

**GUÍA LABORATORIO DE FLUIDOS**

**PRACTICA # 2**

**DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD**



**PROFESOR  
CÉSAR AUGUSTO PINEDA GÓMEZ**

**TÉCNICOS DE LABORATORIO**

**FELIX ARENAS RUEDA  
MARIO TORRES LOPEZ**

**ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
BUCARAMANGA, 2009**

## PRÁCTICA No. 2

### DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD SAYBOLT Y LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA

#### 1. Objetivos.

- ✚ Determinar la viscosidad Saybolt Universal y Saybolt Furol al petróleo y sus derivados a temperaturas específicas entre 70 y 210 °F.
- ✚ Determinar la viscosidad cinemática de los líquidos, tanto transparentes como opacos, e identificar un procedimiento sencillo para el cálculo de viscosidades dinámicas a partir de la medición de viscosidades cinemáticas.

#### 2. Marco Teórico

La viscosidad es una medida de la resistencia interna al movimiento de un fluido, que se debe a la fuerza de atracción entre sus moléculas.

La evaluación de la viscosidad de mezclas de hidrocarburos a condiciones de yacimiento y superficie es un importante paso en el diseño de varias etapas de operaciones de campo y debe ser evaluada tanto para operaciones de ingeniería de yacimientos como para diseños de producción. Esta evaluación puede obtenerse de un análisis de laboratorio corrido a la temperatura de yacimiento, o usando correlaciones empíricas.

La viscosidad de un líquido está directamente relacionada con el tipo y tamaño de los compuestos que constituyen el líquido. Las viscosidades de líquidos compuestos por moléculas grandes y complejas serán mucho más altas, que las viscosidades de líquidos compuestos por moléculas más pequeñas.

#### TIPOS DE VISCOSIDAD

Los diferentes tipos de viscosidad que se conocen toman su nombre según el método utilizado para su determinación. Entre los más conocidos están:

- Viscosidad Cinemática
- Viscosidad Dinámica o Absoluta
- Viscosidad Saybolt

**Viscosidad Cinemática.** Es una medida del tiempo de flujo para un volumen fijo de líquido que fluye por gravedad a través de un capilar. En el sistema cgs la unidad de la viscosidad cinemática es el Stoke, St, la cual tiene dimensiones de  $\text{cm}^2/\text{s}$ ; en la industria

del petróleo la viscosidad cinemática es usualmente expresada en centistokes, cSt. (1 St = 100 cSt).

En el sistema Inglés la viscosidad Cinemática se expresa en  $\text{pies}^2/\text{s}$ ; donde,  $1 \text{ St} = 1 \text{ cm}^2/\text{s} = 1.0764 \text{ E-}3 \text{ pies}^2/\text{s}$

**Viscosidad Dinámica.** Es la fuerza tangencial sobre una unidad de área de dos planos paralelos, distantes una unidad, cuando el espacio entre los dos planos se llena con un fluido y uno de los dos planos se mueve a una velocidad unitaria en su propio plano respecto al otro.

La viscosidad dinámica, también llamada viscosidad absoluta, es numéricamente el producto de la viscosidad cinemática y la densidad del líquido, ambos a la misma temperatura.

En el sistema cgs, la unidad de la viscosidad dinámica es el poise, P, la cual tiene las dimensiones  $\text{g}/\text{cm}\cdot\text{s}$ . Como el poise es una unidad muy grande, se acostumbra expresar la viscosidad dinámica en centipoises, cp.

En el sistema Inglés la viscosidad dinámica se expresa en  $\text{lb-masa}/\text{pies}\cdot\text{s}$ ; donde,  $1 \text{ Poise} = 0.0672 \text{ lb-masa}/\text{pies}\cdot\text{s}$ .

**Viscosidad Saybolt.** Existen dos tipos: Viscosidad Saybolt Universal y Viscosidad Saybolt Furol.

**Viscosidad Saybolt Universal.** Es el tiempo de flujo en segundos de 60 ml de muestra que fluyen a través de un orificio universal calibrado bajo condiciones específicas.

**Viscosidad Saybolt Furol.** Es el tiempo de flujo de 60 ml. de muestra que fluyen a través de un orificio Furol calibrado bajo condiciones específicas. La viscosidad Furol es aproximadamente una décima parte de la viscosidad Universal y es recomendada para aquellos productos de petróleo que tienen viscosidades mayores a 1000 SSU, tales como aceites combustibles y otros materiales residuales.

### **Factores que afectan la viscosidad de hidrocarburos líquidos.**

La viscosidad, así como otras propiedades físicas de los líquidos es afectada tanto por la presión como por la temperatura. Un incremento en la temperatura causa una disminución en la viscosidad (hasta un límite específico, a partir del cual se presenta el comportamiento opuesto en la muestra de líquido). En general, una disminución en la presión causa una disminución en la viscosidad, teniendo en cuenta que el único efecto de la presión es comprimir el líquido.

Un tercer parámetro que afecta la viscosidad es la cantidad de gas en solución en el líquido, parámetro asociado a las variaciones de presión y temperatura. De hecho, la

cantidad de gas en solución es función directa de la presión. Una disminución de la cantidad de gas en solución causa un incremento en la viscosidad.

Si no hay cambio en la cantidad de gas en solución cuando la presión sobre un aceite de yacimiento se varia, el principal efecto en la variación de la viscosidad es debido a la compresión del líquido. Esto se presenta cuando el aceite se encuentra por encima de la presión de burbuja, por lo tanto, un aumento en la presión causaría un aumento en la viscosidad.

A nivel de yacimiento, si este está inicialmente subsaturado, a medida que la presión disminuya la viscosidad del aceite disminuirá debido a su expansión, esto continuará hasta que la presión de saturación es alcanzada, punto en el cual se presentará el valor mínimo de viscosidad. Al seguir disminuyendo la presión, la liberación de gas de la solución incrementará la densidad y consecuentemente la viscosidad del aceite. Este cambio continuará a medida que el gas es liberado de la solución dando una viscosidad máxima a la presión atmosférica.

La variación de la viscosidad de un líquido con un cambio en su estructura molecular no se ha definido en forma exacta. Es conocido, sin embargo, que la viscosidad de líquidos que son miembros de una serie homologa de compuestos variará en una manera regular. Por ejemplo, los hidrocarburos parafínicos muestran un incremento regular en la viscosidad cuando la complejidad de las moléculas de hidrocarburos se incrementa. La viscosidad de los miembros de esta serie puede ser correlacionada con el peso molecular o densidad del líquido.

## A) VISCOSIDAD SAYBOLT (NORMA ASTM D 88)

### 3. Importancia y uso.

La viscosidad Saybolt es una medida exclusiva de la industria petrolera. Su utilización ha sido restringida a los aceites lubricantes y a los crudos. Las viscosidades Saybolt Universal y Furol pueden convertirse a viscosidad cinemática mediante el uso de las ecuaciones que se presentan en la siguiente tabla.

### CONVERSIÓN DE VISCOSIDADES SAYBOLT A VISCOSIDADES CINEMÁTICAS

VISC. SAYBOLT	Intervalo t (seg.)	VISC. CINEMÁTICA ( St )
<b>SSU</b>	32 < t < 100	0.00226 t - 1.95 / t
	t > 100	0.00220 t - 1.35 / t
<b>SSF</b>	25 < t < 40	0.00224 t - 1.84 / t
	t > 40	0.0216 t - 0.60 / t

#### 4. Resumen del Método.

El método consiste en medir el tiempo de flujo para el paso de 60 ml. de muestra fluyendo a través de un cilindro con un orificio calibrado en la parte inferior, bajo condiciones controladas de temperatura. El tiempo se multiplica por el factor de corrección del orificio y se toma como la viscosidad saybolt de la muestra a esa temperatura. La prueba se hace para temperaturas específicas entre 70 y 210 °F.

#### 5. Consideraciones.

Los orificios deben usarse teniendo en cuenta los parámetros de prueba que se presentan en la siguiente tabla.

#### PARÁMETROS DE PRUEBA PARA LOS ORIFICIOS SAYBOLT UNIVERSAL Y FUROL

ORIFICIO	TEMP. PRUEBA (°F)	LIMITES TIEMPO DE FLUJO (s)
UNIVERSAL	70, 100, 130 y 210	$32 < t < 1000$
FUROL	77, 100, 122 y 210	$t > 25$

Las determinaciones de viscosidad no deben hacerse a temperaturas por debajo del punto de rocío de la atmósfera circundante; ya que el precipitado de agua afectaría la exactitud en las mediciones.

#### 6. Equipos, elementos y reactivos.

- Viscosímetro Saybolt: equipado principalmente con un baño de temperatura constante.
- Tubo de succión.
- Embudo con filtro (100 mesh).
- Frascos receptores: calibradas para contener 60 ml.
- Cronómetro: graduado por lo menos en décimas de seg.
- Termómetros ASTM 17F y 22F
- Vaso de precipitado de 100 ml.
- Calentador eléctrico.



**Viscosímetro Saybolt**



**Frascos receptores**

## **7. Preparación.**

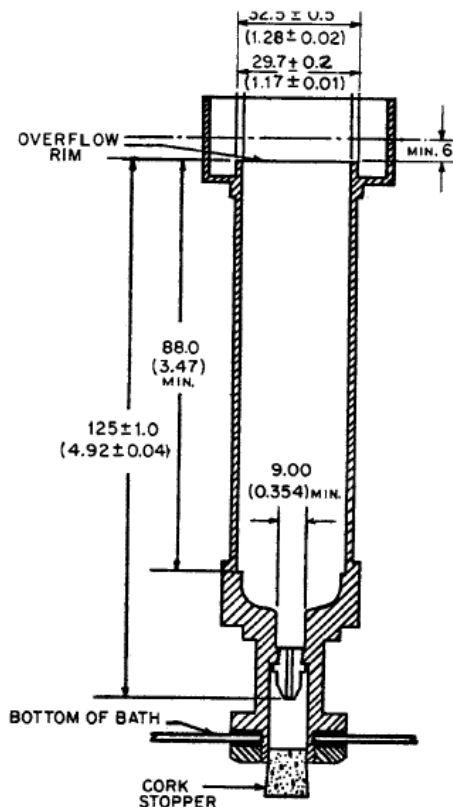
- El baño debe llenarse con aceite térmico al menos  $\frac{1}{4}$ " por encima del anillo de desbordamiento del viscosímetro.
- Establezca el baño del viscosímetro a la temperatura de prueba.
- Suministre agitación adecuada y control térmico al baño de tal forma que la temperatura no fluctúe más de  $\pm 0.05$  °F.
- Coloque la muestra en el vaso de 100 ml. y precaliéntela sin exceder más de 3°F a la temperatura de prueba (Por experiencia, para temperaturas superiores a 150 °F, precaliente de 5 a 6 °F por encima de la temperatura de prueba). Agite continuamente homogenizando la temperatura del líquido de prueba. Tenga cuidado de no calentar a temperatura que esté dentro de los 50 °F por debajo del punto de relampagueo de la muestra porque la volatilidad perdida puede alterar la composición.
- Inserte el tapón en la cámara de aire localizada en el fondo del viscosímetro ajustándolo correctamente para evitar escapes, que pueden verificarse al retirar el tapón y observar que tiene aceite; esto causa errores.

## **8. Procedimiento.**

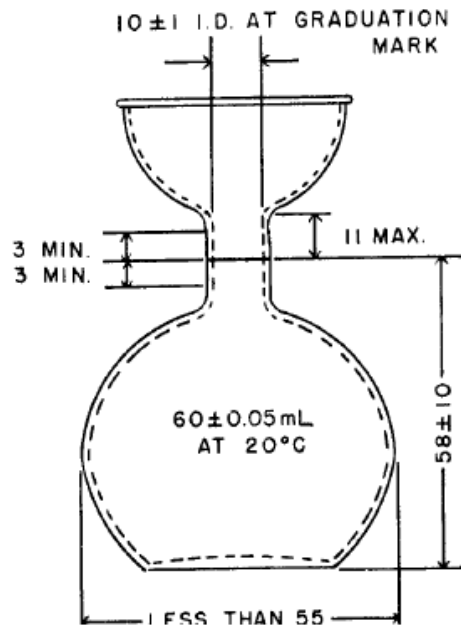
- Utilice el embudo con una malla de 100 mesh para filtrar la muestra preparada agregándola directamente del recipiente al viscosímetro hasta un nivel superior al anillo de desbordamiento.
- Agite la muestra hasta que su temperatura permanezca constante dentro de los 0.05 °F de la temperatura de prueba durante un 1 min. de continua agitación. Use un

movimiento circular de 30 a 50 rpm para agitar. No intente ajustar la temperatura introduciendo cuerpos calientes o fríos dentro de la muestra porque puede afectar la composición de la misma.

- Retire el termómetro y con el tubo de succión remueva el aceite que se encuentra por encima del anillo de desbordamiento, entre el anular externo y la pared del viscosímetro.
- Coloque la copa receptora graduada de 60 ml. justo debajo del orificio a utilizar. La marca de graduación de la copa debe estar 10 a 13 cm. del fondo del viscosímetro.



**Viscosímetro Saybolt**  
Dimensiones en milímetros



**Frasco receptor de 60 ml.**  
Dimensiones en milímetros

- Retire el tapón del orificio y accione simultáneamente el cronómetro.
- Deje transcurrir el tiempo necesario para que el menisco llegue a la marca de graduación de la copa receptora y registre lo

## 9. Cálculos.

- Tome en cuenta los factores de corrección para los diferentes orificios utilizados.
- Multiplique el tiempo de flujo  $t$ , por el factor de calibración del orificio respectivo  $F$  (consultar en el manual de calibración), y reporte el tiempo corregido como Segundos

Saybolt Universal (SSU) ó Segundos Saybolt Furol (SSF) según el orificio que se haya utilizado.

Para valores inferiores a 200 seg., reporte con aproximación de 0.1 seg. Para valores mayores aproxime al segundo más cercano.

## **B) VISCOSIDAD CINEMÁTICA (NORMA ASTM D445)**

### **3. Importancia y uso.**

La determinación de la medida de viscosidad es esencial en la especificación de muchos fluidos utilizados en lubricación, no solamente derivados del petróleo. También es un dato importante por ejemplo, en el cálculo de flujo de aceites a través de tuberías, orificios y boquillas de inyección, entre otras aplicaciones.

### **4. Resumen del Método.**

Este método está basado en el principio de flujo por gravedad y consiste en medir el tiempo de flujo de un volumen fijo de líquido a través de instrumentos capilares de vidrio bajo condiciones de temperatura preestablecidas. La viscosidad cinemática se calcula conociendo el tiempo de flujo medido y la constante de calibración del capilar seleccionado. La viscosidad dinámica se obtiene del producto de la viscosidad cinemática con la densidad de la muestra a la temperatura de la prueba.

### **5. Consideraciones.**

La serie Cannon- Fenske de viscosímetros capilares exige un tiempo de flujo mínimo de 200 seg. (Excepto el capilar No. 50 que es de 250 seg) para un capilar dado, por debajo de este valor no se deben tomar datos y se debe proceder a probar otro capilar. En ningún caso la utilización de este tipo de viscosímetros capilares (Canon - Fenske Routine) es apropiada para bitúmenes (ASTM 2170) y asfaltos (ASTM 2171).

### **6. Equipos, elementos y reactivos.**

- Termómetros de vidrio, estandarizados, con una precisión de 0.02°C (0.04°F).
- Viscosímetros: tipo capilar calibrados.
- Baño térmico: provisto de un aceite térmico transparente con suficiente profundidad de manera que el viscosímetro al montarse, quede por lo menos 20 mm. por debajo de la superficie del líquido y lo mismo por encima del fondo del baño. El controlador de temperatura debe ser tal que para el rango de 15 a 100°C ( 60 a 212°F ) la temperatura media del baño no varíe más de 0.01°C ( 0.02°F ). Para temperaturas fuera de este rango al variación no debe exceder los 0.03°C ( 0.05°F ).
- Soporte que le permita al viscosímetro permanecer suspendido en posición vertical dentro del baño.



- Cronómetro: debe disponerse de un medidor de tiempo cuyas lecturas puedan ser tomadas con una discriminación de 0.02 seg. o más y que tenga una precisión de +- 0.07% cuando se pruebe a intervalos mayores de 15 min.
- Solvente: que sea completamente miscible con la muestra.
- Solución de ácido crómico para limpieza de los capilares.

## **7. Preparación.**

- Identificar la muestra (nombre ó número de referencia).
- Haga un estimativo de la viscosidad de la muestra.
- Seleccione un capilar calibrado y seco con el rango apropiado para la viscosidad cinemática estimada. Tenga presente el valor de la constante del capilar seleccionado.
- Coloque el baño térmico a la temperatura deseada.
- Pase la muestra a través de un filtro No. 200, para evitar el taponamiento del capilar.
- Determine la densidad del aceite (gr/cc) a las condiciones de temperatura de la prueba.

## **8. Procedimiento.**

Los detalles específicos de la operación varían dependiendo del tipo de viscosímetro y de que tan opaco sea el fluido. Los procedimientos que se siguen para cada caso se describen a continuación:

### **8.1. Procedimiento para líquidos transparentes.**

- Cargue el viscosímetro con el líquido (generalmente 10 ml) de acuerdo con el diseño del instrumento. Filtre la muestra antes de cargarla, a través de una malla No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ).
- Permita que el viscosímetro cargado con la muestra permanezca en el baño térmico el tiempo suficiente para que alcance la temperatura de prueba (mínimo 15min.). Con ciertos productos que exhiben comportamiento de gel se debe tener especial precaución; las medidas se deben realizar a temperaturas lo suficientemente altas para que tales materiales fluyan libremente. Si el diseño del viscosímetro lo requiere ajuste el volumen de muestra a la marca.
- Use succión (si la muestra contiene componentes no volátiles) o presión para ajustar el nivel de tope de la muestra 5mm. arriba de la primera marca.
- Con la muestra fluyendo libremente, mida en segundos el tiempo requerido por el menisco para pasar de la primera a la segunda marca del capilar. Si el tiempo de flujo es menor que el especificado para el capilar, seleccione un viscosímetro con un capilar de diámetro más pequeño y repita la operación.

## 8.2. Procedimiento para líquidos opacos.

Por lo general los viscosímetros usados para líquidos opacos son de tipo flujo reversible y aparecen reseñados en la norma ASTM D2515. La viscosidad de aceites refinados, aceites negros lubricantes, aceites combustibles residuales y productos de mezclas similares pueden afectarse por la historia térmica previa; para minimizar esto el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Caliente el recipiente original, en un horno a  $60 \pm 2$  °C por una hora.
- Revuelva completamente con una barra no metálica de suficiente longitud para alcanzar el fondo del recipiente. Continúe revolviendo hasta que no haya sedimentos o grumos adheridos a la barra. Si es necesario aumente la temperatura de calentamiento para lograr uniformidad en la mezcla.
- Separe mezcla suficiente para dos viscosímetros en un frasco de 100 ml. Y tape holgadamente.
- Sumerja el frasco en un baño de agua hirviendo por 30 min., saque el frasco y agite por 1 min.
- Cargue los dos viscosímetros de acuerdo con el diseño del instrumento. Filtre la muestra en una malla No. 200 (75  $\mu\text{m}$ ) y si es necesario utilice un filtro precalentado (para evitar coagulación).
- Coloque los viscosímetros en el baño térmico, espere a que la muestra alcance la temperatura de prueba y siga todo el procedimiento como el anterior.
- Calcule la viscosidad cinemática en cSt ( $\text{mm}^2/\text{seg.}$ ) de las dos determinaciones. Para aceites lubricantes las dos determinaciones no deben diferir más de 1.7% de  $v$  a 50°C y de 1.1 % de  $v$  a 80°C y 100°C. Si las dos determinaciones exceden estos límites debe repetirse la operación.

## 9. Cálculos.

- Calcule la viscosidad cinemática  $v$ , del tiempo de flujo medido  $t$  y la constante del instrumento  $C$ , por reemplazo en la ecuación :

$$v = C \cdot t$$

Donde:

$v$  : Viscosidad cinemática, cSt ( $\text{mm}^2/\text{s}$ )

$C$ : constante de calibración del viscosímetro, cSt/s.

$t$  : tiempo de flujo, seg.

- Calcule la viscosidad dinámica  $\mu$ , de la viscosidad cinemática calculada  $v$  y la densidad  $\rho$ , reemplazando en la ecuación :

$$\mu = \rho \cdot \nu$$

Donde:

$\mu$  = viscosidad dinámica, cP (mPa \* seg).

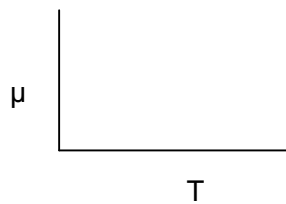
$\rho$  = densidad, g/ml. (a la misma temperatura usada para medir la viscosidad cinemática).

$\nu$  = viscosidad cinemática, cSt.

### 10. Reporte los datos.

MUESTRA	TEMP. (°F)	C	DENS. (g/ml)	t (seg)	VISC. CINEMÁTICA (cSt)	VISC. DINAMICA (cP)
	t <sub>1</sub>					
	t <sub>2</sub>					
	t <sub>3</sub>					

Realice una grafica de la viscosidad dinámica vs. temperatura para observar como varía dicha viscosidad para cada hidrocarburo de prueba.



### 11. Precisión.

La precisión se obtuvo por evaluación de resultados de pruebas de varios laboratorios para aceites transparentes y limpios probados en el rango de 59 a 212 °F. usando el procedimiento antes descrito.

TIPO	DIFERENCIA
Repetibilidad	0.35 %
Reproducibilidad	0.70 %