

# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Facultad Regional Buenos Aires

Departamento: Ingeniería Mecánica

Director del Departamento: Ing. Juan Carlos de Cabo

Cátedra: Química Aplicada

**Nuevas determinaciones en combustibles y lubricantes**

Ing. Mario Pelissero  
mapeli@doc.frba.utn.edu.ar

## Agradecimientos

Quiero destacar que esta presentación corresponde al trabajo práctico 1 de la cátedra Química Aplicada; esta tarea se pudo realizar debido a la destacada colaboración de los siguientes colegas de Ciencias Básicas UDB-Química a quienes quiero expresar mi profundo agradecimiento: *los Ings. Jorge Albores; Rubén Marmoni, Eduardo Figueroa, Rogelio Buño, Rosa Pampena y la Lic. Catalina Zurano.*

Quiero resaltar la tarea desarrollada por los siguientes ayudantes de cátedra; los alumnos *Alejandro Chiaravalloti, Franco Leidi, Jorge Pacífico Ravera y Mariano Sáenz* de la especialidad *Ingeniería Mecánica* quienes colaboraron en la búsqueda de información y en la representación gráfica de los equipos.

El trabajo práctico se realiza en el **Laboratorio de Ensayos Físico-Químicos del Departamento de Ciencias Básicas UDB-Química** sito en el anexo Mozart aula 008.

## Consideraciones para la realización de los trabajos prácticos

La realización de los trabajos prácticos en los laboratorios se considera como uno de los actos académicos más importantes pues en ellos el alumno va a vivenciar los aspectos experimentales claves para la comprensión integral de los temas desarrollados por los profesores en las aulas.

El método científico está basado en:

- La observación
- La realización de la experiencia
- La recolección de datos
- La discusión de los resultados

*El aprovechamiento de esta instancia académica se verá acrecentado en la medida que el alumno se plantee las siguientes preguntas:*

- ¿Qué estoy haciendo aquí?
- ¿Para qué sirve?
- ¿Cómo se hace?
- ¿Con qué materiales y equipos voy a trabajar?
- ¿Con qué datos cuento?
- ¿Qué parámetros debo determinar y en qué unidades se miden?
- ¿Qué cálculos debo realizar?

### *Conclusiones*

La obtención de los resultados y su registro *no es el objetivo final*, sino el análisis de los mismos y el reconocimiento de los errores es la clave del entendimiento de los temas.

### ***Objetivo de la práctica***

Se realizarán una serie de ensayos utilizados para el control, identificación y estudio de combustibles y lubricantes.

Las técnicas aplicadas corresponden a los ensayos normalizados de uso habitual en la industria.

### ***Consideraciones previas***

La descripción de las normas realizadas en esta guía de trabajos prácticos es una versión resumida, para ello se tuvo en cuenta el aspecto académico de los temas en estudio y el equipamiento técnico disponible.

La descripción detallada de las normas hubiese transformado este trabajo en algo muy enciclopédico y detallista perdiéndose el sentido conceptual de los temas; quiero destacar que en la labor profesional será ineludible la consulta de las normas a los efectos de considerar todos los aspectos involucrados en cada tema.

### ***Aspectos de la seguridad en el trabajo***

Las condiciones seguras de trabajo dependerán en gran parte de la colaboración en cuanto a la disciplina que debe imperar en el laboratorio y al conocimiento previo que deben tener los alumnos del trabajo a desarrollar ***pues la ignorancia es la mayor culpable de los accidentes.***

Debemos recordar que durante el trabajo práctico se harán ensayos con combustibles líquidos y lubricantes los cuales serán sometidos a procesos de calentamiento, estos productos aún a bajas temperaturas generan vapores que resultan inflamables especialmente en presencia de llamas, chispas y otras fuentes calóricas.

Además la manipulación de material de vidrio lleva implícito que la rotura de los mismos genera bordes cortantes que pueden provocar fácilmente cortes en la piel.

La extinción de los incendios de éstos productos se deberá realizar con los ***extintores del tipo B.***

### ***Bibliografía***

Normas ASTM.

Normas IRAM-IAP.

Normas ISO.

Normas COVENIN.

Trabajo Práctico Petróleo y sus derivados. Ciencias Básicas-UDB Química. BQ1BP4.

**Contenido temático**

<i>Determinaciones</i>	<i>Página</i>
<i>Contenido de agua: Método de la Trampa Dean-Stark</i>	<i>5</i>
<i>Densidad: Densímetro</i>	<i>8</i>
<i>Curva de destilación</i>	<i>12</i>
<i>Índice de cetano: Método gráfico</i>	<i>16</i>
<i>Viscosidad:</i>	<i>20</i>
<i>Saybolt</i>	<i>21</i>
<i>Pipeta Viscosimétrica</i>	<i>24</i>
<i>Índice de viscosidad: Método gráfico</i>	<i>31</i>
<i>Punto de inflamación y combustión:</i>	<i>34</i>
<i>Pensky-Martens</i>	<i>35</i>
<i>Cleveland</i>	<i>38</i>
<i>Grado de consistencia</i>	<i>40</i>
<i>Cuestionario</i>	<i>44</i>



## Determinación del contenido de agua

### *Método de la trampa de Dean Stark*

#### **Introducción**

Generalmente el petróleo se encuentra en los yacimientos acompañado por gases y agua salada. En zona de yacimientos es donde se procede a la separación del agua previo a su envío a la refinería e incluso durante la destilación primaria se procede a la inyección de vapor de agua en la zona inferior de la torre a los efectos para favorecer la separación de los componentes más volátiles de aquellos menos volátiles.

El agua no es soluble en los hidrocarburos y debido a su mayor densidad aparecerá siempre en la parte inferior de tanques y depósitos, de allí que los tanques se diseñan con sistemas de drenajes mediante válvulas para retirar el agua depositada.

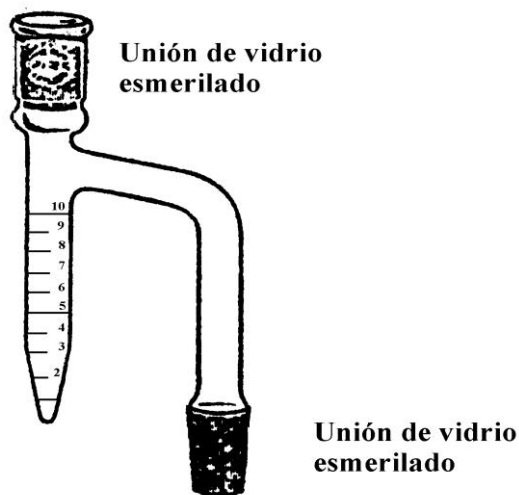
Difícilmente pueda quedar retenida cantidades importantes de agua en los combustibles del tipo naftas o en los solventes debido a la diferencia de densidades entre estos productos y el agua, pero en productos tales como el petróleo crudo, lubricantes, fuel oil, asfalto y materiales bituminosos que cuentan con densidades próximas a la del agua o con viscosidades relativamente altas suele quedar retenida agua en forma de mulsión y este es el caso que se tratará en el siguiente ensayo.

#### **Técnica utilizada**

Se va a utilizar la técnica basada en la Norma ASTM 95

Este método se basa en la destilación a reflujo de la muestra con el agregado de un solvente volátil y no miscible en agua que actuará como “carrier”, su función será la de facilitar la separación del agua del producto en estudio.

Durante la destilación el agua se acumula en una parte del equipo llamado *trampa de Dean- Stark* que cuenta con una probeta graduada donde se leerá el volumen de agua contenida en la muestra.



**Trampa de Dean Stark para la determinación de agua en derivados del petróleo.**

### ***Procedimiento***

1. Se mide con una probeta 100 mL de muestra, se debe tener en cuenta que la trampa de Dean-Stark puede medir como máximo 10 mL de agua y se trasvasa la muestra al balón de destilación.
2. Debido a su viscosidad siempre queda adherido producto en la probeta por lo cuál se procede a su extracción con el solvente xilol que es mismo que se actuará como transportador del agua contenida en la muestra (carrier)  
El procedimiento de lavado consta de tres etapas, en primer termino se agrega en la probeta 50 mL del solvente, se agita y se vuelca en el balón de destilación, se repite ésta operación en dos ocasiones más pero con porciones de 25 mL de solvente cada uno.  
Se debe verificar que la muestra haya sido transferida en su totalidad para ello se recomienda utilizar iguales cantidades en volumen de muestra y solvente.
3. Se debe agregar en el balón de destilación una cantidad adecuada de perlas de vidrio o material cerámico para normalizar el proceso de destilación y evitar así las proyecciones súbitas por sobre calentamiento; a continuación se ajusta el balón de destilación al equipo, se verifican las conexiones y la circulación del agua en el refrigerante.
4. Se comienza a calentar mediante un sistema de calentamiento eléctrico en forma lenta controlando dicho proceso hasta alcanzar una velocidad de retorno de condensado de unas 2 a 5 gotas por cada segundo.
5. La finalización del proceso de destilación queda establecido cuando el nivel de agua en la trampa de Dean-Stark queda constante, debido a las condiciones del ensayo el agua presentará un estado de turbidez que se aclarará con el transcurso del tiempo, la medición del volumen de agua se deberá realizar luego que el equipo alcance la temperatura ambiente.

### ***Informe de los resultados***

Tipo de muestra:

---

Volumen de muestra: \_\_\_\_\_ mL

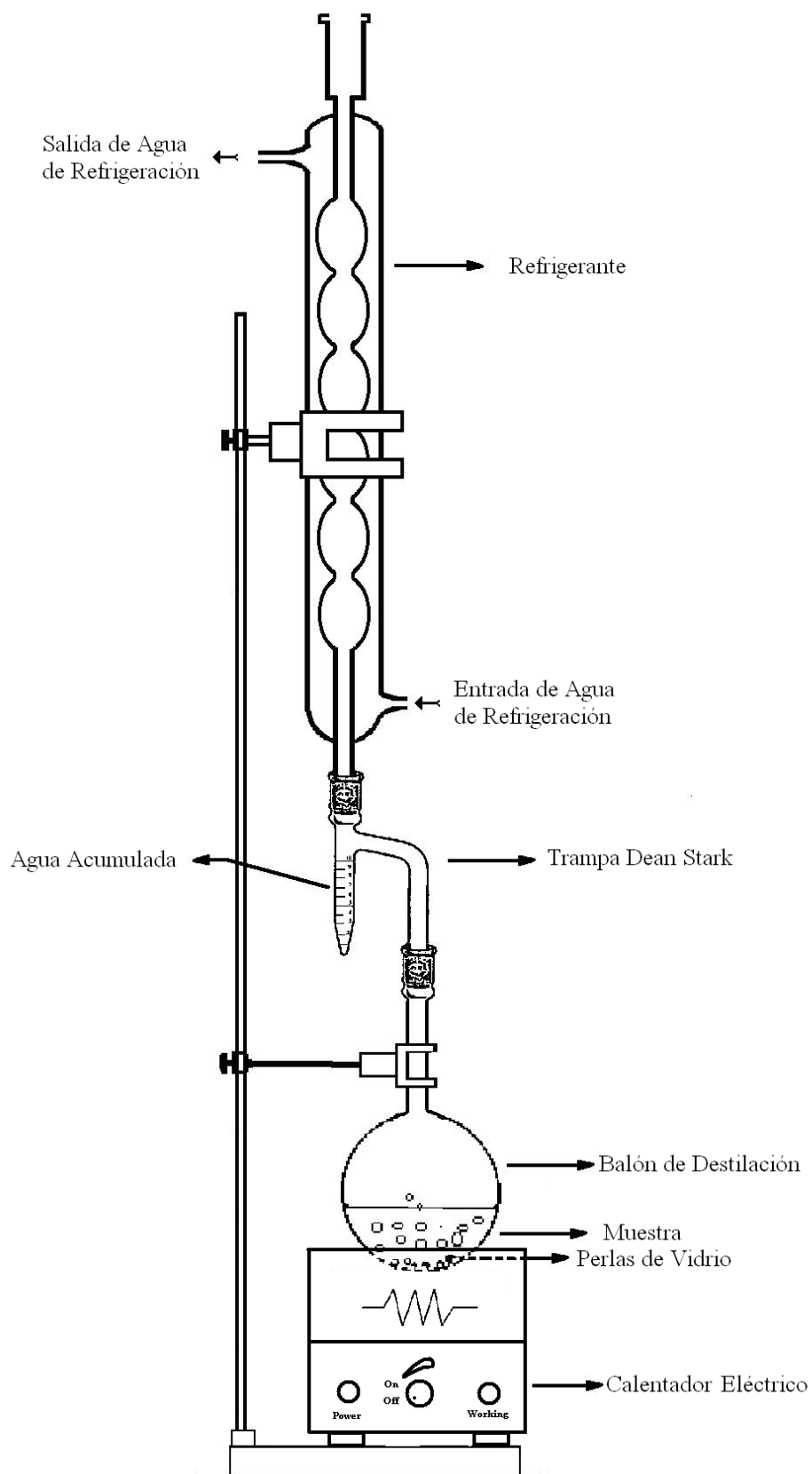
Volumen de agua recogida: \_\_\_\_\_ mL

Cantidad porcentual de agua en la muestra (mL) =  $\frac{\text{Volumen de agua recogida}}{\text{Volumen de muestra}} \times 100$

Cantidad porcentual de agua en la muestra (en volumen) =  $\frac{\text{----- mL}}{\text{----- mL}} \times 100 = \text{-----} \%$

Observaciones: \_\_\_\_\_

### Esquema del Equipo



## **Determinación de la densidad**

### ***Introducción***

Resulta de conocimiento público que la comercialización de derivados del petróleo se realiza utilizando unidades de volumen, tal como sucede cuando se menciona la producción de petróleo expresada en barriles (157 litros por cada barril)

En las refinerías de petróleo se utiliza la unidad MMCD (millones de metros cúbicos por cada día) para indicar la capacidad de procesamiento tanto de petróleo como de sus derivados.

Cuando compramos combustibles y lubricantes para nuestros vehículos de transporte lo realizamos en litros además los aditivos para mejorar o conferir alguna propiedad se comercializan en centilitros (cL) o mililitros (mL)

Debido a que el volumen se ve afectado por la temperatura en forma directa (a temperatura elevada el volumen de un producto será mayor que a menor temperatura) y que resulta muy difícil el control efectivo del volumen de líquido que contiene un recipiente cerrado especialmente cuando el número de unidades resulta importante por ello será necesario realizar el control tanto de recepción como de despacho de productos líquidos envasados mediante pesadas y luego transformar el peso de producto en litros mediante un cálculo aplicando la densidad, la cuál fue previamente determinada mediante el procedimiento que se detalla a continuación.

La densidad resulta la relación entre la masa y el volumen de un producto, las unidades más usuales son g/mL o g/cm<sup>3</sup>, incluso en ciertos ámbitos industriales se utiliza kg/m<sup>3</sup> y ton/m<sup>3</sup>. La relación entre la densidad y la temperatura resulta una función inversa, donde a mayor temperatura la densidad resultará menor y a menor temperatura la densidad será mayor.

### ***Técnica utilizada***

La determinación de la densidad se puede realizar mediante varios métodos entre los cuales se encuentra la balanza de Mohr-Westphal, los picnómetros (son recipientes de vidrio en los cuales se puede medir un volumen con mucha exactitud) y finalmente los densímetros.

La utilización de densímetros es el método más difundido pues resulta uno de los ensayos más sencillos y rápidos que se utilizan en la industria.

El procedimiento de trabajo se basa tan solo en introducir el densímetro adecuado en el producto y realizar la lectura.

Existen numerosos tipos de densímetros específicos en cada industria que abarcan estrechas franjas de medición.

Se determinará la densidad mediante la aplicación de la norma ASTM D 1298 y 287

### *Corrección del valor de la densidad a la temperatura de ensayo respecto de la temperatura de referencia*

Debido a la importancia que tiene la temperatura en este ensayo y la dificultad que implica acondicionar las muestras a la temperatura de referencia el Instituto Americano del Petróleo (API) de EE.UU. ha confeccionado una serie de tablas donde el valor de la densidad obtenida a la temperatura del ensayo se transformará a la temperatura de referencia 60°F (15 °C)

Estas tablas se encuentran en el “Manual of Petroleum Measurement Standards”  
Capítulo 11 Tabla 53B Generalized Products Density Correction

A modo de ejemplo se reproducirá una de las cientos de tablas donde se planteará el caso de un derivado del petróleo que a 25°C tiene una densidad de **0,871 g/mL**, se deberá tener en cuenta que los valores de tabla deben ser divididos por 1000 para transformarlos en g/mL

<i>Temperature °C</i>	<i>Density at observed temperature</i>		
	869,0	<b>871,0</b>	873,0
	<i>Corresponding density at 15°C</i>		
24,50	875,5	877,5	879,5
24,75	875,6	877,6	879,6
<b>25</b>	875,8	<b>877,8</b>	879,8
25,25	876,0	878,0	880,0
25,50	876,2	878,1	880,1

Consultando la tabla veremos que el valor de referencia será de **0,8778**

Debido a que no contamos con dichas tablas se utilizará una fórmula empírica para corregir dicho valor y además se procederá a la obtención de la densidad en grados API (° API) basándose en el valor de la densidad obtenida a la temperatura de ensayo de la muestra.

### *Procedimiento*

1. Se coloca dentro de una probeta de 250 mL aproximadamente 200 mL de muestra.
2. Se introduce el densímetro dentro de la probeta dejándolo que alcance su nivel de flotación con la precaución que no quede adherido en las paredes de la probeta.
3. Se lee en la escala del densímetro el valor indicado por la superficie libre de la muestra.

### *Informe de los resultados*

Se realizarán dos determinaciones: a) Gas oil y b) Aceite lubricante

a) Gas oil: \_\_\_\_\_

Densidad de ensayo: \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

Temperatura de ensayo: \_\_\_\_\_ °C

***Formula para obtener la densidad de los sub productos del petróleo a la temperatura de referencia (15 °C) basándose en el valor de la densidad obtenida a la temperatura de ensayo.***

Esta formula tiene en cuenta estrechos rangos de densidad a los cuales se les aplica valores específicos de corrección que se suman a la densidad obtenida a la temperatura de la muestra.

$$D (15^{\circ}\text{C}) = D (t_e) + b (t_e + 15^{\circ}\text{C})$$

Densidad a la temperatura de referencia (g/cm<sup>3</sup>) = D (15 °C)

Densidad a la temperatura de ensayo (g/cm<sup>3</sup>) = D (t<sub>e</sub>)

Factor de corrección (g/cm<sup>3</sup>°C) = b

Temperatura de ensayo (°C) = t<sub>e</sub>

<i>Rangos de D ( t<sub>e</sub> )</i>	<i>b</i>	<i>Rangos de D ( t<sub>e</sub> )</i>	<i>b</i>
0,680 – 0,689	0,00088	0,800 – 0,809	0,00070
0,690 – 0,699	0,00086	0,810 – 0,819	0,00069
0,700 – 0,709	0,00085	0,820 – 0,829	0,00068
0,710 – 0,719	0,00084	0,830 – 0,839	0,00067
0,720 – 0,729	0,00083	0,840 – 0,849	0,00066
0,730 – 0,739	0,00081	0,850 – 0,859	0,00066
0,740 – 0,749	0,00080	0,860 – 0,869	0,00066
0,750 – 0,759	0,00078	0,870 – 0,879	0,00065
0,760 – 0,769	0,00076	0,880 – 0,889	0,00065
0,770 – 0,779	0,00075	0,890 – 0,899	0,00064
0,780 – 0,789	0,00073	0,900 – 0,909	0,00063
0,790 – 0,799	0,00072	0,910 – 0,919	0,000625

$$D (15^{\circ}\text{C}) = D (t_e) + b (t_e + 15^{\circ}\text{C})$$

$$D (15^{\circ}\text{C}) = \dots\dots\dots \text{g/cm}^3 + \dots\dots\dots \text{g/cm}^3 \text{ }^{\circ}\text{C} ( \dots\dots\dots \text{ }^{\circ}\text{C} + 15^{\circ}\text{C} )$$

***Densidad corregida a la temperatura de referencia 60°F (15 °C): \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>***

## Grados API

La densidad se evalúa en ámbito petrolero mediante los grados ° API

Los grados API se obtienen aplicando la siguiente fórmula donde se aplica el valor corregido de la densidad a 15°C.

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{\sigma(g/cm^3)} - 131,5$$

$$^{\circ}API = \frac{141,5}{\dots\dots\dots g/cm^3} - 131,5 = \dots\dots\dots ^{\circ}API$$

b) Aceite lubricante: \_\_\_\_\_

Densidad de ensayo: \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>                      Temperatura de ensayo: \_\_\_\_\_ °C

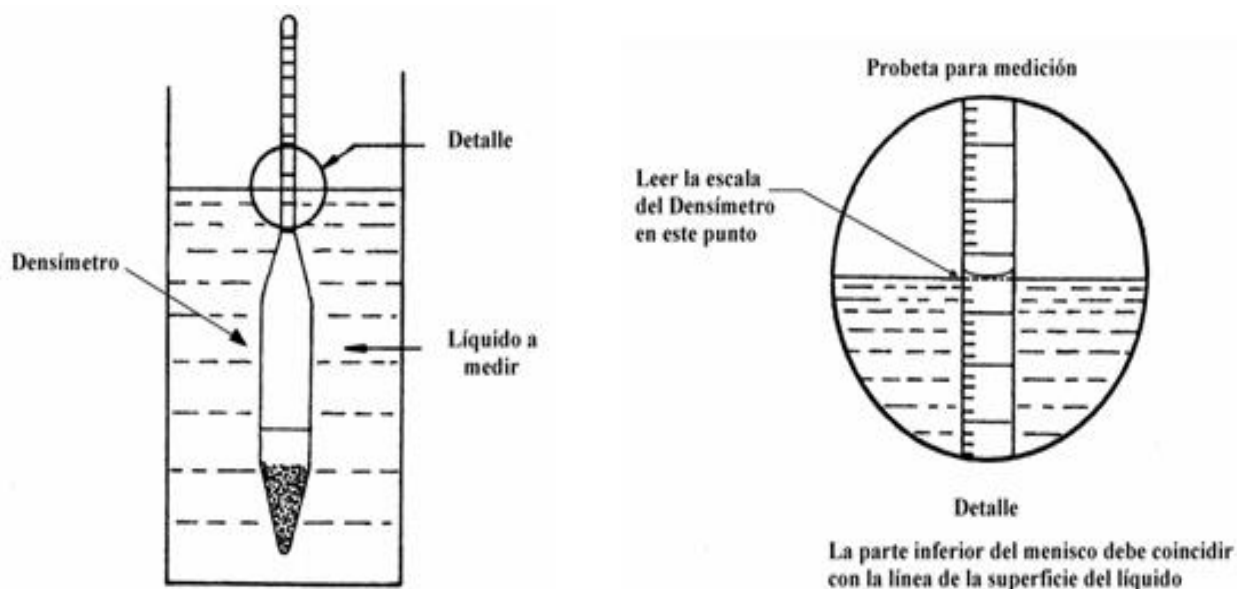
$$D(15\text{ }^{\circ}\text{C}) = D(t_e) + b(t_e + 15\text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$D(15\text{ }^{\circ}\text{C}) = \dots\dots\dots g/cm^3 + \dots\dots\dots g/cm^3\text{ }^{\circ}\text{C} (\dots\dots\dots\text{ }^{\circ}\text{C} + 15\text{ }^{\circ}\text{C})$$

**Densidad corregida a la temperatura de referencia 60°F (15 °C):** \_\_\_\_\_ g/cm<sup>3</sup>

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

## Esquema del Equipo



## Determinación de la curva de destilación

### **Introducción**

Cada compuesto líquido se caracteriza por tener una curva de destilación propia.

El rango de destilación se obtiene a partir de la representación en un gráfico de los datos de la temperatura correspondiente a volúmenes determinados de producto destilado.

Este ensayo nos permite conocer en forma aproximada a los componentes que se encuentran en las muestras.

Tanto el petróleo como sus derivados resultan ser mezclas de un gran número de compuestos llamados hidrocarburos, la abundancia relativa de cada uno de ellos determinará las características de los productos, debemos considerar que tanto solventes como naftas, kerosén, gas oil o fuel oil *no* responden a una fórmula única por lo cuál las fracciones o cortes de destilación se identifican por sus *rangos de destilación*.

A partir de los hechos mencionados la destilación no se producirá en condiciones de temperatura constante sino que se observará según los casos el incremento gradual de la temperatura.

### **Técnica utilizada**

El ensayo se realizará considerando norma ASTM D 86

### **Procedimiento**

1. Se miden 40 mL de muestra en una probeta graduada de 100 mL y se vierten dentro del balón de destilación, se agregan esferas de vidrio para normalizar el proceso de destilación y evitar así el sobrecalentamiento.
2. Se instala el balón de destilación en el equipo procurando que el tubo de desprendimiento o salida de vapor quede sujeto en forma segura mediante un tapón al tubo refrigerante.
3. Se coloca el termómetro mediante un tapón de buen cierre en la boca del balón de destilación, se recomienda que el termómetro quede centrado y que su extremo inferior coincida con el del tubo de desprendimiento del balón de destilación.  
El termómetro a utilizar debe responder al rango de destilación de la muestra.  
Se debe extremar los cuidados en el ajuste de los tapones especialmente aquel del termómetro pues los vapores de los compuestos derivados del petróleo son inflamables.
4. Se colocará la misma probeta graduada en la descarga del refrigerante a los efectos de recoger el producto destilado de forma tal que el tubo de descarga del refrigerante quede centrado y penetre unos centímetros dentro de la probeta.
5. El calentamiento de la muestra se realiza mediante el calor cedido por un sistema de resistencias eléctricas y se ajustará de forma tal que la primera gota de producto sea recogida en la probeta en un período no inferior a los 5 minutos ni superior de los 10 minutos de iniciado el calentamiento.  
La caída de esta primera gota se deberá registrar como *temperatura inicial* de proceso o *temperatura de la primera gota*.

6. A partir de la caída de la primer gota se inicia la recuperación del condensado, por lo tanto se debe desplazar la probeta hasta que el tubo de descarga del refrigerante se apoye en la probeta y se evitará así que al caer el producto salpique fuera de la probeta
7. Se establece el ritmo de calentamiento que será de 4 a 5 mL por cada minuto y se registrarán las temperaturas y el volumen destilado cada 2,5 mL
8. Se toma como *punto o temperatura final* a la máxima temperatura alcanzada en el momento en el cuál se produjo la destilación total de la muestra, el volumen recogido en la probeta se denomina como *recuperado*.

En el caso que no se desee llegar hasta la destilación total pues se corre el riesgo que el calor en exceso pueda quebrar el balón, se deja enfriar y se mide el volumen que quedó en el balón de destilación, el cual se considerará como *volumen residual*.

La *suma* de los volúmenes *recuperado* y *residual* se denomina *volumen recuperado total*.

La diferencia entre el volumen de muestra y el recuperado total de llama *pérdida por destilación*.

La pérdida por destilación se debe expresar en términos porcentuales o sea cada 100 mL de muestra.

### *Informe de los resultados*

Tipo de muestra: \_\_\_\_\_

Volumen de muestra: \_\_\_ mL, Volumen de recuperado: \_\_\_ mL, Volumen de residuo: \_\_\_ mL

*Volumen recuperado total* = volumen recuperado + volumen del residuo =

$$= \text{___ mL} + \text{___ mL} = \text{___ mL}$$

*Pérdida por destilación* = volumen de muestra – volumen recuperado total =

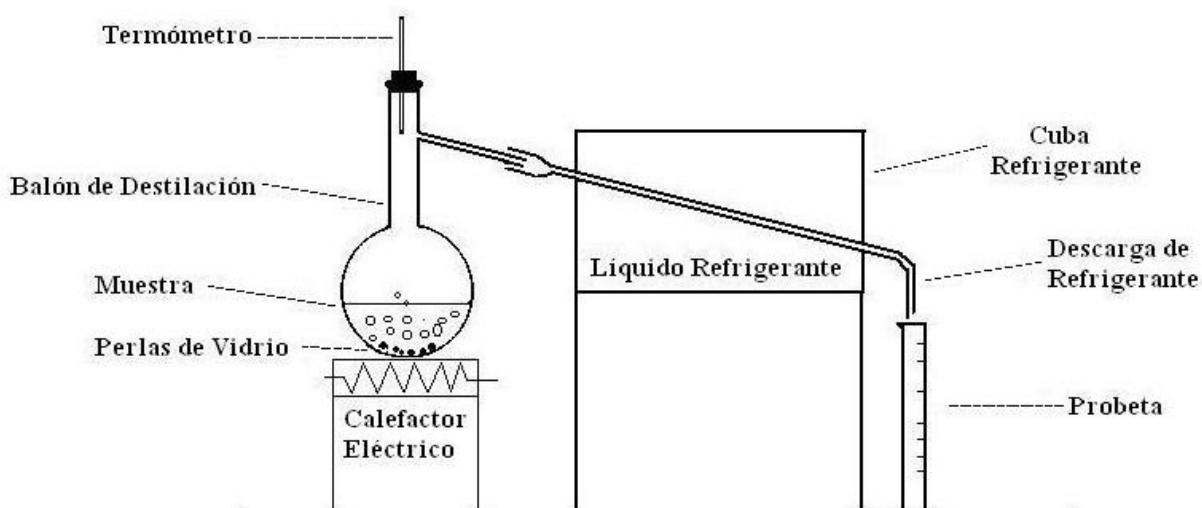
$$= \text{___ mL} - \text{___ mL} = \text{___ mL}$$

*Pérdida porcentual por destilación* (mL) =  $\frac{\text{Pérdida por destilación}}{\text{Volumen de muestra}} \times 100$

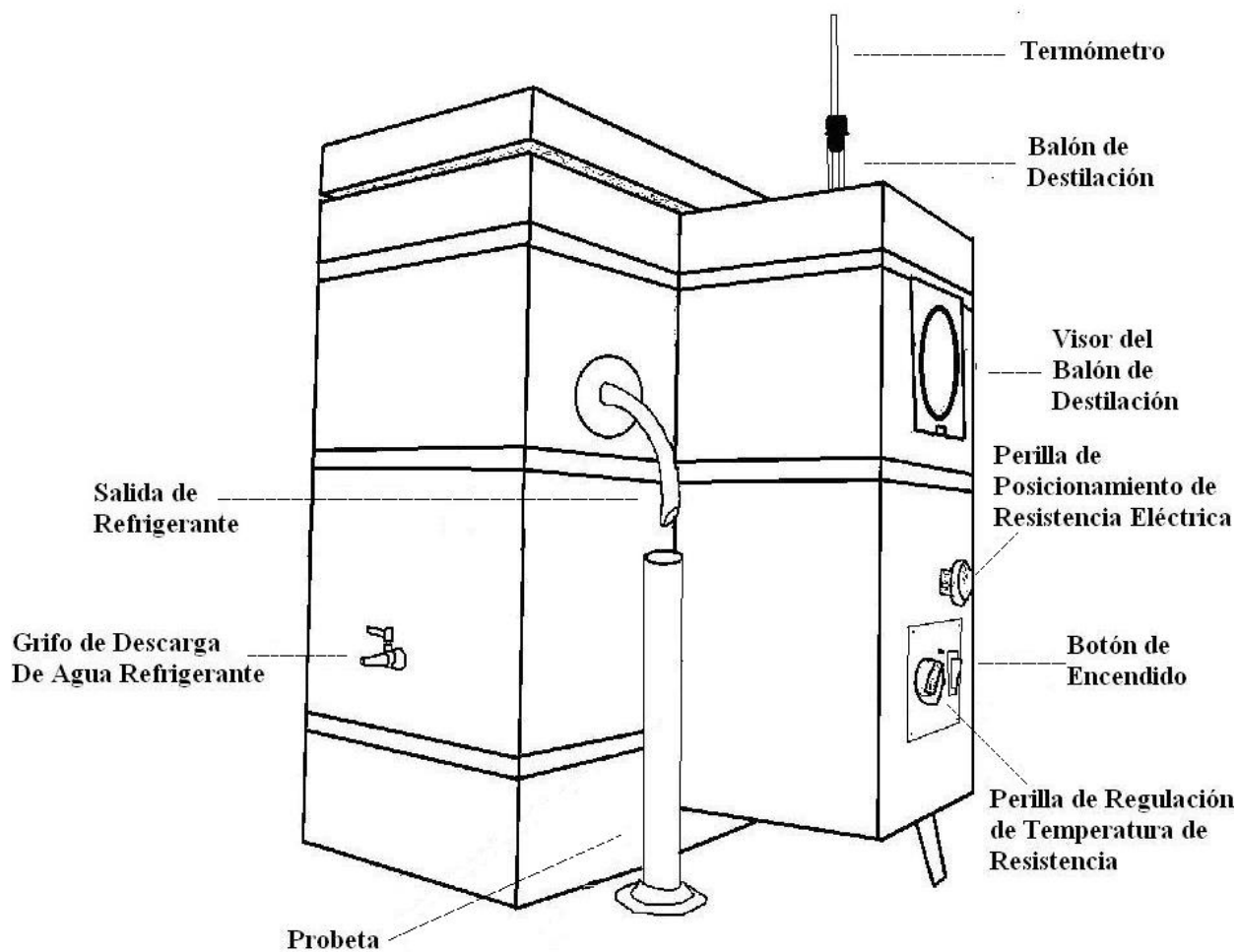
$$= \frac{\text{___ mL}}{\text{___ mL}} \times 100 = \text{___ \%}$$

*Observaciones:* \_\_\_\_\_

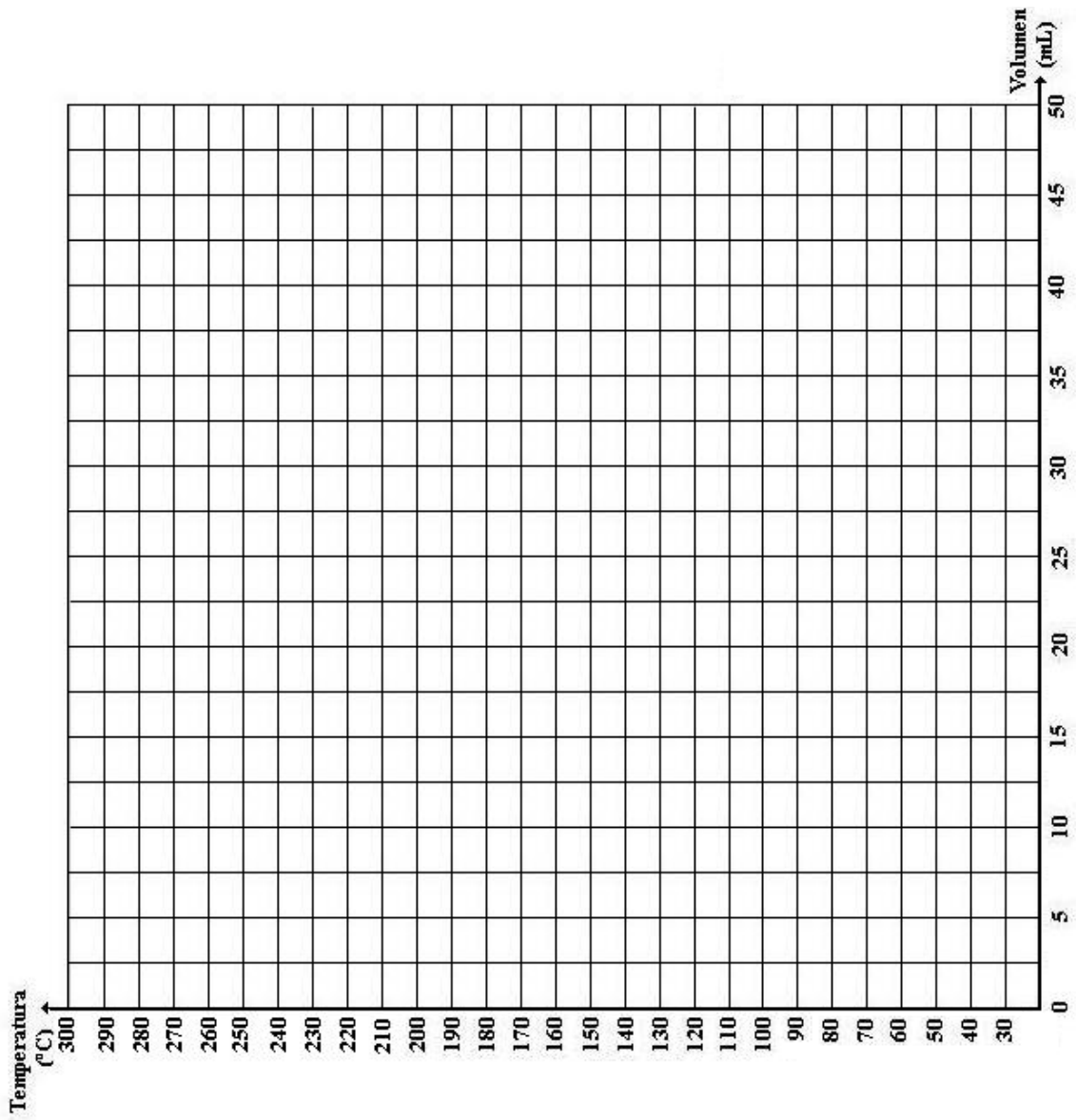
### Esquema del Equipo



### Equipo de Destilación



## Representación Gráfica



Volumen de destilado (mL)	Temperatura (°C)
Primer gota	
2,5	
5	
7,5	
10	
12,5	
15	
17,5	
20	
22,5	
25	
27,5	
30	
32,5	
35	
37,5	
40	
42,5	
45	
47,5	
50	

## Determinación del índice de cetanos

### *Introducción*

El índice de cetano es una medida de la calidad de la ignición del combustible para motores diesel.

Los motores diesel se basan en la autoignición de la mezcla combustible / aire; sin embargo, esto sólo es posible cuando su relación de compresión es superior a 13:1

El índice de cetanos al igual que el índice de octanos se basa en valores de referencia de cero a cien.

El valor 100 representa a los casos de combustibles del tipo hexadecano (cetano); se deberá tener en cuenta que dicho compuesto lineal entrará en combustión solo cuando la presión en el cilindro supere determinados valores.

El índice de cetano adopta el valor de cero cuando se produce el ensayo con alfa metil naftaleno. En este caso la combustión por presión resulta imposible; esto se debe a que este hidrocarburo policondensado no detona por efecto de la presión; se deberá tener en cuenta que los hidrocarburos policondensados y aromáticos se encienden ante la aparición de la chispa de la bujía.

El índice de cetano realmente es una medida del retraso del encendido de un combustible.

Los combustibles con índice de cetano más altos tendrán periodos del retraso de encendido más cortos que los combustibles con índice de cetano más bajos.

### **Determinación del índice de cetano**

El método para determinar el índice de cetano esta especificado por la norma ASTM D 613 Este método requiere de un motor diesel estándar equipado con instrumentación y operar bajo las condiciones específicas; en esta prueba se varía la compresión del motor para obtener un retraso de encendido fijo y se compara con combustibles de índice de cetano conocido.

Debido a las características del ensayo ASTM D 613 donde se necesita contar con el motor normalizado a menudo se utiliza otros métodos más simples como el D 976 o D 4737

En estos casos el índice del cetano surge a partir de gráficos donde se donde se tienen en cuenta la densidad API y el rango de destilación del combustible.

Esta técnica puede aplicarse a combustibles que tienen aditivos para mejorar el índice de cetano ya que los mismos no modifican la densidad de combustible o el rango de destilación, de esa forma no se altera el cálculo del índice del cetano.

Los combustibles diesel tienden a tener un contenido más alto de hidrocarburos alcanos que en aromáticos y normalmente tienen un *número de cetanos entere 45 y 50*.

***Técnica utilizada***

Se determinará el índice de cetanos mediante la aplicación de la norma ASTM D 976

***Método gráfico:*** el número de cetanos se obtiene a partir de un gráfico donde se utilizan los datos del rango de destilación y la densidad del combustible.

El rango de destilación corresponde a la temperatura de ebullición para el 50 % del volumen recuperado en la destilación y la densidad es aquella corregida a 15 °C o bien en °API; con estos datos se procede a trazar una línea entre ambos puntos del gráfico de tal forma que el índice de cetanos de la muestra estará indicado por la intersección de esta línea con el eje central del gráfico.

***Comprobación del valor hallado***

A los efectos de verificar el valor obtenido mediante la utilización del método gráfico se reemplazarán los datos experimentales en cualquiera de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cálculo del índice de cetano} = -420.34 + 0.016 \times G^2 + 0.192 \times G \times \text{Log}(M) + 65.01 \times (\text{Log } M)^2 - 0.0001809 \times M^2$$

$$\text{Cálculo del índice de cetano} = 454.74 - 1641.416 \times D + 774.74 \times D^2 - 0.554 \times B + 97.803 \times (\text{Log } B)^2$$

(G) Densidad en Grados API, determinada por el método de prueba D 287 o D1298.

(M) Temperatura de ebullición para el 50% de la muestra destilada (°F) (Mid Boiling Temperature) determinada por el método de prueba D86.

(D) Densidad a 15 °C, g / ml, determinada por el método de prueba D1298.

(B) Temperatura de ebullición para el 50% de la muestra destilada (°C) (Mid Boiling Temperature) determinada por el método de prueba D86.

Estas ecuaciones son la base matemática de la construcción del gráfico.

***Ejemplo***

Temperatura de ebullición del 50% de la muestra (Mid Boiling Temperatura): 550 °F / 287.78 °C

Densidad en Grados API: 33.0

$$\begin{aligned} \text{Cálculo del índice de cetano} &= -420.34 + 0.016 \times 33^2 + 0.192 \times 33 \times \text{Log}(550) + 65.01 \times (\text{Log } 550)^2 - 0.0001809 \times 550^2 \\ &= 47.92 \end{aligned}$$

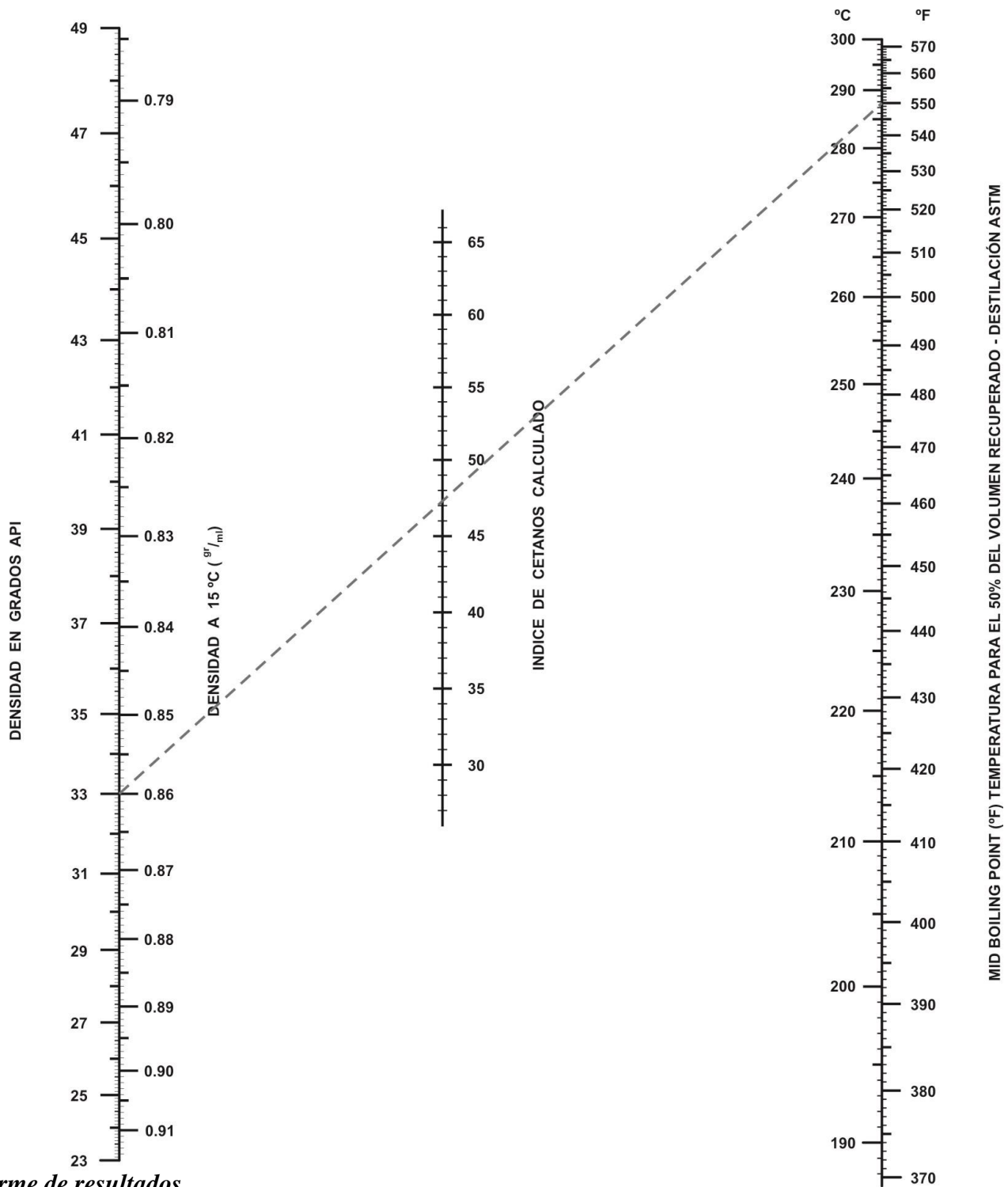
$$\text{Índice de Cetanos (Gráfico)} = 47.4$$

$$\text{Índice de Cetanos (Fórmula)} = 47.92$$

**Limitaciones de la ecuación** no se puede utilizar en:

1. Combustibles que contengan aditivos para elevar el número de cetanos.
2. Hidrocarburos puros, combustibles sintéticos, tales como ciertos productos derivados de aceites de esquistos y arenas alquitranadas, derivados alquitranados del carbón.
3. Petróleo crudo, residuos de petróleo y productos que tengan una volatilidad por debajo de 500°F de destilación total.

**Gráfico**



*Informe de resultados*

Tipo de muestra: \_\_\_\_\_

### 1. Determinación del índice de cetanos mediante el sistema gráfico

Densidad de la muestra (15°C): \_\_\_\_\_ g/mL

Densidad de la muestra (° API): \_\_\_\_\_

Temperatura de ebullición **del 50% de la muestra** (Mid Boiling Temperature): \_\_\_\_\_ °C

**Índice de cetanos (Gráfico) =** \_\_\_\_\_

### 2. Determinación del índice de cetanos mediante el cálculo numérico

Cálculo del índice de cetano =  $-420.34 + 0.016 \times G^2 + 0.192 \times G \times \text{Log}(M) + 65.01 \times (\text{Log } M)^2 - 0.0001809 \times M^2$

(G) Densidad en Grados API, determinada por el método de prueba D287 o D1298.

(M) Temperatura de ebullición para el 50% de la muestra destilada (°F) (Mid Boiling Temperature)

(D) Densidad a 15 °C, g / ml, determinada por el método de prueba D1298.

(B) Temperatura de ebullición para el 50% de la muestra destilada (°C) (Mid Boiling Temperature)

Cálculo del índice de cetano =  $-420.34 + 0.016 \times \text{_____}^2 + 0.192 \times \text{_____} \times \text{Log}(\text{_____}) +$   
 $+ 65.01 \times (\text{Log } \text{_____})^2 - 0.0001809 \times \text{_____}^2 =$

**Índice de cetanos (Cálculo) =** \_\_\_\_\_

### Cálculo del error

A los efectos de evaluar la calidad de los resultados se procederá al cálculo del error cometido

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{Índice de cetanos (cálculo)} - \text{índice de cetanos (gráfico)}}{\text{Índice de cetanos (cálculo)}} \times 100$$

$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{_____} - \text{_____}}{\text{_____}} \times 100 =$$

Error = \_\_\_\_\_ %

Observaciones: \_\_\_\_\_

## **Determinación de la viscosidad**

### ***Introducción***

La viscosidad es la resistencia de un fluido al desplazamiento originado en fuerzas intermoleculares que interaccionan en el material en estudio; se considera como el efecto contrario de la fluidez.

Su importancia radica en que los aceites lubricantes se clasifican a partir de la viscosidad. La función de un aceite lubricante es disminuir la fricción o sea el rozamiento entre los elementos móviles de un dispositivo mecánico por la formación de una película que se sitúa como interfase.

### ***Temperaturas de ensayo***

La temperatura ejerce una influencia muy importante sobre la viscosidad y se encuentra relacionada en forma inversa, es decir a temperaturas altas la viscosidad disminuye y cuando la temperatura disminuye la viscosidad aumenta.

La temperatura de ensayo dependerá de las normas utilizadas; las normas ISO establecen que en el caso de aceites lubricantes para carter de automóviles y camiones se deben realizar a 100°C, mientras que las normas ASTM de EE.UU. se refieren a 210°F que equivalen a 98,9°C

En el caso de aceites lubricantes de uso general utilizados en equipos que trabajan a temperatura ambiente las normas ISO indican que los ensayos deben realizarse a 40°C, mientras que las normas ASTM lo hacen a 100°F que equivalen a 37,8°C

### ***Conversión de las unidades de viscosidad***

En el mundo se están utilizando varios métodos para determinar la viscosidad de los aceites lubricantes, esto hace necesario el manejo de las tablas para la conversión de los valores entre los distintos sistemas. No resultará extraño que muchas veces debamos utilizar aceites lubricantes de variada procedencia y tengamos que verificar mediante éstas tablas su equivalencia funcional.

Sobre la base de los datos obtenidos en los ensayos con el viscosímetro Saybol el alumno deberá consultar **la tabla de conversión de viscosidades** para buscar a partir del dato obtenido en segundos Saybol universal (SSU) su equivalencia en centi Stock (cSt) y luego mediante **la tabla de comparación de viscosidades entre clasificaciones** deberá obtener el equivalente en unidades SAE.

La viscosidad de los aceites para carter de automóviles generalmente está dada en unidades **SAE**

La viscosidad se puede medir mediante varios métodos, en los aceites lubricantes se mide **la viscosidad cinemática**, éste método se basa en registrar el tiempo que tarda en atravesar un determinado volumen de aceite lubricante a presión atmosférica a través de un orificio capilar normalizado a la temperatura de trabajo.

## Viscosidad Cinemática

Estos ensayos se realizarán mediante el viscosímetro Saybolt y las pipetas viscosimétricas.

### **A. Viscosímetro Saybolt**

El ensayo se realizará según la norma ASTM D 88

Este viscosímetro cuenta con dos versiones que difieren en el diámetro del orificio normalizado.

En la versión *Saybolt Universal* el orificio es de 1,7mm y en el caso del *Saybolt Furol* el diámetro es de 3mm, la relación entre los tiempos de escurrimiento es aproximadamente de 1 a 10

Los resultados se indican como Segundos Saybolt Universal (SSU) y Segundos Saybolt Furol (SSF)

La versión Saybolt Universal se utiliza para aceites lubricantes de baja viscosidad vulgarmente conocidos como “productos livianos” y el sistema Saybolt Furol para aceites lubricantes de alta viscosidad o sea “productos pesados”.

El viscosímetro Saybolt cuenta con dos copas de ensayo, un sistema de resistencias eléctricas produce el calentamiento del fluido calefactor y una vez establecida la temperatura de trabajo el equipo cuenta con un sistema automático de regulación de temperatura, tiene además un sistema de agitación incorporado para garantizar la uniformidad de la temperatura en todo el baño calefactor.

La verificación de la temperatura del fluido calefactor y las muestras se realiza mediante un termómetro convencional, el volumen de líquido que se tomará como referencia en la lectura del tiempo es 60 mL y está dado por un recipiente que actuará como colector de la muestra.

### ***Procedimiento***

1. Se pone en marcha el sistema de calentamiento automático a la temperatura de ensayo.
2. Se coloca los tapones para cerrar ambas descargas de los depósitos de muestra.
3. Se ubicarán los recipientes colectores debajo de la descarga de los depósitos de muestra.
4. Se carga la muestra en los vasos hasta el borde, dichos recipientes cuentan con una garganta para contener el exceso de muestra, en éstas condiciones el volumen de muestra supera ligeramente los 60 mL por lo tanto la muestra podrá ser contenida sin problemas.
5. Se controla la temperatura del fluido calefactor, se sugiere agitar regularmente la muestra con varilla de vidrio hasta que ambas temperaturas sean iguales.
6. Se quita el tapón del fondo de un vaso y en forma simultánea se pone en funcionamiento el cronómetro, la muestra empezará a llenar el recipiente colector, cuando el nivel de líquido alcance el aforo se detiene el cronómetro fijando así el tiempo de escurrimiento.

El ensayo deberá ser repetido manteniendo las mismas condiciones.

**Informe de los resultados**

Tipo de muestra: \_\_\_\_\_

Temperatura: \_\_\_\_\_ °C

Tiempo medido: el resultado se expresará en segundos.

La viscosidad medida en segundos se expresa como SSU (segundos Saybolt Universal)

Primer ensayo: \_\_\_\_\_ seg, Segundo ensayo: \_\_\_\_\_ seg

$$\text{Promedio} = \frac{\text{Primer ensayo} + \text{Segundo ensayo}}{2} = \frac{\text{-----} + \text{-----}}{2} = \text{-----SSU}$$

**Conversión de unidades**

1. Uso de la tabla de conversión de viscosidades: se tomará el valor de la viscosidad obtenido en la determinación con el viscosímetro Saybol y se buscará su equivalente en unidades cSt

\_\_\_\_\_ SSU le corresponden \_\_\_\_\_ cSt

2. Uso de la tabla de comparación de viscosidades entre clasificaciones: con el valor de viscosidad obtenida en la tabla anterior en unidades cSt se buscará el equivalente en unidades SAE para aceite de motor

\_\_\_\_\_ cSt le corresponden una viscosidad SAE \_\_\_\_\_

**Cálculo de la Viscosidad Dinámica**

La viscosidad dinámica se basa en medir la resistencia al desplazamiento de un elemento mecánico que gira sumergido en el producto a analizar.

La unidad es el **poise (p)** pero habitualmente se utiliza la centésima parte o sea el **centi poise (cp)**

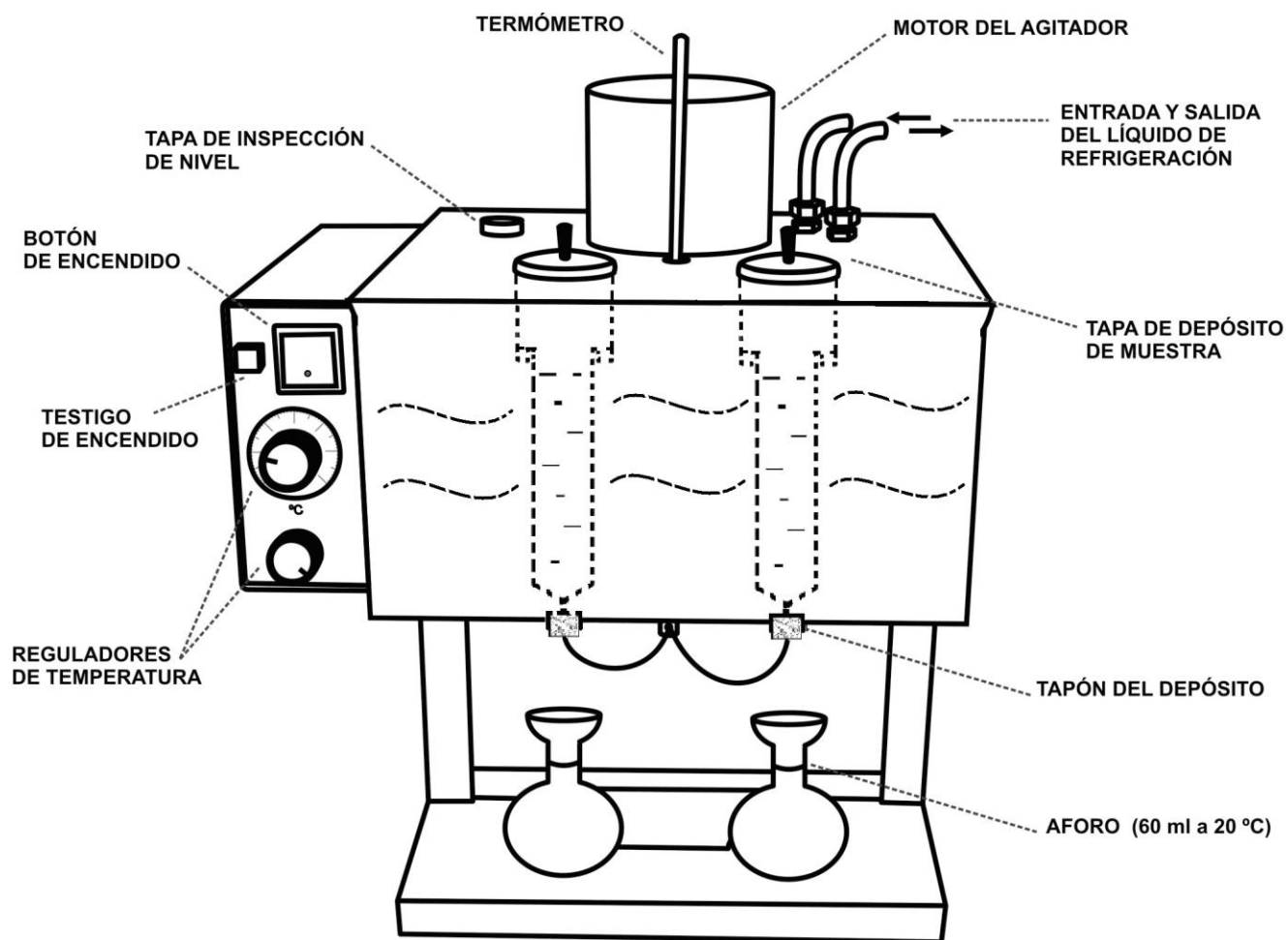
$$\text{Viscosidad dinámica (cp)} = \text{viscosidad cinemática (cSt)} \times \text{densidad (g/mL)}$$

Se tomarán para este cálculo los datos de la viscosidad cinemática y la **densidad corregida a 15°C** obtenida en los ensayos previos del **aceite**.

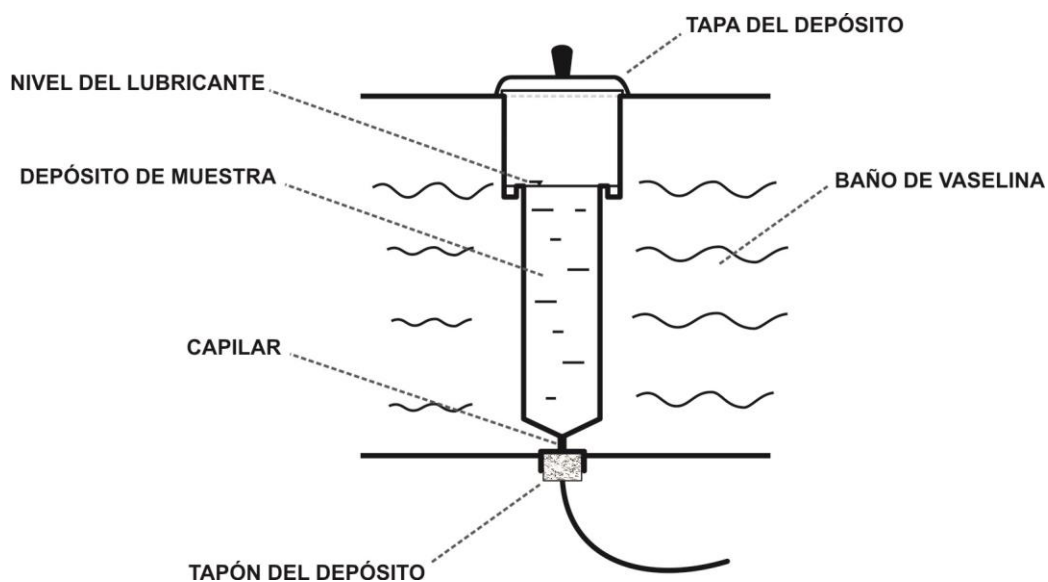
$$\text{Viscosidad dinámica (cp)} = \text{----- cSt} \times \text{----- g/mL} = \text{----- cp}$$

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

### Esquema del Equipo



### Representación esquemática del depósito de muestra del equipo Saybolt



## B. Pipetas Viscosimétricas

Este ensayo responde a la Norma ASTM D 445

Las pipetas viscosimétricas se caracterizan por tener una serie de tubos conectados entre sí. Su apariencia resulta un tanto extraña, pero el concepto de su funcionamiento es igual que las pipetas ordinarias o sea medir un volumen de líquido a partir de su escurrimiento en un tubo aforado. Existen diversos modelos de pipetas y dentro de cada modelo se presentan las variantes según el producto que se necesite analizar.

En este caso se utilizarán pipetas viscosimétricas del tipo Ubbelohde

El valor de viscosidad cinemática estará dado en *centi Stock* (cSt) y se obtiene a partir de la medición del tiempo en segundos resultante del escurrimiento del aceite de la pipeta viscosimétrica multiplicado por la constante de calibración de dicha pipeta.

Cada pipeta viscosimétrica se calibra utilizando un aceite de viscosidad conocida o también con agua. Se establece de esta forma la denominada *constante de calibración*, cuya unidad es centi Stock por cada segundo (cSt/seg.)

$$\text{Viscosidad cinemática (cSt)} = \text{constante de calibración (cSt/seg.)} \times \text{tiempo de escurrimiento (seg)}$$

### Ensayos

Se realizarán dos series de ensayos utilizando el mismo aceite ensayado en el equipo Saybolt

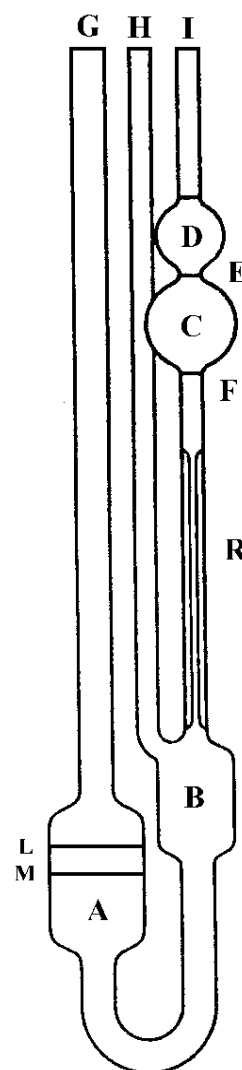
1. Se determinará el tiempo de escurrimiento a **40°C** del aceite lubricante.  
Para el acondicionamiento térmico de la muestra se la sumerge en un baño que cuenta con un sistema de recirculación de agua calentada por un equipo eléctrico en forma automática.  
El dato de la constante de calibración la pipeta será dado por el personal del laboratorio.
2. Se determinará el tiempo de escurrimiento a **100°C** del aceite lubricante.  
El acondicionamiento térmico de la muestra se lleva a cabo sumergiendo la muestra en un vaso de precipitados con agua, la cual se calienta hasta ebullición; con ello se garantiza alcanzar la temperatura de 100°C.  
En este caso a diferencia del anterior, se debe calcular la constante de calibración de la pipeta viscosimétrica utilizando el dato de la viscosidad del ensayo del viscosímetro Saybolt.

## Pipeta viscosimétrica Ubbelohde

### Procedimiento

1. Se carga el tubo **G** con muestra hasta que el nivel de líquido se sitúe entre los aforos **L** y **M**.
2. Se regula la temperatura de trabajo el baño termostatzado y se coloca la pipeta.  
Se deja reposar 30 minutos para garantizar que la muestra alcance la temperatura adecuada.
3. Se retira la pipeta del baño termostatzado y se procede a la succión del líquido mediante una pera de goma instalada en el tubo **I** teniendo la precaución de obturar con un dedo el tubo **H**, observaremos que en forma lenta el líquido ascenderá por el tubo **I**, la succión se deberá detener cuando el nivel de líquido se encuentre encima del aforo **E** en el ensanchamiento **D**.
4. Se aparta el dedo del tubo **H** y también se retira la pera de goma del tubo **I** de forma tal que el líquido fluya en forma libre y lenta.
5. El tiempo de escurrido (  $t$  ) se tomará cuando el nivel de líquido atraviese los aforos **E** y **F** o sea el ensanchamiento **C**.

Se repetirá el ensayo en dos ocasiones y se tomará el promedio para los cálculos siguientes.



**Informe de los resultados****1. Determinación de la viscosidad cinemática a 40°C**

Tipo de muestra: \_\_\_\_\_

Tipo de pipeta viscosimétrica: \_\_\_\_\_ Temperatura: \_\_\_\_\_ °C

Constante de Calibración = \_\_\_\_\_ cSt/seg. (Dato de cátedra)

Tiempo de escurrimiento; Primer ensayo: \_\_\_\_\_ seg, Segundo ensayo: \_\_\_\_\_ seg

$$\text{Promedio de tiempo} = \frac{\text{primer ensayo} + \text{segundo ensayo}}{2} = \frac{\text{_____ seg} + \text{_____ seg}}{2} = \text{_____ seg}$$

$$\begin{aligned} \text{Viscosidad a 40°C (cSt)} &= \text{Promedio tiempo escurrimiento (seg)} \times \text{constante de calibración (cSt/seg.)} = \\ &= \text{_____ (seg)} \times \text{_____ (cSt/seg.)} = \end{aligned}$$

$$\text{Viscosidad a 40°C} = \text{_____ cSt}$$

A partir del valor calculado de la viscosidad en cSt a 40°C buscar en las tablas el equivalente en SAE

SAE -----

**2. Determinación de la constante de calibración a 100°C**

Tipo de muestra: \_\_\_\_\_

Tipo de pipeta viscosimétrica: \_\_\_\_\_ Temperatura: \_\_\_\_\_ °C

Viscosidad a 100°C = \_\_\_\_\_ cSt (Dato del ensayo practicado en el viscosímetro Saybolt)

Tiempo de escurrimiento; Primer ensayo: \_\_\_\_\_ seg, Segundo ensayo: \_\_\_\_\_ seg

$$\text{Promedio de tiempo} = \frac{\text{Primer ensayo} + \text{Segundo ensayo}}{2} = \frac{\text{_____ seg} + \text{_____ seg}}{2} = \text{_____ seg}$$

$$\text{Constante de Calibración} = \frac{\text{Viscosidad Cinemática (cSt)}}{\text{Promedio de Tiempo (seg)}} = \frac{\text{_____ cSt}}{\text{_____ seg}} =$$

$$\text{Constante de Calibración (100°C)} = \text{_____ cSt / seg}$$

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

## Tablas para Consulta

### VISCOSITY CONVERSION TABLE

SAYBOLT UNIVERSAL SSU	STOKES	CENTI STOCKES	POISES*	CENTI* POISES	ENGLER SECONDS	REDWOOD NO. 1 SECONDS	TYPICAL LIQUIDS AT 70°F
31	.010	1.00	.008	.8	54	29	Water
35	.025	2.56	.020	2.05	59	32.1	Kerosene
50	.074	7.40	.059	5.92	80	44.3	No. 2 Fuel Oil
80	.157	15.7	.126	12.6	125	69.2	No. 4 Fuel Oil
100	.202	20.2	.162	16.2	150	85.6	Transformer Oil
200	.432	43.2	.346	34.6	295	170	Hydraulic Oil
300	.654	65.4	.522	52.2	470	254	SAE 10W Oil
500	1.10	110	.88	88.0	760	423	SAE 10 Oil
1,000	2.16	220	1.73	173	1,500	696	SAE 20 Oil
2,000	4.40	440	3.52	352	3,000	1,690	SAE 30 Oil
5,000	10.8	1,080	8.80	880	7,500	4,230	SAE 50 Oil
10,000	21.6	2,160	17.0	1,760	15,000	8,460	SAE 60-70 Oil
50,000	108	10,800	88	8,800	75,000	43,660	Molasses B
100,000	216	21,600	173	17,300	150,000	88,160	Molasses C

\*Poises and centipoises are given for oil of .8 spec. gravity.  
Relationship: centistokes x specific gravity = centipoises

**Conversión de Viscosidades:** Segundos Saybolt Universal (**SSU**); centi Stokes (**cSt**); Segundos Redwood I (**SRI**); Grados Engler (**° E**)

SSU	cSt	SRI	° E	SSU	cSt	SRI	° E	SSU	cSt	SRI	° E	SSU	cSt	SRI	° E
32,6	2	31	1,12	73,6	14	65	2,23	128,5	27	113	3,71	237,5	51	209	6,77
34,4	2,5	32	1,17	75,5	14,5	67	2,28	133	28	117	3,83	242,2	52	213	6,90
36,0	3	33	1,22	77,4	15	68	2,33	137,5	29	121	3,96	246,8	53	218	7,04
37,6	3,5	35	1,26	79,3	15,5	70	2,39	141,7	30	125	4,08	251,5	54	222	7,17
39,1	4	36	1,31	81,3	16	72	2,44	146	31	129	4,21	256	55	226	7,30
40,7	4,5	37	1,35	83,3	16,5	74	2,50	150,7	32	133	4,33	260,7	56	230	7,43
42,3	5	39	1,39	85,3	17	75	2,55	155,2	33	137	4,46	265,3	57	234	7,56
44,0	5,5	40	1,44	87,4	17,5	77	2,60	159,7	34	141	4,58	270	58	238	7,69
45,6	6	41	1,48	89,4	18	79	2,65	164,3	35	145	4,71	274,7	59	242	7,82
47,2	6,5	43	1,52	91,5	18,5	81	2,71	168,8	36	149	4,84	279,2	60	246	7,95
48,8	7	44	1,56	93,6	19	82	2,77	173,3	37	153	4,96	284	61	250	8,04
50,4	7,5	45	1,61	95,7	19,5	84	2,83	178	38	157	5,10	288,5	62	254	8,18
52,1	8	46	1,65	97,8	20	86	2,88	182,4	39	161	5,22	293,6	63	258	8,31
53,8	8,5	48	1,71	99,9	20,5	88	2,94	187	40	165	5,35	297,7	64	262	8,45
55,5	9	49	1,75	102	21	90	3,00	191,5	41	169	5,48	302,4	65	266	8,58
57,2	9,5	51	1,80	104,2	21,5	92	3,06	196	42	173	5,61	307	66	271	8,72
58,9	10	52	1,84	106,4	22	94	3,11	200,5	43	177	5,74	311,7	67	275	8,85
60,7	10,5	54	1,89	108,5	22,5	96	3,17	205	44	181	5,87	316,3	68	279	8,98
62,4	11	55	1,94	110,7	23	97	3,23	209,8	45	185	6,00	321	69	283	9,11
64,2	11,5	57	1,98	112,8	23,5	99	3,29	214,5	46	189	6,13	325,5	70	287	9,24
66,0	12	58	2,03	115	24	101	3,35	219	47	193	6,26	335	72	295	9,51
67,9	12,5	60	2,08	117,1	24,5	103	3,41	223,7	48	197	6,38	344	74	303	9,77
69,8	13	62	2,13	119,3	25	105	3,47	228,3	49	201	6,51	353	76	311	10,03
71,7	13,5	64	2,18	124	26	109	3,59	233	50	205	6,64	363	78	319	10,30

Sigue en la página siguiente

SSU	cSt	SRI	° E	SSU	cSt	SRI	° E	SSU	cSt	SRI	° E	SSU	cSt	SRI	° E
372	80	328	10,56	511	112	451	14,52	651	142	574	18,48	834	180	738	23,76
381	82	336	10,82	521	114	459	14,78	658	144	582	18,74	853	184	754	24,29
391	84	344	11,09	530	116	467	15,05	667	146	590	19,01	871	188	771	24,82
400	86	352	11,35	540	118	476	15,31	677	148	599	19,27	890	192	787	25,34
410	88	360	11,62	549	120	484	15,58	686	150	607	19,54	908	196	804	25,87
419	90	369	11,88	558	122	492	15,84	695	152	615	19,80	927	200	820	26,40
428	92	377	12,14	567	124	500	16,10	705	154	623	20,06	946	204	836	26,93
438	94	385	12,41	577	126	508	16,37	714	156	631	20,33	964	208	853	27,46
447	96	393	12,67	586	128	517	16,63	723	158	640	20,59	983	212	869	27,98
456	98	401	12,94	595	130	525	16,90	732	160	648	20,86	1001	216	886	28,51
465	100	410	13,20	605	132	533	17,16	742	162	656	21,12	1020	220	902	29,04
475	102	418	13,46	614	134	541	17,42	760	164	672	21,65	1038	224	918	29,57
484	104	428	13,73	623	136	549	17,69	770	168	689	22,18	1057	228	935	30,10
493	108	435	13,99	632	138	558	17,95	797	172	705	22,70	1075	232	951	30,62
502	110	443	14,26	642	140	566	18,22	816	176	722	23,23	1094	236	968	31,15

Estas tablas de equivalencias entre los distintos tipos de unidades nos permitirán realizar las conversiones entre centi Stokes, Segundos Saybolt Universal, segundos Redwood I y grados Engler siempre y cuando las mismas se realicen en las mismas condiciones de temperatura.

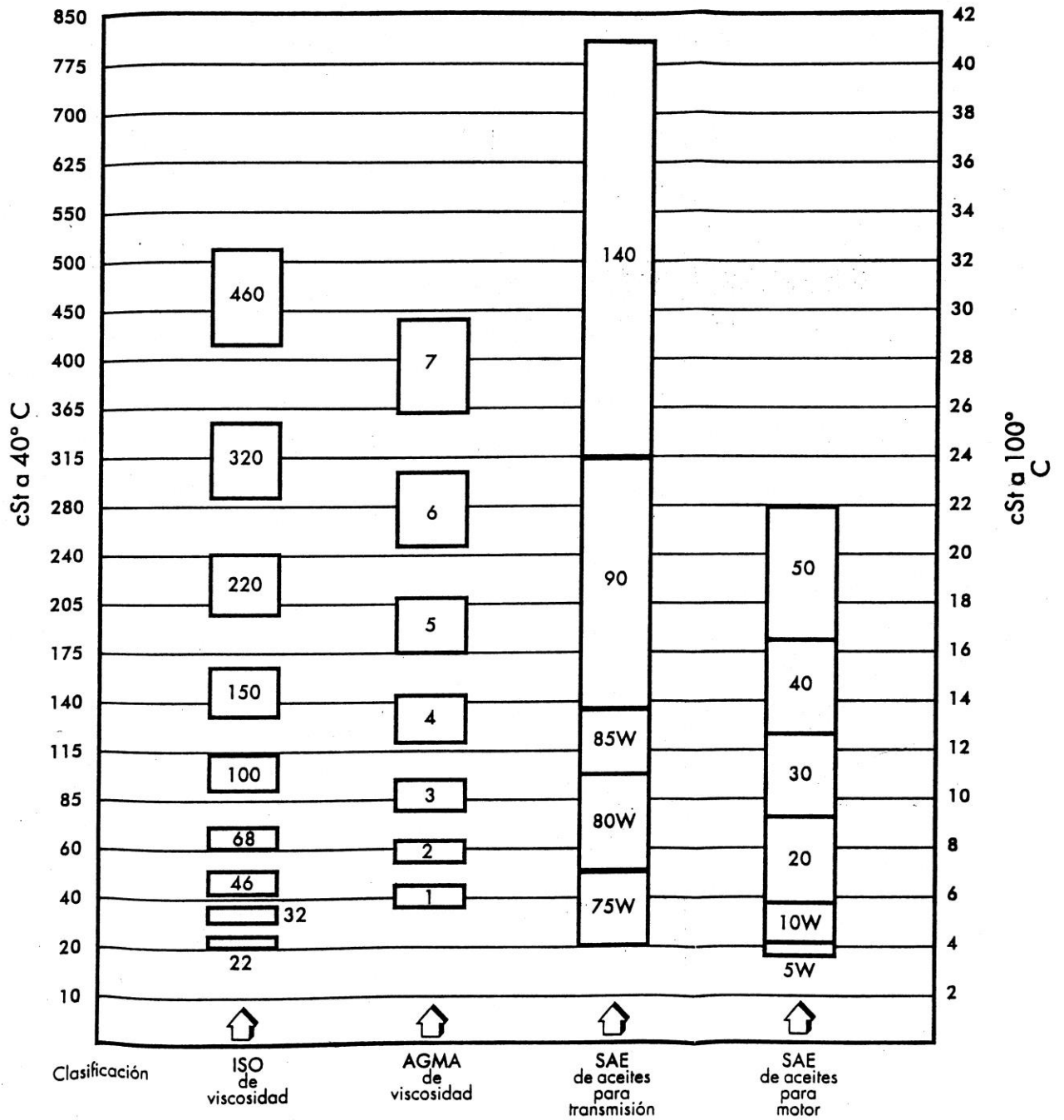
En los casos que los valores de viscosidad exceden los indicados en las tablas se propone utilizar las siguientes formulas de conversión:

$$\mathbf{RI = 4,10 \text{ cSt}}$$

$$\mathbf{SSU = 4,635 \text{ cSt}}$$

$$\mathbf{E = 0,132 \text{ cSt}}$$

## Comparación de viscosidades entre clasificaciones



## ***Índice de Viscosidad***

### ***Introducción***

El índice de viscosidad es un parámetro que indica el comportamiento de los aceites lubricantes considerando las dos situaciones en las que su desempeño resulta clave; el arranque y el ciclo de trabajo; sin duda alguna el ciclo de trabajo resulta de vital trascendencia en el desempeño de un producto lubricante sin embargo no se puede dejar de lado la traumática situación que se presenta durante el arranque pues tanto los materiales como el producto lubricante se encuentran a una temperatura muy por debajo de la que corresponde a su funcionamiento.

A los efectos de atender a esa situación se han creado los aceites multigrados y a los efectos de transformar un aceite en multigrado se hace necesario el agregado de aditivos.

Los aditivos mejoradores del índice de viscosidad están constituidos por polímeros de alto peso molecular cuya función es expandirse conforme la temperatura aumenta compensando el efecto de la disminución de la viscosidad derivada del incremento de la temperatura del aceite.

El índice de viscosidad del aceite multigrado llega entonces a 120, este valor significa que la variación de la viscosidad con respecto de la temperatura es casi nula.

Algunos lubricantes altamente refinados y por supuesto los sintéticos, poseen altos índices de viscosidad “naturales”, por lo que no requieren de la adición de este aditivo, siendo por lo tanto productos más estables y de mejor desempeño.

Los aceites multigrados se empezaron a utilizar desde los años 1950.

Los aceites multigrado son lubricantes diseñados originalmente para trabajar en aplicaciones donde los cambios de temperatura son considerables; por ejemplo, en algunas regiones del hemisferio norte las temperaturas son de - 40°C en el invierno y de 40°C en el verano; sin embargo, esto no significa que los lubricantes multigrados no puedan ser utilizados en lugares en donde los cambios de temperatura no sean tan amplios.

Los aceites monogrados es decir un solo grado; por ejemplo SAE 40 son cada vez menos comunes y han sido desplazados por los multigrados paulatinamente en todo el mundo; sin embargo se siguen utilizando en aplicaciones como motores de competición, equipos industriales que trabajan en aplicaciones de alta temperatura y en aplicaciones especiales de ciertos motores que no permiten el uso de un multigrado.

El número 15W se refiere a la facilidad con la que el aceite puede ser bombeado a bajas temperaturas, mientras más bajo sea el número W el motor podrá ser puesto en marcha a muy bajas temperaturas. Un aceite 5W 40 es mejor que un 15W 40 en los casos de puesta en marcha de los motores a bajas temperaturas; con este ejemplo se aprecia el real significado del primer número: “facilidad de arranque en bajas temperaturas” en idioma inglés se expresa como start ability.

El segundo número es el grado de viscosidad real del aceite a la temperatura de operación del motor y es determinado por la viscosidad cinemática del aceite a 100°C.

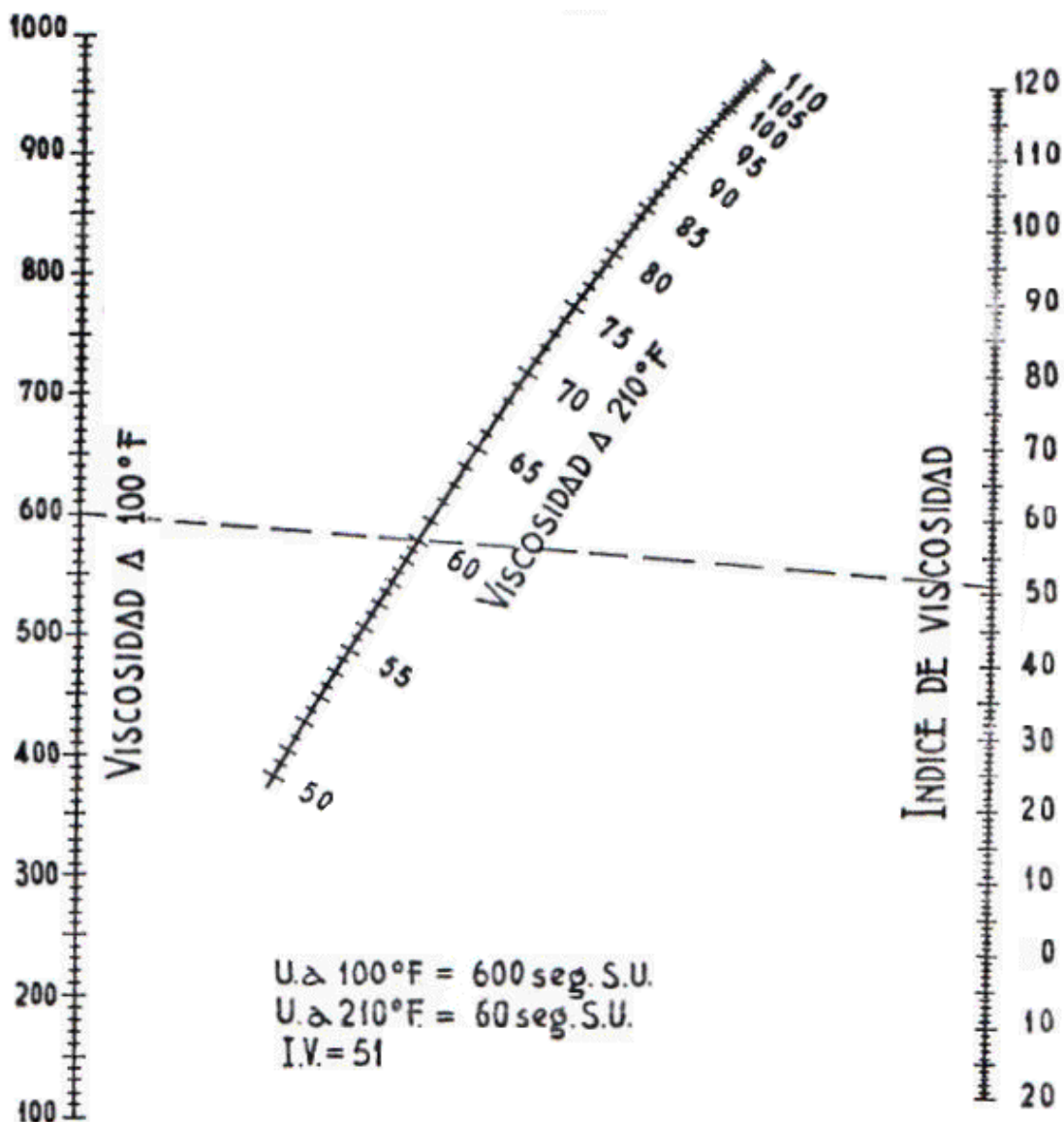
Una vez que el motor arrancó y se ha calentado, el aceite trabaja como un grado SAE 40 es decir la viscosidad con la que se protege al motor la mayor parte del tiempo.

La gran ventaja de los aceites multigrados es su gran flexibilidad para proteger al motor en el arranque con una viscosidad alta y que permita que el aceite llegue muy rápido a los puntos de lubricación del motor para protegerlo contra el desgaste y posteriormente que sostenga una viscosidad correcta para el tiempo que opera en condiciones “normales” de temperatura la cual se regula por el sistema de refrigeración (enfriamiento) del motor.

En la actualidad para facilitar la obtención del valor de dicho índice se utilizan gráficos donde a partir de los datos de la viscosidad a 40°C (100°F) y 100°C (210°F) se puede determinar dicho valor.

Ejemplo: La viscosidad a 100°F es 600 SSU y la viscosidad a 210°F es 60 SSU. Por lo tanto, se fijan los valores de viscosidad en el gráfico y se traza una línea uniendo dichos puntos hasta alcanzar la escala correspondiente al Índice de Viscosidad.

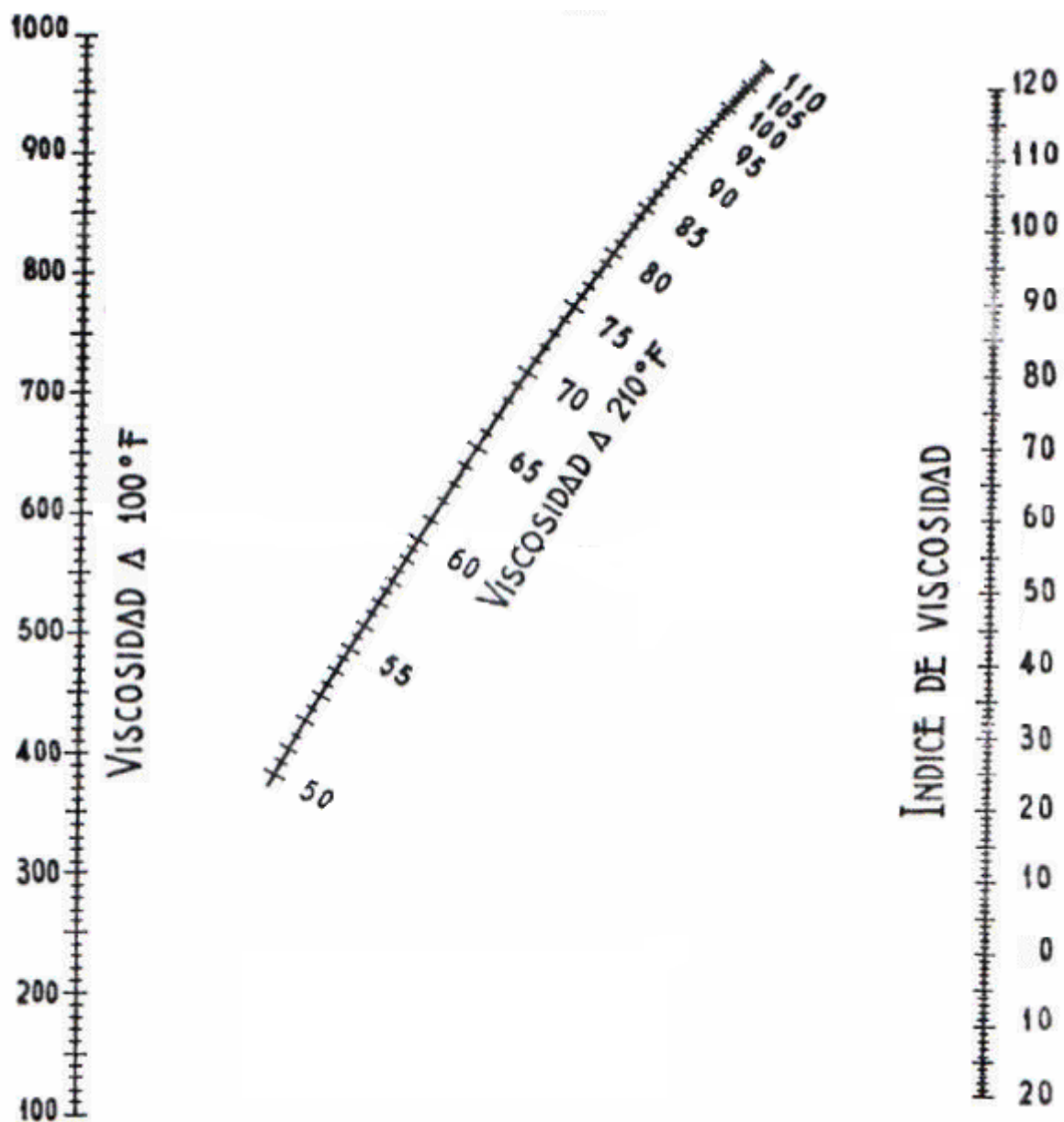
En este caso el valor obtenido es de 51 (al ser un índice no tiene unidad).



**Informe de Resultados**

Tipo de Muestra: \_\_\_\_\_

Viscosidad a 100 ° F (40°C) = \_\_\_\_\_ SSU      Viscosidad a 210 ° F (100°C) = \_\_\_\_\_ SSU



Índice de Viscosidad = \_\_\_\_\_

Observaciones: \_\_\_\_\_

## Determinación del punto de inflamación

### *Introducción*

El punto de inflamación también llamado *flash point* es la temperatura por la cual mediante la llama de un mechero se produce la ignición repentina y fugaz de los vapores de una muestra que esta siendo sometida a un proceso de calentamiento normalizado.

La inflamación instantánea es un fenómeno de corta duración que se manifiesta como un velo luminoso sobre la superficie de la muestra.

## Determinación del punto de combustión

### *Introducción*

El punto de combustión también llamado de *ignición o fire point* es la temperatura en la cuál mediante la llama de un mechero se produce la combustión de los vapores de una muestra que se somete a un calentamiento normalizado con la condición que la llama producida se mantenga por lo menos durante 5 segundos.

Según el tipo de producto el ensayo se realiza en los siguientes equipos:

- a) Vaso cerrado o Pensky-Martens. Corresponde a la norma ASTM D 93
- b) Vaso abierto o Cleveland. Corresponde a la norma ASTM D 92

### *Consideraciones generales a adoptar en ambas determinaciones*

Durante el ensayo **no** se deberá estacionar la llama del mechero encima de la muestra, sino que se deberá acercar en forma lenta cada 5°C de incremento de temperatura, esta operatoria se iniciará cuando la muestra esté unos 17 a 28°C por debajo de la temperatura esperada de ensayo.

La llama del mechero debe ser de características oxidantes de color azul de unos 4mm de diámetro, cuidando que **no** sea de color amarillento blanquecino (“llama pobre”)

El calentamiento normalizado responde al incremento de temperatura de 5 a 6°C por cada minuto. Para una misma muestra se ha encontrado que la temperatura de inflamación instantánea es siempre superior en el equipo de vaso abierto que en el de vaso cerrado. La temperatura de combustión es generalmente unos 5 a 6 grados centígrados superior a la temperatura de inflamación instantánea.

Los valores de temperatura obtenidos serán corregidos considerando la variación de la presión atmosférica según la siguiente formula:

$$\text{Temperatura corregida} = \text{temperatura de ensayo} + 0,033 (760 - \text{presión atmosférica})$$

Las unidades de los parámetros serán:

Temperatura; grados centígrados (°C),  
Presión atmosférica; mm de Hg,  
Factor 0,033; °C/mm de Hg

### ***Técnica utilizada***

#### ***A) Equipo de vaso cerrado o Pensky-Martens o Closed Cup***

Los productos que se deben ensayar en este equipo son los denominados “combustibles livianos” tal como solventes, naftas, kerosén y gas oil, el rango de trabajo va desde 40°C hasta 360°C.

Éste equipo consta de:

- 1) Un recipiente para la muestra.
- 2) Una cubierta removible para el recipiente que tiene incorporado:
  - a) Un pequeño mechero.
  - b) Una perilla que hace girar el mechero y simultáneamente abre una compuerta permitiendo el ingreso de la llama del mechero dentro del recipiente.
  - c) El eje y paleta para agitación.
  - d) El termómetro.
- 3) Una resistencia eléctrica.
- 4) El motor para el agitador.

El sistema de agitación permite uniformizar la temperatura de la muestra durante su calentamiento y evitar que durante dicho proceso se forme una película de material carbonoso sobre la superficie y se produzca un calentamiento excesivo de la muestra, esto puede generar la proyección del producto sobrecalentado con el riesgo que ello implica para la salud de las personas que se encuentren en las proximidades del equipo, este es el motivo por el cuál el recipiente se encuentra cerrado y tan solo se abre para permitir el ingreso de la llama.

### ***Procedimiento***

1. Se llena el vaso con la muestra hasta alcanzar el nivel indicado por el aforo circular ubicado en su interior.
2. Se coloca la cubierta en el vaso controlando el correcto funcionamiento de:
  - a) Mechero, b) Perilla de movimiento del mechero y compuerta, c) Conexión del agitador
3. Se coloca el termómetro en el orificio correspondiente en la cubierta con la precaución que el bulbo quede sumergido en la muestra.
4. Se pone en funcionamiento el agitador y se inicia el calentamiento de la muestra. Se enciende la llama del pequeño mechero ubicado en la cubierta del equipo.
5. Se procede al acercamiento de la llama según lo establecido en las consideraciones generales que establece el inicio cuando la temperatura se encuentre entre 17 y 28°C por debajo del valor esperado y cada 5°C de incremento de la temperatura.  
En el caso de la temperatura de inflamación instantánea se manifiesta con un soplido y una luz que se extingue en forma muy rápida y en el caso de la combustión se observa la permanencia de la llama dentro del vaso.
6. En el momento que se hace efectivo el fenómeno se registra la temperatura.

***Informe de los resultados***

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

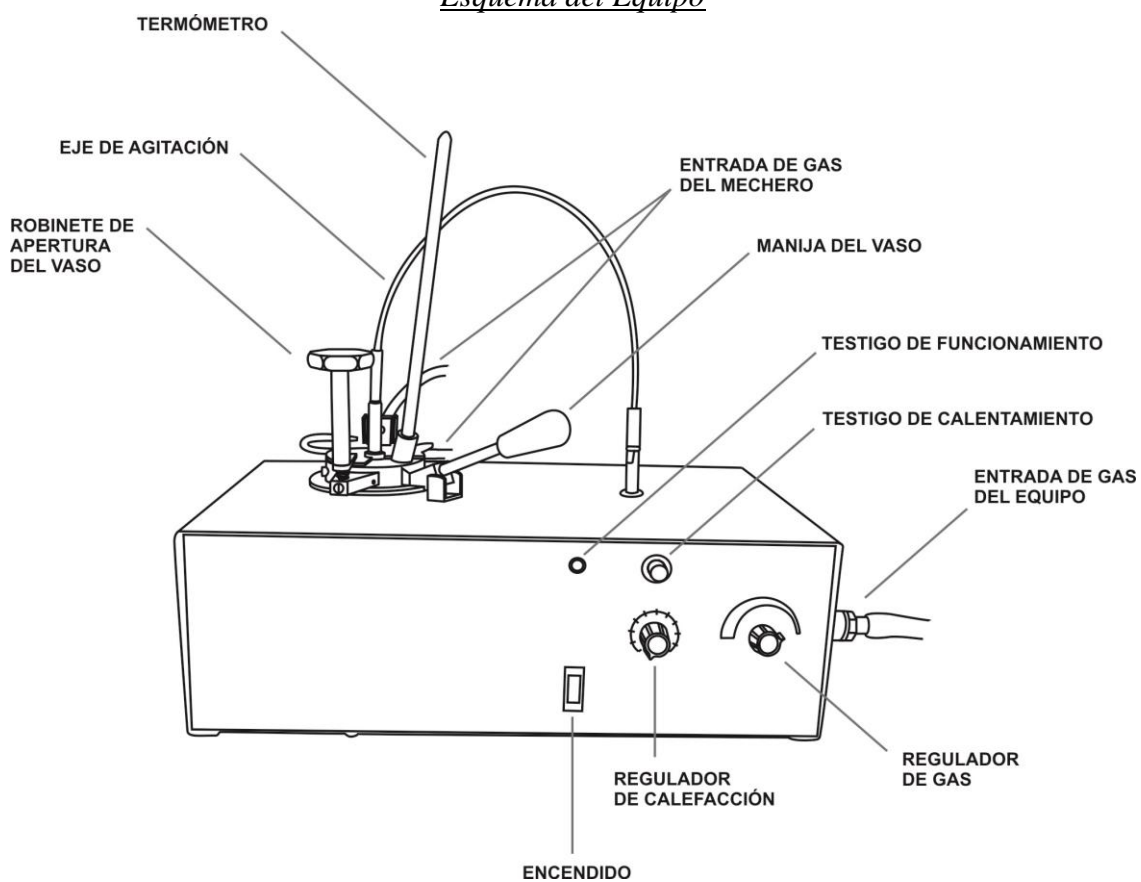
Temperatura de inflamación instantánea: \_\_\_\_\_°C

Presión atmosférica: \_\_\_\_\_mm de Hg

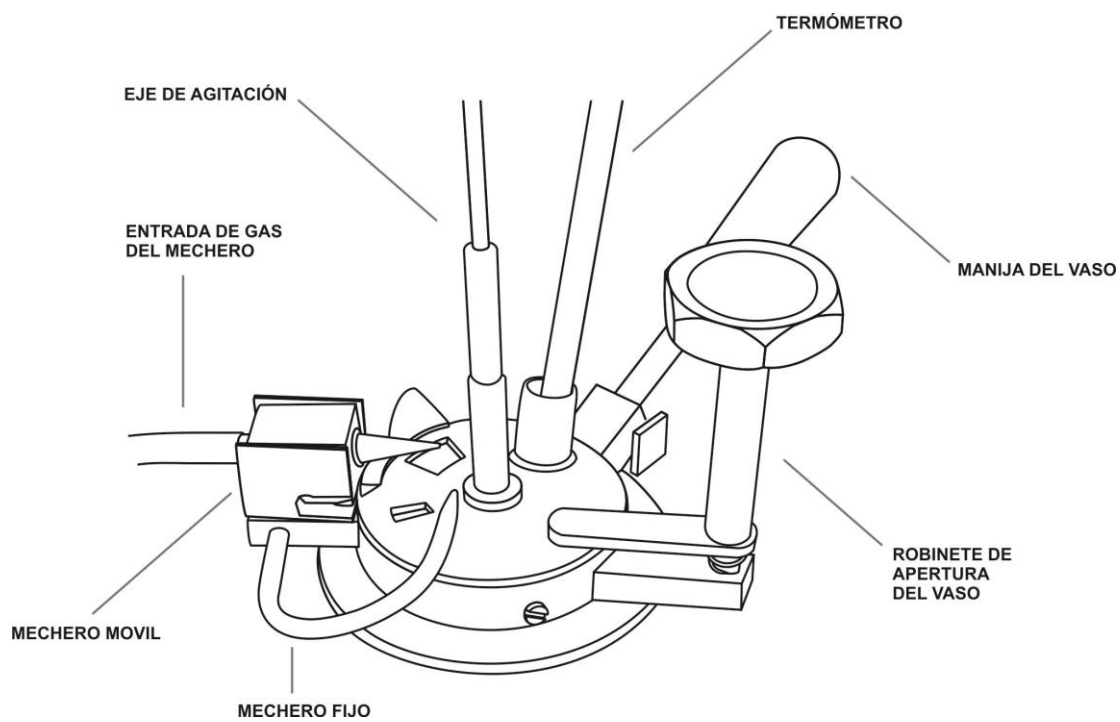
Temperatura corregida = Temperatura de ensayo + 0,033 (760 - presión atmosférica)

***Temp. de inflamación instantánea corregida*** (°C) = \_\_\_\_\_ + 0,033 (760 - \_\_\_\_\_) = \_\_\_\_\_°C***Observaciones:*** \_\_\_\_\_

*Esquema del Equipo*



*Detalle de la cubierta superior del equipo*



**B) Equipo de vaso abierto o Cleveland u Open Cup**

Los productos recomendados para ensayar en este equipo son los denominados “combustibles pesados” tal como fuel oil y aceites; el rango de trabajo va de 79°C hasta 400°C

Este equipo carece de sistema de agitación y consta tan solo de un recipiente donde se coloca la muestra y el termómetro, el calentamiento se realiza mediante un sistema de resistencias eléctricas, el mechero se encuentra ubicado en el cuerpo del equipo y está dotado de un movimiento oscilante horizontal.

**Procedimiento**

1. Se llena el vaso con la muestra hasta alcanzar el nivel indicado por el aforo circular ubicado en su interior a continuación se instala el termómetro.
2. Se enciende la llama del mechero piloto y según lo establecido en las consideraciones generales se inicia el calentamiento normalizado de la muestra mediante el encendido de las resistencias eléctricas, en éstos casos la velocidad inicial de calentamiento deberá ser de 14 a 17°C por cada minuto hasta cerca de 50°C menos de la temperatura de ensayo es entonces cuando se reduce a 5 a 6°C por cada minuto.
3. Una vez alcanzada la temperatura de ensayo se procede al acercamiento de la llama según lo establecido en las consideraciones generales, la temperatura de inflamación instantánea se manifiesta con la aparición de una luz que se extingue en forma muy rápida y en el caso de la combustión se observa la permanencia de la llama dentro del vaso.
4. En el momento que se hace efectivo el fenómeno se registra la temperatura.

**Informe de los resultados**

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

Temperatura de inflamación: \_\_\_\_\_°C      Temperatura de combustión: \_\_\_\_\_°C

Presión atmosférica: \_\_\_\_\_mm de Hg

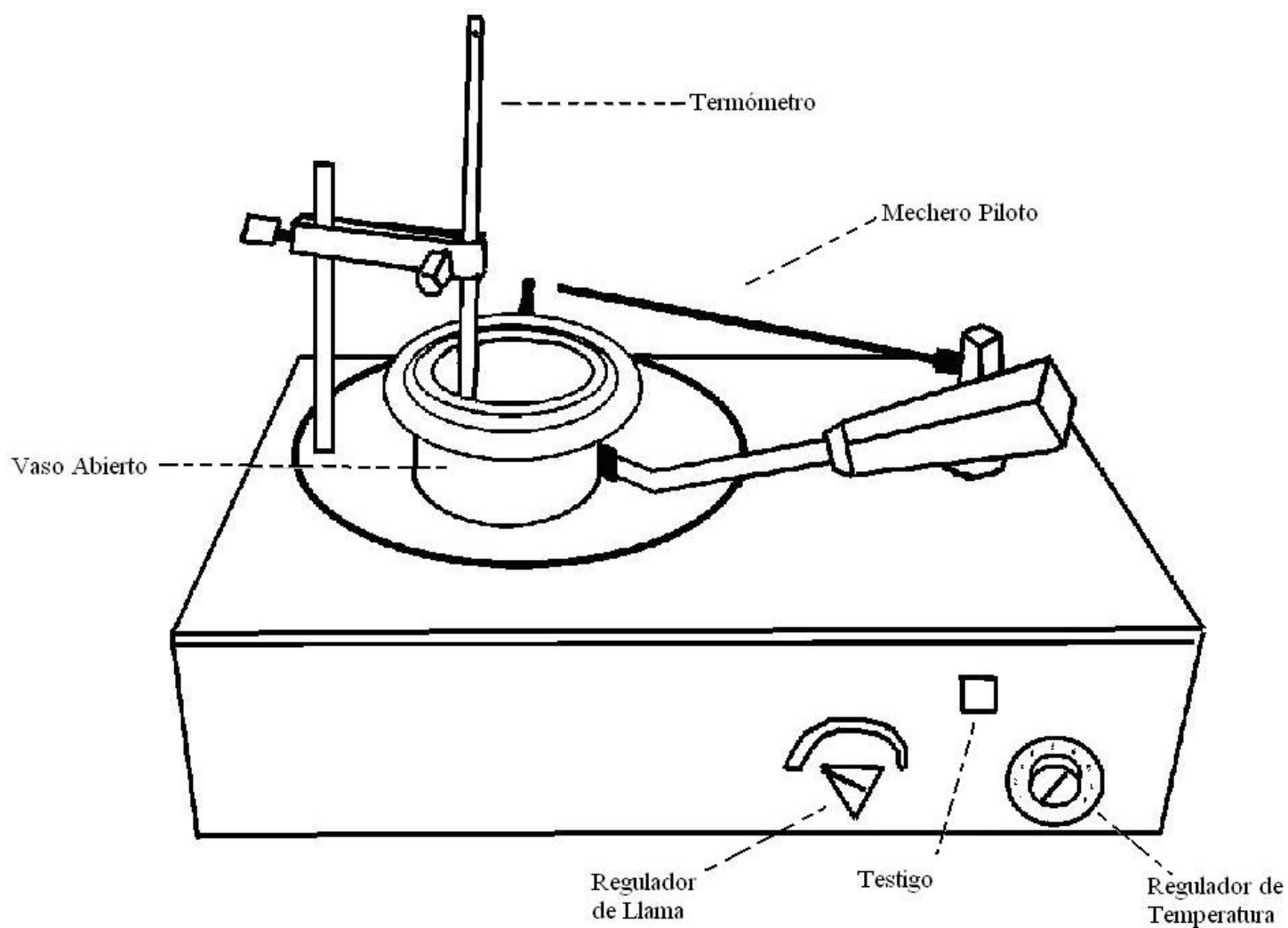
Temperatura corregida = Temperatura de ensayo + 0,033 ( 760 - presión atmosférica)

**Temperatura de combustión corregida** (°C) = \_\_\_\_\_ + 0,033 ( 760 - \_\_\_\_\_ ) =  
= \_\_\_\_\_°C

**Temperatura de inflamación instantánea corregida** (°C) = \_\_\_\_\_ + 0,033 ( 760 - \_\_\_\_\_ ) =  
= \_\_\_\_\_°C

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

### Esquema del Equipo



## **Determinación del grado de Consistencia**

### ***Introducción***

Esta norma establece el método para medir el grado de consistencia de grasas lubricantes mediante el ensayo de penetración.

El concepto de grado de consistencia se aplica a los productos que se caracterizan por su estado físico semi-sólido o viscoso-plástico, tal como ocurre con las grasas lubricantes.

Las grasas lubricantes están constituidas por un aceite lubricante y un jabón metálico que oficiará de espesante, la cantidad y el tipo de jabón metálico agregado determinará su consistencia final.

La penetración se produce por caída libre de un cono normalizado que fue apoyado sobre la superficie de la muestra.

Luego de obtenidos los valores de penetración se consultará la tabla de equivalencias a los efectos de determinar el grado de consistencia de los productos.

La tabla de equivalencia fue establecida por el Instituto Normalizador de Grasas Lubricantes (NLGI)

### ***Técnica utilizada***

El ensayo de penetración se basa en la norma ASTM D 217

El ensayo se realiza en un equipo denominado ***penetrómetro*** que consta de un pedestal y una columna donde están sujetos un calibre con una escala circular y un cono metálico de punta aguzada.

El pedestal cuenta con un nivel de burbuja y la columna un nivel de cuerda.

La penetración en una grasa lubricante es la profundidad en décimas de milímetro (1/10 mm) que el cono penetra en la muestra bajo condiciones establecidas de carga, tiempo y temperatura.

El equipo cuenta con una serie de pesas para aumentar la capacidad de penetración.

El tiempo de penetración resultará de 5 segundos.

La temperatura de la muestra debe ser de 25°C, aunque las características del ensayo permiten realizarlo entre 17 y 33°C

***Concordancia de los resultados:*** Cuando los valores de penetración se encuentran entre 130 y 471 décimas de mm se considerarán aceptables los valores que no difieran en más de 7 unidades para un mismo operador y un mismo equipo, si se deben comparar resultados de distintos operadores que no utilicen el mismo equipo la tolerancia se eleva a 14 unidades.

### **Procedimiento**

1. Se controlan los niveles del equipo y se verifica la temperatura de la muestra.
2. Se colocará la muestra en el pedestal justo debajo del cono.
3. Se ajusta la distancia del cono a la muestra mediante el desplazamiento con un tornillo ubicado en la parte superior de la columna.  
La punta del cono debe ubicarse a la menor distancia posible de la superficie de la muestra.
4. Se verifica que el palpador del calibre esté ubicado en el cero de la escala de medición.
5. Se oprimirá el disparador ubicado encima del cono para permitir su caída en forma libre, luego de transcurridos 5 segundos se hará descender el palpador del calibre en forma lenta y suave hasta alcanzar el tope correspondiente al cono de penetración y de ésta forma se podrá leer en la escala circular del calibre la distancia recorrida por el cono.  
La escala del calibre está expresada en décimas de mm.  
Se puede tomar el tiempo de ensayo (5 seg.) como el conteo en forma consecutiva del número uno al cinco en voz alta en forma clara y lenta.

El valor final de penetración se obtendrá del promedio de tres ensayos y a partir de éste valor se recurre a la tabla correspondiente para encontrar el grado de consistencia.

### **Clasificación de las grasas lubricantes según el grado de consistencias**

Las grasas lubricantes se clasifican según su grado de consistencias de acuerdo con los rangos de penetración determinados por el Instituto Normalizador de Grasas Lubricantes de EE.UU. (**NLGI**)

Penetración a 25°C 1/10 mm	Grado de Consistencia
445 a 475	000
400 a 430	00
355 a 385	0
310 a 340	1
265 a 295	2
220 a 250	3
175 a 205	4
130 a 160	5
85 a 115	6

**Informe de los resultados**

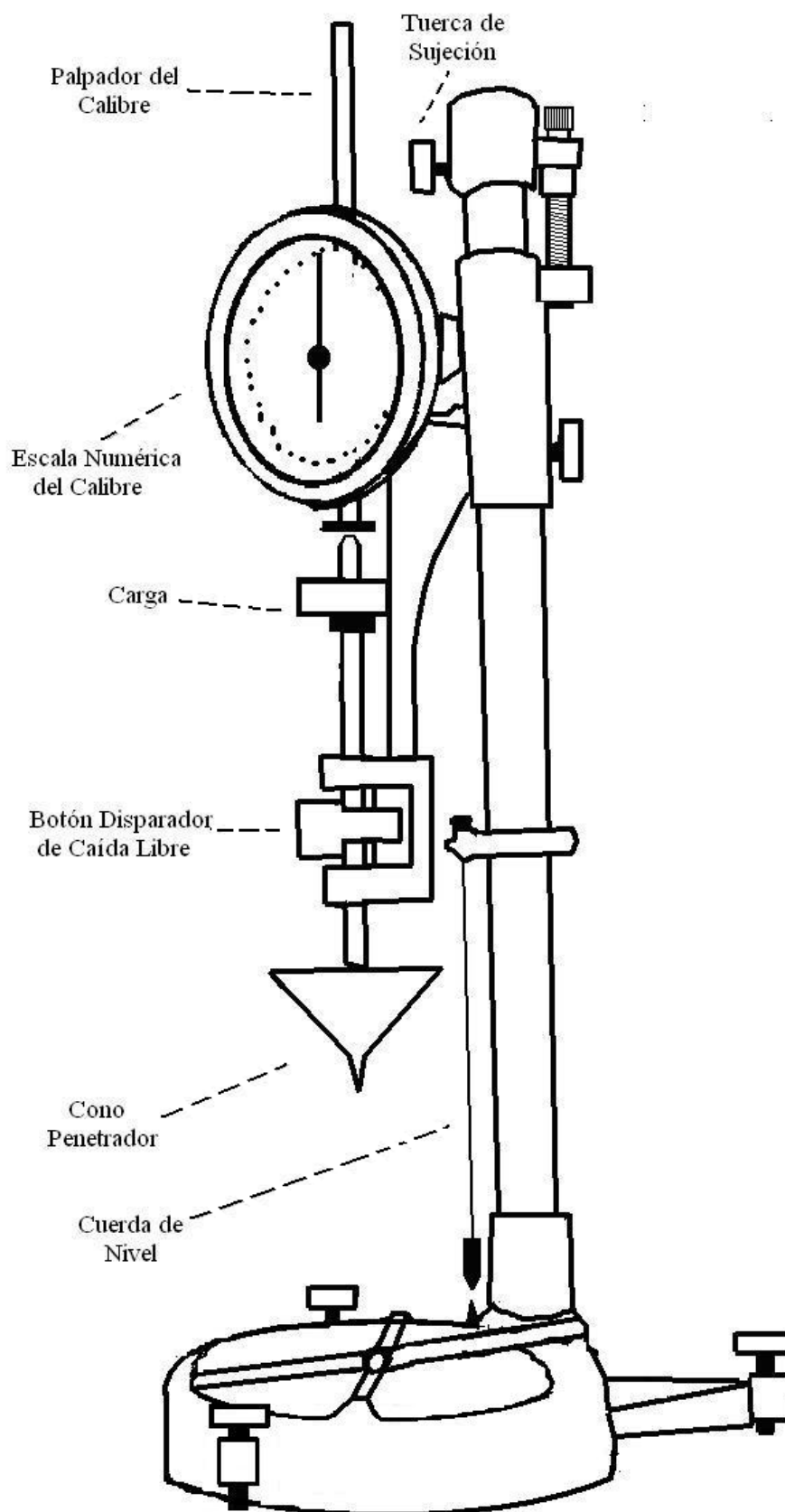
Temperatura de las muestras: \_\_\_\_\_ °C

Carga aplicada: \_\_\_\_\_ g

<i>Tipo de Muestra</i>	<i>Penetración</i> (1/10 mm)				<i>Grado de Consistencia</i>
	<i>Ensayo</i>				
	1	2	3	<i>Promedio</i>	

**Observaciones:** \_\_\_\_\_

### Esquema del Equipo



### Cuestionario

1. Describa las causas de la presencia de agua en los derivados del petróleo.
2. Indique los fundamentos de la técnica utilizada en la determinación de agua.
3. Defina la propiedad de la densidad, las unidades en que se expresa y el método utilizado.
4. Explique el concepto del término “rango de destilación”.
5. Describa a la propiedad de la viscosidad y además mencione el factor de mayor influencia en esta propiedad y en que forma la modifica.
6. Explique el significado del índice de viscosidad y además indique los significados de la notación 5 W 40 con que se nombra a los aceites multigrados.
7. Indique los distintos tipos de viscosímetros y las unidades que se aplican en cada caso.
8. Cite la relación que existe entre la viscosidad dinámica y la viscosidad cinemática.
9. Describa brevemente los procedimientos de trabajo empleados en la medición de la viscosidad.
10. Expresé los significados de los términos punto de inflamación instantánea y punto de combustión.
11. Mencione el nombre de los equipos utilizados en la determinación del punto de inflamación instantánea e indique en qué casos se aplican.
12. Escriba brevemente la técnica de trabajo utilizada en la determinación del grado de consistencia de las grasas lubricantes.

--- XXXXXX ---

## **Respuestas**





