



UNIVERSIDAD  
DE LOS ANDES  
MERIDA VENEZUELA

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**  
**DEPTO. DE QUIMICA INDUSTRIAL Y APLICADA**  
**LABORATORIO DE QUIMICA INDUSTRIAL**



**MERIDA, VENEZUELA**

**MARZO, 2012**

**PETROING C.A.**

**OBTENCION DE GASOLINA COMERCIAL,  
KEROSENE Y GASOLEO.**

**FORMULACION DE UNA GASOLINA  
COMERCIAL.**

*Una empresa con sentido de calidad...*

**ANGULO LENIN**

**MARQUEZ GLADYS**

**RIVAS MIGUELANGEL**

**SANCHEZ NEISY**

## SOLARTE SALUSTRA

### Introducción

#### → GENERALIDADES

El petróleo ha tenido una historia trascendental desde los tiempo en que Mesopotamia existía como ciudad, era usado como el cemento para unir ladrillos, los Egipcios lo emplearon en la preparación de las momias mientras que los Chinos y los Romanos lo usaron para alumbrar. La palabra petróleo etimológicamente viene de los Romanos PETRAOLEUS (aceite de las rocas), “petra” significa roca, “oleus” es Aceite en latín. A pesar que el petróleo era utilizado en muchos países, sólo fue en el Siglo XIX, que se conoció su verdadera importancia y sus múltiples usos.

En Venezuela antes de la llegada de los españoles ya los indígenas conocían el petróleo con el nombre de MENE, siendo empleado para impermeabilizar sus canoas y para alumbrarse. En 1799 Alejandro Humboldt encontró un manantial de petróleo en la Península de Araya. Ya para el año 1839, el gobierno encomienda a José María Vargas para que hiciera la investigación sobre el producto.

Una vez realizada las respectivas averiguaciones, se reconoció esta materia como más rica que el oro por la gran posibilidad de uso que tenía. Para entonces, solo se utilizaba el petróleo para cosas muy sencillas y su extracción era bastante rudimentaria por lo que no se alcanzaba explotar en forma industrial. El primer pozo que se explotó industrialmente en el mundo fue en 1859 en Pensilvania, Estados Unidos, y su propietario fue Edwin I Drake. Pero en Venezuela comenzó la explotación del petróleo a partir del año 1875, después de un terremoto, el cual generó grietas en el suelo, por donde ascendió y salió en grandes cantidades. Esto sucedió en la hacienda “La Alquitrana” del Estado Táchira perteneciente al Señor Manuel Antonio Pulido, quien fundó la primera compañía petrolera venezolana, dedicándose a explotar industrialmente el petróleo. La compañía se llamó “Petrolera del Táchira”. Más tarde se construyó la primera refinería, la cual se producía mensualmente 60 galones de gasolina, 165 de Kerosén, 150 de gas-oil y 220 de residuos. De estos derivados del petróleo, el kerosén era el de más utilizado, ya sea para el alumbrado o para las primeras cocinas.

Los Hidrocarburos son compuestos binarios de carbono e hidrógeno, dentro de los cuales están el petróleo y el gas natural. En 1922 se le da inicio en Venezuela a la explotación petrolera a gran escala y al mismo tiempo la historia del gas natural. Ya para 1960 se funda la Corporación Venezolana de Petróleo aprovechando al máximo el gas en toda su magnitud. En ese mismo año es creada la compañía de Petróleos de Venezuela Sociedad Anónima (PDVSA), una empresa propiedad de la República de Venezuela. Luego se da inicio a la investigación científica en Venezuela gracias a la formación del Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo (INTEVEP).

El petróleo siempre ha significado una ilimitada fuente de energía y de materia para el hombre, y es por ello que se ha dedicado al estudio profundo y exhaustivo del mismo a fin de ampliar sus conocimientos en cuanto a usos y beneficios.

El principal producto de la refinación del petróleo era el kerosene o petróleo de lámpara hasta el año 1885. Pero con el correr de los años y los avances científicos, se generaba en paralelo el “descubrimiento” de nuevos productos derivados del petróleo y con ello la creación de la Industria Petroquímica, el hombre se dio cuenta de los miles de usos que se podía darle a los hidrocarburos y al mismo tiempo que se creaban nuevas máquinas, se encontraba algún producto del petróleo para usarse conjuntamente con ellas. Es así como se crearon los motores, trayendo consigo el uso de la gasolina, gas-oil, y más actualmente el gas natural y la gasolina sin plomo. Estos productos, unidos al campo de la electricidad han desplazado al kerosene hasta el punto en que su uso es casi totalmente particular, y para fines muy específicos.

El petróleo por ser aún la fuente de energía por excelencia y más aún Venezuela por ser reconocido como un país petrolero, surge la necesidad de satisfacer el mercado interno venezolano con los productos gasolina, gasóleo y kerosene. Finalmente, la empresa PETROING.CA viene a invadir el mercado innovando y proponiendo productos de gran calidad y amigables al ambiente.

### → JUSTIFICACION

En pleno siglo XXI, y aun el hombre sigue caracterizándose por su afán de mejorar día a día su calidad de vida, nuestro país se ha destacado

por proporcionar en gran cantidad y hasta ahora la más importante materia de múltiples usos para la humanidad: ese líquido viscoso oscuro mezcla de compuestos orgánicos llamado petróleo. Si bien es cierto que se han hecho grandes investigaciones a fin de crear nuevas fuentes de energía, y ya se han encontrado algunas como la energía eléctrica y el aprovechamiento de la luz solar, aún el petróleo sigue sorprendiendo por la gran cantidad de productos que de él se pueden obtener. Uno de ellos, de hecho de los más básicos, es el kerosene, producto directo de la destilación del petróleo, el cual en los inicios ocupó un gran papel tanto en la iluminación de casas como para algunos motores de maquinarias, la gasolina, mezcla de hidrocarburos líquidos más ligeros que se usa como combustible en motores de combustión interna, y que en comparación con otros rubros, es lo más económico en Venezuela...

## → FORMULACION DE OBJETIVOS

### General

“Producir gasolina, kerosene y gasóleo, a partir de un crudo liviano”

### Específicos

1. Estudiar los procesos necesarios para la obtención de productos como gasolina, kerosene y gasóleo.
2. Cumplir con las leyes y regulaciones ambientales vigentes.
3. Minimizar la inversión de capital y riesgos.
4. Optimizar el uso de los recursos venezolanos en cuanto sean económicamente viables.
5. Realizar la destilación atmosférica de un crudo, según la norma ASTM D-86.
6. Realizar la curva de destilación ASTM, y a partir de esta obtener datos como TBM y KOUP.
7. Medir la gravedad específica usando un hidrómetro según la norma ASTM 1298.
8. Medir la viscosidad universal de Saybolt según la norma ASTM D-2161 y la viscosidad cinemática según la norma ASTM 445 para algunos cortes de crudo.

9. Medir el índice de refracción, según la norma ASTM D-1218, para algunos cortes de crudo.
10. Medir el punto de anilina para algunos destilados según la norma ASTM D-611.
11. Calcular el porcentaje de carbón de un crudo según la norma ASTM D-189.

## CAPITULO I

### → REVISION BIBLIOGRAFICA

#### GASOLINA

La gasolina es una mezcla de hidrocarburos derivada del petróleo que se utiliza como combustible en motores de combustión interna. Hay probablemente varios cientos de diferentes hidrocarburos, de entre cuatro y doce átomos de carbono, en distintas proporciones en cualquier gasolina que poseen un rango de ebullición entre 30 y 200°C.

Butano	<b>C<sub>4</sub>H<sub>10</sub></b>
Pentano	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
Hexano	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
Heptano	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>
Octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>
Nonano	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>
Decano	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>
Undecano	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>
Dodecano	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>

**Tabla 1** Hidrocarburos parafínicos que generalmente se encuentran en la gasolina

Además de poseer sustancias parafínicas también posee una larga lista de isómeros los cuales aunque posean el mismo número de átomos de carbono se diferencian entre sí por sus propiedades debido a la disposición de estos átomos en la estructura de la molécula. Las más pequeñas, con menos átomos, tienen un menor punto de ebullición que las moléculas más grandes que contienen más átomos. [1]

Esta combinación de sustancias le da a la gasolina las propiedades adecuadas para ser utilizada como el combustible de mayor demanda mundial. De allí se deriva la necesidad de producir más y mejor gasolina en los diferentes procesos mediante los cuales se obtiene.

## PROCESOS DE OBTENCIÓN DE LA GASOLINA

### *Fraccionamiento del petróleo*

Es el proceso al que se somete el petróleo en una refinería, el cual consiste en separar un crudo en varias fracciones, en función de sus puntos de ebullición. Estas fracciones a su vez son mezclas de hidrocarburos con diferentes propiedades individuales pero que en conjunto le otorgan a cada fracción sus características más comunes, por lo que en el fraccionamiento no se puede hablar de un punto de ebullición específico para cada fracción sino de un rango de ebullición en el cual se puede obtener. Para la gasolina su rango está entre los 30 y 200°C, es decir, si un crudo se somete a calentamiento en un proceso de fraccionamiento, cuando éste alcance una temperatura de 30°C, lo más probable es que se comience a evaporar "Gasolina". Ya cerca de los 200°C, la gasolina presente se termina y de ahí en adelante estaremos evaporando otra mezcla que necesariamente no sea gasolina.

El fraccionamiento se realiza en dos etapas:

- 1) destilación atmosférica
- 2) destilación al vacío

La destilación atmosférica, se realiza a presiones ligeramente superiores a la atmosférica ( $P < 5 \text{ atm}$ ) en torres en las cuales la temperatura disminuye con la altura y en el punto en el cual se alcance el rango de ebullición de la gasolina se coloca una toma, por la cual se retira el producto que posee las características más significativas de la gasolina comercial.

Los residuos de la destilación atmosférica, se someten a una destilación al vacío (presiones menores de  $100 \text{ mmHg}$ ) para separar los hidrocarburos de alto peso molecular, con puntos de ebullición superiores a los  $350^\circ\text{C}$ , pero que si se intentaran recuperar en una destilación atmosférica traería como consecuencia la ruptura de las demás fracciones, como la gasolina, que aún se encuentran en el residuo que son aprovechables y que aumentan la eficiencia del proceso de fraccionamiento.

La finalidad del proceso de fraccionamiento es cubrir las demandas de productos de la refinería o la empresa que se dedique a ello. Generalmente la demanda de gasolina es mayor que la de los demás productos, por lo tanto, para cumplir con ello se necesitan procesos adicionales al fraccionamiento que no tocamos en nuestro estudio por ser menos prácticos para nuestros propósitos.

Entre los procesos adicionales se encuentran los de acondicionamiento y adecuación de la gasolina para obtener las propiedades físicas necesarias para cumplir con el desempeño esperado dentro del motor de combustión interna. [2]

## TIPOS DE GASOLINA COMERCIAL

### ***Gasolina para motores de combustión interna:***

Es aquella mezcla de destilados del petróleo y otras fracciones de procesos de refinerías, libre de agua, sedimento y material sólido en suspensión, destinada a ser utilizada como combustible para motores de combustión interna con ignición por chispa.

### ***Gasolina sin Plomo para motores de combustión interna:***

Es aquella mezcla de destilados del petróleo y otras fracciones de procesos de refinerías, libre de agua, sedimento y material sólido en suspensión, destinada a ser utilizada como combustible para motores de combustión interna con ignición por chispa y en la que su contenido de plomo no debe provenir de adición intencional de Tetraetilo de Plomo.

Básicamente es la misma gasolina de motor pero sin aditivos que incrementen o acentúen sus propiedades, agregados intencionalmente y que puedan ser perjudiciales para el medio ambiente.

Actualmente la gasolina sin Plomo es la gasolina comercial por excelencia, aunque en algunos países también se utiliza la gasolina de motor sin restricciones severas en cuanto a su contenido de plomo.

### ***PROPIEDADES DE LA GASOLINA PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA (con y sin plomo) Y ENSAYOS UTILIZADOS***

Deben cumplirse una serie de condiciones, unas requeridas para que el motor funcione bien y otras de tipo ambiental, ambas reguladas por ley en la mayoría de los países.

- Índice o número de octano: es quizás la especificación más característica. Es una medida de las características antidetonantes de las gasolinas. Se expresa en función del porcentaje en volumen de iso-octano, en una mezcla de iso-octano y n-heptano que tenga las mismas características antidetonantes de la gasolina que se está probando.

Se eligieron como referencia dos hidrocarburos puros conocidos por su comportamiento extremo desde el punto de vista de la detonación: el n-heptano, muy detonante, al cual se le dio un valor nulo para el número de octano y el iso-octano, refractario a la detonación, al que se le dio un número de octano igual a 100.

- Detonancia: ruidos y golpeteos que se produce en la cámara de combustión de un motor cuando en el combustible se encuentran compuestos que al estar sometidos a altas temperaturas y presiones tienden a formar peróxidos inestables que al alcanzar una cierta concentración, se descomponen violentamente,



provocando una explosión o detonación. Este fenómeno disminuye el rendimiento de un motor y propicia su desgaste. La forma de disminuir ésta situación es producir una gasolina que contenga sustancias con un elevado índice de octanaje o agregando aditivos de los cuales hablaremos más adelante.

- El número de octano RON "*research octane number*": es el número de octano determinado por el método "Research" (ASTM D2722), que mide el comportamiento de una gasolina bajo condiciones poco severas de de operación, es decir, baja temperatura en la mezcla de combustión y relativamente bajas revoluciones en el motor.
- El número de octano MON "*motor octane number*": número de octano determinado por el método "Motor" (ASTM D2723), bajo condiciones severas, es decir, altas temperaturas en la mezcla de combustión y relativamente altas revoluciones en el motor.
- Índice antidetonante (IAD): es el promedio aritmético de los números RON y MON.

$$IAD = \frac{MON + RON}{2}$$

Éste también es llamado PON "*pump octane number*": que indica la resistencia que presenta el combustible a producir el fenómeno de la detonación y se utiliza para clasificar la gasolina dependiendo de sus propiedades.

Presión de vapor reid (RVP): es la presión absoluta a 37,8°C (100°F), expresada en kilopascal (ASTM D323), sumamente importante para determinar la tendencia de la gasolina a formar vapores a altas temperaturas que puedan afectar el arranque y calentamiento del motor. El rango de presión de vapor para la gasolina está entre 60,0 - 66,5 KPa.

Las gasolinas para motores de combustión interna se clasifican de acuerdo al índice antidetonante (IAD) en los siguientes tipos:

- Gasolina con un IAD mínimo de 91,0 (MON mínimo 87,0).
- Gasolina con un IAD mínimo de 84,0 (MON mínimo 80,0).

Las gasolinas con IAD 84,0 e IAD 91,0 comercializadas, se conocen como gasolina Popular y gasolina Óptima respectivamente.

[3]

- Densidad: La densidad debe estar comprendida entre 0,680 y 0,760 Kg/L de acuerdo con la especificación europea (EN 228).

La imposición de un valor mínimo de densidad se justifica por la preocupación de obtener una potencia máxima suficiente para el motor, por medio de una bomba de inyección en la que la regulación del consumo se hace en volumen

Por otra parte se fija un límite máximo a la densidad, con el fin de evitar la formación de humos debidos a un incremento de la riqueza media en la cámara de combustión, lo mismos criterios se aplican para el gasóleo y otros combustibles.

- Viscosidad (Norma ASTM D 445)

También la viscosidad debe estar comprendida entre límites precisos, en efecto, un carburante demasiado viscoso aumentaría las pérdidas de carga en la bomba y en los inyectores y esto tenderá a reducir la presión de inyección, a deteriorar la calidad de la pulverización y finalmente afectará el proceso de combustión. A la inversa, una viscosidad insuficiente podría provocar el gripado de la bomba de inyección.

Para la gasolina la viscosidad cinemática promedio medida a 20°C, está en un rango de 0,5 - 1,5 mm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>.

- Índice de Refracción: característica muy común en los estudios y determinación de la naturaleza de diferentes sustancias, es una medida que determina la reducción de la velocidad de la luz al propagarse por un medio homogéneo. Para la gasolina en sus diferentes octanajes se puede hacer una aproximación para un índice de refracción de 1,424. [4]

## REQUISITOS DE LAS GASOLINAS PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

La tabla 2, indica los requisitos de las diferentes gasolinas para motores de combustión interna, tomada de Norma COVENIN N°764. Año 1997. 3era Revisión.

Propiedad	Requisitos		Método de ensayo
	Mínimo	Máximo	
Contenido de azufre, % p	-	0,15	COVENIN 1826
Corrosión (3 h a 50 °C), Clasificación	-	1	COVENIN 872
Temperatura de destilación, °C			
Punto inicial	30	-	COVENIN 850
10% Volumen Recuperado	-	70	
50% Volumen Recuperado	77	121	
90% Volumen Recuperado	-	195	
Punto final	-	225	
Residuo de destilación, % v	-	2	
Porcentaje de evaporación a 70 °C	Indicar		-
Estabilidad a la oxidación	240	-	COVENIN 873
Goma existente antes de agregar aditivos o colorantes, mg/100 mL	-	5	COVENIN 874
Presión de vapor, KPa (psi)	-	65,5 (9,5)	COVENIN 875
Contenido de plomo, g Pb/L	-	0,6	COVENIN 2048
Índice de bloqueo por vapor (IBV)	-	14,5	Véase punto 3.5
Adulteración	Gasolina con IAD 91,0: La prueba de adulteración debe ser negativa Gasolina con IAD 84,0: La prueba de presencia de marcador debe ser positiva		Véase punto 7
Número de octanos	IAD	MON	COVENIN 893
	91,0 mínimo	87,0 mínimo	
	84,0 mínimo	80,0 mínimo	

Tabla 2 Requisitos de las gasolinas para motores de combustión interna

Además de cumplir con los requisitos de la tabla anterior, se debe cumplir con los

- A la gasolina con IAD 84,0 se le debe añadir en la refinería una sustancia, “marcador” para detectar la adulteración con gasolina popular.
- Cuando la gasolina contenga Tetraetilo de Plomo, debe ser coloreada con un pigmento orgánico que no interfiera con el ensayo de adulteración.
- La gasolina con IAD 91,0 debe poseer un color amarillo pálido.
- La gasolina con IAD 84,0 debe poseer un color rojo.

### **REQUISITOS DE LAS GASOLINAS SIN PLOMO PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Ya vimos que las propiedades de la gasolina con plomo y sin plomo son básicamente las mismas, pero entre los requisitos que debe cumplir la gasolina sin plomo se encuentran:

- El contenido de plomo especificado en la gasolina sin plomo no debe provenir de la adición intencional de Tetraetilo de Plomo.
- La gasolina sin plomo no debe contener ningún tipo de colorante, añadido intencionalmente. El color de la misma será el impartido por los componentes utilizados en su preparación.

Otros requisitos se resumen en la siguiente tabla tomada de la norma COVENIN N° 3457. Año 1999.

Propiedad	Requisitos		Método de ensayo
	Mín.	Máx	
Contenido de Azufre, % p	-	0,06	COVENIN 1826
Corrosión (3 h a 50 °C), Clasificación	-	1	COVENIN 872
Temperatura de destilación, °C			
Punto inicial	30	-	COVENIN 850
10% Volumen evaporado	-	70	
50% Volumen evaporado	77	121	
90% Volumen evaporado	-	195	
Punto final	-	225	
Residuo de destilación, % v	-	2	
Porcentaje de evaporación a 70 °C	Indicar		
Estabilidad a la oxidación, min	240	-	COVENIN 873
Goma existente antes de agregar aditivos mg/100 ml	-	5,0	COVENIN 874
Presión de Vapor, kPa (psi)	-	65,5 (9,5)	COVENIN 875 Alternativo: ASTM D-5191
Contenido de plomo, g Pb/L	-	0,013	COVENIN 2048 Alternativo: ASTM D-5059
Índice de Bloqueo por Vapor (IBV)	-	14,5	Véase punto 3.5
Número de octanos	IAD mín. 91,0 MON mín. 87,0		COVENIN 893

Tabla 3 Requisitos de las gasolinas sin Plomo para motores de combustión interna

## ADITIVOS DE LA GASOLINA

### Aumento del número de octano:

Hasta hace pocos años se agregaba a la gasolina Tetraetilo de Plomo para mejorar su octanaje, sin embargo en la actualidad su uso está prohibido en nuestro país, por la contaminación que producen los óxidos de Plomo. Después de muchos estudios se ha determinado que los sustitutos del Tetraetilo de Plomo pueden ser alcoholes como el metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) y el etanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) o éteres como el metil ter-butil éter (MTBE), el etil ter-butil éter (ETBE) y el ter-amil metil éter (TAME), los cuales presentan individualmente índices de octanaje bastante altos que al ser agregados a la gasolina y formar parte de ella elevan el índice de octano global de la misma.

Compuesto	N.O.
Metanol	105
Etanol	104
MTBE	117
ETBE	118
TAME	112

**Tabla 4 Número de Octano de los principales aditivos agregados a la gasolina**

Por ser el número de octano la característica más importante de la gasolina podemos considerar que los aditivos más relevantes son indicados en la tabla 3.

- Inhibidores de la oxidación de los fenoles: minimizan la oxidación y la formación de goma:  
Se utilizan aminas aromáticas y fenoles.
- Oxigenantes: Mejoran la combustión del combustible. Evitando los humos, los hidrocarburos no quemados y los restos de hollín. Además de mejorar el consumo y la potencia.  
Se utilizan para este fin, el etanol y el metanol.
- Inhibidores de la Corrosión en las tuberías de hierro, tanques de almacenamiento y sistemas de combustible de los vehículos:  
Ácidos carboxílicos y carboxilatos
- Desactivadores de metales, previenen la oxidación y la formación de goma catalizada por los iones de cobre y otros metales: Se utilizan para este fin agentes quelantes.
- Detergentes, prevenir y eliminar los depósitos en carburadores e inyectores de combustible:

amidas, aminas y carboxilatos.

- Aditivos para el control de depósitos, para eliminar y prevenir los depósitos a través de los inyectores de combustible, carburadores puertos de admisión y las válvulas y colector de admisión:  
Polibuteno aminas y aminas poliéter.
- Demulsificantes, para minimizar la formación de la emulsión mediante la mejora de la separación del agua: derivados de poliglicol
- Anticongelantes, para prevenir que el motor se congele, la formación de hielo en el carburador y el sistema de combustible:  
Surfactantes, alcoholes y glicoles
- Colorantes para la identificación de la gasolina, se utilizan para evitar confundir combustibles o el fraude al combinar gasolina de alta calidad con otros combustibles:  
Se utilizan aceites de sólidos solubles y colorantes líquidos.

[4]

## **COMBUSTIBLE PARA MOTORES DIESEL**

Este carburante está destinado a la alimentación de motores diesel que equipan los vehículos particulares e industriales, desde las furgonetas ligeras hasta los camiones pesados de 38 toneladas de carga. Unos usos tan distintos pueden complicar la búsqueda de criterios de calidad adecuados; pero será el tipo de aplicación más exigente y más frecuente, en este caso el coche particular, el que determinará las especificaciones de los carburantes.

### **Propiedades físicas y ensayos empleados.**

La densidad, la curva de destilación, la viscosidad y el comportamiento a baja temperatura, constituyen las características esenciales necesarias para el funcionamiento satisfactorio de los motores.

### **Densidad**

La densidad debe estar comprendida entre 0.820 y 0.860 Kg/L de acuerdo con la especificación europea (EN 590)

La imposición de un valor mínimo de densidad se justifica por la preocupación de obtener una potencia máxima suficiente para el motor, por medio de una bomba de inyección en la que la regulación del consumo se hace en volumen

Por otra parte se fija un límite máximo a la densidad, con el fin de evitar la formación de humos debidos a un incremento de la riqueza media en la cámara de combustión

### **Curva de destilación (Norma ASTM D 86)**

La necesidad de realizar la inyección a alta presión y una pulverización en gotitas finas por medio de un inyector impone unas características de volatilidad muy precisas. Las especificaciones francesas y europeas fijan dos criterios delimitando una volatilidad mínima y máxima. Así, la fracción destilada (%volumen) debe ser:

- Inferior al 65% para una temperatura de 250°C
- Superior al 85% para una temperatura de 350°C
- superior al 95% para una temperatura de 370°C

El punto inicial y final de la destilación no son objetos de especificación pues su determinación es en general poca precisa; los valores medidos en productos comerciales se sitúan entre 160 180°C para el primero y 350 y 385°C para el segundo.

### **Viscosidad (Norma ASTM D 445)**

También la viscosidad debe estar comprendida entre límites precisos, en efecto, un carburante demasiado viscoso aumentaría las pérdidas de carga en la bomba y en los inyectores y esto tenderá a reducir la presión de inyección, a deteriorar la calidad de la pulverización y finalmente afectará el proceso de combustión. A la inversa, una viscosidad insuficiente podría provocar el gripado de la bomba de inyección.



Durante mucho tiempo las especificaciones oficiales del gasóleo no fijaba más que una máxima ( $9.5 \text{ mm}^2/\text{s}$ ) a una temperatura de  $20^\circ\text{C}$ . Ahora se ha definido una horquilla ( $2.5 \text{ mm}^2/\text{s}$  mínimo- $4.5 \text{ mm}^2/\text{s}$  máximo) no a  $250^\circ\text{C}$  sino a  $40^\circ\text{C}$ , que parece más representativo del funcionamiento de una bomba de inyección.

### **Comportamiento a baja temperatura:**

La presencia de hidrocarburos parafinados en el gasóleo, puede provocar su cristalización especialmente a bajas temperaturas y obstruir el filtro colocado en el circuito de alimentación lo que puede suponer una inmovilización total del vehículo.

Las características consideradas en este campo son: punto de niebla, punto de congelación y temperatura límite de filtrabilidad.

El punto de niebla o enturbiamiento, frecuentemente comprendido entre  $0$  y  $-10^\circ\text{C}$ , se determina visualmente (norma ASTM D 2500), es la temperatura a la que los cristales de parafina comienzan a separarse y afectar la transparencia del producto.

A temperaturas más bajas los cristales aumentan de tamaño, se alcanza entonces el punto de congelación o de vertido que puede variar entre  $-15$  y  $-30^\circ\text{C}$  (norma ASTM D 97)

La temperatura límite de filtrabilidad (TLF), es la temperatura mínima para la cual un volumen determinado de gasóleo atraviesa en un tiempo limitado un aparato de filtración muy bien definido. Para los gasóleos clásicos, en periodo de invierno, la TLF, está muy a menudo comprendida entre  $-15$  y  $-25^\circ\text{C}$

### **Numero de cetano (Norma ASTM D 976)**

Para el uso del gasóleo en un motor diesel, es necesario que presente una estructura química favorable a la autoinflamación. Esta característica se expresa por medio del número de cetano.

Las especificaciones europeas imponen para zonas templadas, un número de cetano mínimo de 49 y los fabricantes franceses demandan al menos 50. Así mismo, en los estados unidos y Canadá, el número de cetano de los gasóleos son inferiores a 50.

Una de las características utilizadas desde hace mucho tiempo para estimar la tendencia de un gasóleo a la autoinflamación es el Diesel Index (DI) que se define por la relación:

$$DI = \frac{(PA) * ^\circ API}{100}$$

En la que interviene el grado API del gasóleo y el punto de anilina (PA) (Norma ASTM D 611)

Se han propuesto algunas formulas empíricas para ligar el índice de cetano al índice diesel o incluso directamente con el punto de anilina. Citaremos dos de ellas con el fin de situar las magnitudes relativas de un índice respecto a otro.

- $IC = 0.72 * DI + 10$
- $IC = PA - 15.5$

Expresando el punto de anilina en  $^{\circ}C$  (Norma ASTM D 611) [6]

## ADITIVOS DE COMBUSTIBLE PARA MOTORES DIESEL

Se suelen aplicar combinaciones de aditivos que tienen efecto variado. En general la concentración total de aditivos es  $<0.1\%$  de modo que las características físicas, como la densidad, viscosidad y transcurso de la ebullición no se modifiquen. [7]

### **Mejora del número de cetano por medio de aditivos:**

Los aditivos de mejora del número de cetano, llamados procetano o mejoradores de cetano, son productos oxidantes particularmente lábiles cuya descomposición genera radicales libres que favorecen así la autoinflamación. Se han experimentado dos familias de productos químicos: los peróxidos y los nitratos. Estos últimos son prácticamente los únicos utilizados industrialmente por representar un mejor compromiso coste- eficiencia-facilidad de manejo. Los más conocidos son los nitratos de alquilo, precisamente el nitrato de 2-etilhexilo.

Habitualmente las mejoras conseguidas son del orden de 3 a 5 puntos, partiendo de una base de 45-48; en estas condiciones hace falta entre 300 y 1000 ppm (en masa) de aditivos

### **Aditivos detergentes de gasóleo**

La función de los aditivos detergentes es mantener limpio los inyectores, a fin de asegurar una buena repartición del gasóleo en el cilindro. La estructura de estos compuestos está unida a la de los detergentes para los circuitos de admisión de motores de gasolina. Los compuestos comercializados son de la familia de las succinimidias: amidas de propilendiamina.

- Aditivos mejoradores de la combustión y reductores de emisiones de humos e inquemados:

El mecanismo de acción de estos productos no está claro pero se ha observado que la introducción de compuestos organometálicos (sales de bario o de hierro en solución coloidal) tiene acción benéfica sobre la combustión de los gasóleos en los motores y reduce los humos. Sin embargo, la utilización de estos productos producen depósitos pues se usan en proporciones importantes (del orden de los 0.6 a 0.8% en peso) para ser eficaces.

- Agentes para mejorar la capacidad lubricante:

Se puede mejorar la capacidad lubricante de los gasóleos con malas propiedades de lubricación, añadiendo ácidos grasos, esteres de ácidos grasos o glicerinas.

## **COMBUSTIBLE DE AVIACIÓN**

En los años 30, fue desarrollada en Alemania la primera turbina de gas (turbojet) para aviones. En este motor, el aire atmosférico es comprimido por el compresor del motor, mezclado con el combustible, y quemado. Los gases ardientes se expanden a través de una turbina y se expulsan a la atmósfera. Una parte importante de la energía extraída de los gases calientes que se expanden a través de la turbina se utiliza para manejo del compresor y el motor de accesorios, tales como la bomba de combustible y el generador eléctrico. La pequeña parte restante está disponible como empuje de motor para propulsar el avión. Otra variante del motor de jet es el motor de turbo propulsión. En este motor, la energía extraída de los gases calientes que se expanden a través de la turbina se utiliza para accionar una hélice y así propulsar la aeronave, aparte de manejar el compresor y los accesorios. Los aviones

Jet-accionados tenían uso limitado durante la Segunda Guerra Mundial, pero pronto después de la guerra, los avances en el diseño del motor permitieron motores a reacción más potentes para reemplazar el lento motor de pistón casi en su totalidad, tanto en aeronaves civiles y militares.

El desarrollo de los motores de jet durante los años 50 y el crecimiento rápido subsecuente de la aviación civil y militar durante la última mitad del siglo creó una enorme demanda de combustible para los aviones civiles y militares. El keroseno fue preferido de los combustibles de nafta o de combustibles más ligeros de petróleo debido a la seguridad inherente en su manejo y uso. Las capacidades de refinado fueron aumentadas y las especificaciones de nuevo producto fueron introducidas para cumplir los requisitos de la calidad y de volumen del combustible de avión para la industria de la aviación. El keroseno usado en aviones es llamado "aviation turbine fuel.". En 2007, el consumo mundial de combustible de avión fue estimado en 205 millones de toneladas, y la demanda está creciendo a un ritmo más rápido que el de otros productos petrolíferos. Los pequeños volúmenes de keroseno se utilizan para otras aplicaciones diversas por ejemplo iluminación, la cocina, entre otras aplicaciones. El Kerosene disponible comercialmente se usó en la primera fase de desarrollo de los motores de ignición jet. Se consideró debido a su alto punto de inflamación una menor volatilidad en comparación con el de la nafta. Un punto de inflamación más alto permitió un manejo, transporte, y almacenamiento más seguros del combustible. El Queroseno tiene un punto de congelación muy bajo, lo que permite que los aviones vuelen a grandes altitudes. A una altura de 36.000 pies sobre el nivel del mar, la temperatura ambiental se estima que es por debajo de -70 °F.

Varias organizaciones han publicado especificaciones relativas a los combustibles para turbinas de aviación. Con excepción de Rusia y China, las especificaciones del combustible jet a nivel mundial son emitidas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y el Ministerio de Defensa británico. Cuando el suministro de combustible aumentó, los acuerdos se hicieron más complejos lo que implicó la mezcla de un conjunto de productos de diversas refinerías e instalaciones de almacenamiento, una serie de importantes proveedores de combustible desarrollaron especificaciones comunes que incorporan los requisitos e especificaciones internacionales más importantes de uso actual. Este documento se conoce como el "Aviation Fuel Quality Requirements for

Jointly Operated Systems” ó checklist. El checklist es reconocido por todos los proveedores de combustible de aviación principales: AGIP, BP, Caltex, Chevron, ELF, ESSO, del Golfo, Mobil, Shell, Texaco y Total. Las especificaciones AFQRJOS cumplen con los requerimientos más exigentes de DERD, ASTM 1655 tipo queroseno Jet A-1, y de orientación IATA material-tipo queroseno. La International Air Transport Association (IATA) tiene como objetivo la disponibilidad en todo el mundo de los combustibles de turbina de aviación con especificaciones similares. También, los aviones jet modernos de sistema de combustible requieren un combustible libre de agua, suciedad, y otras formas de contaminantes. La parte II del texto de orientación IATA define los estándares mínimos que deben cumplir los proveedores de combustible para asegurar un suministro de combustible limpio y seco para aeronaves. Para entregar el combustible de avión es necesario condiciones que exigen de estrictos procedimientos de almacenamiento y manipulación. La tercera parte describe las especificaciones internacionales de combustible de turbinas de aviación y también describe los aditivos añadidos que pueden estar presentes en el combustible. Dos tipos de combustibles de avión son para uso de la aviación civil comercial: Jet A-1 y Jet A. Otro tipo de combustible llamado Jet B es un Queroseno de alto corte (una mezcla de nafta y gasolina) que es usado solo en condiciones ambientales muy frías.

### **Jet A-1**

El Jet A-1 es un queroseno apto para la mayoría de los aviones de turbina. Tiene un punto de inflamación mínimo de 100 °F y un punto de congelación máximo de -47 °C (-52.6 °F). Este combustible cumple con las especificaciones de ASTM D 1655 (Jet A-1), especificación británica DEF STAN 91-91 (Jet A-1), con orientación de material IATA (tipo queroseno), y el código de la OTAN F-35. Es el combustible más utilizado por todas las aeronaves civiles fuera de los Estados Unidos. El anexo 1 enumera las especificaciones.

### **Jet A**

El Jet A es idéntico al de Jet A-1, excepto que tiene un punto de congelación más alto, máximo de -40 °C. Se cumplen las especificaciones ASTM D 1655 (jet A). Se utiliza en los Estado Unidos por líneas aéreas nacionales e internacionales.

## **Jet B**

Es una variedad de combustible destilado que contiene fracciones de nafta y queroseno. Se puede utilizar como una alternativa de Jet A-1, pero tienen punto de inflamación inferior y superior de inflamabilidad. Es más difícil de manejar. Se usa en operaciones de tiempo muy frío. En general se produce con las especificaciones de Canadá CAN/CGSB 3,23. El Anexo 2 enumera las especificaciones del Jet-B.

## **MILITARY JET FUEL**

La principal diferencia entre combustibles militares de EE.UU y los combustibles comerciales es el uso de determinados aditivos, tales como anticongelantes, inhibidores de corrosión, mejoradores de la lubricidad, los antioxidantes, mejoradores de la estabilidad térmica, mejoradores de conductividad, y así sucesivamente.

## **CARACTERISTICAS DE CALIDAD DE LOS JET FUELS.**

### **Destilación**

La mayoría de los jet Fuels son cortes de queroseno derivados de la destilación de crudo. Normalmente de 300 a 480 °F (150 a 250 °C) son cortes usados para combustible Jet A-1 con un punto de inflamación de 100 °F. El punto de ebullición inicial (IBP) determina el punto de inflamación del combustible. El aumento del punto de inflamación reduce el rendimiento de corte de queroseno y aumenta el rendimiento de nafta. El punto final de corte está determinado por el punto de congelación deseado. El combustible Jet A-1 tiene un punto de congelación de -52 °F. Elevar el punto de congelación puede incrementar la temperatura del punto final del corte y también el rendimiento del combustible de avión de un determinado crudo.

### **Punto De Humo (Smoke Point, ASTM 1322)**

Esta prueba proporciona una indicación de la producción de humo y de las propiedades de los combustibles de avión en la difusión de la llama. El punto de humo está relacionado con la composición del tipo de hidrocarburo del combustible. En general entre más aromáticos en el combustible, menor es el punto de humo y el combustible es ahumado.

Un punto de humo alto indica un bajo contenido de aromático y una baja tendencia a producir humo. El punto de humo y el número luminómetro al que se puede correlacionar está relacionado con la transferencia potencial de calor de los productos de combustión del combustible. La determinación del punto de humo se realiza “ Wicktype” lámpara de queroseno. Una muestra se quema en una lámpara cerrada que es calibrada diariamente con hidrocarburos puros mezclados con puntos de humo conocidos.

### **Gravedad de Producto de Anilina (ASTM D 1405/IP 193)**

La determinación del calor neto de combustión es un proceso laborioso. Pero una estimación bastante exacta del calor de combustión de combustibles de avión puede ser por medio del punto de anilina y la gravedad API del combustible. Las correlaciones se han establecido entre el calor neto de combustión, el resultado del punto de anilina y la gravedad API de diferentes grados de combustibles de aviación. En estas relaciones se asume que las muestras están libres de azufre. El método de ensayo está diseñado para utilizarse como una guía en los casos donde el calor de combustión experimental no está disponible o no puede hacerse convencionalmente y la estimación se considera satisfactoria en lugar de una determinación real. En este método, el producto de la gravedad API y el punto de anilina en grados Fahrenheit es calculado, y el calor de combustión es estimado por una serie de ecuaciones empíricas o leído de diferentes tablas.

### **Estabilidad Térmica a la Oxidación**

En aviones supersónicos, el combustible es usado para enfriar los componentes del motor, y la temperatura puede aumentar hasta 200°F. En estos aviones, el combustible es usado como un disipador de calor para el sistema de lubricación, para el acondicionamiento de aire en la cabina el enfriamiento del sistema hidráulico. La temperatura del combustible de la turbina puede aumentar de 300° a 500 ° F antes de que se queme. Debido a las altas temperaturas del combustible, pequeñas cantidades de sólidos pueden formarse debido a la oxidación y depositarse en los intercambiadores de calor, filtros, y los inyectores de combustibles.

Este método de ensayo cubre el procedimiento para la clasificación la tendencia de los combustibles de turbina para depositar productos de descomposición dentro del sistema de combustión. Los resultados son

indicativos del rendimiento del combustible durante la operación de la turbina y puede ser usado para acceder al nivel de los depósitos formados en el motor cuando el combustible líquido contacta una superficie caliente a una temperatura específica. La prueba utiliza el medidor de oxidación térmica de combustible de avión (JFTOT) que se somete a pruebas de condiciones de combustión simulando las del sistema de combustible de las turbinas de aviación. En un ensayo típico de JFTOT, el combustible es bombeado a una presión de 500lb/pulg<sup>2</sup> y se fija el flujo volumétrico a través de un calentador que calienta el combustible hasta 260° C, después de lo cual entra en un filtro de acero inoxidable donde la degradación del combustible donde los productos quedan atrapados.

#### **Reacción al Agua (ASTM D 1094)**

Esta prueba cubre la determinación de la presencia de componentes miscibles en agua en los combustibles de la turbina y el efecto que estos tienen en la interface combustible-agua. En este método, una muestra de combustible se agita con una solución amortiguadora de fosfato a temperatura ambiente. El cambio en el volumen de la capa acuosa, la apariencia de la interfaz, y el grado de separación de las dos fases es tomado como el agua de reacción del combustible. La extracción de agua de los combustibles de aviación revela la presencia de partículas contaminantes solubles tales como tensoactivos. Estos contaminantes pueden afectar la interface o crear emulsiones en las capas de combustible o agua, desarmando el separador de filtro rápidamente, y permitiendo agua libre y el pase de partículas al motor.

#### **Azufre Mercaptano (ASTM D 3227)**

Si el azufre mercaptano está presente en los combustibles de aviación puede darle un olor desagradable al combustible además que los elastómeros son corrosivos para los componentes del sistema de combustión. Los mercaptanos pueden ser casi completamente removidos por procesos de tratamientos tales como Merox o por deshidrosulfuración. En los combustibles los mercaptanos son determinados por métodos analíticos. Sencillamente el combustible es disuelto en acetato de sodio alcohólico y titulado potenciométricamente con una solución de nitrato de plata. El sulfuro de mercaptano se precipita como mercaptano de plata. El punto final de la titulación es



visto por un gran cambio en el potencial de celda. De la solución de nitrato de plata consumida, los mercaptanos son estimados.

### Acidez (ASTM D 3242)

Los combustibles de aviación pueden tener naturalmente ácidos orgánicos o pueden tener trazas de ácidos como un resultado de tratamientos de refinería. Sin embargo, incluso pequeñas cantidades de ácidos en los combustibles de aviación son indeseables porque pueden promover la corrosión de los equipos y perjudicar la separación de agua y sus características. En el ensayo, la muestra es disuelta en una mezcla de tolueno e isopropil alcohólico conteniendo una pequeña cantidad de agua. La mezcla resultante es titulada con una solución estándar de hidróxido de potasio alcohólico y el punto final indicado por el cambio de color de una solución indicadora añadida de p-naphtholbenzein.

### Contenido de Hidrogeno (ASTM D 3343)

La composición de los combustibles de aviación tiene un efecto significativo en la formación de hollín durante la operación de turbinas de gas. El contenido de hidrógeno es un parámetro importante que determina las propiedades de combustión tales como el punto de humo y el numero luminómetro. Al incrementar el contenido de hidrógeno no solo aumenta la producción de energía sino que también reduce las emisiones de dióxido de carbono del motor. El contenido de hidrógeno puede ser estimado de la gravedad API del combustible, % volumétrico de aromáticos, y destilación ASTM 10,50, y 90 puntos porcentuales según:

$$\%H = 0.08317^{\circ}G - 0.041089^{\circ}A + 0.000072135^{\circ}A^{\circ}V + 0.00005884^{\circ}G^{\circ}V - 0.0004960^{\circ}G^{\circ}A + 10.56$$

Or in SI units

$$\%H = (9.1959 + 0.01448^{\circ}T - 0.07018^{\circ}A)/S + 0.02644^{\circ}A + 0.0001298^{\circ}A^{\circ}T - 0.01345^{\circ}T + 2.014$$

Where:

%H	=	Weight % hydrogen
G	=	Gravity, °API
A	=	Volume % aromatics
V	=	Average of 10%, 50%, and 90% distillation data, °F (ASTM D 86)
T	=	Average of 10%, 50%, 90% distillation data, °C
S	=	Specific gravity of fuel, g/mL

## ADITIVOS PARA LOS COMBUSTIBLES DE AVIACIÓN

Debido a que los aditivos en ciertas condiciones pueden presentar algunos efectos secundarios indeseables, sólo un número limitado está permitido en los combustibles de aviación. El tipo y la concentración de todos los aditivos está estrechamente controlado por especificaciones adecuadas del combustible. Las especificaciones definen los requerimientos de aditivos, de la siguiente manera:

- Obligatoria (Mandatory) : debe estar presente entre el mínimo establecido y los límites máximos.
- Opcional: se puede añadir durante la fabricación, hasta el límite máximo.
- Por Acuerdo: Se puede añadir solo con el consentimiento del usuario/comprador, en el plazo y límites especificados.

Los aditivos que no figuran en las especificaciones no están permitidos. Los siguientes aditivos de combustibles son de uso corriente.

### **Antioxidantes**

El uso de antioxidantes es obligatorio en los combustibles que han tenido hidrotratamiento o proceden de tratamientos con hidrógeno. Frecuentemente los combustibles contienen antioxidantes naturales. Por esta razón tienen buena estabilidad a la oxidación y no necesitan antioxidantes. Sin embargo, incluso el más leve hidrotratamiento destruye los antioxidantes de origen natural, resultando en una menor estabilidad del combustible. Por esta razón el queroseno proveniente de hidrocrackeo o que ha sido objeto de un proceso de hidrodesulfuración requerirá de aditivos antioxidantes para prevenir la formación de peróxido de hidrógeno que puede causar el rápido deterioro de los componentes de goma en el sistema de combustible. Los antioxidantes

se añaden inmediatamente después del tratamiento con hidrógeno y antes de que el producto o componente sea almacenado. Los antioxidantes previenen la formación de goma y aumentar la estabilidad de almacenamiento del combustible. Cuando un combustible terminado comprende una combinación de hidrotratamientos y otra combinación de no tratamientos con hidrógeno, los requerimientos de adición obligatorios de antioxidantes aplica solo para la porción de mezcla que ha sido tratada con hidrotratamientos. Para combustibles o partes de combustibles que no han sido tratadas con hidrotratamientos, la adición de antioxidantes es opcional. La concentración permitida de antioxidantes in combustibles de aviones con hidrotratamientos es un mínimo de 17mg/L y un máximo de 24mg/L. Para combustibles que no han sido hidrotratados, la máxima concentración es de 24.0mg/L

#### ***Desactivador de Metales***

El uso de desactivadores de metales (MDA) está permitido para neutralizar los efectos adversos de los metales en la estabilidad del combustible. Normalmente no es necesario a menos que el combustible ha sufrido un proceso de endulzamiento de cobre para eliminar los mercaptanos. Desactivadores de metales son agentes quelantes que forman complejos estables con metales específicos. Ciertos metales como el cobre y el zinc son muy perjudiciales para la estabilidad del combustible, ya que catalizan la reacción de oxidación, lo que resulta en la degradación del combustible. Desactivadores de metales suprimen el efecto catalítico de algunos metales en la oxidación del combustible y por lo tanto la vida de almacenamiento de combustible y la estabilidad mejoran. Los siguientes material están cualificados en la mayoría de las especificaciones de combustible para aviones, NN-disalicylidene 1, 2 - propano diamina en una concentración de material activo no superior a 5,7 mg / L.

#### ***Inhibidores de Corrosión y Mejoradores de lubricidad***

Su uso es opcional para proteger los tanques de almacenamiento y ductos de la oxidación y la corrosión para mejorar las propiedades lubricantes del combustible. El uso de este aditivo (generalmente 9 a 22,5 g/m<sup>3</sup>) es obligatorio en combustibles de la aviación del ejército.

### ***Biocidas***

El aditivo JF Biobor se utiliza para prevenir el crecimiento microbiano en los combustibles de hidrocarburos. Por lo general se utiliza para la desinfección de las aeronaves durante un período cuando los aviones se quedaron parados lleno o parcialmente lleno con combustible. El combustible se utiliza en forma normal. Para reducir al mínimo la deposición de compuestos de boro en el motor, este tratamiento se permite a intervalos irregulares. El uso del aditivo es por acuerdo entre el fabricante y el comprador.

### ***Sistema de combustión. Inhibidores de la formación de Hielo.***

El combustible de avión puede tener trazas de humedad que pueden congelarse a una gran altura formando cristales de hielo en el combustible. Los inhibidores de formación de hielo (FSIIs) son aditivos que evitan la formación de hielo mediante la reducción del punto de congelación del agua. La formación de cristales de hielo en los tanques de combustible puede bloquear la línea de combustible de la aeronave y los filtros causando la falla del motor. Todos los combustibles de turbina de aviación contienen un poco de agua disuelta que puede ser separada fácilmente. Cuando un avión se eleva a la altura de vuelo, el combustible se enfría, y la solubilidad del agua en el combustible disminuye. Algo del agua disuelta separada puede permanecer en estado superenfriada o puede formar cristales. Cuando el agua superenfriada se reúne en una superficie áspera o filtro, comienza la nucleación y cristalización rápidamente, causando bloqueo de la línea de filtros. Los inhibidores de formación de hielo tienen una limitada solubilidad en combustible de avión pero son completamente solubles en agua. Cuando es disuelta agua en combustible rápidamente se separa, una cierta cantidad del aditivo deja rápidamente el combustible y, preferentemente, se disuelve en agua, con el descenso del punto de congelación y mantienen las líneas de combustible y los filtros limpios de hielo.

FSSII es usado generalmente por la aviación militar que no tienen calentadores de combustibles. El uso de FSII es obligatorio para todos los grados militares de los combustibles, como el JP-4, JP-5 y JP-8. El único grado aprobado de FSII es dietileno glicol monometil éter (diethylene glycol monomethyl ether) (anexo 3). La dosis típica aprobada es 0.10 a 0.15 % vol. Grandes aviones civiles no requieren FSII, ya que

están equipados con un calentador de combustible en línea eléctrica que mantiene el combustible a una temperatura adecuada para evitar la formación de hielo. Debido a los biocidas naturales de estos aditivos, también son efectivos para reducir la contaminación microbiológica problemática en los tanques de las aeronaves y las instalaciones en tierra. Etilen Glicol monoetil éter ( Ethylene glycol monoethyl ether ) es usado en Rusia.

### ***Disipadores estáticos***

La electricidad estática se genera por el movimiento de combustible a través de un flujo de alta velocidad de transferencia del sistema de combustible. Se añaden disipadores estáticos al combustible de aviación para aumentar su conductividad y permitir la disipación de la carga al suelo. Las cargas electrostáticas son un peligro y es un hecho conocido. El riesgo puede ser reducido mediante el correcto manejo del producto y por la observación de los procedimientos de seguridad hechos en tierra y todo el equipamiento cercano o en contacto con el combustible. Sin embargo Sin embargo durante la manipulación de combustibles en altas tasas de carga, se hace imposible asegurar que las descargas electrostáticas no ocurran mediante el manejo seguro del combustible. La única vía segura para prevenir la acumulación de tales cargas es elevar la conductividad del combustible a niveles tales que si la carga se forman se fugará con rapidez.

La conductividad de los combustibles se expresa generalmente en siemens por metro ( $1 \text{ pS} / \text{m}$ ) =  $1 \times 10^{-12} \text{ ohm}^{-1} \text{ metros}^{-1}$ . Los querosenos tienen una conductividad de 1 a 20 pS/m. Para comparar, el agua desionizada puede tener una conductividad de 10 millones de pS/m. Se ha encontrado que la conductividad de muchos productos destilados derivados del petróleo se encuentra entre 0,01 y 10 pS/m, y en este nivel, los productos son electrostáticamente peligrosos. La conductividad de los hidrocarburos se incrementa a las de 50pS/m por la adición de aditivo antiestático como "Stadis 450". Con el aumento de la conductividad a las de 50pS/m, el manejo seguro del combustible es posible.

Sin embargo, hay condiciones en las que el nivel elevado de conductividad del combustible también puede ser perjudicial para la manipulación del combustible y para los equipos de almacenamiento.

Un exceso de conductividad tiene un efecto perjudicial en ciertos medidores. Estos medidores son sensibles a la conductividad del combustible y pueden funcionar mal debido a la alta conductividad. Los medidores pueden registrar una lectura errónea del volumen de combustible, lo cual puede resultar en un vuelo bajo advertencia de combustible que requiera una emergencia de aterrizaje. Los instrumentos utilizados para medir el volumen de los tanques de combustible en realidad tienen en cuenta la constante dieléctrica del combustible en la medición de los volúmenes de combustible en los tanques. Durante el llenado con combustible puede comprometerse la calibración del instrumento, dando como resultado lecturas erróneas y posibles volúmenes de sobre llenado en los tanques. Por esta razón, la mayoría de las especificaciones de combustible para aviones también tienen un límite para la conductividad. La conductividad del combustible se ajusta entre 150 y 600 sP/m a 85 ° F mediante dosis de aditivos antiestáticos.

#### ***Mejoradores de Estabilidad Térmica***

Algunos tipos militares de EE.UU, tales como JP-8 100 contienen un paquete de aditivos que mejoran la estabilidad térmica de los combustibles a 100 ° F. El paquete de aditivos contiene detergentes, dispersantes, desactivadores de metales y antioxidantes. El aditivo reduce el coque y la suciedad en el sistema de combustible del motor. Los tipos de aditivos permitidos se indican en el anexo 4. [8]

## **ENSAYOS APLICADOS CRUDOS Y SUS FRACCIONES**

#### **Punto de anilina (Norma ASTM D 611)**

El punto de anilina (o anilina mixta) ayuda en la caracterización de hidrocarburos puros y sus mezclas. Los aromáticos muestran los más bajos valores y las parafinas los más altos. Las cicloparafinas muestran valores entre estos dos extremos. En series homologas, el punto de anilina incrementa cuando incrementa el peso molecular. El punto de anilina es frecuentemente usado para estimar el contenido de aromáticos de mezclas.

#### **Destilación atmosférica (Norma ASTM D 86)**

La destilación (volatilidad) de los productos del petróleo son indicativos de su rendimiento los resultados empíricos obtenidos por estos métodos

de ensayo han sido encontrados, este método cubre la destilación de motor y de avión, combustibles de turbinas de aviación, naftas, kerosene, gasoil, aceites y productos similares de petróleo.

**Destilación al vacío (Norma ASTM D 1160)**

Este método es usado para la determinación de las características de productos del petróleo y fracciones que pueden descomponerse si se destila a presión atmosférica. [9]

## CAPITULO II

### → MATERIALES Y METODOS

#### UBICACIÓN

La obtención de las tres fracciones de crudo se realizó en el Laboratorio de Petróleo y Catálisis de la Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes.

#### METODOS

##### o *DESTILACION ATMOSFERICA ASTM D-86*

En este ensayo la destilación atmosférica de petróleo se realiza en una unidad de destilación batch, determinando cuantitativamente el rango característico de algunos productos como gasolinas de combustión interna y de aviación, turbo combustibles de aviación, naftas, éter de petróleo, kerosene, gasóleos, aceites combustibles destilados y otros.

Durante la destilación se deben efectuar registros sistemáticos de temperatura y volumen de destilado para construir la curva ASTM del crudo en cuestión (T vs Vol. de destilado) de la cual se pueden obtener algunos datos como la temperatura de ebullición media TBM, y el factor de caracterización KOUP.

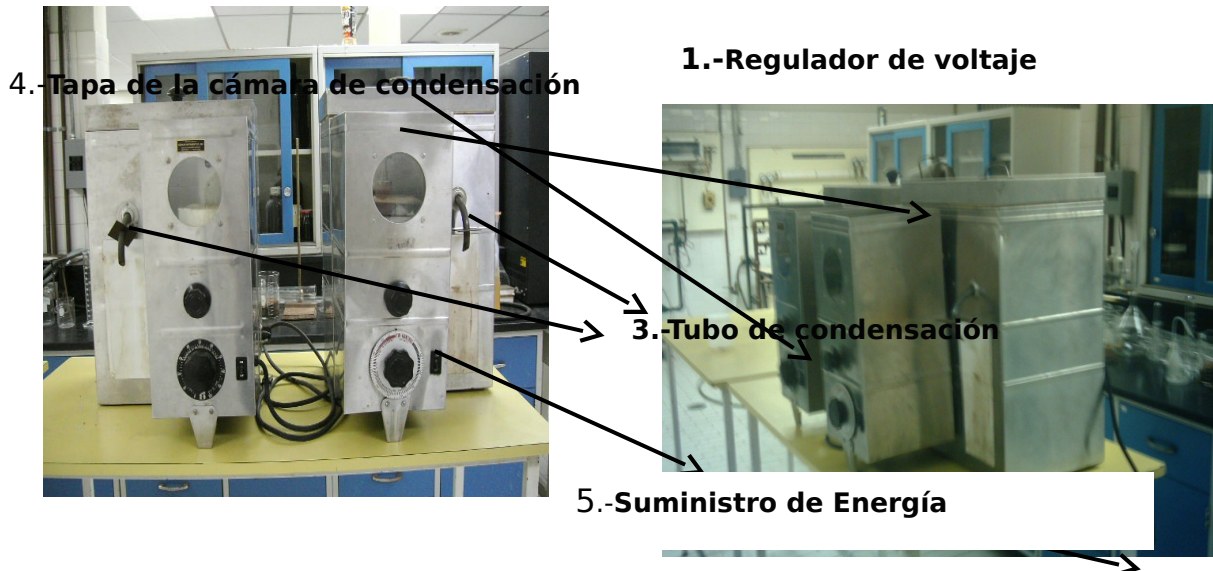
$$Koup = \frac{Tbm^{1/3}}{\delta}$$

La temperatura de destilación no debe sobrepasar los 350 °C, ya que a temperaturas mayores se producen temperaturas de craqueo, debido a esto el residuo atmosférico se lleva a una torre de destilación al vacío para obtener fracciones más pesadas y más datos para construir la curva de destilación ASTM.



### Ilustración 2 Aparato de Destilación.

Método ASTM D-86, aplicable a la destilación de gasolinas, kerosenos y gasóleos.



Vista frontal

Vista lateral

EXP

- Se agregan 100 ml de crudo Rosa Mediano, a un cilindro graduado e introducir un HIDROMETRO, para así leer el valor de la densidad cuando este llegue a un estado de equilibrio. Se calcula la densidad o gravedad específica, usando agua como referencia.
- Se toma una muestra de 100 ml del crudo rosa mediano y se agrega en un balón de destilación, para llevarlo al equipo batch ASTM, iniciar el calentamiento previendo no sobrepasar los 320 °C registrados en un termómetro acoplado al balón de destilación. Se recolectan muestras de 5ml y se registran las temperaturas a las cuales se obtiene cada ml de volumen, cuidando el rango de temperatura señalado en la Tabla 2.
- Mezclar los volúmenes comprendidos en los rangos de temperatura correspondientes a cada fracción de crudo (gasolina, kerosene y gasóleo).
- Se toman estas muestras y se llevan al refractómetro, para obtener su índice de refracción, se compara con el IR teórico.

- Seguidamente se llevan estas muestras a un viscosímetro de Ostwald, colocándolas en el capilar adecuado, se succiona el fluido hasta el aforo del primer bulbo y se mide el tiempo en segundos que tarda el líquido en bajar desde el primer bulbo hasta el segundo, se calcula la viscosidad cinemática del fluido.
- Para medir la viscosidad de Saybolt, se introducen 60 mL de muestra en el viscosímetro, se retira el tapón y se mide el tiempo de descenso de la muestra, se calcula la viscosidad universal de Saybolt

**NOTA: Estos dos últimos experimentos deberá realizarlos a 27 y 40 °C.**

- Se colocan 5 ml de anilina con 5 ml de muestra en un tubo, utilizando parafina líquida como baño de maría; se calienta hasta que se forme una fase y retirar allí la manta de calentamiento; se enfría la muestra a velocidad controlada y se toma la temperatura a la cual se separa.
- Se pesan muestras de 1-3 g del residuo de destilación atmosférica, dentro de un crisol con tapa; se llevan a un horno de calentamiento o mufla a una temperatura de 100°C, al alcanzar esta temperatura, dejarla constante por 5 min y se repite el procedimiento hasta alcanzar 500°C. Luego se deja enfriar la muestra hasta temperatura ambiente. Se pesa el crisol con la muestra contenía en el, y con la diferencia entre este y el peso inicial del crisol solo, se obtiene la cantidad de carbón sólido presente en el crudo.

#### o **DESTILACION AL VACIO ASTM D-1160**

### **EXPERIMENTAL**

Se coloca el residuo de la destilación atmosférica en un balón de destilación provisto de un termómetro. Se lleva este balón al equipo de destilación al vacío. Se precalienta a una temperatura de 70°C u 80°C. Se enciende la bomba de vacío y se deja destilar la muestra hasta una temperatura aproximada de 320°C.

## Ilustración 3 Aparato de Destilación al Vacío

## Recolección de Datos

Muestra	°A PI	Punto de anilina (°C)	Gravedad específica	Presión de vapor	Índice de refracción	Masa (gr)	Volumen (ml)	Carbón Conradson (gr)
<b>Crudo rosa mediano</b>	23.5						100 ml	
<b>Gasolina</b>		52	0.751	1.6	1.4360			
<b>kerosén</b>		60	0.775		1.4565			
<b>Gasoil</b>		62	0.790		1.4795			
<b>Residuo atmosférico</b>						52.39	57.57	0.5123
<b>Residuo de vacío</b>						23.349	25	

Tabla 5 Tabla de Datos.

## Resultados

Fracción	°A PI	Densidad (gr/ml)	Gravedad específica	Factor de caracterización	Peso molecular	TEB M (°F)	Índice de cetano	Punto de congelación (°R)
<b>Crudo</b>			0.91	11.22	243.14	605		
<b>Gasolina</b>	57			11.9	115	260	40.39	341

<b>Kerosén</b>	51	11.9	140	330	47.1	375.711
<b>gasoil</b>	48	11.9	160	370	49.8	397
<b>Residuo atmosférico</b>	1.90				3	
<b>Residuo de vacío</b>	1.93				5	

Tabla 6 Tabla de Resultados

### Muestra de cálculo

- o Gravedad específica: usando los °API se calcula la gravedad específica

$$^{\circ}API = \frac{145.5}{g.e} - 131.5$$

- o Gravedad específica= 0.91
- o TEBM: a partir de la figura ( ) se obtiene la Temperatura en °F para diferentes porcentajes de volumen destilado, estas son:

$$T_{10} = 380$$

$$T_{30} = 560$$

$$T_{50} = 600$$

$$T_{70} = 620$$

$$T_{90} = 800$$

Luego se calcula la Temperatura volumétrica

$$T_{volumetrica} = \frac{T10 + T30 + T50 + T70 + T90}{5}$$

T volumétrica = 592°F

Para calcular el factor de corrección se necesita conocer la pendiente:

$$S = \frac{T90 - T10}{90 - 10}$$

S = 5.25

De la figura 2B1.2 (manual °API) obtenemos el factor de corrección  
Fc = 13

Se calcula La TEBM

$$TEBM = T_{volumetrica} \pm \text{factor de correccion}$$

TEBM = 605°F

- o Factor de caracterización: usando los valores hallados de TEBM y gravedad específica se calcula este factor:

$$Kuop = \frac{\sqrt[3]{TEBM}}{g.e}$$

Kuop = 11.22

- o Peso molecular: se calcula con la siguiente ecuación:

$$PM = 20.486 * \left( e^{1.165 * 10^{-4} * TEBM - 7.78712 * g.e + 1.1582 * 10^{-3} * TEBM * g.e} \right) * TEBM^{1.26007} * g.e^{4.98308}$$

PM = 243.14

**Gasolina, kerosén y gasoil**

Con los datos experimentales de punto de anilina y gravedad específica para cada fracción se determina los °API, el factor de caracterización, peso molecular y TEBM a partir de la figura 2B6.1 (manual °API).

- o Índice de cetano: se calcula con la siguiente correlación

$$IC = 415.26 - 7.673 * ^\circ API + 0.186 * TEBM + 3.503 * ^\circ API * \log TEBM - 193.816 * \log TEBM$$

IC gasoil= 49.85

IC gasolina = 40.39

IC kerosen=47.13

- o Punto de congelación (PC): se determina de la siguiente manera:

$$PC = -2390.42 + 1826 * S + 122.49 * K - 0.135 * TEBM$$

PC gasoil= 397 °R

PC gasolina = 341 °R

PC kerosen=375.711 °R

Residuo atmosférico (RA) y al vacío (RV)

Se determina la densidad para cada muestra

$$densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Densidad RA=1.90

Densidad RV=1.93

## ADITIVOS PARA FRACCIONES DE PETROLEO

Requisitos ideales para un aditivo:

INHIBICIÓN DE  
CORROSIÓN EFICAZ

- Inicialmente
- Después del almacenamiento, el

HABILIDAD PARA RESISTIR REMOCIÓN POR:  
Contacto con agua  
Filtrado

HABILIDAD PARA  
MANTENERSE EN SOLUCIÓN (ESTABILIDAD)

**ADITIVO  
IDEA**

INTERVENCIÓN NULA EN LAS PROPIEDADES DE IGNICIÓN  
No afectar Ind. Octanaje o N° de cetano.  
Ningún aumento en los depósitos de combustión

NO PRODUCIR EMULSIFICACIÓN PATIBILIDAD CON OTROS ADITIVOS

## Formulación de gasolina

La adición de nuevos aditivos a la gasolina no es cuestión de ensayo y error. Cada etapa es precedida por meses, años, muchas veces años, de desarrollo y pruebas minuciosas en laboratorios, y por supuesto en carretera antes de que el aditivo sea realmente comercial. El aditivo debe no solo hacer su tarea, sino que también debe ser de fácil almacenaje en los tanques de combustible y sin causar daño a las tuberías. Debe ser un aditivo que no cause grandes daños ambientales y que sea comercialmente atractivo.

En esta investigación hemos formulado esta gasolina basándonos en los estándares internacionales actuales, es decir, hemos producido un combustible ecológicamente más amigable al introducir una gasolina E15 (una mezcla de gasolina con etanol) que no se encuentra en Venezuela, eliminando por completo la adición de MTB ( Gran contaminante del agua ). De esta forma PETROING.C.A cumple con los

nuevos lineamientos de **EPA** (United States Environmental Protection Agency) y nos comprometemos con la creación y desarrollo de combustibles menos contaminantes y más sustentables.

En la formulación de la gasolina hemos tomado como base los viejos estándares, eliminando componentes dañinos y colocando componentes más eficientes para obtener un producto mejor formulado y más amigable. Para ellos nos hemos basado en patentes americanas ( patente numero 4295860 ) y en la siguiente tabla encontrada en bibliografía:

**Table 2-1. Types of Additives for Gasoline and Dosage**

<i>Additive</i>	<i>Approx. Dosage</i>
Antiknock fluid.....	0-3 ml per gal, max
Antioxidants.....	2-16 lb per 1,000 bbl
Metal deactivators.....	1-3 lb per 1,000 bbl
Corrosion inhibitors.....	10-50 ppm
Anti-icing agents.....	0.5-1.0 %
Preignition preventers.....	0.01-0.02 %
Upper-cylinder lubricants.....	A few tenths of 1 %
Dyes and decolorizers.....	A few parts per million

**Tabla 7 tipos de Aditivos para la gasolina**

<b>GASOLINA DE AUTOMOVIL ES BIOCOMBUSTIBLE</b>		
<b>FUNCIÓN</b>	<b>COMPUESTO</b>	<b>%vol (lts/lts)</b>
<b>ANTIDETONANTES ( COMPUESTOS OXIGENADOS)</b>	FERROLENO ( C10H10 Fe)	1,00E-03
	Etanol (CH3OH)	1,50E+01
	COMBUSTIBLE E15 Metil tert-butil éter	
	MTB (C5H12O)	
<b>ANTIOXIDANTES</b>	2,6-di-ter-butil-4-metilfenol (C15H24 O)	1,40E-02



	N,N-disec-butil-para-fenilendia mina (C <sub>14</sub> H <sub>24</sub> N <sub>2</sub> )	1,00E-02
	N-normal butil-para aminofenol	5,50E-03
<b>DESACTIVADORES DE METAL</b>	N,N disalicylidene-1,2-Diaminopropano ( C <sub>17</sub> H <sub>18</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) ( NOMBRE COMÚN: MDA)	5,00E-04
<b>INHIBIDORES DE CORROSIÓN</b>	Butilhidroxitolueno (C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O)	4,30E-03
<b>ELIMINADORES DE PREIGNICIÓN</b>	iso-octan o n-heptan o fosfinas	3,50E-03 6,50E-03 1,00E-04
	Chloro.thiono-phosphate	5,00E-03
	Tri-n-butil	4,90E-03
<b>COLORANTES</b>	N,N-dibutil-p-(p-nitrofenil azoanilina)	1,80E-04

Tabla 8 Aditivos para la gasolina

## ADITIVOS PARA EL GASOIL

### *Mejora del número de cetano por medio de aditivos:*

Se utilizan productos oxidantes particularmente lábiles cuya descomposición genera radicales libres que favorecen así la autoinflamación Habitualmente se utiliza **nitrate de 2-etilhexilo** y las mejoras conseguidas son del orden de 3 a 5 puntos; para estas condiciones hace falta entre **300 a 1000 ppm** de este aditivo. [10]

### *Aditivos detergentes de gasóleo:*

Los compuestos comercializados son de la familia de las succinimidias, amidas de propilendiamina.

En la última década se ha estudiado y comprobado el efecto detergente-dispersante del **N-(3,5-dialofenil)succinimida** (también fungicida), determinándose que en concentraciones entre **400-500ppm** es bastante eficaz. [10]

- o **Aditivos mejoradores de la combustión y reductores de emisiones de humos e inquemados:**  
**Nitrato de bario**, tiene acción benéfica sobre la combustión ya que este tipo de sales son altamente reactivas al calor, fomentando así la ignición de trazas combustibles sin quemar. Sin embargo, la utilización de estos productos producen depósitos pues se usan en proporciones importantes (del orden de los **0.6 a 0.8% en peso**) para ser eficaces. [10]
- o **Agentes para mejorar la capacidad lubricante:**  
**Poliricinoleato de poliglicerol**. Surfactante derivado de la glicerina con poder lubricante cuando es utilizado en proporciones cercanas al **0.01% peso**. [11]

En la siguiente tabla se resumen los aditivos a utilizar para mejorar la calidad del gasoil producido por PETROING C.A.

<b>Tipo</b>	<b>Aditivo</b>	<b>Proporción</b>
<b>Ind. Cetano</b>	nitrate de 2-etilhexilo	300-1000 ppm
<b>Detergencia</b>	N-(3,5-dialofenil)succinimid a	400-500ppm
<b>Combustión</b>	<i>Nitrato de bario</i>	<i>0.6 a 0.8% en peso</i>
<b>Lubricación</b>	Poliricinoleato                      de poliglicerol	<i>0.01% peso.</i>

**Tabla 9 Aditivos para el gasoil**

## CAPITULO III

### → RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### CONSTRUCCION DE CURVA ASTM D 86

A partir de los valores experimentales obtenidos en la destilación atmosférica, se construyó la siguiente tabla:

<b>%Vol Dest</b>	<b>T (°C)</b>	<b>T (°F)</b>
<b>0</b>	111	231,8
<b>1</b>	122	251,6
<b>2</b>	129	264,2
<b>3</b>	132	269,6
<b>4</b>	142	287,6
<b>5</b>	147	296,6
<b>6</b>	148	298,4
<b>7</b>	160	320
<b>8</b>	166	330,8
<b>9</b>	189	372,2

<b>10</b>	197	386,6
<b>15</b>	231	447,8
<b>20</b>	261	501,8
<b>21,6</b>	275	527
<b>25</b>	284	543,2
<b>30</b>	293	559,4
<b>35</b>	300	572
<b>40</b>	307	584,6
<b>45</b>	308	586,4
<b>50</b>	308	586,4

**Tabla 10 Datos Experimentales de la Destilación Atmosférica.**

La representación gráfica los valores de T(°F) Vs %Vol. Dest. Viene dada por :

T(°F) Vs. %Vol. Dest. Valores experimentales.

En la destilación al vacío se corroboró que las temperaturas ebullición del residuo atmosférico son mucho menores que las esperadas si la destilación atmosférica ya que la destilación anterior se detuvo con el fin de evitar el craqueo del crudo. Se sabe que a presiones más bajas, las sustancias se evaporan a una menor temperatura debido a que la resistencia se reduce en la fase gaseosa. Sin embargo, al haber trabajado a 14 mmHg no se logró destilar el crudo en su totalidad por la presencia de compuestos muy pesados.

Al tomar los datos de la destilación al vacío se distorsionaba el comportamiento esperado de la curva ya que no continuaba la curva en donde e había parado la destilación atmosférica por lo que se decidió aplicar el efecto espejo a los datos de la destilación atmosférica y completar los datos de la destilación al vacío para así obtener la mejor tendencia de la curva de manera que se represente el crudo que se destiló, entonces la curva obtenida es:

Curva de destilación ASTM D86 para crudo "Rosa Mediano".

Durante el desarrollo de la destilación atmosférica se midió el índice de refracción de los cortes, cada 5ml, para así hacer una estimación del tipo de fracción que se estaba destilando (Gasolina, Kerosén o Gasoil) y se obtuvieron los siguientes datos:

Fracción	Vol. (ml)	T (°C)	Índice de Refracción
	0	111	
	1	122	
	2	129	
	3	132	
	4	142	
Gasolina	5	147	1,4360
	6	148	
	7	160	
	8	166	
	9	189	
	10	197	
	15	231	
<hr/>			
Kerosén	<b>20</b>	<b>261</b>	
	21,6	275	1,4565
	25	284	
	30	293	
<hr/>			
Gasoil	<b>35</b>	<b>300</b>	
	40	307	1,4795
	45	308	
	50	308	

Tabla 11 Cortes obtenidos con su índice de refracción experimental

### CONVERSION DE ASTM D86 TBP PARA DESTILACIÓN A PRESIÓN ATMOSFERICA

La siguiente ecuación es usada para convertir la temperatura de destilación del 50% volumen ASTM D86 a Temperatura Real de Ebullición (TBP):

$$\text{TBP}(50) = 0,87180(\text{ASTM}(50))^{1,0258}$$

Dónde:

**TBP(50):** Temperatura real de ebullición para 50 %volumen de destilado en °F.

**ASTM D86(50):** Temperatura de destilación ASTM D86 observada para el 50%de destilado en °F.

Para determinar la diferencia de TBP entre dos cortes, se utiliza la siguiente ecuación:

$$Y_i = AX_i^B$$

Dónde:

**Y<sub>i</sub>:** Diferencia de TBP entre dos cortes, (°F)

**X<sub>i</sub>:** Diferencia de temperatura ASTM D86 observada entre dos cortes, (°F).

**A,B:** Constantes para diferentes rangos de ebullición, descritos a continuación:

i	Rangos de Ebullición	A	B	Diferencia máxima permitida
1	100%-90%	0,11798	1,6606	-
2	90%-70%	3,0419	0,75497	10
3	70%-50%	2,5282	0,82002	150
4	50%-30%	3,0305	0,80076	250
5	30%-10%	4,9004	0,71644	250
6	10%-0%	7,4012	0,60244	100

Para determinar la TBP de cualquier porcentaje de destilación:

$$\text{TBP}(0) = \text{TBP}(50) - Y_4 - Y_5 - Y_6$$

$$\text{TBP}(10) = \text{TBP}(50) - Y_4 - Y_5$$

$$\text{TBP}(30) = \text{TBP}(50) - Y_4$$

$$\text{TBP}(70) = \text{TBP}(50) + Y_3$$

$$\text{TBP}(90) = \text{TBP}(50) + Y_3 + Y_2$$

$$\text{TBP}(100) = \text{TBP}(50) + Y_3 + Y_2 + Y_1$$

Aplicando el procedimiento descrito anteriormente, se calcularon las TBP para los diferentes cortes de petróleo "Rosa Mediano":

%Vol. Dest.	10	30	50	70	90
ASTM D86, T(°F)	378,63	564,51	596	621,78	800,6

- **Para 50% de destilado:**

$$\text{TBP}(50) = 0,87180(596^{\circ\text{F}})^{1,0258}$$

$$\text{TBP}(50) = 612,7^{\circ\text{F}}$$

- **Para 30% de destilado:**

$$X_4 = (596 - 564,51)^{\circ\text{F}} = 31,49^{\circ\text{F}}$$

$$Y_4 = 3,0305(31,49^{\circ\text{F}})^{0,80076} = 47,99^{\circ\text{F}}$$

$$\text{TBP}(30) = 612,7^{\circ\text{F}} - 47,99^{\circ\text{F}} = 564,7^{\circ\text{F}}$$

$$\text{TBP}(30) = 564,7^{\circ\text{F}}$$

Realizando el mismo procedimiento para los demás puntos, se obtuvieron los siguientes valores:

%Vol. Dest.	0	10	30	50	70	90	100
ASTM D86, T(°F)	220,8	378,63	564,51	596	621,78	800,6	950,5
TBP (°F)	201,5	357,7	564,7	612,7	649	801,6	1285,7



Con los valores de la tabla anterior se representó gráficamente la curva de destilación TBP(°F) para crudo “Rosa Mediano”:

#### Curva de destilación TBP para crudo “Rosa Mediano”.

Al observar los valores de la destilación ASTM se puede detectar un aumento progresivo de la temperatura de la misma forma que ocurre en la destilación TBP, sin embargo cada valor de temperatura con respecto al volumen del destilado varía en ambos tipos de destilación. Se aprecia que la ASTM posee la mayor temperatura en el primer punto y la menor temperatura en el último punto en comparación con curva TBP, esto se debe al tipo de destilación llevada a cabo, debido a que una destilación TBP se realiza en una columna fraccionada o por etapas; por lo que los vapores se enfrían más en el tope haciendo posible obtener una temperatura menor en comparación con la temperatura inicial en una destilación Batch, de igual modo es posible obtener temperaturas en el fondo de una columna mayores que la última temperatura de destilación ASTM.

Durante el desarrollo de la destilación atmosférica se midió el índice de refracción de los cortes, cada 5ml, para así hacer una estimación del tipo de fracción que se estaba destilando (Gasolina, Kerosén o Gasoil) mezclando hasta los volúmenes pertenecientes a los rangos teóricos donde se encuentra la gasolina, el kerosén y el gasoil y a esto se le midió el índice de refracción y se puede observar que los valores son muy parecido por ejemplo el de la gasolina teórico es 1,424 y el obtenido es 1,436. Aquí puede apreciar un aumento del índice de refracción cuando los cortes son más pesados. Esto ocurre porque ofrecen mayor resistencia al paso de la luz a través de ellos,

ocasionando una disminución de la velocidad ya que las moléculas al estar muy cerca reducen los espacios vacíos para que pase la luz.

Muestra	API	Densidad (gr/ml)	Gravedad específica	KUOP	Peso molecular	T <sub>bm</sub> (°F)	IO	Punto de congelación (°R)
<b>Crudo</b>			0.91	11.22	243.14	605		
<b>Gasolina</b>	57	0,7499		11.9	115	260	40.39	341
<b>Kerosén</b>	51	0,7746		11.9	140	330	47.13	375.711
<b>Gasoil</b>	48	0,7875		11.9	160	370	49.85	397
<b>Residuo atmosférico</b>		1.90						
<b>Residuo de vacío</b>		1.93						
Muestra	API	Punto de anilina (°C)	Gravedad específica	Presión de vapor	Índ. refracción	Masa (gr)	Vol (ml)	Carbón Conradson (gr)
<b>Crudo rosa mediano</b>	23.5						100 ml	
<b>Gasolina</b>		52	0.751	1.6	1.4360			
<b>kerosén</b>		60	0.775		1.4565			
<b>Gasoil</b>		62	0.790		1.4795			
<b>Residuo atmosférico</b>						52.39	57.57	0.5123
<b>Residuo de vacío</b>						23.35	25	

Al observar la tabla anterior se aprecia como los grados °API van disminuyendo para la gasolina 57, el kerosén 51 y el gasoil 48 ya que a medida que el corte es más pesado los grados API son menores mientras que la densidad se comporta de manera inversa a medida que es más pesado la densidad es mayor. Se puede notar que la densidad de los crudos son menores a la del agua, de igual modo se observa que el °API del crudo es 23,5, encontrándose que el Rosa mediano es un crudo mediano y los cortes obtenidos son livianos.

En la tabla se puede observar que el peso molecular de las fracciones aumenta a medida que las fracciones son más pesadas, esto era lo esperado, ya que influye incrementado el valor de las densidades y temperaturas de ebullición de los cortes, en las fracciones más pesadas

las moléculas son más grandes y pesadas por lo que requieren mayor energía para vaporizarse.

Como se observa La temperatura de ebullición media de cada fracción aumenta a medida que se obtienen fracciones más pesadas de crudo, lo que se coincide con el aumento progresivo de las densidades y las gravedades específicas y se debe a la mayor resistencia que tienen moléculas de vaporizarse a medida que el corte es más pesado, También se aprecia que el Kuop no varía con una tendencia definida en las fracciones el cual se mantiene constante ,esto indica que la naturaleza del destilado atmosférico es nafténico.

Si el punto de anilina es bajo, el contenido de aromáticos es alto y es deseado para las gasolinas, es por ello que tiene el menor punto de anilina, ya que la anilina se disuelve con mayor facilidad en los hidrocarburos aromáticos. Sin embargo en la tabla se observa que el punto de anilina de la gasolina (52 C) no es tan bajo pero si es menor al kerosén (60 C) y al gasóleo (62 C) esto quiere decir que estos dos últimos poseen mayor contenido en compuestos parafínicos, finalmente el Gasóleo posee una menor cantidad de aromáticos y una mayor cantidad de parafinas de cadena larga, lo cual se esperaba por ser un corte pesado del crudo.

El Carbón conradson obtenido fue de 25,615% esto quiere decir que tiene bajo posibilidad de formación de coque el residuo de vacío y aun se pueden aprovechar fracciones que hayan quedado.

En la tabla se aprecia que la presión de Vapor Reid de la gasolina es 1,6 psig, el cual es menor que la del n-Heptano que presenta un valor de 40 psig, esto implica que la gasolina es menos volátil que el n-Heptano, esto es ilógico porque la gasolina es una mezcla de hidrocarburos livianos que por lo general son ramificados, entonces se debió obtener mayor presión por ser más volátil. Esto se debió a un error del equipo el cual estaba arrojando valores q no se estabilizaban debido a los años de uso y falta de mantenimiento.

El punto de congelación es una de las propiedades más importante para el combustible de aviación porque indica la temperatura más baja a la cual se puede usar ese combustible sin q solidifique en la tabla se observa cómo va aumentando a medida que la fracción es más pesada, es aumenta con decir con el peso molecular, no cumpliéndose en todos los casos al menos que la cadena sea isomerada el punto de congelación

será menor.

Cuanto más elevado es el número de cetano, la calidad del combustible es mayor ya que produce menor retraso en la ignición en el motor es por ello que el gasóleo tiene el mayor número de cetano según la tabla, por lo tanto se puede considerar que el índice de cetano aumenta con la mayor cantidad de parafinas o hidrocarburos pesados o es por ello que se comporta de manera inversa al índice de octano.

## **CAPITULO IV**

→ **CONCLUSIONES**

- De los datos obtenidos se construyó la curva de destilación ASTM D-86, de la cual se extrajeron datos importantes del crudo, como el factor de caracterización KOUP, y la temperatura de ebullición media.
- La densidad de los cortes varía según la temperatura de destilación, a menor temperatura de destilación menor es la densidad del corte obtenido, y a mayor temperatura de destilación mayor es la densidad del corte.
- Caracterizar un crudo según ciertos parámetros, como los estudiados, es una actividad de suma importancia para el desarrollo de la ingeniería química en el ámbito petrolero y aún más en nuestro país donde esta especialización tiene tanta importancia histórica y económicamente.
- Entre los productos que se obtienen de la destilación del petróleo crudo, tal vez el más importante es la gasolina, debido a que es el combustible para transporte que más ampliamente usado en nuestro país, sin embargo su elaboración no es fácil ya que para entregar el producto a los consumidores, es necesario el empleo de diversos y complicados procesos y tecnologías.
- Según la revisión bibliográfica la gasolina obtenida mediante un craqueo tiene mejores propiedades antidetonantes que la destilación y cualquier gasolina puede mejorarse mediante la adición de sustancias como tetraetilplomo.

## CAPITULO V

### → BIBLIOGRAFÍA

1. Virgil B. Guthrie. Petroleum Products Handbook. McGraw HILL BOOK COMPANY, INC. Nueva York, Toronto, Londres.1960
2. Díaz, Miguel. Introducción a la Refinación del Petróleo. ULA-Venezuela.
3. Norma COVENIN N°764. Año 1997. 3era Revisión.
4. Speight J. G. Handbook of Petroleum Product Analysis. Wiley-Interscience. Nueva Jersey, 2002. 461 páginas.
5. Norma COVENIN N° 3457. Año 1999.
6. Wauquier. J.P. El refino del petróleo: Petróleo crudo, productos petrolíferos, esquemas de fabricación. Ediciones Díaz de Santos, 2004. 462 páginas.
7. Karl-Heinz Dietsche. Manual de la técnica del automóvil. Reverte, 2005. 1233 páginas.
8. Parkash, S. Petroleum fuels manufacturing Handbook. McGraw-Hill. México 2010.
9. KISHORE R. A. GUIDE TO ASTM TESTMETHODS FOR THE ANALYSIS OF PETROLEUM PRODUCTS AND LUBRICANTS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 2000.
10. Alemán, L. síntesis, caracterización y evaluación del efecto detergente-dispersante en gasolina oxigenada de  $\alpha$ -polialquenilsuccinimidas. UAEH, Hidalgo, México, 1999.
11. Salager, J. Uso de los surfactantes en la industria petrolera, Cuaderno FIRP S350-A. LAB. FIRP, ULA. Mérida, Venezuela. 1991.

## CAPITULO VI

→ **ANEXOS**





**Ilustración 4 Equipo de destilación disponible.**

**Ilustración 5 Equipo de destilación, vista frontal.**

**Ilustración 6 Inicio de la destilación.**

**Ilustración 7 Crudo Rosa Mediano.**

**Ilustración 8 Cortes de Crudo.**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**  
**DEPARTAMENTO DE QUIMICA INDUSTRIAL Y APLICADA**  
**LABORATORIO DE QUIMICA INDUSTRIAL I**

**DIA:** \_\_\_\_\_ **FECHA:** \_\_\_\_\_ **HORA:** \_\_\_\_\_ **GRUPO**  
**N°:** \_\_\_\_\_

**HOJA DE TOMA DE DATA N° 1**

**Muestra:** \_\_\_\_\_

**Presión Atmosférica:** \_\_\_\_\_ mmHg

**Temperatura Ambiente [Ta]:** \_\_\_\_\_ °C

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO ASTM D - 287:**

**Temperatura de la muestra antes de la medición [Tma]:** \_\_\_\_ °C

**Gravedad API:** \_\_\_\_ °API

**Temperatura de la muestra después de la medición [Tmd]:** \_\_\_\_ °C

**Comentarios:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO ASTM D - 86:**

Volumen Recuperado (ml)	Temperatura (°C)	%Volumen Destilado
Punto Inicial de Ebullición.		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		
70		
75		
80		
85		
90		

95		
Punto Final de Ebullición		

Comentarios: \_\_\_\_\_

---

Data:

$$\%Vol.Dest. = \frac{V_i}{V_t} * 100$$

$V_i$  = Volumen destilado a una temperatura  $T_i$ .

$V_t$ : Volumen total de muestra.