destilación ASTM					
PI		PNE/DPEC/P/ASTMD86	212	-	-
5			222	-	-
10			236	-	-
20			246	-	-
30			261	-	-
40			274	-	-
50			283	-	-
60			298	-	-
70			312	-	-
80			322	-	-
90			346	-	360
95			355	-	-
PF			356	-	-
VD			98,2	-	-
VR		1,4	-	-	
VP		0,4	-	-	

Nota: Incertidumbre de destilación ASTM

Unidad	°C													ml		
	Punto	PI	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	PF	Volumen destilado	Volumen residuo
± U (K=2)	6,7	5,0	4,0	4,5	4,2	5,3	5,5	5,4	4,9	5,3	6,0	7,0	7,3		0,69	0,81

Observaciones: Los datos de destilación y punto de inflamación están corregidos a presión atmosférica (760 mmHg) según Norma NTE INEN 1489:99

AN:  
jz



Revisado y Aprobado por

Ing. Renan Criollo R., MSc  
 DIRECTOR DEL DPEC



INFORMACIÓN: LOS RESULTADOS DE ESTE INFORME SE APLICAN SOLO A LAS MUESTRAS QUE EL CLIENTE ENTREGA AL DPEC.  
 ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS. SE PROHIBE LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL DPEC.

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: uig.uc@andinanet.com  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-1

Hoja 1 de 1

## **Anexo D**

TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE DESEMPEÑO.

Tabla LT-1 Datos de desempeño para el diesel ecuatoriano

TEST	VELOCIDAD	VEL. PROM.	DIEN TES	ACELERACIÓN	CONTA DOR	TIEM PO	FUER ZA	MANÓ METRO	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN		
	[N]	[N]		a	REVS. [N <sub>T</sub> ]	t	F	ho	FLUJO	TE	TS	Te	V	I	CARGA
Nº	RPM	RPM	Nº	[%]	Nº	seg	N	mm H2O	L/min	°C	°C	°C	[V]	[A]	#
1	2208	2200,95	26	100	7718	210,4	8	48	39,5	72	74	160	110	0	0
2	2158	2154,93	26	100	7474	208,1	28	48	39,5	69	71	182	120	5	2
3	2108	2107,96	26	100	6489	184,7	48	46,5	39,5	69	70,5	200	140	15	5
4	2058	2058,99	26	100	4142	120,7	142	43,5	39,5	70,5	73	290	200	35	8
5	2008	2005,13	26	100	1955	58,5	284	39	39,5	66	70	440	200	65	15
6	1958	1953,63	26	100	1882	57,8	290	37	39,5	64	69	485	200	65	15
7	1908	1904,75	26	100	1873	59	290	35	39,5	64	69	500	200	65	15
8	1858	1854,37	26	100	1876	60,7	290	34	39,5	64	68,5	500	200	65	15
9	1808	1806,74	26	100	1876	62,3	290	32	39,5	70	73	500	198	63	15
10	1758	1756,07	26	100	1879	64,2	290	30,5	39,5	68	72	500	195	60	15
11	1708	1703,60	26	100	1891	66,6	290	29	39,5	64,5	69	500	195	60	15
12	1658	1656,56	26	100	1894	68,6	290	27,5	39,5	65	69	490	190	60	15
13	1608	1605,68	26	100	1884	70,4	290	26	39,5	68	71	490	190	60	15
14	1582	1582,43	26	100	1891	71,7	290	25	39,5	71	74	490	190	60	15

**Tabla LT-2** Datos de desempeño de la mezcla aceite de palma RBD al 2% con diesel

TEST	VELOCIDAD	VEL. PROM.	DIEN TES	ACELE RACIÓN	CONTA DOR	TIEM PO	FUER ZA	MANÓ METRO	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN		
	[N]	[N]		a	REVS. [N <sub>r</sub> ]	t	F	ho	FLUJO	TE	TS	Te	V	I	CARGA
N <sup>o</sup>	RPM	RPM	N <sup>o</sup>	%	N <sup>o</sup>	seg	N	mm H <sub>2</sub> O	L/min	°C	°C	°C	[V]	[A]	#
1	2208	2201,36	26	100	8090	220,5	8	49,75	40	69	71	160	100	0	0
2	2158	2149,54	26	100	8265	230,7	20	48,5	40	70	72	175	160	0	0
3	2108	2109,00	26	100	6682	190,1	52	47	40	68	70	190	140	15	5
4	2058	2059,14	26	100	4712	137,3	117	44,75	40	68	70	260	180	25	8
5	2008	2007,26	26	100	2121	63,4	291	39,5	40	71	73	380	200	65	15
6	1958	1955,98	26	100	1881	57,7	295	37,5	40	71,5	74	450	200	65	15
7	1908	1904,08	26	100	1866	58,8	295	35,5	40	71	74	450	200	65	15
8	1858	1856,81	26	100	1863	60,2	295	33,75	40	70	73	445	200	65	15
9	1808	1808,74	26	100	1863	61,8	294	32,5	40	69	72	440	200	60	15
10	1758	1755,87	26	100	1870	63,9	294	30,5	40	67	71	430	195	60	15
11	1708	1707,41	26	100	1881	66,1	298	29	40	66	70	440	195	60	15
12	1658	1657,57	26	100	1862	67,4	298	27,5	40	69	72	430	195	60	15
13	1608	1614,18	26	100	1859	69,1	296	26	40	70	73	440	180	60	15

**Tabla LT-3** Datos de desempeño de la mezcla aceite de palma RBD al 5% con diesel

TEST	VELOCIDAD	VEL. PROM.	DIEN TES	ACELE RACIÓN	CONTA DOR	TIEM PO	FUER ZA	MANÓ METRO	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN		
	[N]	[N]		a	REVS. [N <sub>T</sub> ]	t	F	ho	FLUJO	TE	TS	Te	V	I	CARGA
Nº	RPM	RPM	Nº	%	Nº	seg	N	mm H <sub>2</sub> O	L/min	°C	°C	°C	[V]	[A]	#
1	2208	2201,73	26	100	8062	219,7	9	49,5	40	67	68	165	110	0	0
2	2158	2153,74	26	100	7976	222,2	20	48,5	40	67	69	175	110	5	2
3	2108	2107,89	26	100	6942	197,6	48	47	40	69	70,5	190	120	15	5
4	2058	2058,60	26	100	4848	141,3	123	44,75	40	70	72	250	180	25	7
5	2008	2006,86	26	100	2144	64,1	292	39,5	40	71	73	360	200	65	15
6	1958	1957,79	26	100	1886	57,8	296	37,5	40	70	73	450	200	65	15
7	1908	1907,51	26	100	1863	58,6	296	35,25	40	68	70	450	200	65	15
8	1858	1856,00	26	100	1856	60	296	34	40	68	72	440	200	65	15
9	1808	1806,82	26	100	1855	61,6	294	32	40	69	72	430	200	65	15
10	1758	1756,74	26	100	1868	63,8	298	31	40	70	73	430	200	65	15
11	1708	1706,79	26	100	1886	66,3	296	29	40	70	71	440	190	60	15
12	1658	1654,87	26	100	1870	67,8	298	27,25	40	70	72	443	190	60	15
13	1608	1639,07	26	100	1874	68,6	298	26,75	40	69	71	440	190	60	15

**Tabla LT-4** Datos de desempeño de la mezcla aceite de piñón al 2% con diesel

TEST	VELOCIDAD	VEL. PROM.	DIEN TES	ACELE RACIÓN	CONTA DOR	TIEM PO	FUER ZA	MANÓ METRO	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN		
	[N]	[N]		a	REVS. [N <sub>T</sub> ]	t	F	ho	FLUJO	TE	TS	Te	V	I	CARGA
Nº	RPM	RPM	Nº	%	Nº	seg	N	mm H2O	L/min	°C	°C	°C	[V]	[A]	#
1	2208	2203,87	26	100	7596	206,8	9	49	39,5	65	70,5	160	110	0	0
2	2158	2157,29	26	100	7173	199,5	26	48,5	39,5	67	68,5	180	120	5	2
3	2108	2107,95	26	100	6099	173,6	62	46,5	39,5	70	72	200	140	15	5
4	2058	2057,14	26	100	3816	111,3	170	44	39,5	69	71	285	200	35	8
5	2008	2008,08	26	100	1988	59,4	295	39,5	39,5	71	73,5	430	200	65	15
6	1958	1954,94	26	100	1880	57,7	295	37,5	39,5	69	72	460	200	65	15
7	1908	1908,26	26	100	1886	59,3	294	36	39,5	66	70	490	200	65	15
8	1858	1855,63	26	100	1868	60,4	292	34	39,5	66	70	480	200	65	15
9	1808	1805,78	26	100	1875	62,3	294	32,5	39,5	66	70	490	198	63	15
10	1758	1756,01	26	100	1876	64,1	292	30,5	39,5	67	70	480	195	60	15
11	1708	1707,41	26	100	1881	66,1	294	29	39,5	66	70	490	195	60	15
12	1658	1656,85	26	100	1875	67,9	296	27,5	39,5	66	70	460	190	60	15
13	1608	1609,21	26	100	1864	69,5	292	26	39,5	66	69,5	470	190	60	15
14	1582	1610,66	26	100	1863	69,4	296	26	39,5	66	70	460	190	60	15

**Tabla LT-5** Datos de desempeño de la mezcla aceite de piñón al 5% con diesel

TEST	VELOCIDAD	VEL. PROM.	DIEN TES	ACELE RACIÓN	CONTA DOR	TIEM PO	FUER ZA	MANÓ METRO	REFRIGERACIÓN			ESCAPE	GENERACIÓN		
	[N]	[N]		a	REVS. [N <sub>T</sub> ]	t	F	ho	FLUJO	TE	TS	Te	V	I	CARGA
Nº	RPM	RPM	Nº	%	Nº	seg	N	mm H <sub>2</sub> O	L/min	°C	°C	°C	[V]	[A]	#
1	2208	2204,39	26	100	8168	222,32	9	49,5	40	74	75	170	100	0	0
2	2158	2146,53	26	100	7842	219,2	20	48,5	40	70	72,5	180	110	5	2
3	2108	2109,24	26	100	6732	191,5	51	47,25	40	68	70	190	140	15	5
4	2058	2058,28	26	100	4415	128,7	144	44,75	40	68	70	260	210	27	6
5	2008	2007,84	26	100	2048	61,2	300	39,5	40	69	72	410	200	65	15
6	1958	1956,25	26	100	1878	57,6	298	37,5	40	70	72	430	200	65	15
7	1908	1907,80	26	100	1876	59	298	36	40	64	69	460	200	65	15
8	1858	1857,90	26	100	1861	60,1	298	34,5	40	65	68	450	200	65	15
9	1808	1809,72	26	100	1861	61,7	298	32,5	40	64	68	450	200	65	15
10	1758	1756,60	26	100	1862	63,6	298	31	40	65	69	450	200	65	15
11	1708	1707,41	26	100	1881	66,1	298	29	40	66	70	450	190	60	15
12	1658	1653,98	26	100	1869	67,8	298	27,5	40	67,5	71	440	190	60	15
13	1608	1617,73	26	100	1855	68,8	298	26,5	40	67	71,5	435	190	60	15

## **Anexo E**

TABLAS DE CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DE DESEMPEÑO.

**Tabla LT-1** Parámetros de desempeño para el diesel ecuatoriano

Test	N	Tq	Pf	Pf	V <sub>D</sub>	PMEF	AIRE			COMBUSTIBLE		EFICIENCIA	
							Caudal	m <sub>a</sub>	A/C	m <sub>c</sub>	C.E.C.	n <sub>t</sub>	n <sub>v</sub>
No.	RPM	Nm	Kw	Hp	m <sup>3</sup> /s	KN/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h	Kg/h	-	Kg/h	Kg/Kw-h	[%]	[%]
1	2200,95	2,54	0,59	0,79	0,03	19,75	0,01	77,68	53,42	1,45	2,48	4,25	75,80
2	2154,93	8,90	2,01	2,69	0,03	69,11	0,01	77,68	52,84	1,47	0,73	14,40	77,42
3	2107,96	15,26	3,37	4,52	0,03	118,47	0,01	76,46	46,16	1,66	0,49	21,43	77,89
4	2058,99	45,16	9,74	13,06	0,03	350,48	0,01	73,95	29,18	2,53	0,26	40,47	77,13
5	2005,13	90,31	18,96	25,43	0,03	700,96	0,01	70,02	13,39	5,23	0,28	38,20	75,00
6	1953,63	92,22	18,87	25,30	0,03	715,77	0,01	68,20	12,89	5,29	0,28	37,55	74,97
7	1904,75	92,22	18,39	24,67	0,03	715,77	0,01	66,34	12,79	5,19	0,28	37,37	74,79
8	1854,37	92,22	17,91	24,02	0,03	715,77	0,01	65,38	12,97	5,04	0,28	37,43	75,72
9	1806,74	92,22	17,45	23,40	0,02	715,77	0,02	63,43	12,92	4,91	0,28	37,43	75,39
10	1756,07	92,22	16,96	22,74	0,02	715,77	0,02	61,92	12,99	4,77	0,28	37,49	75,73
11	1703,60	92,22	16,45	22,06	0,02	715,77	0,02	60,38	13,14	4,59	0,28	37,73	76,12
12	1656,56	92,22	16,00	21,45	0,02	715,77	0,02	58,80	13,18	4,46	0,28	37,79	76,23
13	1605,68	92,22	15,51	20,79	0,02	715,77	0,02	57,17	13,16	4,35	0,28	37,59	76,47
14	1582,43	92,22	15,28	20,49	0,02	715,77	0,02	56,06	13,14	4,27	0,28	37,73	76,08

**Tabla LT-2** Parámetros de desempeño de la mezcla aceite de palma RBD al 2% con diesel

Test	N	Tq	Pf	Pf	V <sub>D</sub>	PMEF	AIRE			COMBUSTIBLE		EFICIENCIA	
							Caudal	m <sub>a</sub>	A/C	m <sub>c</sub>	C.E.C.	n <sub>t</sub>	n <sub>v</sub>
No.	RPM	Nm	Kw	Hp	m <sup>3</sup> /s	KN/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h	Kg/h	-	Kg/h	Kg/Kw-h	[%]	[%]
1	2201,36	2,54	0,59	0,79	0,03	19,75	0,01	79,09	56,97	1,39	2,37	3,81	77,15
2	2149,54	6,36	1,43	1,92	0,03	49,36	0,01	78,09	58,85	1,33	0,93	9,73	78,01
3	2109,00	16,54	3,65	4,90	0,03	128,34	0,01	76,87	47,74	1,61	0,44	20,45	78,27
4	2059,14	37,21	8,02	10,76	0,03	288,77	0,01	75,01	33,64	2,23	0,28	32,44	78,23
5	2007,26	92,54	19,45	26,08	0,03	718,24	0,01	70,47	14,59	4,83	0,25	36,32	75,39
6	1955,98	93,81	19,22	25,77	0,03	728,11	0,01	68,66	12,94	5,31	0,28	32,66	75,39
7	1904,08	93,81	18,71	25,08	0,03	728,11	0,01	66,81	12,83	5,21	0,28	32,40	75,35
8	1856,81	93,81	18,24	24,46	0,03	728,11	0,01	65,14	12,81	5,09	0,28	32,34	75,34
9	1808,74	93,49	17,71	23,75	0,02	725,64	0,01	63,92	12,90	4,95	0,28	32,23	75,89
10	1755,87	93,49	17,19	23,05	0,02	725,64	0,02	61,92	12,93	4,79	0,28	32,35	75,74
11	1707,41	94,76	16,94	22,72	0,02	735,51	0,02	60,38	13,04	4,63	0,27	32,99	75,95
12	1657,57	94,76	16,45	22,06	0,02	735,51	0,02	58,80	12,95	4,54	0,28	32,65	76,18
13	1614,18	94,13	15,91	21,34	0,02	730,58	0,02	57,17	12,91	4,43	0,28	32,38	76,06

**Tabla LT-3** Parámetros de desempeño de la mezcla aceite de palma RBD al 5% con diesel

Test	N	Tq	Pf	Pf	V <sub>D</sub>	PMEF	AIRE			COMBUSTIBLE		EFICIENCIA	
							Caudal	m <sub>a</sub>	A/C	m <sub>c</sub>	CEC	n <sub>t</sub>	n <sub>v</sub>
No.	RPM	Nm	Kw	Hp	M <sup>3</sup> /s	KN/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h	Kg/h	-	Kg/h	Kg/Kw-h	[%]	[%]
1	2201,73	2,86	0,66	0,88	0,03	22,21	0,01	78,89	56,45	1,40	2,12	4,64	76,95
2	2153,74	6,36	1,43	1,92	0,03	49,36	0,01	78,09	56,51	1,38	0,96	10,20	77,86
3	2107,89	15,26	3,37	4,52	0,03	118,47	0,01	76,87	49,47	1,55	0,46	31,32	78,31
4	2058,60	39,11	8,43	11,31	0,03	303,58	0,01	75,01	34,52	2,17	0,26	38,15	78,25
5	2006,86	92,86	19,51	26,17	0,03	720,70	0,01	70,47	14,71	4,79	0,25	40,05	75,41
6	1957,79	94,13	19,30	25,88	0,03	730,58	0,01	68,66	12,93	5,31	0,28	35,71	75,32
7	1907,51	94,13	18,80	25,21	0,03	730,58	0,01	66,57	12,71	5,24	0,28	35,28	74,95
8	1856,00	94,13	18,29	24,53	0,03	730,58	0,01	65,38	12,78	5,12	0,28	35,14	75,65
9	1806,82	93,49	17,69	23,72	0,02	725,64	0,02	63,43	12,73	4,98	0,28	34,89	75,39
10	1756,74	94,76	17,43	23,38	0,02	735,51	0,02	62,43	12,97	4,81	0,28	35,61	76,32
11	1706,79	94,13	16,82	22,56	0,02	730,58	0,02	60,38	13,04	4,63	0,28	35,71	75,97
12	1654,87	94,76	16,42	22,02	0,02	735,51	0,02	58,53	12,92	4,53	0,28	35,65	75,96
13	1639,07	94,76	16,27	21,81	0,02	735,51	0,02	57,99	12,96	4,48	0,28	35,72	75,98

**Tabla LT-4** Parámetros de desempeño de la mezcla aceite de piñón al 2% con diesel

Test	N	Tq	Pf	Pf	V <sub>D</sub>	PMEF	AIRE			COMBUSTIBLE		EFICIENCIA	
							Caudal	m <sub>a</sub>	A/C	m <sub>c</sub>	CEC	n <sub>t</sub>	n <sub>v</sub>
No.	RPM	Nm	Kw	Hp	M <sup>3</sup> /s	KN/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h	Kg/h	-	Kg/h	Kg/Kw-h	[%]	[%]
1	2203,87	2,86	0,66	0,89	0,03	22,21	0,01	78,49	52,99	1,48	2,24	3,97	76,48
2	2157,29	8,27	1,87	2,50	0,03	64,17	0,01	78,09	50,86	1,54	0,82	10,84	77,73
3	2107,95	19,72	4,35	5,84	0,03	153,03	0,01	76,46	43,33	1,76	0,41	21,97	77,90
4	2057,14	54,06	11,65	15,62	0,03	419,59	0,01	74,38	27,03	2,75	0,24	37,69	77,64
5	2008,08	93,81	19,73	26,45	0,03	728,11	0,01	70,47	13,67	5,16	0,26	34,07	75,36
6	1954,94	93,81	19,20	25,75	0,03	728,11	0,01	68,66	12,93	5,31	0,28	32,22	75,43
7	1908,26	93,49	18,68	25,05	0,03	725,64	0,01	67,28	13,02	5,17	0,28	32,22	75,71
8	1855,63	92,86	18,04	24,20	0,03	720,70	0,01	65,38	12,89	5,07	0,28	31,69	75,66
9	1805,78	93,49	17,68	23,71	0,02	725,64	0,01	63,92	13,00	4,92	0,28	31,02	76,02
10	1756,01	92,86	17,08	22,90	0,02	720,70	0,02	61,92	12,96	4,78	0,28	31,83	75,73
11	1707,41	93,49	16,72	22,42	0,02	725,64	0,02	60,38	13,03	4,63	0,28	32,13	75,95
12	1656,85	94,13	16,33	21,90	0,02	730,58	0,02	58,80	13,03	4,51	0,28	32,25	76,21
13	1609,21	92,86	15,65	20,98	0,02	720,70	0,02	57,17	12,97	4,41	0,28	31,62	76,30
14	1610,66	94,13	15,88	21,29	0,02	730,58	0,02	57,17	12,95	4,41	0,28	32,04	76,23

**Tabla LT-5** Parámetros de desempeño de la mezcla aceite de piñón al 5% con diesel

Test	N	Tq	P <sub>f</sub>	P <sub>f</sub>	V <sub>D</sub>	PMEF	AIRE			COMBUSTIBLE		EFICIENCIA	
							Caudal	m <sub>a</sub>	A/C	m <sub>c</sub>	CEC	η <sub>t</sub>	η <sub>v</sub>
No.	RPM	Nm	Kw	Hp	m <sup>3</sup> /s	KN/m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /h	Kg/h	-	Kg/h	Kg/Kw-h	[%]	[%]
1	2204,39	2,86	0,66	0,89	0,03	22,21	0,01	78,89	57,12	1,38	2,09	4,69	76,85
2	2146,53	6,36	1,43	1,92	0,03	49,36	0,01	78,09	55,75	1,40	0,98	10,00	78,12
3	2109,24	16,22	3,58	4,80	0,03	125,88	0,01	77,08	48,07	1,60	0,45	21,89	78,47
4	2058,28	45,79	9,87	13,24	0,03	355,42	0,01	75,01	31,44	2,39	0,24	40,54	78,26
5	2007,84	95,40	20,06	26,90	0,03	740,45	0,01	70,47	14,05	5,02	0,25	39,17	75,37
6	1956,25	94,76	19,41	26,03	0,03	735,51	0,01	68,66	12,88	5,33	0,27	35,68	75,38
7	1907,80	94,76	18,93	25,39	0,03	735,51	0,01	67,28	12,93	5,20	0,27	35,64	75,73
8	1857,90	94,76	18,44	24,72	0,03	735,51	0,01	65,86	12,89	5,11	0,28	35,36	76,13
9	1809,72	94,76	17,96	24,08	0,02	735,51	0,01	63,92	12,84	4,98	0,28	35,36	75,85
10	1756,60	94,76	17,43	23,38	0,02	735,51	0,02	62,43	12,93	4,83	0,28	35,38	76,32
11	1707,41	94,76	16,94	22,72	0,02	735,51	0,02	60,38	13,00	4,65	0,27	35,74	75,95
12	1653,98	94,76	16,41	22,01	0,02	735,51	0,02	58,80	12,98	4,53	0,28	35,51	76,34
13	1617,73	94,76	16,05	21,53	0,02	735,51	0,02	57,72	12,93	4,46	0,28	35,25	76,62

## **Anexo F**

TABLAS DE DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE OPACIDAD.

**Tabla LT-1** Datos del porcentaje de opacidad del diesel ecuatoriano

Resultado Prueba de Aceleración Libre		Prueba No. 1	Prueba No. 2	Prueba No. 3	Prueba No. 4	Prueba No. 5
N. de mediciones	Régimen [rpm]	Opacidad [%]				
1ra. medición	1750 -1850	-	-	-	69	-
2da. medición	1750 -1850	-	53	69	52	-
3ra. medición	1750 -1850	32	26	25	43	-
4ta. medición	1750 -1850	19	22	34	58	-
5ta. medición	1750 -1850	28	20	41	38	-
6ta. medición	1750 -1850	-	-	32	35	-
<b>PROMEDIO</b>		26	23	36	44	-
<b>Resultado según NTE INEN 2 207:2002</b>		<b>Aprueba Si / No</b>				
		SI	SI	SI	SI	-

**Tabla LT-2** Datos del porcentaje de opacidad de la mezcla aceite de palma RBD al 2% con diesel

Resultado Prueba de Aceleración Libre		Prueba No. 1	Prueba No. 2	Prueba No. 3	Prueba No. 4	Prueba No. 5
N. de mediciones	Régimen [rpm]	Opacidad [%]				
1ra. medición	1750 -1850	-	-	66	48	-
2da. medición	1750 -1850	69	67	14	13	64
3ra. medición	1750 -1850	44	19	56	12	19
4ta. medición	1750 -1850	45	23	51	31	8
5ta. medición	1750 -1850	54	21	42	35	25
6ta. medición	1750 -1850	-	-	36	14	-
<b>PROMEDIO</b>		48	21	43	27	17
<b>Resultado según NTE INEN 2 207:2002</b>		<b>Aprueba Si / No</b>				
		SI	SI	SI	SI	SI

**Tabla LT-3** Datos del porcentaje de opacidad de la mezcla aceite de palma RBD al 5% con diesel

Resultado Prueba de Aceleración Libre		Prueba No. 1	Prueba No. 2	Prueba No. 3	Prueba No. 4	Prueba No. 5
N. de mediciones	Régimen [rpm]	Opacidad [%]				
1ra. medición	1750 -1850	15	59	-	62	-
2da. medición	1750 -1850	60	37	47	6	-
3ra. medición	1750 -1850	28	20	10	9	-
4ta. medición	1750 -1850	13	25	15	29	-
5ta. medición	1750 -1850	6	25	7	19	-
6ta. medición	1750 -1850	13	-	-	10	-
<b>PROMEDIO</b>		11	23	11	19	-
<b>Resultado según NTE INEN 2 207:2002</b>		<b>Aprueba Si / No</b>				
		SI	SI	SI	SI	-

**Tabla LT-4** Datos del porcentaje de opacidad de la mezcla aceite de piñón al 2% con diesel

Resultado Prueba de Aceleración Libre		Prueba No. 1	Prueba No. 2	Prueba No. 3	Prueba No. 4	Prueba No. 5
N. de mediciones	Régimen [rpm]	Opacidad [%]				
1ra. medición	1750 -1850	-	-	37	-	-
2da. medición	1750 -1850	-	44	12	48	-
3ra. medición	1750 -1850	-	11	36	10	-
4ta. medición	1750 -1850	-	9	13	14	-
5ta. medición	1750 -1850	-	10	14	9	-
6ta. medición	1750 -1850	-	-	16	-	-
<b>PROMEDIO</b>		-	10	13	11	-
<b>Resultado según NTE INEN 2 207:2002</b>		<b>Aprueba Si / No</b>				
		-	SI	SI	SI	-

**Tabla LT-5** Datos del porcentaje de opacidad de la mezcla aceite de piñón al 5% con diesel

Resultado Prueba de Aceleración Libre		Prueba No. 1	Prueba No. 2	Prueba No. 3	Prueba No. 4	Prueba No. 5
N. de mediciones	Régimen [rpm]	Opacidad [%]				
1ra. medición	1750 -1850	-	-	-	24	-
2da. medición	1750 -1850	38	45	-	7	38
3ra. medición	1750 -1850	6	20	18	35	3
4ta. medición	1750 -1850	6	6	6	10	4
5ta. medición	1750 -1850	8	12	10	19	8
6ta. medición	1750 -1850	-	-	-	2	-
<b>PROMEDIO</b>		7	13	11	10	5
<b>Resultado según NTE INEN 2 207:2002</b>		<b>Aprueba Si / No</b>				
		SI	SI	SI	SI	SI

Latacunga, Abril del 2008

REALIZADO POR

---

**Tipanluisa Sarchi Luis Eduardo**

COORDINADOR DE LA CARRERA

---

**Ing. Juan Castro C.**

UNIDAD DE ADMISIÓN Y REGISTRO

---

**Dr. Eduardo Vásquez A.**