



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE  
MEZCLA DE GASOLINA DE OCHENTA  
OCTANOS CON ETANOL ANHIDRO PARA SU  
UTILIZACIÓN EN MOTORES DE COMBUSTIÓN  
INTERNA DE CUATRO TIEMPOS ENCENDIDO  
POR CHISPA”**

**MASSON RICAURTE MANUEL ALEJANDRO**

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

**ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS**

---

Abril, 17 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**MANUEL ALEJANDRO MASSON RICAURTE**

---

Titulada: **“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MEZCLA DE GASOLINA DE OCHENTA OCTANOS CON ETANOL ANHIDRO PARA SU UTILIZACIÓN EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA.”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

---

Ing. Geovanny Novillo A  
DECANO DE LA FACULTAD DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

---

Ing. Rigoberto Mancheno.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Celín Padilla  
ASESOR DE TESIS

# ESPOCH

Facultad de Mecánica

---

## CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

---

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:** Manuel Alejandro Masson Ricaurte

**TÍTULO DE LA TESIS:** “DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MEZCLA DE GASOLINA DE OCHENTA OCTANOS CON ETANOL ANHIDRO PARA SU UTILIZACIÓN EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DE CUATRO TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA.”

**Fecha de Exanimación:** Abril 17 del 2012.

**RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:**

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Rigoberto Mancheno (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Celín Padilla (ASESOR)			

Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

**RECOMENDACIONES:** \_\_\_\_\_

---

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

---

Presidente del Tribunal

# **ESPOCH**

Facultad de Mecánica

---

## **CERTIFICACION DE REVISION DE TESIS DE GRADO**

---

Ing. Rigoberto Mancheno, Ing. Celín Padilla, en su orden Director y Asesor del tribunal de la tesis de Grado desarrollada por el señor MANUEL ALEJANDRO MASSON RICAURTE

### **CERTIFICAN**

Que luego de revisada la Tesis de Grado en su totalidad, se encuentra que cumple con las exigencias académicas de la Escuela de Ingeniería Automotriz, Carrera INGENIERÍA, por lo tanto autorizamos su presentación y defensa.

Ing. Rigoberto Mancheno M.

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Celín Padilla P.

**DOCENTE ASESOR**

## **DERECHOS DE AUTORÍA**

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

Manuel Alejandro Masson Ricaurte

## **AGRADECIMIENTO**

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Mecánica y a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.

Al Ing. Rigoberto Mancheno DIRECTOR DE TESIS, al Ing. Celín Padilla ASESOR por su gran aporte en esta investigación al TERMINAL DE PRODUCTOS LIMPIOS RIOBAMBA quienes me brindaron la oportunidad para desarrollar el trabajo propuesto y a todos los profesores que con dedicación y perseverancia me entregaron sus conocimientos los cuales me ayudaran labrar un mejor futuro para mi vida profesional.

**Manuel Alejandro Masson Ricaurte.**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis padres Gustavo y Patricia por apoyarme incondicionalmente a conseguir una profesión, a mis hermanos por brindarme su apoyo incondicional su cariño y comprensión en los momentos más difíciles de mi vida, para toda mi familia, sin duda a Dios por la vida y la salud ya que sin ellas nada es posible.

Y cada una de las personas que en su momento me alentaron a seguir hacia delante y no desmayar en el camino. Para todos usted mi profundo y sincero cariño

**Manuel Alejandro**

## CONTENIDO

	Pág.
<b>1. GENERALIDADES</b>	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.2.1 <i>Justificación técnica-económica</i> .....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i> .....	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	2
<b>2. MARCO TEORICO</b>	
2.1 Combustión.....	3
2.1.1 <i>Estequiometria de las Combustiones</i> .....	4
2.1.2 <i>Combustión completa</i> .....	5
2.1.3 <i>Combustión incompleta</i> .....	5
2.1.4 <i>Combustión estequiometria</i> .....	5
2.2 Combustibles.....	5
2.2.1 <i>Combustibles fósiles</i> .....	6
2.2.2 <i>Carbón y sus derivados</i> .....	6
2.2.3 <i>Gas natural y sus derivados</i> .....	7
2.2.4 <i>El petróleo y sus derivados</i> .....	8
2.2.4.1 <i>Gasolina</i> .....	8
2.2.5 <i>Combustibles alternativos</i> .....	9
2.2.6 <i>Biocarburantes</i> .....	9
2.2.7 <i>Biodiesel</i> .....	10
2.2.8 <i>Alcoholes</i> .....	11
2.2.8.1 <i>Etanol</i> .....	13
2.2.8.2 <i>Metanol</i> .....	14
2.2.8.3 <i>Propiedades de los alcoholes</i> .....	14
2.2.9 <i>Principales propiedades de los combustibles líquidos</i> .....	15
2.3 Mezclas etanol-gasolina.....	17
2.3.1 <i>Mezclas gasolina etanol para la utilización en motores de cuatro tiempos encendidos por chispa</i> .....	17
2.3.2 <i>Producción y uso del etanol como combustible</i> .....	18
2.3.3 <i>Agroenergía y los biocombustible en las Américas</i> .....	18
2.3.3.1 <i>Marco regulador para la mezcla de etanol y gasolina</i> .....	20
2.3.4 <i>Motor de combustión interna de cuatro tiempos encendido por chispa</i> .....	20
2.3.4.1 <i>Generalidades</i> .....	20
2.3.5 <i>Estructura y funcionamiento</i> .....	22
2.3.6 <i>Potencia indicada del motor de combustión interna</i> .....	24
2.3.7 <i>Rendimiento en la transformación de la energía</i> .....	24

<b>3.</b>	<b>ELABORACIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS DE GASOLINA DE OCHENTA OCTANOS CON ETANOL ANHIDRO</b>	
3.1	Preparación mezcla 5% etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos.....	27
3.1.1	<i>Procedimiento</i> .....	27
3.2	Preparación mezcla 10% etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos.....	29
3.2.1	<i>Procedimiento</i> .....	29
3.3	Preparación mezcla 15% etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos.....	29
3.3.1	<i>Procedimiento</i> .....	30
3.4	Preparación mezcla 20 % etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos.....	30
3.4.1	<i>Procedimiento</i> .....	30
<b>4.</b>	<b>PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS ETANOL ANHIDRO CON GASOLINA DE OCHENTA OCTANOS.</b>	
4.1	Ensayo destilación.....	32
4.1.1	<i>Norma</i> .....	32
4.1.2	<i>Objeto</i> .....	32
4.1.2.1	<i>Materiales y Equipos</i> .....	32
4.1.2.2	<i>Procedimiento</i> .....	33
4.1.3	<i>Resultados del proceso de la destilación</i> .....	35
4.1.3.1	<i>Ecuación de Sidney Young</i> .....	36
4.1.3.2	<i>Resultado de la mezcla 5% de etanol-anhidro con 95% de gasolina de ochenta octanos</i> .....	37
4.1.3.3	<i>Resultados</i> .....	37
4.1.4	<i>Resultado de la mezcla 10% de etanol-anhidro con 90% de gasolina de ochenta octanos</i> .....	38
4.1.4.1	<i>Resultados</i> .....	38
4.1.5.	<i>Resultado de la mezcla 15% de etanol-anhidro con 85% de gasolina de ochenta octanos</i> .....	39
4.1.5.1	<i>Resultados</i> .....	39
4.1.6.	<i>Resultado de la mezcla 20% de etanol-anhidro con 80% de gasolina de ochenta octanos</i> .....	40
4.1.6.1	<i>Resultados</i> .....	40
4.1.7	<i>Resultados de las muestra patrón de etanol-anhidro puro utilizado para el ensayo de destilación</i> .....	41
4.1.7	<i>Resultados</i> .....	41
4.1.8	<i>Resultados de la muestra patrón de gasolina pura utilizado para el ensayo de destilación</i> .....	42
4.1.8.1	<i>Resultados</i> .....	42
4.1.9	<i>Comparación de la mezcla al 5% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos con las muestras patrones....</i>	43

4.1.9.1	<i>Comparación de la mezcla al 10% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos con las muestras patrones...</i>	44
4.1.9.2	<i>Comparación de la mezcla al 15% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos con las muestras patrones...</i>	45
4.1.9.3	<i>Comparación de la mezcla al 20% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos con las muestras patrones...</i>	46
4.1.9.4	<i>Resultados.....</i>	47
4.2	<i>Ensayo de corrosión a la lámina de cobre.....</i>	47
4.2.1	<i>Norma.....</i>	47
4.2.2	<i>Objeto.....</i>	47
4.1.2.1	<i>Equipos y materiales.....</i>	47
4.1.2.2	<i>Procedimiento.....</i>	48
4.2.1.3	<i>Resultado corrosión lámina de cobre.....</i>	50
4.2.2	<i>Presión de vapor Reid.....</i>	51
4.2.2.1	<i>Norma.....</i>	51
4.2.2.2	<i>Objeto.....</i>	51
4.2.2.3	<i>Equipos y materiales.....</i>	51
4.2.2.4	<i>Procedimiento.....</i>	51
4.2.2.5	<i>Calculo PVR a la temperatura de la cámara de aire.....</i>	54
4.2.2.6	<i>Resultados de la corrección de PVR a la temperatura de la cámara de aire de las muestras ensayadas.....</i>	55
4.2.3.	<i>Determinación de la Gravedad API de las muestras etanol-anhidro con gasolina.....</i>	55
4.2.3.1	<i>Equipos y materiales.....</i>	56
4.2.3.2	<i>Procedimiento.....</i>	56
4.2.3.3	<i>Determinación experimental de la gravedad API para las muestras etanol- anhidro con gasolina.....</i>	57
4.2.3.4	<i>Corrección de la gravedad API para las muestras etanol-anhidro con gasolina.....</i>	58
4.2.3.5	<i>Determinación de la gravedad específica de las mezclas etanol gasolina.....</i>	64
4.2.3.6	<i>Resultados.....</i>	65
4.2.4	<i>Determinación del índice de octano.....</i>	65
4.2.4.1	<i>Norma.....</i>	65
4.2.4.2	<i>Alcance.....</i>	65
4.2.4.3	<i>Equipos y materiales.....</i>	66
4.2.4.4	<i>Procedimiento.....</i>	66
4.2.4.5	<i>Resultados.....</i>	67

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1	Conclusiones.....	69
5.2	Recomendaciones.....	70

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS  
BIBLIOGRAFÍA  
LINKOGRAFÍA  
ANEXOS

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Fracciones del petróleo.....	8
2 Propiedades físico-químicas del etanol y metanol	15
3 Producción anual de etanol por país (2004-2006).....	19
4 Matriz energética de ecuador.....	19
5 Clasificación de los motores según su ciclo de trabajo.....	21
6 Datos obtenidos del proceso de destilación para las muestras planteadas.....	35
7 Datos obtenidos de las muestra patrones.....	36
8 Ensayo destilación corregido para 5% de etanol-anhidro.....	37
9 Ensayo destilación corregido para 10% de etanol-anhidro.....	38
10 Ensayo destilación corregido para 15% de etanol-anhidro.....	39
11 Ensayo destilación corregido para 20 % de etanol-anhidro.....	40
12 Ensayo destilación corregido para etanol-anhidro puro.....	41
13 Ensayo destilación corregido para gasolina pura.....	42
14 Datos para la gráfica de 5% de etanol con las muestras patrón.....	43
15 Datos para la gráfica de 10% de etanol con las muestras patrón.....	44
16 Datos para la gráfica de 15% de etanol con las muestras patrón.....	45
17 Datos para la gráfica de 20 % de etanol con las muestras patrón.....	46
18 Resultados corrosión lámina de cobre.....	50
19 Datos experimentales del pvr.....	53
20 presión de vapor de agua a temperaturas conocidas.....	54
21 Resultados de pvr.....	55
22 Gravedad api experimental.....	57
23 Corrección de densidad api de la muestra 5% etanol-anhidro.....	58
24 Corrección de densidad api de la muestra 10% etanol-anhidro.....	59
25 Corrección de densidad api de la muestra 15 % etanol-anhidro.....	60
26 Corrección de densidad api de la muestra 20 % etanol anhidro.....	61

27	Corrección de densidad api del etanol-anhidro.....	62
28	Corrección de densidad api de la gasolina ochenta octanos.....	63
29	Resultados gravedad api a 60 <sup>0</sup> f.....	64
30	Resultados gravedad específica.....	64
31	Relación grados api con gravedad específica.....	65
32	Método ron índice de octanos.....	67

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.	
1	Triangulo de la combustión.....	3
2	Clasificación de los biocarburantes alternos.....	10
3	Procedencia y aplicación del etanol en motores MACI	12
4	Procedencia y aplicación del metanol en motores MACI	12
5	Formula estructural etanol.....	13
6	Los cuatro tiempos del motor de combustión interna...	22
7	Deshidratación química del etanol.....	27
8	Comprobación de etanol 99.5% de Alc. Vol.....	28
9	Mezcla etanol anhidro con gasolina.....	28
10	Equipos para la destilación.....	33
11	Destilador ASTM con la muestra 5% etanol anhidro. ...	33
12	Probeta graduada para el ensayo de destilación.....	34
13	Final del ensayo de destilación.....	34
14	Cuantificación física de los resultados.....	35
15	Productos de la destilación.....	38
16	Comparación de las mezclas patrón y 5 % etanol.....	43
17	Comparación de las mezclas patrón y 10% etanol.....	44
18	Comparación de las mezclas patrón y 15% etanol.....	45
19	Comparación de las mezclas patrón y 20% etanol.....	46
20	Pulido lámina de cobre.....	48
21	Filtrado mezclas.....	48
22	Muestra ensayo de corrosión lámina de cobre.....	49
23	Resultado ensayo corrosión lámina de cobre.....	49
24	Estándares corrosión ASTM.....	50
25	Equipo baño maría PVR.....	51
26	Temperatura cámara de aire.....	52
27	Equipo para determinar PVR.....	52
28	Lectura del PVR.....	53
29	Determinación Grados API.....	56
30	Apreciación grados API.....	57
31	Resultados método RON.....	68

## LISTA DE ABREVIACIONES

Alc	Alcohol
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CO	Monóxido de Carbono
ETBE	Etil Terbutil Éter
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
MACI	Motor Alternativo de Combustión Interna
MTBE	Metil Terbutil Éter
PFE	Punto Final de Ebullición
PIE	Punto Inicial de Ebullición
PVR	Presión de Vapor Reíd
RON	Research Octane Number
TAME	Metil Teramil Éter
TBA	Alcohol Terbutílico
Vol	Volumen

## **LISTA DE ANEXOS**

- A** Correcciones de densidad API a 60 °F
- B** Certificado de análisis de combustibles de transferencias

## RESUMEN

Se determinó las propiedades de las mezclas etanol anhidro con gasolina de ochenta octanos en proporciones del 5%, 10%, 15% y 20%, realizando pruebas para determinar si se pueden utilizar en los motores de combustión interna de cuatro tiempos encendidos por chispa.

El trabajo se lo realizó en dos partes, la primera contiene el fundamento técnico de la combustión, combustibles, y generalidades del funcionamiento del motor de combustión interna encendido por chispa, la segunda contiene la elaboración de las mezclas al 5, 10, 15, 20 % de etanol-anhidro mezclado con gasolina de ochenta octanos las cuales fueron utilizadas para realizar los ensayos específicos para determinar las características de las mismas, pruebas que fueron efectuadas en el Terminal de Productos Limpios Riobamba.

Con los datos obtenidos de los ensayos de: Presión de vapor reíd, corrosión a lamina de cobre, destilación, índice de octanos, se logró determinar que la mezcla de gasolina de ochenta octanos con etanol anhidro al 10% es la que mejor eficiencia presenta ya que esta mejora las propiedades antidetonantes del combustible sin variar de forma significativa el resto de propiedades, a demás presenta una característica de buen arranque en frio, presión de vapor Reíd aceptable impidiendo la evaporación del combustible, baja corrosión a la lámina de cobre, con un índice de octanos de 84, por lo que se establece que esta es la mezcla que mejor se adapta a las condiciones de funcionamiento en motores de combustión interna utilizados en nuestro medio.

## ABSTRACT

Properties of the anhydro ethanol mixtures with eighty- octane gasoline in 5%, 10%, 15% and 20% proportion were determined carrying out tests to determine whether they can be used in four-time and spark-started internal combustion motors.

The work was carried out into two parts; the first one contains the technical basic of combustion, fuels and general points of spark started internal combustion motor functioning; the second one contains the elaboration of the mixtures at 5, 10, 15, and 20% anhydro-ethanol mixed with eighty-octane gasoline which were used to perform specific trials to determine their features, tests which were conducted at the Clean Product Terminal Riobamba.

With the obtained data from the trials of Reid vapor pressure, copper sheet, distillation, octane index it was possible to determine that the eighty-octane gasoline with anhydro-ethanol at 10% mixture is the one which presents the best efficiency as it improves the anti-detonation properties of the fuel without significantly changing the rest of properties, moreover, it presents the feature of a good starting in cold, acceptable Reid vapor pressure, impeding the fuel evaporation, a low corrosion to the copper sheet, with an 84-octane index; this is why it is established that this is the mixture which best adapts to the functioning conditions in internal combustion motors in our environment.

# CAPÍTULO 1

## 1. GENERALIDADES

### 1.1 Antecedentes

Sin duda el compromiso con el medio ambiente, el avance tecnológico en campo automotriz y en busca de fuentes alternativas de combustibles nos ha llevado a investigar crear, combinar, modificar los combustibles para la utilización en los vehículos provistos de un motor de combustión interna encendido por chispa, los cuales están presentes desde las ciudades más desarrolladas hasta las que van en la misma dirección, la contaminación que se genera por la combustión de los combustibles y sus aditivos nos ha llevado a investigar responsablemente sobre el gran efecto que este causa, sin marcha atrás, el implementar, combinar nuevas formas de combustibles que tengan un compromiso solidario con el medio ambiente sin dejar de lado la eficiencia, el rendimiento que hoy en día exige el fabricante de automóviles.

Si bien es cierto la utilización de etanol anhidro combinado con gasolina ya es utilizado en ciertos países, es necesario cuantificar los beneficios que este aporta en la combustión, en comparación con los anteriores aditivos presentes en los combustibles, el desarrollo de una mezcla optima que se adapte a nuestras necesidades.

### 1.2 Justificación

El siguiente trabajo va dirigido hacia la investigación del comportamiento de nuevas formas de combustibles que hoy en la actualidad se van generando en diversas partes del mundo, la importancia de este trabajo va enfocado a mejorar desde esta perspectiva la calidad del combustible, situando las diversas mezclas que se forjaran, las cuales serán probadas, expresadas y puestas a disposición de los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz, para que sean ellos quienes se interesen por mejorar y experimentar con este tipo de combustibles, ya que muy pronto esta será la alternativa del futuro, sin dejar de lado la importancia que tiene el desarrollo de nuevas formas de energía que ya se van desarrollando.

**1.2.1 Justificación técnico-económica.** El desarrollo de diversas formas de combustibles y sus posibles mejoras contribuyen sin duda a investigar y mejorar las diversas mezclas propuestas, generando en los estudiantes inquietudes que sin duda serán analizadas, con el criterio técnico el cual ha sido impartido por nuestros profesores, los estudiantes de los semestres posteriores serán los mayores críticos del trabajo expuesto.

Desde el punto de vista económico la propuesta va enfocada a mejorar los combustibles, los costos serán evaluados en función a los resultados obtenidos, pero es bueno recalcar que mientras no haya una producción masiva de etanol, el costo evidentemente será mayor los resultados serán los que nos permitan evaluar de manera precisa y eficiente si la propuesta es viable.

### **1.3 Objetivos**

**1.3.1 Objetivo general.** Determinar la eficiencia de mezclas de gasolina de ochenta octanos con etanol anhidro para su utilización en motores de combustión interna de cuatro tiempos encendidos por chispa.

#### **1.3.2 Objetivos específicos.**

- Recopilar bibliografía relacionada a los combustibles y los motores de combustión interna de cuatro tiempos encendidos por chispa.
- Preparar mezclas de gasolina de ochenta octanos con etanol anhidro al 5,10, 15 y 20 %.
- Realizar las pruebas de laboratorio de las mezclas de gasolina de ochenta octanos con etanol anhidro al 5, 10, 15, 20 %.
- Establecer y comparar los resultados de las pruebas de laboratorio con las normas INEN y ASTM para gasolinas.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

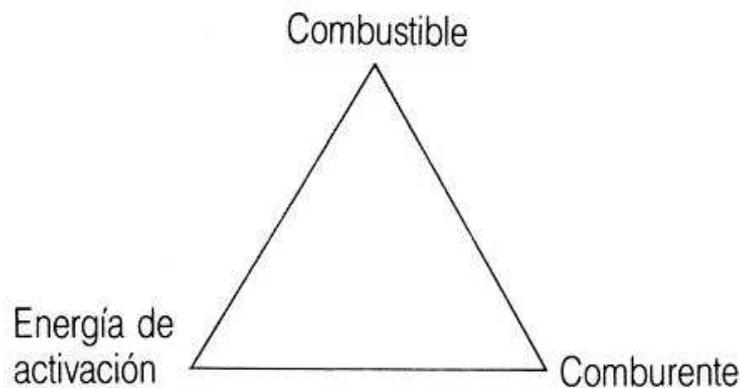
#### 2.1 Combustión [1]

La combustión es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, que se producen entre dos elementos: el combustible, que puede ser un sólido (Carbón, Madera, etc.), un líquido (Gasóleo, Fuel-Oil, etc.) o un gas (Natural, Propano, etc.) y el comburente, Oxígeno.

La combustión se distingue de otros procesos de oxidación lenta, por ser un proceso de oxidación rápida y con presencia de llama; a su vez también se diferencia de otros procesos de oxidación muy rápida (detonaciones, deflagraciones y explosiones) por obtenerse el mantenimiento de una llama estable.

Para que la combustión tenga lugar han de coexistir tres factores:

Figura 1. Triángulo de la combustión.



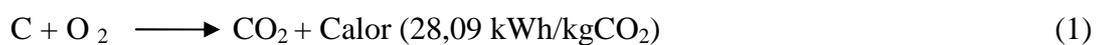
Fuente: GARCÍA, Ricardo. Teoría de la combustión.

Estos tres factores se representan en el denominado triángulo de combustión, en el cual si falta alguno de los vértices la combustión no puede llevarse a cabo.

El comburente universal es el oxígeno, por lo que en la práctica se utiliza el aire como comburente, ya que está compuesto, prácticamente, por 21% Oxígeno ( $O_2$ ) y 79% Nitrógeno ( $N_2$ ); únicamente en casos especiales se utilizan atmósferas enriquecidas en oxígeno e incluso oxígeno puro (por ejemplo en soldadura). La energía de activación es

el elemento desencadenante de la reacción de combustión; en los quemadores habitualmente suele obtenerse mediante una chispa eléctrica entre dos electrodos, en las calderas individuales de gas se obtiene por llama piloto, tren de chispas, etc. La mayoría de los combustibles, al margen de que sean sólidos, líquidos o gaseosos, están compuestos, básicamente, por Carbono e Hidrógeno (H); además de estos componentes principales tienen otros como Azufre (S), Humedad (H<sub>2</sub>O), Cenizas, etc.

En primer lugar se analiza la combustión desde el punto de vista de sus componentes fundamentales (C, H); posteriormente se comentará la influencia de los restantes elementos. Las reacciones de combustión son:



En la práctica los combustibles pueden definirse de la forma C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, dando lugar a las siguientes.

Reacciones:



**2.1.1 Estequiometría de las combustiones.** Las consideraciones siguientes se refieren al uso de aire como comburente, ya que es el utilizado en la práctica totalidad de las instalaciones de calderas.

La estequiometría de la combustión se ocupa de las relaciones másicas y volumétricas entre reactivos y productos. Los aspectos a determinar son principalmente.

- Aire necesario para la combustión
- Productos de la combustión y su composición

Para predecir estas cantidades es preciso referirse a un proceso ideal que dependa de unos pocos parámetros, básicamente la naturaleza del combustible. Para definir este proceso ideal se consideran los tipos de combustión que pueden darse:

**2.1.2 Combustión completa.** Conduce a la oxidación total de todos los elementos que constituyen el combustible. En el caso de hidrocarburos:

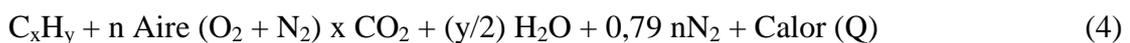
- Carbono  $\rightarrow$ CO<sub>2</sub>
- Hidrógeno  $\rightarrow$ H<sub>2</sub>O
- Azufre  $\rightarrow$  SO<sub>2</sub>
- Nitrógeno  $\rightarrow$ N<sub>2</sub>
- Oxígeno- Participará como oxidante.

El Nitrógeno se considera como masa inerte, si bien a las altas temperaturas de los humos pueden formarse óxidos de nitrógeno en pequeñas proporciones (del orden de 0,01%).

**2.1.3 Combustión incompleta.** Los componentes del combustible no se oxidan totalmente por lo que aparecen los denominados inquemados, los más importantes son CO y H<sub>2</sub>; otros posibles inquemados son carbono, restos de combustible, etc.

**2.1.4 Combustión estequiométrica.** Es la combustión completa realizada con la cantidad estricta de oxígeno; es decir, el aire empleado en la combustión es el mínimo necesario para contener la cantidad de oxígeno correspondiente a la oxidación completa de todos los componentes del combustible.

La expresión de esta combustión es:



En este caso  $0,21 \cdot n = x + (y/4)$ , siendo el calor generado es el correspondiente a la combustión completa.

La combustión estequiométrica permite definir los parámetros característicos de los combustibles:

## **2.2 Combustibles**

Combustible es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor poco a poco. Supone la liberación de una energía de su forma potencial energía química una forma utilizable sea directamente energía

térmica o energía mecánica motores térmicos dejando como residuo calor energía térmica.

Los combustibles son sustancias susceptibles de ser quemadas o que tienden a quemarse.

**2.2.1 Combustibles fósiles** [2]. Se llaman combustibles fósiles a aquellas materias primas emplea en combustión que se han formado a partir de las plantas y otros organismos vivos que existieron en tiempos remotos en la Tierra. El carbón en todas sus variedades, el petróleo y el gas natural son por distintas de presentarse estos productos.

El carbón, el lignito y la turba, por ejemplo, tienen su origen en los restos oceánicos de árboles y plantas de bosques que se hundieron en el agua de pantanos, se pudrieron como consecuencia de la acción del agua y las bacterias, se fueron cubriendo poco a poco de capas sucesivas de fangos que solidificaron y se convirtieron en rocas.

El petróleo, por su parte, procede probablemente de la composición bacteriana de restos animales y vegetales (principalmente plancton) en grasas, que existían en las proximidades de lagos y mares.

Al depositarse en el fondo de éstos, o al ser cubiertos por las aguas, lo fueron también por capas de sedimentos, descomponiéndose y dando origen a productos combustibles en estado líquido, como el petróleo o el gas natural. El carbón, el petróleo y el gas natural son compuestos orgánicos, formados fundamentalmente por hidrocarburos. A partir de ellos se obtienen otros combustibles derivados y subproductos que son luego empleados como materias primas en diversos procesos químicos orgánicos.

**2.2.2 Carbón y sus derivados.** Posiblemente el primer combustible fósil utilizado por el hombre fuera la turba, primera fase en la formación del carbón. Los yacimientos de turba se hallan en los pantanos, en zonas con unas determinadas condiciones climáticas y topográficas, ya que el suelo debe ser capaz de retener el agua en la superficie o cerca de ella, y la temperatura debe ser tal que no se produzca una evaporación y una putrefacción rápida (entre 5 y 9 °C). Por eso existen yacimientos de turba en zonas templadas del norte de Europa. Como consecuencia de la propia temperatura del interior de la Tierra y de la presión ejercida por las capas de arena y lodo acumuladas sobre la turba, primero se formó el lignito, sustancia blanda de color marrón, que es

considerada como carbón a medio formar. Posteriormente, éste se fue transformando en hulla o carbón bituminoso, que es el más abundante y utilizado en la actualidad, y finalmente la hulla se transformó en antracita, el carbón de formación más reciente. En función de las características de cada zona, evidentemente, existen yacimientos de los cuatro tipos de carbón.

Las distintas clases de carbón están formadas por carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, además de otros elementos, como por ejemplo el azufre. En las sucesivas etapas de formación de los distintos tipos de carbón, el contenido en carbono fue aumentando en detrimento de los otros componentes, desde el 50% inicial de la turba (el más antiguo) hasta casi el 95% que pueden tener algunos tipos de hulla. Cualquier compuesto que contenga más de un 95% de carbón puede considerarse carbono puro o grafito, y sólo arde a temperaturas muy elevadas, por lo que no tienen aplicación como combustible doméstico.

Como resultado de la destilación seca, o calentamiento en ausencia de aire; del carbón, surge un residuo, el coque que también tiene gran utilidad como combustible y como agente reductor. Además, se obtienen otros combustibles como el gas ciudad, el gas de alumbrado y el alquitrán de hulla: Este último contiene grandes cantidades de compuestos aromáticos, como el tolueno, xileno, naftaleno y otros, que se pueden separar por destilación fraccionada y se emplean como materias primas en la fabricación de explosivos o en la industria farmacéutica.

También es posible generar derivados del carbón mediante la hidrogenación, es decir, el tratamiento de la hulla en polvo con gas hidrógeno a altas temperaturas y presiones, hasta obtener un tipo de aceite que es de nuevo sometido a un proceso con hidrógeno, como consecuencia del cual se transforma en gasolina y gasoil, y produce, además, amoníaco y una gran cantidad de hidrocarburos ligeros.

**2.2.3 Gas natural y sus derivados.** El gas natural se halla en yacimientos aislados y, en ocasiones, junto al petróleo. Contiene volátiles de bajo peso molecular (hasta ocho átomos de carbono) y, en líneas generales tiene la siguiente composición: metano: 80%; etano: 13%; propano: 3%; butano: 1 %; alcanos C5 a C8: 0,5%; nitrógeno: 2,5%; CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, He: el resto. De esa mezcla de gases se suelen separar, por licuación, los hidrocarburos de tres carbonos en adelante, que son envasados a presión y empleados como combustible, como el propano o el butano. La fracción gaseosa del metano y el

etano es distribuida a través de gasoductos y es lo que se conoce en la práctica como el gas natural, utilizado, por ejemplo, en las calefacciones.

**2.2.4 El petróleo y sus derivados.** El petróleo se encuentra en yacimientos dispersos por numerosos puntos de la corteza terrestre, trata de un líquido espeso; compuesto por una gran cantidad de hidrocarburos, la mayor parte de ellos alifáticos de cadena abierta, aunque en algunas son básicamente hidrocarburos cíclicos y aromáticos. En muchas ocasiones aparecen a grandes bolsas de gas natural que aún no se ha disuelto en el petróleo. Recién traído del yacimiento, el petróleo crudo no tiene aplicación comercial, por lo que es necesario someterlo a un proceso de destilación fraccionada en refinerías, para separar en distintas partes en función de su punto de ebullición. De las diversas fracciones de petróleo, las que tienen aplicación como combustible son las siguientes:

Tabla 1. Fracciones del petróleo

Fracción	N. Carbonos	Aplicación
Gases	< 30	Combustible, Gasolina de Polimerización, Negro de Humo
Gasolina	40-200	Combustibles para motores y disolventes
Queroseno	175-300	Combustible, alumbrado
Gasoil	250-400	Combustible motores Diesel, gasolina por craqueo
Coque de petróleo	- -	Combustible, reductor, fabricación de electrodos

Fuente: [www.portalplanetasedna.com.ar/combustibles.htm](http://www.portalplanetasedna.com.ar/combustibles.htm)

**2.2.4.1 Gasolina.** La gran demanda de gasolina para automoción determina su obtención, además de por fracción directa de la destilación del petróleo, por craqueo de otras fracciones más ligeras de éste, como el gasoil. El craqueo consiste básicamente en el rompimiento de las cadenas más largas de hidrocarburos; en este proceso se generan también grandes cantidades de hidrocarburos no saturados, que contribuyen a la mejora de la calidad de las gasolinas y, además, son materias primas en distintos procesos químicos. El craqueo se puede producir por métodos térmicos, sometiendo las fracciones superiores del petróleo a una temperatura de 400-450 °C y una presión elevada de 20 a 70 atmósferas durante un tiempo breve, o bien por métodos catalíticos,

empleando catalizadores específicos, como arcillas, para favorecer el rompimiento; se obtiene así gasolina de mejor calidad que por el método térmico.

No todas las gasolinas provocan el mismo efecto de combustión en el motor de un vehículo, ya que depende del Índice de octano. Así, Comparando la detonación que experimenta una gasolina con la de una mezcla patrón formada por heptano normal (que es el alcano que más detona y al que se le asigna un índice de octano cero) y por 2, 2,4 trimetilpentano o iso- octano (que es el que menos detona y se le asigna un índice de octano 100), se puede establecer el grado de detonación de una gasolina. Se ha demostrado que los hidrocarburos de cadena lineal poseen un índice de octano más bajo que los no saturados y los de cadena ramificada, por lo que, para mejorar el rendimiento de una gasolina, se trata de elevar el índice de octano, sometiénola a un nuevo proceso de craqueo, llamado reformado, que consigue transformar las cadenas lineales en ramificadas. Además, se agregan aditivos como ciertos compuestos de plomo, que hacen que la gasolina adquiera un índice de octano próximo a 100, e incluso superiores para el combustible empleado en los aviones.

**2.2.5 Combustibles alternativos.** Los combustibles alternativos son carburantes pensados para sustituir a los combustibles fósiles o derivados del petróleo. Petróleo que es cada vez más escaso y, por tanto, también más cara su obtención, a la vez que muy contaminante.

Los combustibles alternativos deben ser más económicos y ecológicos que los tradicionales y aunque aún no han alcanzado la potencia de los combustibles tradicionales, es una tecnología todavía en desarrollo y podrían alcanzar en un futuro cercano una mayor eficiencia e incluso superar a la de los derivados del petróleo.

**2.2.6 Biocarburantes [3].** Los biocarburantes, también denominados biocombustibles líquidos, son productos obtenidos a partir de materias primas de origen agrícola. Estos cultivos que están destinados a la producción de biomasa con fines energéticos se pueden clasificar en tres tipos dependiendo del destino final de la biomasa:

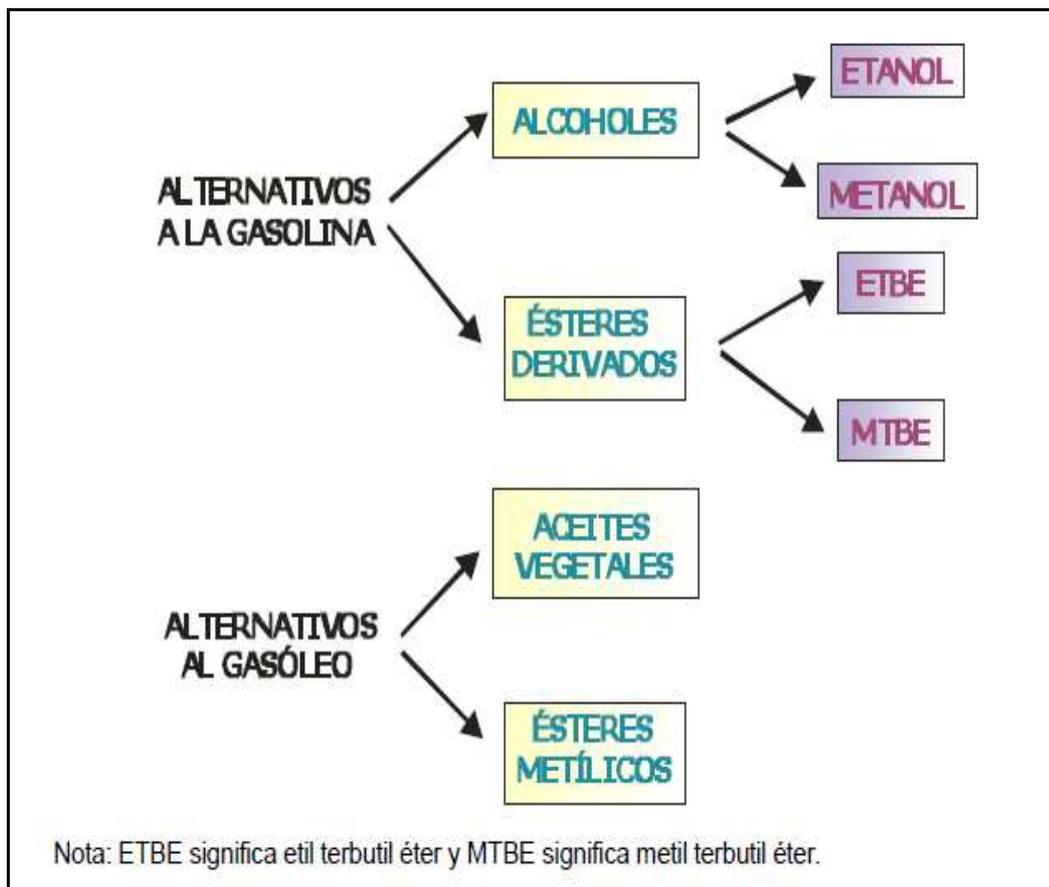
*Oleaginosos:* se emplea en la producción de aceite para ser quemado directamente o para ser transformado en biodiesel, el cual será quemado para sustituir parcial o totalmente a la gasolina.

*Alcoholígenos:* se suelen utilizar para la producción de alcoholes con el fin de sustituir parcialmente a la gasolina o totalmente, así como para producir componentes antidetonantes sustitutivos del plomo como el ETBE.

*Lignocelulósicos:* se utilizan con fines térmicos para la producción de biocombustibles sólidos.

Los biocarburantes se pueden distinguir según sean alternativos a la gasolina o al gasóleo, tal y como se esquematiza en la figura

Figura 2. Clasificación de los biocarburantes alternos.



Fuente: MARTIN, Francisca.

**2.2.7 Biodiesel** [4]. El biodiesel es un combustible producido a partir de aceites vegetales, grasas animales y sus esteres metílicos que se puede utilizar en cualquier motor diesel. Químicamente el biodiesel está formado por esteres de alquilo, de metilo y de etilo.

Según la ASTM (American Society for Testing and Materials) el biodiesel es “el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como

por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel”. Los aceites probados y utilizados para biodiesel son básicamente aquellos que abundan en cada una de las zonas que desarrollan este biocombustible. Por ejemplo: en Estados Unidos el aceite de Soja es el que más se utiliza, en Europa el de colza y girasol, en los países de clima de tropical, se está investigando el de aceite de palma y el de coco.

*Composición:* Los aceites vegetales (oliva, girasol, colza, palma, etc.) están formados por moléculas de triglicéridos de ácidos grasos (entre 14 y 22 carbonos), mono y triglicéridos, en una pequeña proporción, y algunos elementos que se eliminan en el proceso de refinamiento. La composición del biodiesel puede variar en función de su procedencia, pero se acepta en promedio la siguiente:  $C_{18,7} H_{34,9} O_2$ . Esta mezcla de ésteres, a pesar de no tener una composición química similar a la de los gasóleos (que son hidrocarburos saturados) por contener oxígeno, tiene unas propiedades físicas muy similares, lo que hizo pensar que podría utilizarse como sustituto de aquellos, como combustible e incluso como carburante en motores diesel.

**2.2.8 Alcoholes.** El metanol y el etanol son los principales alcoholes aplicables a motores de combustión interna. En algunos países se han experimentado y planteado otro tipo de alcoholes, como el isobutanol, el glicol, el n-butanol y el alcohol terbutílico, que su incidencia real ha sido poco significativa, además de ser de origen petroquímico. Parece ser que el dimetil éter, que es gaseoso, está siendo estudiado como posible carburante por algunos países.

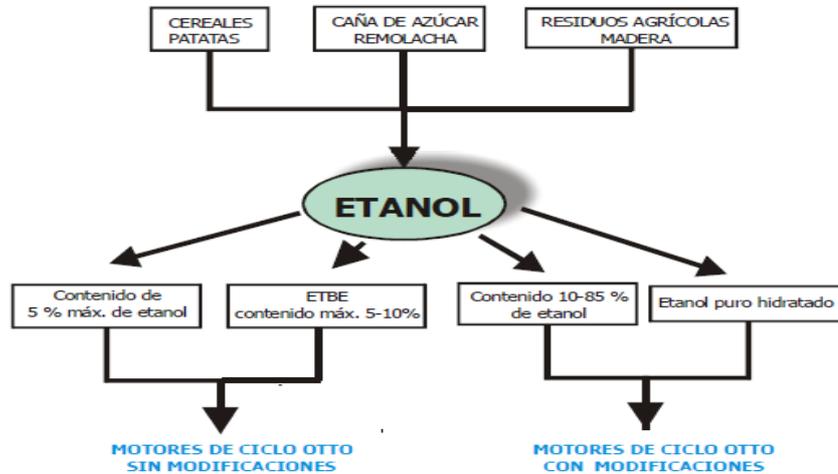
Hay tres razones fundamentales para explicar el predominio de los alcoholes con uno o dos átomos de carbono:

- La fabricación y la inflamabilidad son conocidas desde la antigüedad.
- Son líquidos a la temperatura ambiente, su volatilidad es razonable y sus cualidades como combustibles son buenas.
- Se pueden obtener fácilmente de la fermentación y/o destilación de productos orgánicos.

Debido a las excelentes características del etanol derivado de materia vegetal, conocido como bioetanol, se profundizará más en éste último.

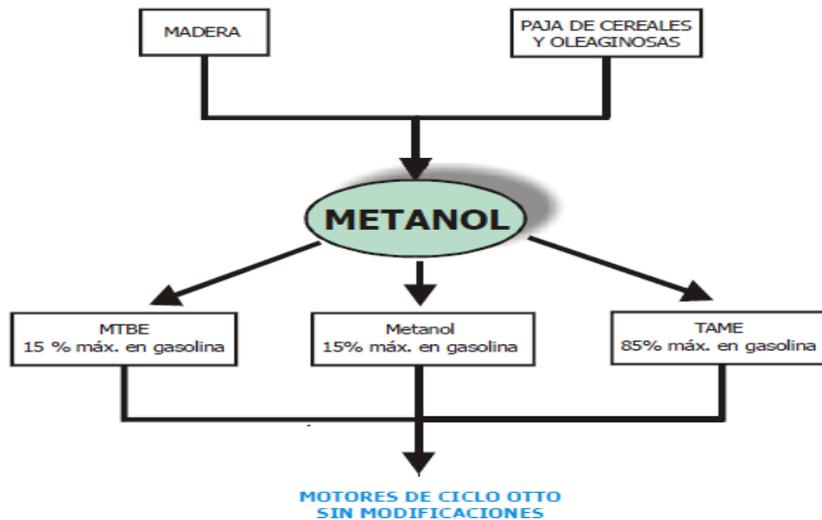
A modo visual, antes de empezar la descripción detallada de cada combustible, se muestra en las Figuras 3 y 4.

Figura 3. Procedencia y aplicación del etanol en motores MACI



Fuente: MARTIN, Francisca. Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales

Figura 4. Procedencia y aplicación del metanol en motores MACI



Fuente: MARTIN, Francisca. Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales

Los alcoholes contienen una cadena de hidrocarburo con un radical OH unido a un átomo de carbono. En cambio los ésteres son productos orgánicos derivados de los alcoholes, los cuales contienen un átomo de oxígeno en vez de un radical OH.

Los principales productos posibles clasificables como “oxigenados”, que son líquidos a temperatura ambiente son:

- El metanol:  $\text{CH}_3\text{-OH}$  y el etanol:  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$

- Otros alcoholes simples
- El alcohol terbutílico (TBA)
- Los ésteres: etil terbutil éter (ETBE), metil terbutil éter (MTBE) o el metil teramil éter (TAME).

La mezcla de los diferentes alcoholes pueden obtenerse a partir de gas de síntesis, que se obtiene de reformado con vapor del gas natural, de una oxidación parcial de una mezcla de hidrocarburos o a partir de la gasificación de carbón o de madera.

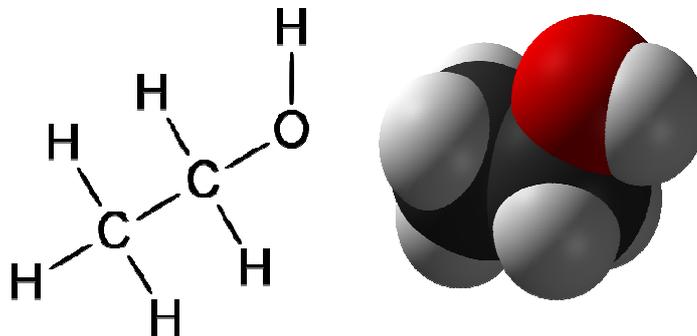
El metanol y el etanol son los únicos que pueden ser obtenidos a partir de la biomasa, los demás compuestos se obtienen de procesos petroquímicos a partir de destilación del petróleo o a partir de gas de síntesis de carbón o gas natural.

**2.2.8.1 Etanol.** El compuesto químico etanol, conocido como alcohol etílico, es un alcohol que se presenta en condiciones normales de presión y temperatura como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C.

Mezclable con agua en cualquier proporción; a la concentración de 95% en peso se forma una mezcla azeotrópica.

Su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ), principal producto de las bebidas alcohólicas como el vino (alrededor de un 13%), la cerveza (5%) o licores (hasta un 50%).

Figura 5. Formula estructural etanol.



Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol\\_\(combustible\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Etanol_(combustible))

El etanol es un compuesto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que puede utilizarse como combustible, solo, o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina, y su uso se ha extendido principalmente para reemplazar el consumo de derivados del petróleo.

**2.2.8.2 Metanol.** El metanol es utilizado como combustible, principalmente al juntarlo con la gasolina. Sin embargo, ha recibido menos atención que el etanol (combustible) porque tiene algunos inconvenientes. Su principal ventaja es que puede ser fabricado fácilmente a partir del metano (el principal componente del gas natural) así como por la pirólisis de muchos materiales orgánicos. El problema de la pirolisis es que solamente es económicamente factible a escala industrial, así que no es recomendable producir el metanol a partir de recursos renovables como la madera a pequeña escala (uso personal). En cualquier caso, el proceso alcanza temperaturas muy elevadas, con cierto riesgo de incendio; además, el metanol es altamente tóxico, así que se debe tener siempre especial cuidado de no ingerirlo, derramarlo sobre piel desnuda o inhalar los humos.

**2.2.8.3 Propiedades de los alcoholes.** El metanol es una molécula de pequeño tamaño, constituido por el 50% de su peso molecular de oxígeno y forma un grupo hidroxilo que, en comparación con los demás hidrocarburos, hace que sea una molécula fuertemente polar. Estos factores causan las importantes diferencias entre las propiedades del metanol comparándolo con los carburantes convencionales. El etanol es más parecido a un hidrocarburo, ya que tiene un enlace carbono-carbono.

La descripción de cada una de las propiedades nos ayuda a conocer su fórmula química, que ayuda a diferenciar a que tipo pertenece, su densidad para posteriores cálculos su temperatura de ebullición, la presión de vapor Reíd para determinar de mejor manera su almacenamiento y transporte.

A continuación en la Tabla 2 Se muestran las características físicas y químicas más significativas del etanol y el metanol:

Características que nos permiten conocer detalladamente su comportamiento en ciertas condiciones que son indispensables para el manejo adecuado de estos alcoholes y además nos permiten comparar a cada uno de ellos.

Tabla 2. Propiedades físico-químicas del etanol y metanol

Propiedad	Unidad	Metanol	Etanol (anhidro)
Formula Química		CH <sub>4</sub> OH	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
Densidad (liquido a 15°C)	Kg/dm <sup>3</sup>	0,796	0,794
Temperatura de ebullición	°C	64,7	78,3
Presión de vapor Reíd (37,8°C)	Kpa	32	16
Calor latente de Vaporización	KJ/Kg	1.100	854
Poder calorífico inferior másico	KJ/Kg	19.937	26.805
Poder calorífico inferior volumétrico	KJ/dm <sup>3</sup>	15.870	21.285
Número de octanos Research	RON	120	120
Número de octanos motor	MON	87	87
Número de cetano	NC	0-(-3)	5
Número de metano	NM	70	70

Fuente: Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales.

**2.2.9 Principales propiedades de los combustibles líquidos.** Las principales propiedades de los combustibles líquidos y principalmente de la gasolina se centran en las cuatro que se describen a continuación:

- **Número de octano:** es la principal propiedad ya que está altamente relacionada con el rendimiento del motor del vehículo. Es la medida de su calidad antidetonante, es decir habilidad para quemarse sin causar detonación. La gasolina tiene un número de octano entre 90 y 100 dependiendo del tipo de gasolina
- **Curva de destilación:** esta propiedad se relaciona con la composición de la gasolina, su volatilidad y su presión de vapor. Por lo tanto se considera que a un 10% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 70°C, se asegura la presencia de componentes volátiles para un fácil arranque en frío. A un 50% de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 140°C, se asegura

una volatilidad correcta y una máxima potencia durante la aceleración del motor. A un 90% y al punto final de destilación, con una temperatura de ebullición inferior a 190°C y 225°C respectivamente, se evitan tanto depósitos en el motor como dilución del aceite y se proporciona un buen rendimiento del combustible.

- Volatilidad: la gasolina es muy volátil. Esta propiedad representa de forma indirecta el contenido de los componentes volátiles que brindan la seguridad, en este caso de la gasolina, en su transporte y almacenamiento. Esta propiedad de la gasolina se mide como la presión de vapor la cual tiene un valor de 0.7-0.85 mmHg.
- Contenido de azufre.- Se relaciona con la cantidad de azufre presente en el producto. Si esta cantidad sobrepasa la norma establecida, la gasolina puede tener efectos corrosivos sobre las partes metálicas del motor y de los tubos de escape. También se relaciona con efectos nocivos sobre el ambiente, siendo un factor importante en la producción de lluvia ácida.

Además de ser un líquido fácilmente inflamable, incoloro, de una densidad relativa de 0.7 a 0.77 menor a la del agua, posee un gran poder antidetonante, medido por el índice de octano.

La gasolina se caracteriza por proporcionar al motor del vehículo un arranque fácil en frío, una potencia máxima durante la aceleración, la no dilución del aceite y un funcionamiento normal y silencioso bajo las condiciones de funcionamiento del motor. Esto es debido a sus buenas propiedades de octanaje y volatilidad.

Actualmente existen diversos tipos de gasolinas, en función del número de octanos, por lo tanto debe de usarse aquella que sea apropiada al motor del vehículo, en función de su relación de compresión, ya que cuanto mayor sea la relación de compresión del motor, mayor tiene que ser el octanaje de la gasolina. En el caso de utilizarse una gasolina de menor número de octanaje que el adecuado, se produce un fenómeno denominado detonación o pre-encendido (expansión muy brusca y descontrolada)

## 2.3 Mezclas etanol-gasolina

El combustible resultante de la mezcla de etanol y gasolina se conoce como gasohol oalconafta.

El etanol también se utiliza cada vez más como añadido para oxigenar la gasolina estándar, reemplazando al éter metil tert-butílico (MTBE). Este último es responsable de una considerable contaminación del suelo y del agua subterránea. También puede utilizarse como combustible en las celdas de combustible.

Para la producción de etanol en el mundo se utiliza mayormente como fuente biomasa. Este etanol es denominado por su origen bioetanol.

**2.3.1 Mezclas gasolina etanol para la utilización en motores de cuatro tiempos encendidos por chispa.** Gasohol oalconafta es la mezcla de gasolina y alcohol en distintas proporciones, para uso como combustible en motores de explosión diseñados para quemar derivados del petróleo.

La mezcla del gasohol puede ser realizada con alcohol etílico (etanol) o con alcohol metílico (metanol), aunque el etanol es el tipo de alcohol que ha sido más utilizado comercialmente. El metanol ha sido utilizado en forma más limitada debido a que es tóxico. El uso más común del término gasohol se refiere a la mezcla con el 10 por ciento de alcohol, pero también se utiliza en general para referirse a las mezclas con bajos contenidos de alcohol, usualmente inferiores al 25 % de alcohol. Las mezclas que contienen un alto porcentaje de alcohol requieren que el motor, el sistema de inyección y otros sistemas del vehículo sean adaptados a las propiedades químicas del alcohol, con mayor atención a sus propiedades corrosivas.

La proporción entre ambos combustibles se suele indicar con el porcentaje de etanol precedido por una E mayúscula. De esta manera, el gasohol E10 se compone de un 10 % de etanol y un 90 % de gasolina, y el E85 se obtiene mezclando el 85 % de etanol y el 15 % de gasolina. En 2011 más de veinte países alrededor del mundo utilizan gasohol E10 o mezclas de menor contenido de etanol. En 2010, casi el 10% de la gasolina vendida en Estados Unidos fue mezclada con etanol. Los vehículos de combustible flexible en Estados Unidos y Europa utilizan E85, mientras que los carros flex en Brasil usan E100 o etanol puro.

Una nomenclatura similar se utiliza con el gasohol producido con metanol. El porcentaje de metanol es precedido por una M mayúscula. Así, M85 es un combustible compuesto de 85 % de metanol y un 15 % de gasolina. Los primeros vehículos de combustible flexible fabricados en Estados Unidos utilizaban M85. [5]

El E10 es una mezcla del 10 % de etanol y el 90 % de gasolina que puede usarse en los motores de la mayoría de automóviles modernos sin producir daños en ellos, si bien no se conoce el efecto exacto sobre los motores más antiguos. Son parecidas las mezclas E5 y E7, con el 5 y el 7 % de etanol, respectivamente.

El E10 es ampliamente utilizado en el medio oeste de Estados Unidos y su uso es obligatorio en diez estados, incluyendo Florida, donde la medida entró en vigencia en 2010. El gasohol está disponible para la venta en otros estados como una opción, y es utilizada en varios estados en mezclas más bajas, incluyendo California, como oxigenante en sustitución del aditivo MTBE, el cual está siendo desfasado al haberse descubierto problemas de contaminación de los mantos de agua subterráneos. [6]

**2.3.2 Producción y uso del etanol como combustible.** En 2006 la producción mundial total de etanol en todos sus grados fue de 51,06 mil millones de litros (13,49 mil millones de galones internacionales). Los dos principales productores mundiales son Estados Unidos y Brasil, que juntos producen el 70% del total de etanol, seguidos por China, India y Francia. [7] Incentivos del mercado han provocado el desarrollo de crecientes industrias en países como Tailandia, Filipinas, Guatemala, Colombia y República Dominicana. [8]

**2.3.3 Agroenergía y los biocombustible en las Américas** [9]. Ecuador cuenta con importantes recursos energéticos renovables y no renovables, entre los que destacan el petróleo, por ser la principal fuente de ingresos de divisas del país, y las energías solar, hidráulica y la bioenergía, por el potencial que presentan.

La demanda energética del Ecuador es suplida principalmente por hidrocarburos. Otras fuentes energéticas como la hidroenergía, la leña y los productos de caña, participan en la matriz energética en porcentajes muy inferiores.

La siguiente Tabla muestra la producción de etanol entre 2004 y 2006 para los quince mayores productores mundiales.

Tabla 3. Producción anual de etanol por país (2004-2006)

Producción anual de etanol por país (2004-2006) Quince mayores países productores (millones de galones internacionales, todos los grados de etanol)				
clasificación mundial	País	2006	2005	2004
1	Estados Unidos	4.855	4.264	3.535
2	Brasil	4.491	4.227	3.989
3	China	1.017	1.004	964
4	India	502	449	462
5	Francia	251	240	219
6	Alemania	202	114	71
7	Rusia	171	198	198
8	Canada	153	61	61
9	España	122	93	79
10	Sudafrica	102	103	110
11	Tailandia	93	79	74
12	Reino Unido	74	92	106
13	Ucrania	71	65	66
14	Polonia	66	58	53
15	Arabia Saudita	52	32	79
producción mundial total	Total	13.489	12.15	10.77

Fuente: Industry Statistics: Annual World Ethanol Production by Country

En la siguiente tabla se detalla las principales fuentes energéticas con las cuenta el Ecuador.

Tabla 4. Matriz energética de Ecuador

Matriz energética de Ecuador	
Fuente energética	Porcentaje
Petróleo	83%
Gas natural	4%
Hidroenergía	7%
Leña	3%
productos de caña	3%

Fuente: *OLADE (citada por acción ecológica)*

La producción de biocombustibles en Ecuador es mínima en relación con países como Brasil. En el 2005, la superficie sembrada de caña de azúcar fue de 135.000 hectáreas, de las cuales, 75.000 estaban destinadas a la producción de azúcar, 50.000 a la producción de panela y aguardiente y 10.000 a la producción de etanol (100.000 litros/día). La producción de palma aceitera (principal materia prima para la elaboración de biodiesel) tiene lugar en 11 de las 22 provincias del Ecuador. Al momento, se obtienen 350.000 toneladas de aceite de 207.000 hectáreas de palma, se consumen 200.000 toneladas de aceite y se exportan 150.000 toneladas de aceite excedente.

La existencia de una importante cantidad de tierras aptas para los cultivos energéticos es la principal fortaleza del Ecuador. Según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, solo para el cultivo de caña de azúcar se dispone de 675.932 hectáreas potenciales.

**2.3.3.1 Marco regulador para la mezcla de etanol y gasolina.** En Ecuador no existe un marco regulador para la mezcla de etanol con gasolina; sin embargo, dentro del plan de trabajo del Comité Técnico del Consejo Consultivo de Biocombustibles se ha establecido, como actividad, la realización de un estudio que ayude a establecer dicha normativa.

Actualmente se dispone de algunas recomendaciones técnicas emitidas por el Ministerio de Energía y Minas que han servido de base para establecer la propuesta para la ejecución del “Plan piloto de formulación y uso de gasolina con etanol anhidro en la ciudad de Guayaquil”, que está diseñado para facilitar la preparación de 5000 galones diarios de “gasolina extra” con etanol (mezcla 95% gasolinas + 5% etanol anhidro) y su comercialización en el área urbana de la ciudad de Guayaquil.

**2.3.4 Motor de combustión interna de cuatro tiempos encendido por chispa.**

**2.3.4.1 Generalidades.** A los motores de combustión interna también se le llama motores de explosión. Este nombre fue asignado debido a que el combustible se quema en el interior del motor.

El motor de explosión o motor a pistón es una máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. Los motores de combustión interna y sus tipos principales son:

- *Motor de explosión Ciclo Otto*: Cuyo nombre proviene del técnico que lo invento, Nikolaus August Otto, y este es motor convencional gasolina.
- *Motor diesel*: Recibe este nombre por el ingeniero alemán Rudolf Diesel funciona con un principio diferente y suele consumir diesel en su combustión.

Los motores alternativos según su ciclo pueden clasificarse en

- *Motores de dos tiempos (2T)*. Son aquellos que efectúan una carrera útil en cada giro.
- *Motores de cuatro tiempos (4T)*. Son aquellos que efectúan una carrera útil de trabajo cada dos giros

Es importante resaltar que los motores de cuatro tiempos y dos tiempos existen tanto a gasolina como a diesel.

Las aplicaciones de los motores de cuatro y dos tiempos son varias, podemos enunciar las más importantes

Tabla 5. Clasificación de los motores según su ciclo de trabajo

TIPOS DE MOTORES	APLICACIÓN
<b>Motores de 2 tiempos Gasolina</b>	motocicletas motores ultraligeros motores marinos fuera de borda
<b>Motores de 4 tiempos Gasolina</b>	motocicletas toda cilindrada Automóviles aviación deportiva motores marinos fuera de borda
<b>Motores de 2 tiempos Diesel</b>	aplicaciones navales de gran potencia tracción ferroviaria Aviación con cierto éxito.
<b>Motores de 4 tiempos Diesel</b>	Transporte terrestre automóviles aplicaciones navales hasta cierta potencia inicios en la aviación deportiva

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna)

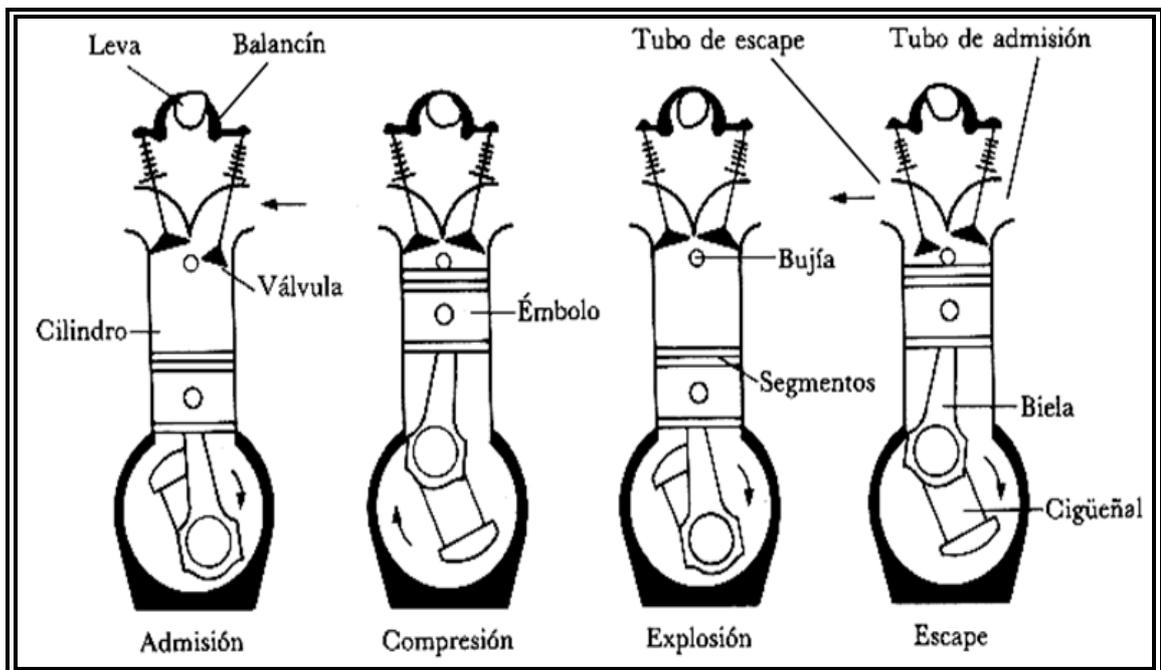
**2.3.5 Estructura y funcionamiento.** Los motores del tipo Otto y Diesel tiene los mismos elementos principales siendo estos: bloque, cigüeñal, biela, pistón, culata, válvulas.

Y también presentan cada uno de ellos elementos específicos como es el caso del motor tipo diesel la bomba inyección de alta presión, y antiguamente el carburador en los del tipo Otto.

Para este estudio se detallará principalmente el funcionamiento del motor tipo Otto.

El motor de combustión interna trabaja en cuatro tiempos que son admisión, la compresión, la explosión y el escape.

Figura 6. Los cuatro tiempos del motor de combustión interna.



Fuente: CHOW, Susana. Petroquímica y sociedad

En el primer tiempo o admisión, el cigüeñal arrastra hacia abajo el émbolo, aspirando en el cilindro la mezcla carburante que está formada por gasolina y aire procedente del carburador.

En el segundo tiempo se efectúa la compresión. El cigüeñal hace subir el émbolo, el cual comprime fuertemente la mezcla carburante en la cámara de combustión.

En el tercer tiempo, se efectúa la explosión cuando la chispa que salta entre los electrodos de la bujía inflama la mezcla, produciéndose una violenta dilatación de los gases de combustión que se expanden y empujan el émbolo, el cual produce trabajo mecánico al mover el cigüeñal, que a su vez mueve las llantas del coche y lo hace avanzar.

Por último, en el cuarto tiempo, los gases de combustión se escapan cuando el émbolo vuelve a subir y los expulsa hacia el exterior, saliendo por el escape del automóvil.

Naturalmente que la apertura de las válvulas de admisión y de escape, así como la producción de la chispa en la cámara de combustión, se obtienen mediante mecanismos sincronizados en el cigüeñal.

De acuerdo a la descripción anterior, comprendemos que si la explosión dentro del cilindro no es suave y genera un tirón irregular, la fuerza explosiva golpea al émbolo demasiado rápido, cuando aún está bajando en el cilindro.

Este efecto de fuerzas intempestivas sacude fuertemente la máquina y puede llegar a destruirla. Cuando esto sucede se dice que el motor está “detonando” o “cascabeleando”, efecto que se hace más notorio al subir alguna pendiente.

Indudablemente que este fenómeno también se observa cuando el automóvil está mal carburado, o sea que no tiene bien regulada la cantidad de aire que se mezcla con la gasolina.

Sin embargo, cuando éste no es el caso, el cascabeleo se deberá al tipo de gasolina que se está usando, la cual a su vez depende de los compuestos y los aditivos que la constituyen, o sea de su octanaje.

El motor convencional del tipo Otto es de cuatro tiempos (4T). El rendimiento térmico de los motores Otto modernos se ve limitado por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración.

La termodinámica nos dice que el rendimiento de un motor alternativo depende en primera aproximación del grado de compresión. Esta relación suele ser de 8 a 1 o 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la

utilización de combustibles de alto índice de octano para evitar el fenómeno de la detonación, que puede producir graves daños en el motor. La eficiencia o rendimiento medio de un buen motor Otto es de un 20 a un 25%: sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica.[10]

**2.3.6** *Potencia indicada del motor de combustión interna.* La potencia mecánica se define como el trabajo efectuado en una unidad de tiempo.

En los motores de combustión interna se distingue entre dos clases de potencia

- *Potencia indicada (potencia interna).* Es la potencia que genera el motor con la combustión.
- *Potencia efectiva (potencia útil).* Es la que llega al volante de impulsión deducidas las pérdidas (rozamiento, accionamiento de auxiliares como la bomba de aceite, la distribución de válvulas) sin duda la potencia efectiva útil es 10% menor que la indicada .

La potencia de los motores, en condiciones normales se determina con todos sus mecanismos auxiliares.

La potencia efectiva se determina con frenos de torbellino de agua, frenos eléctricos, o de corrientes parasitarias.

**2.3.7** *Rendimiento en la transformación de la energía* [11]. Energía es el trabajo acumulado (absorbido) por un cuerpo, se distingue entre energía potencial y energía cinética.

- *Energía potencial.* Es la denominada energía de posición. Depende de la elevación (sobre el nivel del mar) o de la elasticidad de un cuerpo (muelle tensionado).
- *Energía cinética.* Es la denominada energía del movimiento. Un cuerpo que se encuentra en movimiento tiene siempre una capacidad de trabajo determinada (como por ejemplo el golpe de un martillo o una corriente de agua)
- *Ley de la conservación de la energía (Robert Mayer).* En todos los procesos de la naturaleza y dispositivos mecánicos, la energía no puede crearse ni destruirse, sino simplemente modificarse.

Todos los dispositivos que convierten en otra la energía que reciben, se denominan maquinas. Igualmente, los motores Otto y Diesel (motores de combustión interna) son convertidores de energía. La energía química contenida en el combustible se convierte por la combustión en energía calorífica y finalmente en energía mecánica.

Energía química en forma de combustible  $\Rightarrow$  Energía calorífica en forma de gases calientes  $\Rightarrow$  Energía mecánica en forma de movimiento del pistón

Por esta razón los motores de combustión también se llaman máquinas térmicas no existe ningún dispositivo (o maquina) que convierta al cien por ciento en la forma deseada (energía aprovechable) la energía que se recibe.

La cantidad de energía convertida en alguna forma distinta a la deseada, se denomina Pérdida de energía.

En los motores de combustión interna se presentan las siguientes pérdidas:

- Pérdidas en energía química.

Combustión incompleta del combustible, Pérdida del mismo con los gases de escape.

- Pérdida de energía calorífica.

Cesión de calor al sistema de refrigeración, radiación y temperatura de los gases de escape.

- Pérdida de energía mecánica.

Rozamiento, accionamiento de auxiliares (distribución del motor, bomba de aceite, alternador)

La relación entre la energía aprovechada (energía útil) y la recibida se denomina rendimiento.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Energía Aprovechada}}{\text{Energía Recibida}} \quad (5)$$

Se puede definir como rendimiento útil (rendimiento económico)

$$\text{Rendimiento util} = \frac{\text{Energia mecanica Aprovechada.}}{\text{Energia quimica Recibida o suministrada}} \quad (6)$$

El rendimiento útil sirve para comprobar el rendimiento general del motor.

Rendimiento mecánico.

$$\text{Rendimiento mecanico} = \frac{\text{Energia (aprovechable) } P_e}{\text{Energia suministrada al piston } P_i} \quad (7)$$

Donde

$P_e$  = potencia efectiva (potencia útil) [KW]

$P_i$  = Potencia interna [KW].

## CAPÍTULO III

### 3. ELABORACIÓN Y PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS DE GASOLINA DE OCHENTA OCTANOS CON ETANOL ANHIDRO.

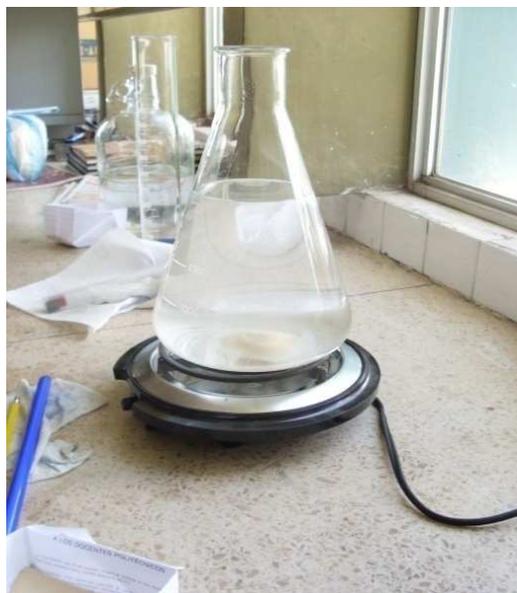
#### 3.1 Preparación mezcla 5% etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos

Para la preparación de las mezclas se necesito los siguientes equipos y materiales. Alcohol potable (alcohol etílico.) con un 96% de Alc. Vol. Medidos inicialmente.

- Gasolina comercial de tipo extra de ochenta octanos.
- Matraz 2000ml.
- Probeta 500ml.
- Alcoholímetro

**3.1.1 Procedimiento.** Previamente realizado el proceso de deshidratación química de etanol para la obtención de etanol anhidro 100% de Alc. Vol. Para ser mezclado con gasolina

Figura 7. Deshidratación química del etanol



Fuente: Autor

- Realizada la deshidratación química comprobamos el % de Alc. Vol. Dando como resultado 99.5% de Alc. Vol.

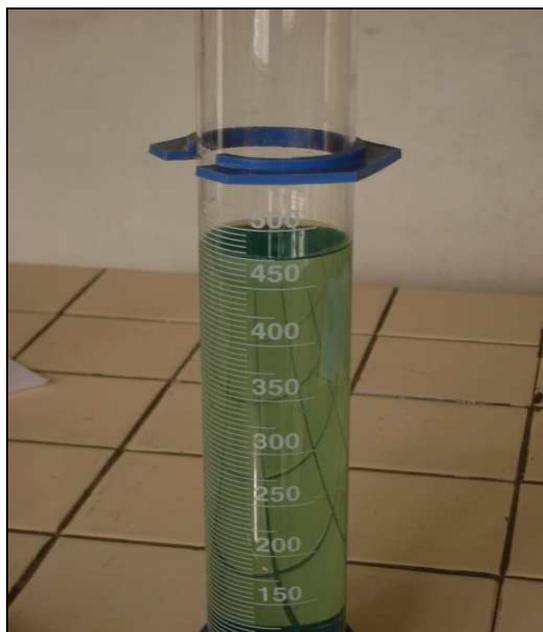
Figura 8. Comprobación de etanol 99.5% de Alc. Vol.



Fuente: Autor

- La cantidad requerida para la elaboración de la mezcla al 5% de etanol se basa en volumen total del combustible es  $4000\text{cm}^3$  es decir  $200\text{cm}^3$  que corresponde al 5% del volumen total.
- Una vez mezclado  $3800\text{cm}^3$  de gasolina de ochenta octanos con el  $200\text{cm}^3$  de etanol anhidro, la mezcla es colocada en un envase de vidrio para su utilización en los diversos ensayos a realizarse.

Figura 9. Mezcla etanol anhidro con gasolina



Fuente: Autor.

### **3.2 Preparación mezcla 10% etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos**

Para la preparación de las mezclas se necesitan los siguientes equipos y materiales. Alcohol potable (alcohol etílico.) con un 96% de Alc. Vol. Medidos inicialmente.

- Gasolina comercial de tipo extra de ochenta octanos.
- Matraz 2000ml.
- Probeta 500ml.
- Alcohómetro

**3.2.1 Procedimiento.** Previamente realizado el proceso de deshidratación química de etanol para la obtención de etanol anhidro 100% de Alc. Vol. Para ser mezclado con gasolina

- Realizada la deshidratación química comprobamos el % de Alc. Vol. Dando como resultado 99.5% de Alc. Vol.
- La cantidad requerida para la elaboración de la mezcla al 10% de etanol se basa en volumen total del combustible es  $4000\text{cm}^3$  es decir  $400\text{cm}^3$  que corresponde al 10 % del volumen total.
- Una vez mezclado  $3600\text{cm}^3$  de gasolina de ochenta octanos con el  $400\text{cm}^3$  de etanol anhidro, la mezcla es colocada en un envase de vidrio para su utilización en los diversos ensayos a realizarse.

### **3.3 Preparación mezcla 15% etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos**

Para la preparación de las mezclas se necesitan los siguientes equipos y materiales. Alcohol potable (alcohol etílico.) con un 96% de Alc. Vol. Medidos inicialmente.

- Gasolina comercial de tipo extra de ochenta octanos.
- Matraz 2000ml.
- Probeta 500ml.
- Alcohómetro.

**3.3.1 Procedimiento.** Previamente realizado el proceso de deshidratación química de etanol para la obtención de etanol anhidro 100% de Alc. Vol. Para ser mezclado con gasolina

- Realizada la deshidratación química comprobamos el % de Alc. Vol. Dando como resultado 99.5% de Alc. Vol.
- La cantidad requerida para la elaboración de la mezcla al 15% de etanol se basa en volumen total del combustible es  $4000\text{cm}^3$  es decir  $600\text{cm}^3$  que corresponde al 15 % del volumen total.
- Una vez mezclado  $3400\text{ cm}^3$  de gasolina de ochenta octanos con el  $600\text{cm}^3$  de etanol anhidro, la mezcla es colocada en un envase de vidrio para su utilización en los diversos ensayos a realizarse.

#### **3.4 Preparación mezcla 20 % etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos**

Para la preparación de las mezclas se necesitan los siguientes equipos y materiales. Alcohol potable (alcohol etílico.) con un 96% de Alc. Vol. Medidos inicialmente.

- Gasolina comercial de tipo extra de ochenta octanos.
- Matraz 2000ml.
- Probeta 500ml.
- Alcoholímetro

**3.4.1 Procedimiento.** Previamente realizado el proceso de deshidratación química de etanol para la obtención de etanol anhidro 100% de Alc. Vol. Para ser mezclado con gasolina

- Realizada la deshidratación química comprobamos el % de Alc. Vol. Dando como resultado 99.5% de Alc. Vol.
- La cantidad requerida para la elaboración de la mezcla al 20% de etanol se basa en volumen total del combustible es  $4000\text{cm}^3$  es decir  $800\text{cm}^3$  que corresponde al 20 % del volumen total.

- Una vez mezclado 3200 cm<sup>3</sup> de gasolina de ochenta octanos con el 800cm<sup>3</sup> de etanol anhidro, la mezcla es colocada en un envase de vidrio para su utilización en los diversos ensayos a realizarse.

## CAPÍTULO IV

### 4. PRUEBAS Y EVALUACIÓN DE LAS MEZCLAS ETANOL ANHIDRO CON GASOLINA DE OCHENTA OCTANOS.

Con las muestras previamente elaboradas el lugar donde se realizó el estudio fue en el laboratorio de control de calidad del Terminal de Productos Limpios Riobamba, ubicado en el sector de Calpiloma de la parroquia San Juan, en la provincia de Chimborazo, es ahí donde se inició el control de calidad de las mezclas planteadas, y también se logró comparar con las que diariamente se realizan, gracias al control de calidad que son sometidos los combustibles que llegan al terminal para posteriormente ser despachados una vez que cumplan con las normas dispuestas para gasolinas y diesel vigentes en la normativa ecuatoriana.

Se detallará a continuación las pruebas realizadas.

#### 4.1. Ensayo destilación

El ensayo de destilación fue realizado con todas las muestras y su respectivo patrón para comparar los datos obtenidos, en este caso se realizó el ensayo de destilación tanto para el etanol anhidro como la gasolina con la cual se inició el estudio.

El ensayo de destilación está normado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización.

**4.1.1 Norma.** INEN NTE 0926:84 Productos de Petróleo: Ensayo de Destilación.

**4.1.2 Objeto.** Esta norma establece el método para la destilación de productos de petróleo, como gasolina, combustible para turbinas de aviación, kerosene, diesel, petróleo combustible y otros productos derivados con excepción de gasolina natural y gas licuado de petróleo.

Establecida la norma se procedió a la realización del ensayo el cual se detalla a continuación.

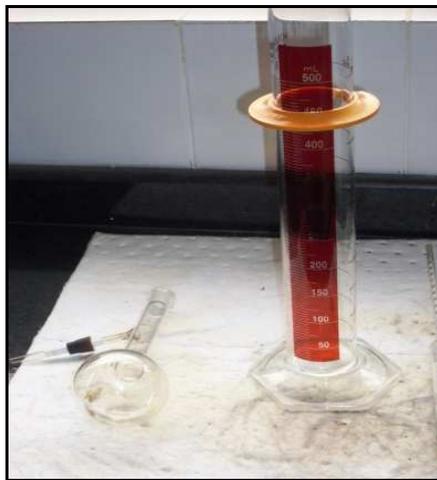
**4.1.2.1 Materiales y Equipos.** Equipos utilizados tenemos.

- Matraz balón de destilación de 125ml.
- Probeta graduada de 100ml.

- Probeta graduada de 10ml.
- Termómetros adecuados para destilación de gasolina -2 a 300 °C.
- Destilador ASTM. De eficiencia de 18 a 20 %.
- 100cm<sup>3</sup> de muestra preparada de etanol-anhidro al 5% con gasolina de ochenta octanos.

**4.1.2.2 Procedimiento.** Con la muestra previamente refrigerada de etanol-anhidro al 5% y gasolina de ochenta octanos colocamos 100ml en la probeta graduada, observando que esté en 100ml.

Figura 10. Equipos para la destilación



Fuente: Autor

- Con los 100ml. que están en la probeta con cuidado transferimos los 100ml. al matraz balón colocamos el termómetro en la parte superior de matraz balón. Para posteriormente colocarlo en el destilador ASTM.

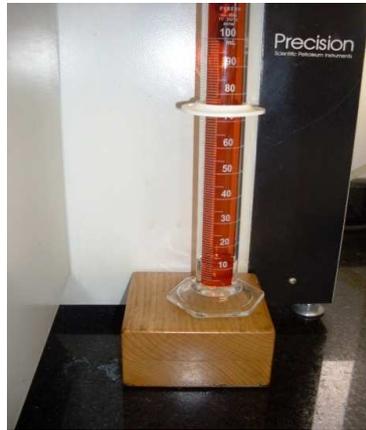
Figura 11. Destilador ASTM con la muestra 5% etanol anhidro



Fuente: Autor

- Ubicamos en la parte inferior derecha del destilado ASTM, debajo del conducto que transfiere el combustible una vez iniciado el proceso de destilación, previo a esto el destilador ASTM debe ser ajustado el control de temperatura.

Figura 12. Probeta graduada para el ensayo de destilación.



Fuente: Autor

- Puesto a punto el destilador y todos los elementos que interviene en el proceso de la destilación, observamos con mucha atención el proceso, para determinar los datos del (PIE) que es la primera gota que cae en la probeta graduada y anotamos a la temperatura a la que esta ocurre, el termómetro se halla ubicado sobre el matraz balón que contiene la muestra, se tomaron los datos para este estudio cuando el producto de la destilación alcanzo los valores de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, PFE(punto final de ebullición) acompañado de la temperatura para estos valores.
- Se determina el PFE cuando en el matraz balón se aprecia la presencia de vapores y se dará por terminado el ensayo, apagando el equipo.

Figura 13. Final del ensayo de destilación



Fuente: Autor.

- Transcurrido al menos unos treinta minutos comenzamos a cuantificar el producto de la destilación que se encuentra en la probeta de 100ml. y los residuos que han quedado en el matraz balón los cuales los transferimos a la probeta de 10ml. con mucho cuidado para que no influya en la expresión de los resultados ya que serán cuantificados de una manera física.

Figura 14. Cuantificación física de los resultados.



Fuente: Autor.

**4.1.3 Resultados del proceso de la destilación.** El procedimiento de destilación se realizo para cada una de las muestras planteadas y los datos experimentales obtenidos se detallan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 6. Datos obtenidos del proceso de destilación para las muestras planteadas

Muestra %	5% Etanol-anhidro T [°C]	10% Etanol-anhidro T [°C]	15% Etanol - anhidro T [°C]	20% Etanol – anhidro T [°C]
PIE	36	35	34	34
10ml	47	46	48	46
20ml	51	52	53	53
30ml	67	61	57	56
40ml	83	78	75	72
50ml	95	93	93	92
60ml	106	104	104	104
70ml	114	111	115	114
80ml	131	129	129	129
90ml	150	148	149	148
PFE	189	185	184	179

Fuente: Autor.

También se realizó el proceso de destilación de las muestras patrones tanto de la gasolina pura utilizada para elaborar las mezclas como el etanol-anhidro puro para comparar las muestras planteadas.

Los datos obtenidos se detallan a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 7. Datos obtenidos de las muestra patrones

Muestra %	Etanol anhidro puro T ° [C]	Gasolina pura T ° [C]
PIE	68	29
10ml	68	55
20ml	68	66
30ml	68	76
40ml	68	86
50ml	68	98
60ml	68	108
70ml	68	120
80ml	68	134
90ml	68	152
PFE	69	183

Fuente: Autor.

Estos fueron los datos obtenidos durante todo el proceso pero es necesario realizar la corrección barométrica de la temperatura a través de la ecuación de Sídney Young para llevarlos a la presión barométrica normal.

#### 4.1.3.1 Ecuación de Sídney Young.

$$c = 0,00012 * (760 - P) * (273 + t \text{ } ^\circ\text{C}) \quad (8)$$

Dónde:

c = corrección que debe agregarse algebraicamente a la temperatura leída, en °C.

P = presión barométrica en mm de Hg en el momento del ensayo

t °C = temperatura leída en t °C.

La presión barométrica en el Terminal de Productos Limpios Riobamba para efectuar los cálculos es de 519mm Hg.

Con la ecuación ya planteada y los datos obtenidos de las temperaturas experimentales, se realiza el cálculo respectivo y por medio del mismo se obtiene ya los datos definitivos para expresar los resultados de ensayo de destilación.

**4.1.3.2 Resultado de la mezcla 5% de etanol-anhidro con 95% de gasolina de ochenta octanos.**

Tabla 8. Ensayo destilación corregido para 5% de etanol-anhidro

Muestra %	5% Etanol-anhidro T [°C]	Factor de corrección T [C]	5% Etanol anhidro corregido T [°C]
PIE	36	8.9	44.9
10ml	47	9.3	56.3
20ml	51	9.4	60.4
30ml	67	9.8	76.8
40ml	83	10.3	93.3
50ml	95	10.6	105.6
60ml	106	11.0	117.0
70ml	114	11.2	125.2
80ml	131	11.7	142.7
90ml	150	12.2	162.2
PFE	189	13.4	202.4

Fuente: Autor.

**4.1.3.3 Resultados.**

En el punto inicial de ebullición (PIE) corregido fue 44.9 °C

En el punto final de ebullición (PFE) corregido fue 202.4 °C.

Porcentaje total de recuperado fue 97.5ml.

Porcentaje de residuo fue 1.5 ml.

Porcentaje de pérdidas. 1 ml.

El porcentaje total recuperado de una muestra de 100ml. Fue de 97.5 a una temperatura de 202.4 °C, el porcentaje de residuo corresponde a hidrocarburos de alto peso molecular, trazas de agua y sedimentos que ya no se destilan que fue de 1.5ml, y el

porcentaje de pérdidas corresponde a la evaporación, y pérdidas por la manipulación de la muestra, dando como resultado de 100ml. Con los que se inicio el ensayo.

Figura 15. Productos de la destilación



Fuente: Autor.

**4.1.4** *Resultado de la mezcla 10% de etanol-anhidro con 90% de gasolina de ochenta octanos.*

Tabla 9. Ensayo destilación corregido para 10% de etanol-anhidro

Muestra %	10% Etanol-anhidro T[ °C]	Factor de corrección [C]	10% Etanol anhidro corregido T[ °C]
PIE	35	8.9	43.9
10ml	46	9.2	55.2
20ml	52	9.4	61.4
30ml	61	9.7	70.7
40ml	78	10.2	88.2
50ml	93	10.6	103.6
60ml	104	10.9	114.9
70ml	111	11.1	122.1
80ml	129	11.6	140.6
90ml	148	12.2	160.2
PFE	185	13.2	198.2

Fuente: Autor.

**4.1.4.1** *Resultados.*

En el punto inicial de ebullición (PIE) corregido fue 43.9 °C

En el punto final de ebullición (PFE) corregido fue 198.2 °C.

Porcentaje total de recuperado fue 97.5ml.

Porcentaje de residuo fue 1.5 ml.

Porcentaje de pérdidas. 1 ml.

El porcentaje total recuperado de una muestra de 100ml. Fue de 97.5 a una temperatura de 198.2 °C , el porcentaje de residuo corresponde a hidrocarburos de alto peso molecular, trazas de agua y sedimentos que ya no se destilan que fue de 1.5ml., y el porcentaje de pérdidas corresponde a la evaporación y pérdidas por la manipulación de la muestra, dando como resultado de 100ml. Con los que se inició el ensayo

#### 4.1.5 Resultado de la mezcla 15% de etanol-anhidro con 85% de gasolina de ochenta octanos.

Tabla 10. Ensayo destilación corregido para 15% de etanol-anhidro

Muestra %	15% Etanol anhidro T [°C]	Factor de corrección [C]	15% Etanol anhidro corregido T[ °C]
PIE	34	8.9	42.9
10ml	48	9.3	57.3
20ml	53	9.4	62.4
30ml	57	9.5	66.5
40ml	75	10.1	85.1
50ml	93	10.6	103.6
60ml	104	10.9	114.9
70ml	115	11.2	126.2
80ml	129	11.6	140.6
90ml	149	12.2	161.2
PFE	184	13.2	197.2

Fuente: Autor.

#### 4.1.5.1 Resultados.

En el punto inicial de ebullición (PIE) corregido fue 42.9 °C

En el punto final de ebullición (PFE) corregido fue 197.2 °C.

Porcentaje total de recuperado fue 97.5ml.

Porcentaje de residuo fue 1.5 ml.

Porcentaje de pérdidas. 1 ml.

El porcentaje total recuperado de una muestra de 100ml. Fue de 97.5 a una temperatura de 197.2 °C el porcentaje de residuo corresponde a hidrocarburos de alto peso molecular, trazas de agua y sedimentos que ya no se destilan que fue de 1.5ml y el

porcentaje de pérdidas corresponde a la evaporación y pérdidas por la manipulación de la muestra, dando como resultado de 100ml con los que se inicio el ensayo.

**4.1.6 Resultado de la mezcla 20% de etanol-anhidro con 80% de gasolina de ochenta octanos.**

Tabla 11. Ensayo destilación corregido para 20 % de etanol-anhidro

Muestra %	20 % Etanol anhidro T [°C]	Factor de corrección [C]	20% Etanol anhidro corregido T[ °C]
PIE	34	8.9	42.9
10ml	46	9.2	55.2
20ml	53	9.4	62.4
30ml	56	9.5	65.5
40ml	72	10.0	82.0
50ml	92	10.6	102.6
60ml	104	10.9	114.9
70ml	114	11.2	125.2
80ml	129	11.6	140.6
90ml	148	12.2	160.2
PFE	179	13.1	192.1

Fuente: Autor.

**4.1.6.1 Resultados.**

En el punto inicial de ebullición (PIE) corregido fue 42.9 °C

En el punto final de ebullición (PFE) corregido fue 192.2 °C.

Porcentaje total de recuperado fue 97.5ml.

Porcentaje de residuo fue 1.5 ml.

Porcentaje de pérdidas. 1 ml.

El porcentaje total recuperado de una muestra de 100ml. Fue de 97.5 a una temperatura de 192.2 °C, el porcentaje de residuo corresponde a hidrocarburos de alto peso molecular, trazas de agua y sedimentos que ya no se destilan que fue de 1.5ml y el porcentaje de pérdidas corresponde a la evaporación y pérdidas por la manipulación de la muestra, dando como resultado de 100ml con los que se inició el ensayo

**4.1.7** *Resultados de las muestra patrón de etanol-anhidro puro utilizado para el ensayo de destilación.*

Tabla 12. Ensayo destilación corregido para etanol-anhidro puro

Muestra %	Etanol anhidro puro T [°C]	Factor de corrección T [°C]	Etanol anhidro puro T [°C]
PIE	68	9.9	77.9
10ml	68	9.9	77.9
20ml	68	9.9	77.9
30ml	68	9.9	77.9
40ml	68	9.9	77.9
50ml	68	9.9	77.9
60ml	68	9.9	77.9
70ml	68	9.9	77.9
80ml	68	9.9	77.9
90ml	68	9.9	77.9
PFE	69	9.9	78.9

Fuente: Autor.

**4.1.7.1** *Resultados*

En el punto inicial de ebullición (PIE) corregido fue 77.9<sup>0</sup>C

En el punto final de ebullición (PFE) corregido fue 78.9 <sup>0</sup>C.

Porcentaje total de recuperado fue 97.5ml.

Porcentaje de residuo fue 1.5 ml.

Porcentaje de pérdidas. 1 ml.

El porcentaje total recuperado de una muestra de 100ml. Fue de 97.5 a una temperatura de 78.9 <sup>0</sup>C, el porcentaje de residuo corresponde a las impurezas propias del etanol 1.5ml y el porcentaje de pérdidas corresponde a la evaporación y pérdidas por la manipulación de la muestra, dando como resultado de 100ml con los que se inició el ensayo indicando que su destilación se mantuvo en forma lineal

**4.1.8 Resultados de la muestra patrón de gasolina pura utilizado para el ensayo de destilación.**

Tabla 13. Ensayo destilación corregido para gasolina pura

Muestra %	Gasolina pura T[°C]	Factor de corrección T[°C]	Gasolina pura T[°C]
PIE	29	8.7	37.7
10ml	55	9.5	64.5
20ml	66	9.8	75.8
30ml	76	10.1	86.1
40ml	86	10.4	96.4
50ml	98	10.7	108.7
60ml	108	11.0	119.0
70ml	120	11.4	131.4
80ml	134	11.8	145.8
90ml	152	12.3	164.3
PFE	183	13.2	196.2

Fuente: Autor.

**4.1.8.1 Resultados.**

En el punto inicial de ebullición (PIE) corregido fue 37.7 °C

En el punto final de ebullición (PFE) corregido fue 196.2 °C.

Porcentaje total de recuperado fue 97.5ml.

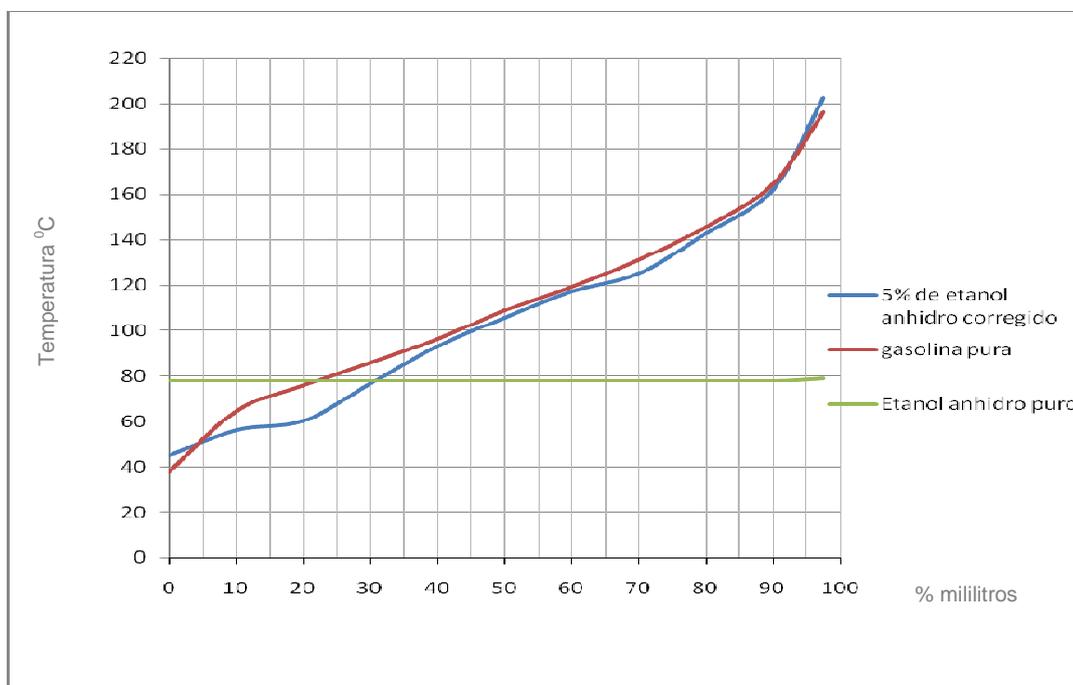
Porcentaje de residuo fue 1.5 ml.

Porcentaje de pérdidas. 1 ml.

El porcentaje total recuperado de una muestra de 100ml. Fue de 97.5 a una temperatura de 196.2 °C, el porcentaje de residuo corresponde a hidrocarburos de alto peso molecular, trazas de agua y sedimentos que ya no se destilan que fue de 1.5ml y el porcentaje de pérdidas corresponde a la evaporación y pérdidas por la manipulación de la muestra, dando como resultado de 100ml con los que se inició el ensayo.

**4.1.9 Comparación de la mezcla al 5% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos con las muestras patrones.**

Figura 16. Comparación de las mezclas patrón y 5 % etanol



Fuente: Autor.

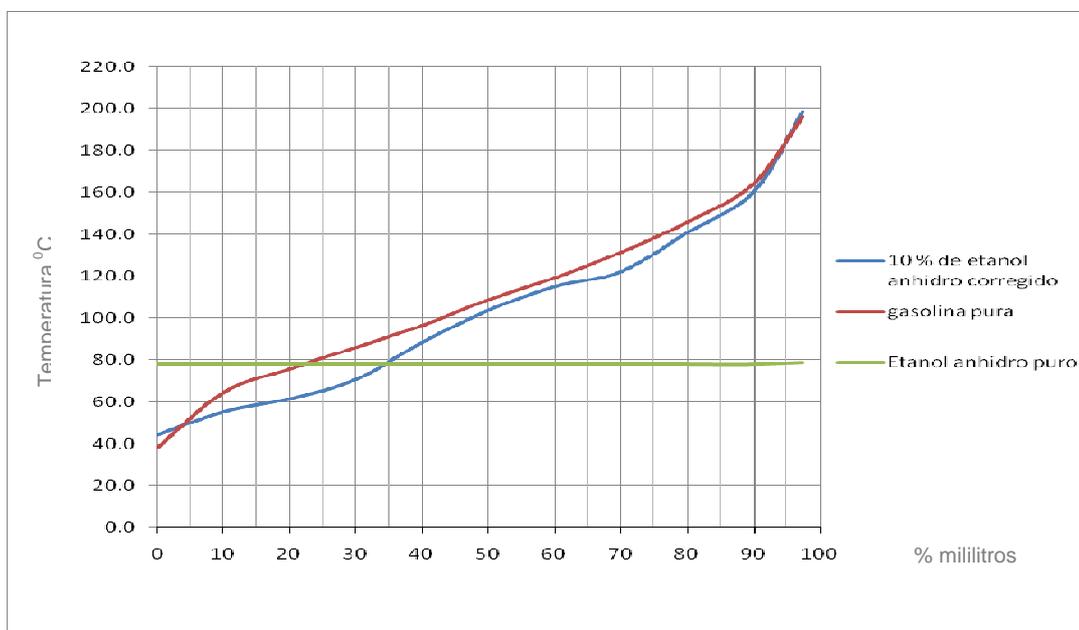
Tabla 14. Datos para la gráfica de 5% de etanol con las muestras patrón

Muestra %	5% Etanol anhidro corregido T [°C]	Gasolina pura T [°C]	Etanol anhidro puro T [°C]
PIE	44.9	37.7	77.9
10ml	56.3	64.5	77.9
20ml	60.4	75.8	77.9
30ml	76.8	86.1	77.9
40ml	93.3	96.4	77.9
50ml	105.6	108.7	77.9
60ml	117	119.0	77.9
70ml	125.2	131.4	77.9
80ml	142.7	145.8	77.9
90ml	162.2	164.3	77.9
PFE	202.4	196.2	78.9

Fuente: Autor.

**4.1.9.1 Comparación de la mezcla al 10% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos con las muestras patrones**

Figura 17. Comparación de las mezclas patrón y 10% etanol



Fuente: Autor.

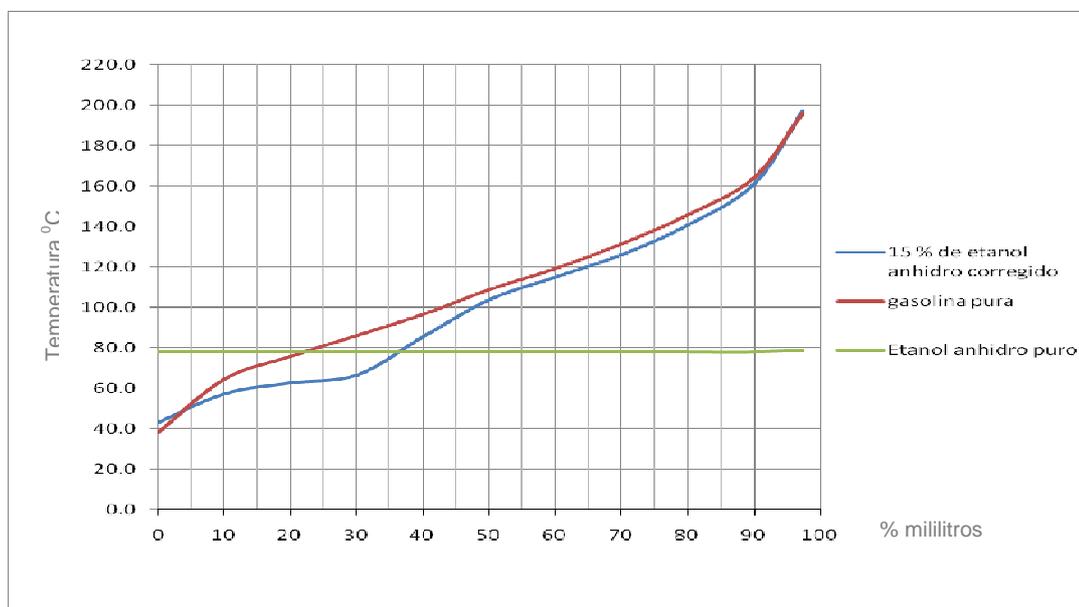
Tabla 15. Datos para la gráfica de 10% de etanol con las muestras patrón.

Muestra %	10% Etanol anhidro corregido T [°C]	Gasolina pura T [°C]	Etanol anhidro puro T [°C]
PIE	43.9	37.7	77.9
10ml	55.2	64.5	77.9
20ml	61.4	75.8	77.9
30ml	70.7	86.1	77.9
40ml	88.2	96.4	77.9
50ml	103.6	108.7	77.9
60ml	114.9	119.0	77.9
70ml	122.1	131.4	77.9
80ml	140.6	145.8	77.9
90ml	160.2	164.3	77.9
PFE	198.2	196.2	78.9

Fuente: Autor.

**4.1.9.2 Comparación de la mezcla al 15% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos con las muestras patrón.**

Figura 18. Comparación de las mezclas patrón y 15% etanol



Fuente: Autor.

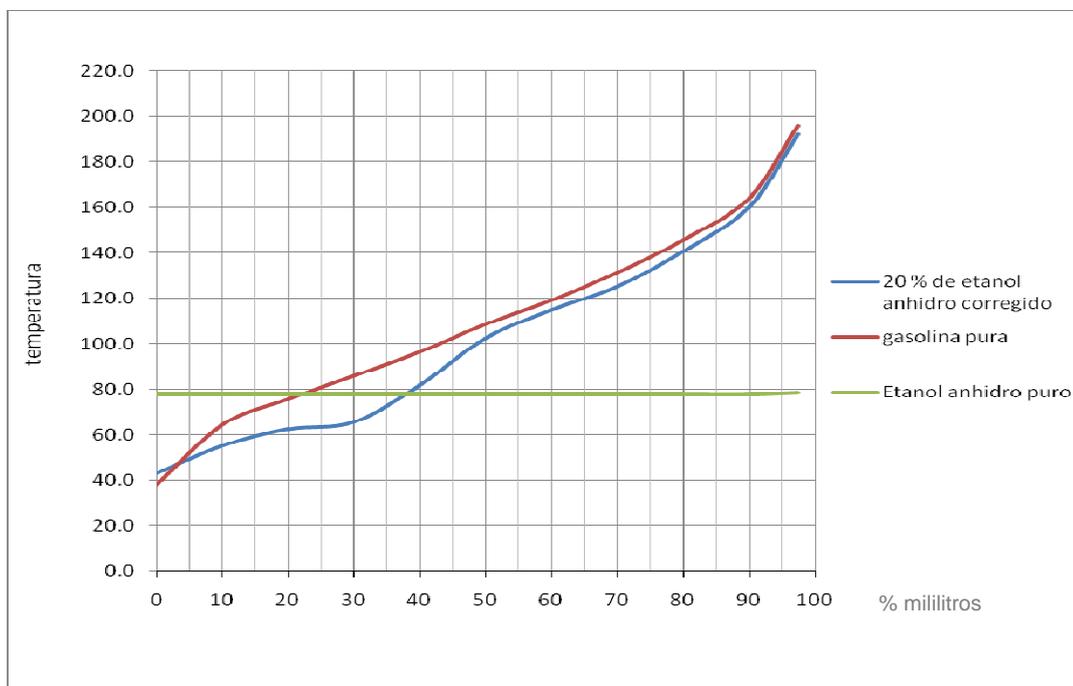
Tabla 16. Datos para la gráfica de 15% de etanol con las muestras patrón

Muestra %	15% Etanol anhidro corregido T [°C]	Gasolina pura T [°C]	Etanol anhidro puro T [°C]
PIE	42.9	37.7	77.9
10ml	57.3	64.5	77.9
20ml	62.4	75.8	77.9
30ml	66.5	86.1	77.9
40ml	85.1	96.4	77.9
50ml	103.6	108.7	77.9
60ml	114.9	119.0	77.9
70ml	126.2	131.4	77.9
80ml	140.6	145.8	77.9
90ml	161.2	164.3	77.9
PFE	197.2	196.2	78.9

Fuente: Autor.

**4.1.9.3 Comparación de la mezcla al 20% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos con las muestras patrones.**

Figura 19. Comparación de las mezclas patrón y 20% etanol



Fuente: Autor.

Tabla 17. Datos para la gráfica de 20 % de etanol con las muestras patrón.

Muestra %	20% Etanol anhidro corregido T [°C]	Gasolina pura T [°C]	Etanol anhidro puro T [°C]
PIE	42.9	37.7	77.9
10ml	55.2	64.5	77.9
20ml	62.4	75.8	77.9
30ml	65.5	86.1	77.9
40ml	82.0	96.4	77.9
50ml	102.6	108.7	77.9
60ml	114.9	119.0	77.9
70ml	125.2	131.4	77.9
80ml	140.6	145.8	77.9
90ml	160.2	164.3	77.9
PFE	192.1	196.2	78.9

Fuente: Autor.

El ensayo de destilación corresponde a una de de las principales propiedades de la gasolina, ésta nos permite conocer la composición de la gasolina.

Mediante el informe que se realiza en el laboratorio de control de calidad del terminal de productos limpios se establece una relación que detalla temperaturas máximas para el % de destilación siendo éstos los que permitan detectar ciertas deficiencias en los combustibles. Para el estudio se consideró desde el PIE hasta PFE.

**4.1.9.4 Resultados.** Las mezclas planteadas se hallan dentro de estos límites como podemos apreciar los resultados.

Podemos apreciar una caída en tendencia en las mezclas E-20, E-15, al alcanzar el 30% de la destilación con relación de la gasolina pura dificultando un poco arranque en frío ya que este rango de datos se necesita mayor cantidad de compuestos volátiles, para que el encendido sea el adecuado, ubicándose en este tramo parte las propiedades propias del etanol, para los demás rangos de destilación se encuentra dentro de los límites aceptables.

## **4.2 Ensayo de corrosión a la lámina de cobre**

**4.2.1 Norma.** ASTM D-130 o INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: determinación de la corrosión sobre la lámina de cobre.

**4.2.2 Objeto.** Esta norma establece el método para determinar la corrosión sobre la lamina de cobre, producida gasolina de aviación, combustibles para turbinas de aviación, gasolina para motores de combustión interna, gasolina natural, kerosene, diesel, aceites combustibles destilados, aceites lubricantes, solventes y otros productos derivados del petróleo, con excepción de ciertos productos, como aceites aislantes eléctricos y grasas.

Establecida la norma se procedió a la realización del ensayo el cual se detalla a continuación.

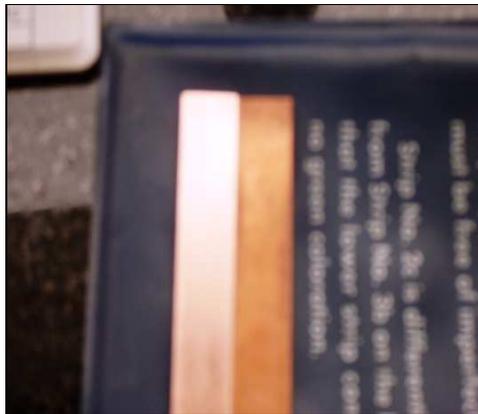
### **4.1.2.1 Equipos y materiales.**

- Equipo de baño María para corrosión.
- Láminas de cobre.

- Bomba de corrosión.
- Papel filtro.
- Tubo de ensayo.
- Embudo
- Lija 80.
- Vaso de precipitación.
- Disolvente.
- Muestras de combustible

**4.1.2.2 Procedimiento.** Con la lámina de cobre y con la ayuda de una lija se procedió a dejar totalmente pulida para iniciar el ensayo.

Figura 20. Pulido lámina de cobre



Fuente: Autor.

- Con la lámina ya lijada se procedió a limpiarla eficazmente dejándola libre de grasa y polvo con el disolvente, la muestra de 5% etanol-anhidro con gasolina se procedió a filtrarla para posteriormente utilizarla en el ensayo.

Figura 21. Filtrado mezclas



Fuente: Autor

- Colocamos la lámina de cobre en el tubo de ensayo y colocamos la muestra de 5% de etanol-anhidro y tapamos con un corcho.

Figura 22. Muestra ensayo de corrosión lámina de cobre



Fuente: Autor

- Colocamos la muestra en la bomba de corrosión y la llevamos al equipo de baño María de corrosión previamente ajustada a  $50^{\circ}\text{C}$  durante 3 horas.
- Finalizadas las 3 horas retiramos la muestra de la bomba de corrosión, retiramos la mezcla del tubo de ensayo, procedemos a lavarla y secarla y comparamos con los estándares de corrosión ASTM

Figura 23. Resultado ensayo corrosión lámina de cobre.



Fuente: Autor

**4.2.1.3 Resultado corrosión lamina de cobre.** Desarrollado el proceso anterior para las mezclas planteadas los resultados comparados con los estándares de corrosión ASTM son los siguientes.

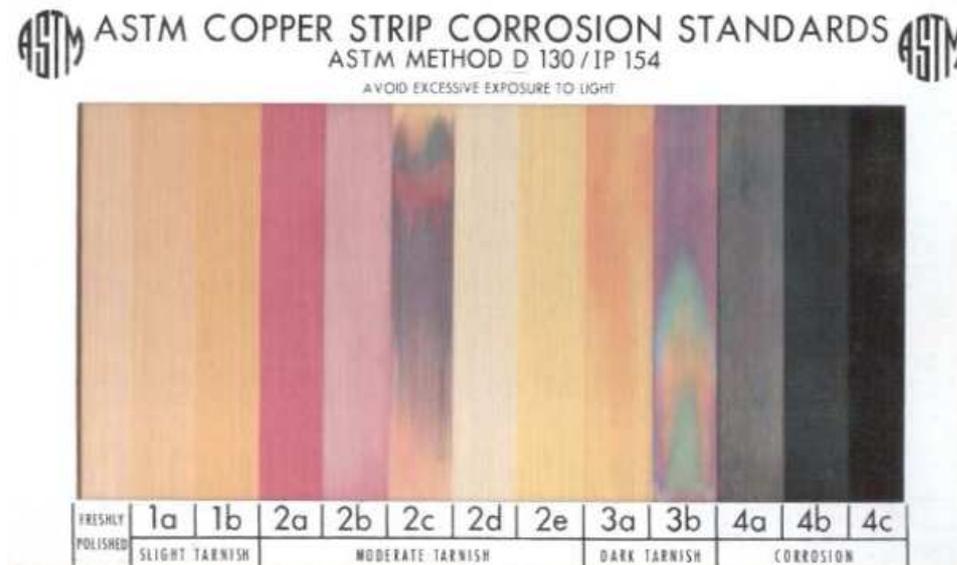
Tabla 18. Resultados corrosión lámina de cobre

ENSAYO	NORMA
<b>Corrosión lamina de cobre</b>	<b>INEN-927</b>
Muestra 5% etanol-anhidro.	<b>1a</b>
Muestra 10% etanol-anhidro.	<b>1a</b>
Muestra 15% etanol-anhidro.	<b>1a</b>
Muestra 20% etanol-anhidro.	<b>1a</b>

Fuente: Autor.

Se concluye el ensayo luego de comparar con los estándares de corrosión que existe una leve corrosión en todas las láminas, siendo esta corrosión aceptable para combustibles, ya que la norma indica que no debe ser mayor a 1a.

Figura 24. Estándares corrosión ASTM.



Fuente: Autor.

#### 4.2.2 Presión de vapor Reíd.

4.2.2.1 Norma. ASTM D-323 o INEN NTE 0928:84 Productos de Petróleo:

Determinación de la presión de vapor Reíd.

4.2.2.2 Objeto. Esta norma establece el método para determinar la presión de vapor absoluta de crudos volátiles y productos derivados volátiles no viscosos, excepto gas licuado de petróleo.

Establecida la norma se procedió a la realización del ensayo el cual se detalla a continuación.

#### 4.2.2.3 Equipos y materiales.

- Equipo de baño María para PVR. A 100<sup>0</sup>F.
- Cámara de aire.
- Cámara de la muestra.
- Termómetro.
- Muestras para el ensayo refrigeradas.

4.2.2.4 Procedimiento. Para iniciar este ensayo es necesario tener los equipos preparados para que la obtención de los datos sea lo más preciso.

- Encendemos el equipo de baño María para PVR para que éste alcance la temperatura normada para el ensayo que es 37.8<sup>0</sup>C

Figura 25. Equipo baño maría PVR



Fuente: Autor

- Con el equipo ya listo procedemos a tomar la temperatura a la cual se encuentra la cámara de aire.

Figura 26. Temperatura cámara de aire



Fuente: Autor

- Con los equipos listos procedemos a llenar la cámara de muestra totalmente con el combustible rápidamente lo acoplamos a la cámara de aire, invertimos la cámara de la muestra.

Figura 27. Equipo para determinar PVR



Fuente: Autor

- Posteriormente trasladamos hacia el equipo de baño María para PVR, esperamos 5 minutos, extraemos del equipo de baño María, lo invertimos agitamos y nuevamente lo introducimos en el equipo de baño María realizamos este

procedimiento dos veces más hasta que la lectura en el manómetro ya no tenga variación anotamos los valores y damos por concluido el ensayo.

Figura 28. Lectura del PVR.



Fuente: Autor

A continuación se presenta los datos experimentales obtenidos para las diversas muestras.

Tabla 19. Datos experimentales del PVR

DATOS EXPERIMENTALES PRV				
Muestra	Temperatura ensayo	PVR inicial	PVR 2min después	PVR 2min después
5% Etanol.	16 °C	6.3 psi	7.8 psi	7.9 psi
10% Etanol	15.4°C	6.2 psi	7.8 psi	7.8 psi
15% Etanol	18.2°C	6.4 psi	7.8 psi	7.8 psi
20% Etanol	18.2°C	6.4 psi	7.8 psi	7.8 psi
Etanol puro	17.2°C	2.3 psi	2.3 psi	2.3 psi
Gasolina	16.4°C	6.5 psi	7.8 psi	7.8 psi

Fuente: Autor

Con estos datos es necesario realizar la corrección de PVR a la temperatura de la cámara de aire para obtener ya los datos definitivos para poder expresar los resultados.

4.2.2.5 *Calculo PVR a la temperatura de la cámara de aire.*

$$P_c = P + C \quad (9)$$

$$C = \frac{(P_a - P_t)(t - 37.8)}{273 + t} - (P_{37.8} - P_t) \quad (10)$$

Donde:

$P_c$ = Presión Vapor Reíd a 100<sup>0</sup>F (KPa).

$P$ = Presión Vapor Reíd a la temperatura  $t$  (KPa).

$C$ = factor de corrección de la PVR (KPa).

$P_a$ = presión Barométrica. 69.2 KPa 692 mb.

$P_t$ = presión de vapor de agua a la temperatura de la cámara de aire.

$t$ = Temperatura de la cámara de aire al comenzar el ensayo.

$P_{37.8}$ =presión de vapor de agua a 37,8<sup>0</sup>C (6.56KPa)

Tabla 20. Presión de vapor de agua a temperaturas conocidas

T °C	PRESIÓN		T °C	PRESIÓN	
	P en mm de Hg	KPa		P en mm de Hg	KPa
10	9.2	1.23	23	21.0	2.80
15	12.8	1.71	24	22.4	2.99
16	13.6	1.81	25	23.8	3.17
17	14.5	1.93	26	25.2	3.36
18	15.5	2.07	27	26.7	3.56
19	16.5	2.20	28	28.3	3.77
20	17.5	2.33	29	30.0	4.00
21	18.6	2.48	30	31.8	4.24
22	19.8	2.64	40	55.3	7.37

Fuente: Laboratorio control de calidad PETROECUADOR-Riobamba

**4.2.2.6 Resultados de la corrección de PVR a la temperatura de la cámara de aire de las muestras ensayadas.**

Tabla 21. Resultados de PVR

Muestra.	PVR experimental	temperatura	PVR. Corregido.	PVR. Corregido.
5% Etanol-anhidro	7.9 psi	16 °C	6.5 psi	44.6 Kpa.
10% Etanol-anhidro	7.8 psi	15.4°C	6.3 psi	43.7Kpa.
15% Etanol anhidro	7.8 psi	18.2°C	6.5 psi	44.8 Kpa.
20% Etanol-anhidro	7.8 psi	18.2°C	6.5 psi	44.8 Kpa.
Etanol puro	2.3 psi	17.2°C	0.9 psi	6.5 Kpa.
Gasolina	7.8 psi	16.4°C	6.4 psi	44.1Kpa.

Fuente: Autor

Se puede concluir que el etanol en los porcentajes dosificados no influye en la PVR. Ya que el ensayo es determinado a 37.8 °C y el PIE del etanol esta sobre los 77.9°C. Determinado en el ensayo de destilación. Podemos concluir que PVR, en este caso está determinada por las propiedades del combustible y no del etanol.

Si hay una mayor presión existe mayor tendencia a la evaporación y en este caso muchas pérdidas en el combustible.

A mayor concentración de etanol baja PVR. El proceso de arranque en frio de los motores de combustión interna encendido por chispa será deficiente.

**4.2.3 Determinación de la gravedad API de las muestras etanol-anhidro con gasolina.** La gravedad API de sus siglas en inglés American Petroleum Institute, es una medida de densidad que describe cuán pesado o liviano es el petróleo comparándolo con el agua. Si los grados API son mayores a 10, es más liviano que el agua, y por lo tanto flotaría en ésta. La gravedad API es también usada para comparar densidades de fracciones extraídas del petróleo. Por ejemplo, si una fracción de petróleo flota en otra, significa que es más liviana, y por lo tanto su gravedad API es mayor. Matemáticamente la gravedad API no tiene unidades.

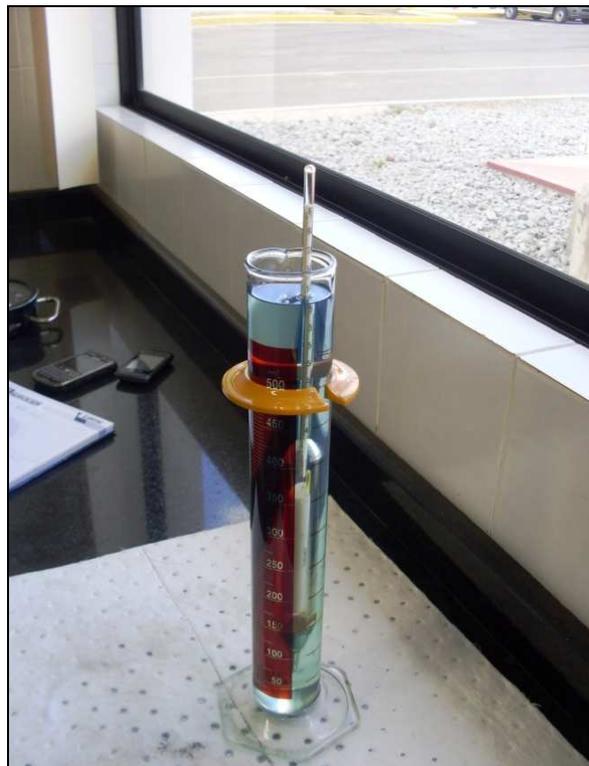
Con el concepto claro de la gravedad API se procedió a determinar los grados API de las muestras planteadas se detalla a continuación el proceso para cada una de las mismas.

#### 4.2.3.1 Equipos y Materiales.

- Probeta graduada de 500ml.
- Termo hidrómetro 49-61 API<sup>0</sup> temp. 20-120<sup>0</sup>F.
- Termo hidrómetro 59-71 API<sup>0</sup> temp. 20-120<sup>0</sup>F.
- Muestras etanol gasolina.

4.2.3.2 *Procedimiento.* Se añade 500ml de la muestras elaboradas en la probeta graduada , con la ayuda de termo hidrómetro previamente seleccionado su escala se procedió a determinar los grados API para cada una de las muestras incluidas las muestras patrones para comparar sus datos.

Figura 29. Determinación Grados API



Fuente: Autor

Anotamos los grados que se aprecian en la escala y la temperatura del ensayo que nos da el termo hidrómetro para posteriormente añadir el factor de corrección, y expresar en condiciones normales que es Gravedad API a 60<sup>0</sup>F de cada una de las muestras.

Figura 30. Apreciación grados API



Fuente: Autor

**4.2.3.3** *Determinación experimental de la gravedad API para las muestras etanol-anhidro con gasolina.*

Tabla 22. Gravedad API experimental.

MUESTRAS	Grados API	Temperatura
Muestra 5% Etanol-anhidro	57.9 <sup>0</sup> API	56 <sup>0</sup> F
Muestra 10% Etanol-anhidro	56.5 <sup>0</sup> API	49 <sup>0</sup> F
Muestra 15% Etanol-anhidro	57.7 <sup>0</sup> API	54 <sup>0</sup> F
Muestra 20% Etanol-anhidro	56.8 <sup>0</sup> API	46 <sup>0</sup> F
Muestra Etanol puro	42.3 <sup>0</sup> API	62 <sup>0</sup> F
Muestra Gasolina.	58.7 <sup>0</sup> API	56 <sup>0</sup> F

Fuente: Autor

**4.2.3.4 Corrección de la gravedad API para las muestras etanol-anhidro con gasolina.**

La gravedad API para posteriormente ser utilizada en determinación de la gravedad específica tiene que ser corregida y expresada 60<sup>0</sup>F

➤ **Muestra 5% Etanol-anhidro**

Dato inicial 57.9 API-56<sup>0</sup>F.

Donde:

$$Y_i = Y_1 + \left( (Y_2 - Y_1) * \frac{X_i - X_1}{X_2 - X_1} \right) \quad (11)$$

Donde:

Y<sub>1</sub>=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup> F (Anexo A)

Y<sub>2</sub>=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F (Anexo A)

Tabla 23. Corrección de densidad API de la muestra 5% etanol-anhidro

Muestra 5% Etanol-Anhidro			API 60°F	
API T° Amb.				
X	T (°F)	API T	Y	API
X <sub>1</sub>	56	57.5	Y <sub>1</sub>	58.0
X <sub>i</sub>	56	57.9	Y <sub>i</sub>	
X <sub>2</sub>	56	58.0	Y <sub>2</sub>	58.5

$$Y_i = 58.40$$

**Resultado:** 58,40 API – 60<sup>0</sup>F

➤ **Muestra 10 % Etanol-anhidro**

Dato inicial 56.5 API - 49<sup>0</sup>F.

Donde:

$$Y_i = Y_1 + \left( (Y_2 - Y_1) * \frac{X_i - X_1}{X_2 - X_1} \right) \quad (12)$$

Donde

Y1=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F (Anexo A)

Y2=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F (Anexo A)

Tabla 24. Corrección de densidad API de la muestra 10% etanol-anhidro

Muestra 10 % Etanol-Anhidro			API 60°F	
API T° Amb				
X	T (°F)	API T	Y	API
X1	49	56.0	Y1	57.4
Xi	49	56.5	Yi	
X2	49	57.0	Y2	58.4

$$Y_i = 57.90$$

**Resultado:** 57,9<sup>0</sup>API – 60<sup>0</sup>F

➤ **Muestra 15 % Etanol-anhidro**

Dato inicial 57.7 API-54<sup>0</sup>F.

Donde:

$$Y_i = Y_1 + \left( (Y_2 - Y_1) * \frac{X_i - X_1}{X_2 - X_1} \right) \quad (13)$$

Donde

Y1=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F (Anexo A)

Y2=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F (Anexo A)

Tabla 25. Corrección de densidad API de la muestra 15 % etanol-anhidro

<b>Muestra 15 % Etanol-Anhidro</b>			<b>API 60°F</b>	
<b>API T° Amb</b>				
<b>X</b>	<b>T (°F)</b>	<b>API T</b>	<b>Y</b>	<b>API</b>
X1	57	57.5	Y1	58.2
Xi	57	57.7	Yi	
X2	57	58.0	Y2	58.8

**Yi = 58.44**

**Resultado:** 58.44<sup>0</sup>API – 60<sup>0</sup>F

➤ **Muestra 20 % Etanol-anhidro**

Dato inicial 56.8 API-46<sup>0</sup>F.

Donde:

$$Yi = Y1 + \left( (Y2 - Y1) * \frac{Xi - X1}{X2 - X1} \right) \quad (14)$$

Donde:

Y1=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F (Anexo A)

Y2=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F (Anexo A)

Tabla 26. Corrección de densidad API de la muestra 20 % etanol-anhidro

Muestra 20 % Etanol-Anhidro			API 60°F	
API T° Amb				
X	T (°F)	API T	Y	API
X1	46	56.5	Y1	58.2
Xi	46	56.8	Yi	
X2	46	57.0	Y2	58.7

$$Yi = 58.5$$

**Resultado:** 58.50API – 60<sup>0</sup>F

➤ *Muestra Etanol-anhidro puro*

Dato inicial 42.3API - 62<sup>0</sup>F.

Donde:

$$Yi = Y1 + \left( (Y2 - Y1) * \frac{Xi - X1}{X2 - X1} \right) \quad (15)$$

Donde

Y1=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F. (Anexo A)

Y2=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F. (Anexo A)

Tabla 27. Corrección de densidad API del etanol-anhidro

Muestra Etanol-Anhidro			API 60°F	
API T° Amb.				
X	T (°F)	API T	Y	API
X1	62	42	Y1	41.8
Xi	62	42.3	Yi	
X2	62	42.5	Y2	42.3

$$Yi = 42.10$$

**Resultado:** 42.10<sup>0</sup>API – 60<sup>0</sup>F

➤ **Muestra gasolina**

Dato inicial 58.7API - 56<sup>0</sup>F.

Donde:

$$Y_i = Y_1 + \left( (Y_2 - Y_1) * \frac{X_i - X_1}{X_2 - X_1} \right) \quad (16)$$

Donde:

Y1=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F. (Anexo A)

Y2=por tabla Correcciones de densidad API a 60<sup>0</sup>F. (Anexo A)

Tabla 28. CORRECCIÓN DE DENSIDAD API DE LA GASOLINA OCHENTA OCTANOS.

Muestra gasolina			API 60°F	
API T° Amb.				
X	T (°F)	API T	Y	API
X1	56	58.5	Y1	59.0
Xi	56	58.7	Yi	
X2	56	59	Y2	59.5

$$Y_i = 59.20$$

**Resultado:** 59.20<sup>0</sup>API – 60<sup>0</sup>F

**4.2.3.5 Determinación de la gravedad específica de las mezclas etanol gasolina.** Para calcular la gravedad específica es necesario los datos corregidos de la gravedad API para cada una de las muestras y remplazamos los datos en la siguiente fórmula.

$$GE = \frac{141.5}{131.5 + API \text{ a } 60^{\circ}F} \quad (17)$$

Tabla 29. Resultados gravedad API a 60<sup>0</sup>F

MUESTRAS	GRAVEDAD API A 60 <sup>0</sup> F
Muestra 5% Etanol-anhidro	58.4
Muestra 10% Etanol-anhidro	57.9
Muestra 15% Etanol-anhidro	58.44
Muestra 20% Etanol-anhidro	58.5
Muestra Etanol puro	42.1
Muestra Gasolina.	59.2

Fuente: Autor

Remplazando los datos en la fórmula de GE tenemos los siguientes resultados.

Tabla 30. Resultados gravedad específica

MUESTRAS	Gravedad Especifica
Muestra 5% Etanol-anhidro	0.745
Muestra 10% Etanol-anhidro	0.747
Muestra 15% Etanol-anhidro	0.745
Muestra 20% Etanol-anhidro	0.745
Muestra Etanol puro	0.815
Muestra Gasolina.	0.742

Fuente: Autor

**4.2.3.6 Resultados.** Al determinar los grados API de una mezcla se puede conocer ya parte de las propiedades de los combustibles es decir a mayor cantidad de grados API menor densidad y mayor volatilidad. Esta relación se puede compara entre las muestras patrón establecidas.

Tabla 31. Relación grados API con gravedad específica

MUESTRAS	GRAVEDAD API A 60 F	GRAVEDAD ESPECIFICA
Muestra 5% Etanol-anhidro	58.4	0.745
Muestra 10% Etanol-anhidro	57.9	0.747
Muestra 15% Etanol-anhidro	58.44	0.745
Muestra 20% Etanol-anhidro	58.5	0.745
Muestra Etanol puro	42.1	0.815
Muestra Gasolina	59.2	0.742

Fuente: Autor

#### **4.2.4 Determinación del índice de octano.**

**4.2.4.1 Norma.** ASTM D2699-94 NTE INEN 2102:98. Derivados del petróleo. Gasolina. Determinación de las características antidetonantes método research (RON)

**4.2.4.2 Alcance.** El método de número de octano RON se correlaciona con el comportamiento antidetonante de las gasolinas utilizadas en motores de encendido por chispa a baja velocidad.

Para realizar el ensayo se debe utilizar un motor mono cilíndrico estándar que permita ajustar la relación de compresión del mismo, para producir una condición de intensidad antidetonante. Este método es utilizado por los fabricantes de motores, las refinerías de petróleo y en la actividad comercial en general, para medir la calidad fundamental de

las especificaciones que garanticen la apropiada capacidad antidetonante del combustible y de los requerimientos del motor.

#### 4.2.4.3 *Equipos y materiales.*

- Máquina de ensayo de detonación (octanómetro) motor de combustión interna encendido por chispa mono cilíndrico de relación de compresión variable provisto de todos los elementos para su funcionamiento.
- 500ml de la muestra patrón y las propuestas.

#### 4.2.4.4 *Procedimiento.*

- La gasolina extra esta normado con un mínimo de ochenta octanos es por eso que se partió como base para las mezclas propuestas.
  - Para este ensayo fue necesario 500ml. De cada una de las muestras planteadas de 5% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos, 10% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos 15% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos 20% de etanol-anhidro con gasolina de ochenta octanos.
  - Para el ensayo las muestras permanecieron en refrigeración a una temperatura entre 2<sup>0</sup>C y 10<sup>0</sup>C para posteriormente utilizarla en el equipo.
  - Se procedió a llenar uno de depósitos de combustible del equipo con la muestra planteada previamente refrigerada, procurando que el manejo de la misma sea el adecuado para evitar la pérdida de las propiedades de la muestra planteada.
  - Previamente al funcionamiento del equipo se realizaron los ajustes necesarios se, inspecciona los niveles de aceite y agua, giramos la válvula selectora de combustible para permitir el flujo de combustible hacia el carburador y arrancamos el equipo.
  - Con el equipo ya funcionando a una velocidad de motor igual a (600±6) rpm.
- Método RON

- Determinamos el funcionamiento del mismo en condiciones normales, posteriormente se ajusta la altura progresivamente del cilindro para llevarlo a un funcionamiento de máxima detonación.
- posteriormente comparamos con la mezcla para un número de octano de la mezcla de combustible de referencia.

**4.2.4.5 Resultados.** Previamente a los resultados de índice de octanos es necesario describir ciertos conceptos que nos permitirán entender de mejor manera el índice de octanos y la incidencia de los mismos en el funcionamiento de los motores de combustión interna encendidos por chispa.

Octanaje: Se define como una medida de la capacidad antidetonante de la gasolina, se puede definir también como la medida de resistencia a la auto ignición y a la detonación.

El resultado obtenido se compara con la escala de cero a cien (de octanaje 0 a octanaje 100)

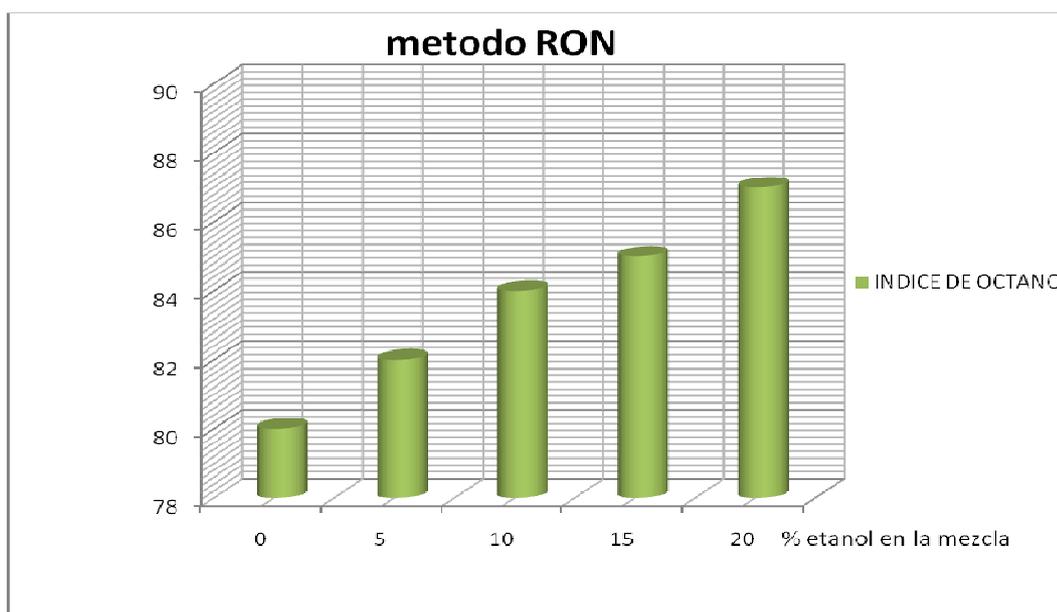
Octanaje cero se obtienen cuando el motor de prueba utilizada 100% de n-heptano, por otra parte octanaje cien cuando el motor de prueba utiliza el 100% de iso-octano (2, 2, 4 trimetilpentano) sin duda la combinación binaria de las mismas nos llevan a valores intermedios de la escala.

Tabla 32. Método RON índice de octanos

Mezcla	Método RON(600RPM) a 120 <sup>0</sup> F	N <sup>0</sup> Octanos
100% Iso-octano	Research octane number	100
80% Isooctano-20% n-heptano	Research octane number	80
5% de Etanol- anhidro	Research octane number	82
10% de Etanol-anhidro	Research octane number	84
15% de Etanol-anhidro	Research octane number	85
20% de Etanol-anhidro	Research octane number	87

Fuente: Autor

Figura 31. Resultados método RON



Fuente: Autor

El etanol-anhidro mezclado en proporción mejora el índice de octano de las gasolinas ya que el etanol es un compuesto que se añade para oxigenar los combustibles estándar reemplazando al éter metil tert-butílico (MTBE). Responsable de una considerable contaminación del suelo y del agua subterránea.

El incremento del octanaje al añadir etanol varía mucho con respecto a la composición de la gasolina base.

Es indispensable saber o conocer del fabricante la relación de compresión del motor que está dotado un vehículo para hacer la selección del combustible con índice de octano adecuado ya que la falta de octanaje en un motor puede ocasionar daños severos, hará que el pistón sufra un golpe brusco y reducirá el rendimiento del motor.

Uno de las principales desventajas del etanol es que es higroscópico y presenta una tendencia a la separación por fases.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se recopiló bibliografía relacionada a los combustibles y los motores de combustión interna encendido por chispa contribuyendo al desarrollo del trabajo.
- Se preparó las mezclas propuestas las cuales fueron la base fundamental para el desarrollo de trabajo las mismas que fueron utilizadas para las diferentes pruebas
- De las pruebas realizadas con las mezclas propuestas se logró determinar la estrecha relación que tienen cada una de ellas y se complementan para determinar la características propias de los combustibles, el ensayo de destilación permitió determinar el comportamiento y las propiedades que deben tener los combustibles para su funcionamiento óptimo es decir la suficiente cantidad de productos volátiles para el arranque en frío, volatilidad correcta para una máxima potencia durante la aceleración del motor y una temperatura de ebullición inferior a 190°C y 225°C para evitar depósitos en el motor.
- Con el ensayo de Presión de vapor Reid se determinó el comportamiento del combustible, para su almacenamiento, transporte, y pérdidas por evaporación, la PVR no se vio afectada por la presencia de etanol anhidro ya que este por tener su punto inicial de ebullición a 78<sup>0</sup>C no afecta en el ensayo ya que la temperatura del mismo está en 37.8<sup>0</sup>C.
- En el ensayo de corrosión a la lámina de cobre se comprobó que las muestras planteadas se encuentran dentro de la norma, los porcentajes añadidos de etanol para este estudio no produjeron corrosión, no se descarta que para porcentajes mayores a los planteados pueda producir corrosión ya que el etanol es higroscópico y puede atraer agua en forma de vapor y producir corrosión
- Al determinar la gravedad API de un combustible se logró establecer una relación importante que a mayor grado API menor es la densidad y mayor es su volatilidad, esta relación permitirá predecir el comportamiento de un combustible en los posteriores ensayos que se efectúan para gasolinas.

- La mezcla de etanol anhidro al 10% con gasolina extra, presentó como resultado en el ensayo de índice de octano un valor de 84, a pesar de que las mezclas en mayor porcentaje aumentan también el resultado del índice de octanos, se concluye que es esta la mezcla que mejores características presenta para ser utilizadas en los motores de combustión interna, ya que con las mezclas de mayor porcentaje se puede evidenciar ya una tendencia mayor a la separación por fases debido a la propiedad higroscópica del etanol, y para ser utilizadas se deberá realizar modificaciones significativas para el funcionamiento adecuado del motor
- Se determinó que de acuerdo con lo analizado la mezcla que mayor eficiencia presenta es la de 10% cumpliendo con todas las propiedades necesarias para el funcionamiento promedio de los motores de combustión interna encendidos por chispa.
- Se estableció y se comparó con las normas INEN y ASTM las mezclas propuestas y están dentro de las normas, ya que el principal aporte del etanol es mejorar las propiedades antidetonantes de los combustibles.

## **5.2 Recomendaciones**

- Utilizar para las posteriores investigaciones etanol-anhidro al 100% como combustibles en motores de alto rendimiento como complemento a este trabajo.
- Utilizar la mezcla de etanol anhidro al 10% con gasolina en los motores de combustión interna encendido por chispa.
- Manejar adecuadamente las mezclas para que los resultados sean siempre precisos y contribuyan como una base fundamental para posteriores investigaciones.
- Investigar nuevos combustibles para la utilizarlos en motores de combustión interna.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GARCÍA, R. Teoría de la combustión. 2001. Pág. 3-4
- [2] [www.portalplanetasedna.com.ar/combustibles](http://www.portalplanetasedna.com.ar/combustibles).
- [3] MARTIN, F. Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte. España: 2004. Pág. 38
- [4] MARTIN, F. Estudio comparativo entre los combustibles tradicionales y las nuevas tecnologías energéticas para la propulsión de vehículos destinados al transporte. España: 2004. Pág.40.
- [5] NICHOLS, R. The Methanol Story. A Sustainable Fuel for the Future. 2003. Pág. 100.
- [6] GOETTEMÖLLER, J. Sustainable Ethanol: Biofuels, Biorefineries, Cellulosic Biomass, Flex-Fuel Vehicles, and Sustainable Farming for Energy Independence. Missouri: 2007. Pág. 56-61.
- [7] INDUSTRY STATISTICS. Annual World Ethanol Production by Country. Renewable Fuels Association. 2008
- [8] It's a global thing, Ethanol Producer Magazine, August 2006.
- [9] INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA. Atlas de la Agroenergía y los Biocombustibles en las Américas Pág. 80-81.
- [10] [http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna)
- [11] KINDLER, H. Matemática aplicada para la técnica del automóvil. 8va.ed. Alemania: GTZ, Pág. 155.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ASTM D2699-94 NTE INEN 2102:98. Derivados del petróleo. Gasolina.  
Determinación de las características antidetonantes método research (RON)
- ASTM D-323 INEN NTE 0928:84 Productos de Petróleo: Determinación de la presión  
de vapor Reíd.
- CASTRO, M. Manual del Automóvil. España: Grupo Editorial Ceac, 2002.
- GARY, J. Refino de Petróleo TECNOLOGIA Y ECONOMIA. 1ra.ed. España:  
Editorial Reverte, 1980.
- INEN NTE 0927:84. Productos de Petróleo. Determinación de la corrosión sobre la  
lámina de cobre.
- KINDLER, H, Matemática aplicada para la técnica del automóvil. 8va.ed. Alemania:  
Editorial GTZ, 2000.
- PROSKURIAKOV, V.A. Química del Petróleo y del Gas. 1ra.ed. Moscú: Editorial  
Mir, 1984.



# **ANEXOS**

# ANEXO A

Correcciones de densidad API a 60 °F

# **ANEXO B**

Certificado de análisis de combustibles de  
transferencias