



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

T E S I S

DISEÑO DE UNA PRACTICA SOBRE EL USO DEL
VISCOSIMETRO SAYBOLT FUROL

LUIS MENDOZA GONZALEZ

INGENIERO QUIMICO

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DISEÑO DE UNA PRACTICA SOBRE EL USO DEL VISCOSIMETRO
" SAYBOLT FUROL "

INDICE GENERAL

	Página
1.0.0.- Introducción.	8
2.0.0.- Objetivos de la Tesis.	10
3.0.0.- Viscosimetría.	11
3.1.0.- Generalidades sobre aceites lubricantes.	15
3.2.0.- Generalidades sobre determinación de viscosidad en el viscosímetro Saybolt Furol. Tipos de viscosidad y unidades.	19
3.2.1.- Importancia de la viscosidad en la selección de aceites lubricantes.	25
3.3.0.- Índice de viscosidad.	27
3.3.1.- Significado del índice de viscosidad.	27
3.3.2.- Cálculo del índice de viscosidad.	30
3.3.3.- Importancia del índice de viscosidad.	31
4.0.0.- Generalidades sobre viscosímetros.	33
4.1.0.- Descripción del viscosímetro Saybolt Furol.	44
4.2.0.- Descripción del equipo utilizado en la experimentación.	46
5.0.0.- Experimentación.	51
5.1.0.- Procedimiento.	53
5.2.0.- Temperaturas de experimentación.	57
5.3.0.- Cronometraje.	58
5.4.0.- Reporte de resultados.	58
5.4.1.- Conversión de viscosidades.	64
6.0.0.- Determinación de viscosidad utilizando el viscosímetro Saybolt Furol.	81
6.1.0.- Objetivos.	81
6.2.0.- Generalidades.	82
6.3.0.- Equipo utilizado en la práctica.	90
6.4.0.- Técnica de operación.	92

	Página
6.5.0.- Trabajo posterior a la realización de la práctica.	95
6.6.0.- Cuestionario.	96
6.7.0.- Datos obtenidos con el viscosímetro Saybolt Furol.	97
7.0.0.- Conclusiones.	98
8.0.0.- Bibliografía	99

1.0.0.- INTRODUCCION.

Algunas organizaciones petroleras, tienen una larga historia, en el desarrollo de pruebas, para mejorar la calidad de sus productos.

En el año de 1892 fue establecido el primer laboratorio, en la refinería de Bayonne, por el Sr. George Saybolt a cuyo nombre se deben los términos de: Viscosímetro Saybolt, Color Saybolt y Segundos Saybolt.

En los últimos años del siglo pasado, el laboratorio fue dirigido por los Sres. Ernest Dean y Garland Davis, que desarrollaron la gráfica de " Índice de Viscosidad " (I.V.).

Dean y Davis, fueron quienes le dieron un valor numérico a los intervalos en los cuales el valor de la viscosidad no se altera con los cambios de temperatura. En la actualidad este valor es una norma en la industria.

Muchos otros métodos de prueba, normalizados ahora como procedimientos A.S.T.M. (American Society Testing Materials) fueron desarrollados primero en este laboratorio. Aunque estos intentos de estandarización en el campo del control de calidad fueron los primeros que se hicieron, ayudaron para que todas las refinerías adoptaran los procedimientos de inspección y control de calidad de este laboratorio en sus productos.

Son varios los instrumentos diseñados para medir la viscosidad. Entre los más usados en Europa se tienen a los viscosímetros Engler y Redwood, pero en los Estados Unidos de Norteamérica es muy común la utilización de los viscosímetros Cinemáticos, Saybolt Furol y Saybolt Universal.

Actualmente, la práctica de viscosidad, en el laboratorio de Transferencia de Momentun y Calor de la Facultad de Química, se lleva a cabo con tres viscosímetros que son los siguientes:

- a) Viscosímetro Hoesppler.
- b) Viscosímetro Brookfield.
- c) Viscosímetro Ostwald.

El Viscosímetro Hoesppler, opera bajo el principio de esfera descendente y es empleado para determinar la viscosidad dinámica de sustancias Newtonianas, aunque en algunos casos se puede medir la viscosidad de sustancias no Newtonianas, pero a estas últimas se les determina más exactamente la viscosidad con otro tipo de aparatos.

El Viscosímetro Brockfield, se utiliza para medir viscosidades por medio de un huso o cilindro rotatorio que gira dentro del fluido. El viscosímetro mide la resistencia que se opone a este movimiento, por medio de un resorte o muelle que acciona un indicador colocado sobre la carátula.

El Viscosímetro Ostwald, es utilizado para fluidos Newtonianos, y sus principales características son: bajo costo, sencillez y facilidad de manejo. Aquí un líquido pasa a través de un tubo capilar, y el flujo se puede predecir por medio de la ecuación de Poiseuille, y es uno de los métodos más comunes para medir viscosidades.

El objetivo principal que lleva a realizar este trabajo, se basa en la importancia que tiene la viscosidad en los aceites lubricantes, y que al contar con un aparato como el viscosímetro " Saybolt Furol " en el laboratorio de Ingeniería Química podremos obtener datos más precisos en el cálculo de la viscosidad.

2.0.0.- OBJETIVOS DE LA TESIS.

a) Diseñar una práctica para el laboratorio de transferencia de momentum y calor, utilizando el Viscosímetro Saybolt Furol.

b) Comparar el comportamiento del Viscosímetro Saybolt Furol con los demás Viscosímetros con que cuenta el laboratorio de Ingeniería Química y cuyas prácticas ya se realizan.

c) Experimentar con diferentes aceites, para encontrar los que mejor se adapten, al laboratorio de Ingeniería Química.

d) Determinar la viscosidad de diferentes lubricantes y productos del petróleo, señalando los más adecuados para los fines de la práctica.

e) Observar como afecta la variable temperatura, a la viscosidad de estos líquidos.

f) Obtener el criterio para seleccionar el aceite más adecuado para un motor de combustión interna.

g) Elaborar el instructivo respectivo, que servirá de información a los estudiantes de la Facultad de Química de la U.N.A.M. y de otras Universidades.

3.0.0.- VISCOSIMETRIA

Para cualquier máquina o unidad motriz, bajo un conjunto determinado de condiciones, un aceite de viscosidad adecuada debe de considerarse como el punto más importante para obtener resultados satisfactorios. De ahí que sea esencial comprender qué es la viscosidad, cómo se mide y porqué influye en tan diversos factores de rendimiento.

La viscosidad determina la fricción fluida o sea la resistencia interna al desplazamiento que ofrece un líquido, y en el caso del aceite determina, además, su capacidad para soportar la carga.

La viscosidad influye mucho en el grado de fuerza motriz que es absorbida por la fricción fluida y en la intensidad del calor que se genera en los cojinetes por dicha fricción. También regula el efecto de cierre de la película de aceite entre las paredes del cilindro y los aros del pistón, e influye en el consumo de aceite.

La viscosidad es la medida de la resistencia a la movilidad o a fluir que ofrece cualquier líquido o gas.

Gases como el aire ofrecen considerable resistencia a la movilidad, especialmente a grandes velocidades. Esta resistencia es la que provee de sustentación a los aeroplanos, hace que una piedra aplanada salte cuando choca con el agua, y es la misma que soporta un eje en movimiento dentro del cojinete. Finalmente, esta resistencia es la que dificulta el arranque de un motor en tiempo frío.

La resistencia a la movilidad varía no sólo por el carácter del líquido sino también debido a la velocidad de movimiento y al área de la superficie movida.

Por lo tanto, debemos medir esta resistencia en términos de kilogramos de empuje sobre una película de superficie y grosor definidos movida a una velocidad también definida.

Tomemos una superficie metálica grande, pulida y plana que descansa sobre otra plancha de mayor tamaño y entre las cuales exista una película de aceite. Al empujar la superficie de arriba sobre la de abajo a determinada velocidad, excluyendo la resistencia del aire y otros factores de menor importancia, la fuerza en kilogramos requerida para efectuar el movimiento representa la resistencia al movimiento de la película de aceite.

Dividiendo esa fuerza en kilogramos entre los centímetros cuadrados del área de la película movida, tendremos la resistencia por centímetro cuadrado para cierto grado de velocidad y espesor de la película de aceite, y reduciendo estos dos últimos valores a términos de unidad, - un centímetro por segundo de velocidad y un centímetro de espesor - tendremos una medida cabal de la viscosidad o resistencia del aceite.

Como no resulta práctico medir la viscosidad por el método arriba descrito, ésta se determina midiendo el grado en el que un líquido fluye bajo una presión determinada o bajo la fuerza de la gravedad que, para todos los efectos prácticos, es una fuerza constante.

La lógica de este método se basa en que el grado de fluidez será proporcionalmente inverso a la resistencia que oponga el líquido a moverse, por eso es que comúnmente se piensa o se habla de la viscosidad en términos de tiempo.

Sin embargo, solamente después de comprender a la viscosidad como fuerza de resistencia se podrá apreciar la acción que ejerce al dificultar el arranque del motor en tiempo frío o al sustentar un eje móvil con su carga.

Con todos los métodos de medición de la viscosidad es posible, por medio de la apreciación del grado en que fluye un aceite, calcular la resistencia que dicho aceite opondrá al movimiento con la única limitación de exactitud resultante de la mayor o menor perfección del propio método de ensayo.

Como podemos deducir, la viscosidad, es probablemente la propiedad física más importante de un aceite del petróleo

El mecanismo para establecer una adecuada película de lubricante, depende en gran parte de la viscosidad.

Cualesquiera de las pruebas estándar, puede ser utilizada, para evaluar numéricamente la viscosidad de un aceite.

Aunque estas pruebas difieren unas de otras en menor o mayor grado, utilizan básicamente el mismo principio. Todas ellas miden el tiempo requerido por una cantidad específica de aceite, a una temperatura dada, para fluir por acción de la gravedad a través de un orificio o estrangulamiento de dimensiones definidas. Entre más espeso sea el aceite, mayor será el tiempo requerido para que pase por dicho orificio.

Es importante tener un control estricto sobre la temperatura. La viscosidad de cualquier aceite del petróleo aumenta cuando el aceite es enfriado, y disminuye cuando el aceite es calentado. Por esta misma razón, el valor de la viscosidad de un aceite, siempre debe ir acompañado por el de la temperatura a la cual fue determinado.

El valor de la viscosidad por sí sólo, no significa nada.

Los métodos más comunes para probar la viscosidad de un aceite lubricante del petróleo, son el Saybolt y el Cinemático; de estos dos, el que más se encuentra asociado a los aceites es el Saybolt (A.S.T.M. D-88).

Sin embargo el método cinemático (A.S.T.M. D-445) se considera más preciso, aunque no sea este el más utilizado.

También existen los métodos Redwood y Engler, utilizados ampliamente en Europa, pero muy poco trabajados en los Estados Unidos de Norteamérica. Por lo tanto cada una de las pruebas, generalmente requiere de su propio viscosímetro.

3.1.0.- GENERALIDADES SOBRE ACEITES LUBRICANTES

Los aceites lubricantes deben ser líquidos, completamente limpios y translúcidos, de consistencia variable según los usos, de olor débil y peso específico comprendido entre 0.85 g./cm^3 y 0.95 g./cm^3 a una temperatura de 15°C . Con la gasolina, bencina, o con los aceites vegetales, deben mezclarse en todas proporciones.

Su color debe ser verde por reflexión y pardo por refracción, y no formar sedimento en el reposo. Solo deben congelarse por debajo de los -10°C . Y no deben desprender vapores inflamables antes de 150°C . su punto de ebullición debe ser superior a 250°C . dejando por destilación sólo una pequeña cantidad de residuo asfáltico.

Un carácter de gran importancia, en los lubricantes es la viscosidad, que se determina con varios viscosímetros y dentro de estos, el que nos ocupa esta tesis o sea el " Saybolt Furol " cuya descripción y modo de operación se hará, en el capítulo 3 de este trabajo.

Los aceites lubricantes deben experimentar diversos refinados químicos y físicos, antes de ser entregados al comercio. Su objeto es mejorar las características tanto desde el punto de vista de su utilización, como el de su estabilidad y conservación.

El refinado químico de los aceites, se efectúa tratándolos con ácido sulfúrico y sosa cáustica, para ello, empleando temperaturas de 60°C y 65°C . y lavándolos luego con agua caliente. Algunas veces se agrega un poco de cloruro de calcio, para facilitar la desodorización.

El refino químico de los aceites pesados, así como de los aceites ligeros, tienden hoy en día a complementarse y hasta sustituirse por el refino físico, que consiste en hacer pasar los productos a través de tierras de blanqueo o de batán activadas. La mezcla de aceite con estas tierras se somete a filtración posteriormente, en aparatos de producción de gran rendimiento. El material recuperado se regenera después por calcinación oxidante a temperatura baja y tratamiento ulterior con ácido clorhídrico.

Actualmente se practica también el refino químico de todos los productos del petróleo, por medio de Anhídrido Sulfuroso líquido; este procedimiento se funda en que dicha sustancia, disuelve los hidrocarburos cíclicos y los no saturados en cualesquiera proporciones, mientras que los hidrocarburos saturados y los nafténicos son casi insolubles a temperaturas inferiores a -10°C .

Mezclando pues, el aceite objeto de refino con anhídrido sulfuroso líquido en cantidad suficiente, se forman dos capas líquidas, de las cuales la inferior contiene el disolvente con las partes disueltas. La parte superior sometida a destilación fraccionada, proporciona el aceite refinado, y destilando la inferior, se obtienen diversos productos cuya aplicación es según el punto de ebullición.

Las porciones más ligeras, sirven como antidetonantes para adicionar a la bencina; las de punto de ebullición intermedio sustituyen a la esencia de trementina, encontrándose en el comercio con el nombre de White-spirit, y las porciones de punto de ebullición más elevado se emplean para motores diesel o se someten a descomposición pirogenada para obtener diversos derivados del benceno.

El residuo de las calderas, que generalmente es un poco pastoso, se emplea con el nombre de Fuel Oil, que se utiliza para motores diesel, y también para preparar barnices negros para el hierro o como aglutinante en la fabricación de aglomerado de carbón (briquetas)

El Betún llamado también breca mineral es probablemente un residuo de la polimerización del petróleo. Se encuentra en grandes cantidades en la isla de Trinidad, Cuba, Venezuela, Utah, California, Canada, Hannover y en algunas regiones Italianas. También abunda en las regiones de Siria, y en la superficie del Mar Muerto en Palestina.

El Betún forma masas negruzcas y frágiles que en caliente se reblandecen, fundiendo entre 100°C y 135°C. Según las procedencias; su peso específico es de 1.10 y 1.20 g./cm³. Arde con llama Fuliginosa y es insoluble en agua, álcalis y ácidos, poco soluble en alcohol y éter y muy soluble en sulfuro de carbono, benceno y esencia de trementina, teniendo la particularidad, que el asfalto disuelto en esta última sustancia, deja de ser soluble en ella cuando ha sufrido la acción de la luz, propiedad que se aprovecha en la fotolitografía.

La extracción del Betún se efectúa en la mismas localidades antes mencionadas, de donde se recoge, fundiéndolo a una temperatura de 170°C. en calderas abiertas, con objeto de separarlo de las impurezas que lo acompañan, que son generalmente sustancias minerales. Así se obtiene un producto bastante puro, compuesto principalmente por hidrocarburos, y también azufre, además algunos compuestos nitrogenados

El Betún se compone de dos partes principales: una de ellas soluble en éter de petróleo, llamado Petroleno, y otra insoluble llamada Asfaleno.

El Betún obtenido en las condiciones mencionadas se reblandece por el calor o sea alrededor de 85°C o 90°C y su peso específico oscila entre 1.40 y 1.43 g./cm³. Se emplea para obtener barnices negros y material aislante; también tiene aplicaciones para proteger el interior de los recipientes para cloro y para revestir construcciones de madera, haciéndolas impermeables.

Una aplicación palpable del Betún, es en el asfalto formado por un conjunto de rocas y piedras arenizas o calcáreas, de las cuales en un determinado momento puede extraerse el Betún refinado, calentando con agua.

También se puede preparar mastique de asfalto para pavimentos, esto es mezclando abundante Betún con arena, dicha sustancia se puede distribuir uniformemente, por los pavimentos que se desean recubrir, comprimiendo con rodillos de fricción calientes.

3.2.0.- GENERALIDADES SOBRE LA DETERMINACION DE VISCOSIDAD
EN EL VISCOSIMETRO SAYBOLT FUROL.
TIPOS DE VISCOSIDAD, Y UNIDADES

Con objeto de tener una mejor visión de las generalidades, acerca de la determinación de la viscosidad, en el viscosímetro Saybolt Furol; he clasificado en incisos algunas consideraciones fundamentales, para obtener resultados óptimos.

a) Las determinaciones de viscosidad se deben hacer en un lugar libre de corrientes de aire, y de cambios bruscos de temperatura, sobre todo cuando se trata de pruebas de calibración, el sitio de prueba debe estar entre 20°C y 30°C y la temperatura existente, siempre deberá registrarse.

Para pruebas de rutina se pueden emplear temperaturas hasta de 38°C sin que se produzca un error mayor del 1%, ya que lo ideal, es que las determinaciones se realicen a temperaturas más elevadas sobre todo cuando se trata de aceites para motores de automoviles. Las mediciones de viscosidad no se deben hacer a temperaturas inferiores al punto de rocío de la atmósfera que rodea al instrumento.

b) El tubo para el aceite deberá limpiarse, primeramente con un solvente efectivo, por ejemplo benzol, y el exceso de solvente se debe quitar de la galería.

c) Todo el aceite deberá filtrarse en un cedazo de alambre de 100 mallas antes de ser puesto en el tubo del aceite. Después de que se ha limpiado el tubo, se debe agregar la cantidad suficiente del aceite que se va a probar, de tal manera que humedezca toda la superficie del tubo y después se deja escurrir.

d) El corcho no debe introducirse ni menos de 6 mm. ni más de 10 mm. dentro del extremo inferior de la cámara de aire o sea la base del tubo para el aceite. El corcho debe ajustarse firmemente para evitar que escape el aire, lo cual se nota por la ausencia de aceite en el corcho después de que éste ha sido quitado.

e) Si la temperatura de prueba es superior a la del lugar de experimentación, el aceite no podrá calentarse a más de 3°F arriba de la temperatura de prueba, y si la temperatura es inferior a la del lugar, el aceite no debe enfriarse a menos de 3°F abajo de la temperatura de prueba. Sin embargo en ningún caso se debe precalentar el aceite a una temperatura superior a 50°F (10°C) abajo de la temperatura de inflamación. Por temperatura de inflamación se entiende aquella a la que se puede calentar un aceite y que al acercarse una flama se presente una combustión. El aceite debe ser vertido dentro del tubo hasta que deje de derramarse en la galería. El aceite dentro del tubo debe mantenerse bien agitado por medio del termómetro para el tubo, y se debe tener cuidado de no tocar el tubo de salida. La temperatura del baño se ajusta, hasta que la temperatura del aceite permanezca constante. Después de que se ha alcanzado el equilibrio térmico no se deben hacer más ajustes en la temperatura del baño.

Los resultados de las mediciones se deben descartar si las temperaturas del baño en relación con las del aceite difieren en más de 0.5°F, en las determinaciones efectuadas a 70°F, 77°F, 100°F, 122°F, y 130°F, y en no más de 1°F en las mediciones efectuadas a 140°F, 180°F, y 210°F.

f) Después de que la temperatura del aceite en el tubo ha permanecido constante durante un minuto de agitación, se saca el termómetro del tubo y el exceso de aceite se quita rápidamente de la galería utilizando para ello una pipeta.

La punta de la pipeta se apoya en un solo punto de la galería. la prueba se debe comenzar desde el principio, si la punta de la pipeta toca la ceja de derrame. De ningún modo se debe quitar el exceso de aceite, haciendo rotar la pipeta dentro de la galería.

g) La copa receptora se coloca en un lugar de modo que el chorro del aceite del tubo de salida, no toque el cuello del matraz (copa). La marca de la copa no debe estar ni a menos de 10 cm. ni a más de 13 cm. del fondo del baño. El corcho se quita dando un jalón, y al mismo tiempo se pone a funcionar un cronómetro, y cuando el menisco del aceite llegue a la marca en el cuello de la copa receptora, entonces se detiene el cronómetro.

TIPOS DE VISCOSIDAD.

Viscosidad Saybolt.- existe un número muy grande de instrumentos para medir la viscosidad, pero solo algunos son los más utilizados y estos son por ejemplo: el Viscosímetro Engler, el Viscosímetro Redwood, el Viscosímetro Saybolt Universal, el Viscosímetro Saybolt Furol, y los Viscosímetros Cinemáticos.

Las viscosidades Saybolt, son reportadas como el número de segundos recorridos e indicados por un cronómetro, del tiempo que tarda un aceite en atravesar un orificio. Para la viscosidad Saybolt Universal, las unidades son: Segundos Saybolt Universal (S.S.U.) y para la viscosidad Saybolt Furol, las unidades son: Segundos Saybolt Furol (S.S.F.)

Para un aceite dado, el valor Saybolt Universal será de más o menos diez veces más alto que el valor Saybolt Furol, a la misma temperatura.

Viscosidad Redwood.- Se trata de un aparato similar al Saybolt y también la viscosidad se mide en segundos. La principal diferencia es que el Viscosímetro Redwood tiene una copa receptora aforada a 50 ml. en lugar de 60 ml. como es el caso del Saybolt. En la determinación de viscosidades mediante este aparato, se pueden producir las mismas causas de error que en el caso de los Viscosímetros Saybolt.

Viscosidad Engler.- Este método se basa también en el tiempo que toma determinada cantidad de aceite para fluir a través de un conducto pequeño. La cantidad que debe fluir es de 200 ml. y el tiempo en segundos se convierte a grados Engler, dividiéndole por lo que tarda en fluir por el mismo aparato un volumen igual de agua a la temperatura de 20°C (este tiempo generalmente se calcula en 51 segundos).

Los resultados obtenidos en el aparato Engler se aproximan más a la viscosidad verdadera, es decir sus errores son menores que en los aparatos anteriores.

Viscosidad Absoluta.- la viscosidad absoluta representa la viscosidad real de un líquido y se obtiene por el tiempo que tarda en pasar un líquido a través de tubos capilares estrechos.

Mediante fórmulas de cálculo y tomando debida cuenta de la gravedad específica, esa medida de tiempo queda convertida en la unidad de expresión " Poise " que representa la fuerza en dinas necesaria para mover una superficie de 1 cm^2 sobre otra superficie de igual área, a una velocidad de 1 cm. por segundo, habiendo entre ambas una separación de una película de líquido de 1 cm. de espesor.

Viscosidad Cinemática.- Esta viscosidad puede considerarse como la viscosidad absoluta no corregida de acuerdo a su gravedad específica a la temperatura de prueba. Expresada matemáticamente, la relación es la siguiente:

$$\text{VISCOSIDAD ABSOLUTA} = \text{VISCOSIDAD CINEMATICA} \times \text{GRAVEDAD ESPECIFICA}$$

Los valores de la escala cinemática han sido denominados " Centistokes " en honor al físico inglés, G.C. Stokes.

UNIDADES

La ley de la viscosidad de Newton, es la que rige las dimensiones de la viscosidad.

$$\tau = \frac{\mu \cdot \gamma}{dv_x/dy}$$

Sustituyendo las dimensiones de F, L, t, para fuerza longitud y tiempo respectivamente tenemos:

$$\tau = F L^{-2}; \quad \gamma = L^{-1} t^{-1}; \quad y = L, \quad \text{entonces.}$$

$$\mu = \frac{F L^{-2}}{\frac{L^{-1} t^{-1}}{L}} = F L^{-1} t$$

Poniendo las dimensiones de la fuerza en función de la masa, usando la segunda ley de Newton del movimiento:

$$F = m \cdot a \quad \therefore F = M L t^{-2}$$

$$\mu = M L t^{-1} L^{-1} t = M L^{-1} t$$

$$\mu = M L^{-1} t$$

En el sistema MKS, la unidad de viscosidad, que no tiene nombre especial es:

$$\frac{\text{Kg}}{\text{m. seg.}} \quad \text{o} \quad \frac{\text{Nt. seg}}{\text{m}^2}$$

En el sistema cgs, la unidad de viscosidad se llama Poise y se representa de la siguiente forma:

$$\frac{\text{g.}}{\text{cm. seg}} \quad \text{o} \quad \frac{\text{dina. seg}}{\text{cm}^2}$$

En el sistema inglés resulta ser:

$$\mu = \frac{\text{lb}}{\text{ft. seg}}$$

Las dimensiones de la viscosidad Cinemática son:

$$\nu = L^{-2} T^{-1}$$

Que en el sistema MKS, corresponde a $\frac{\text{m}^2}{\text{seg}}$ que no tiene nombre especial.

por lo tanto en el sistema cgs será $\frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}$

Desde luego existen otros tipos de viscosidad, pero aquí solo están incluidas las que se utilizan como resultado de hacer la conversión de Segundos Saybolt Furol a viscosidad Absoluta y Cinemática.

3.2.1.- IMPORTANCIA DE LA VISCOSIDAD EN LA SELECCION DE ACEITES LUBRICANTES

La viscosidad es casi siempre la primera consideración en la selección de un aceite lubricante. Para una lubricación más efectiva, la viscosidad debe estar de acuerdo con la velocidad de carga y la temperatura de la parte lubricada.

Una máquina que trabaja a muy alta velocidad, presiones bajas y temperaturas bajas, debe utilizar un lubricante con grado bajo de viscosidad. Un aceite que es más pesado de lo necesario, introduce una fricción fluida y excesiva, además crea un arrastre innecesario.

Por el contrario un equipo que trabaja a bajas velocidades y altas cargas y temperaturas, deberá ser lubricado con un aceite de alto grado de viscosidad. Un aceite delgado no provee una película resistente necesaria para soportar la carga y para dar una protección adecuada a las superficies en contacto. Por estas razones la viscosidad y sus pruebas, juegan un papel muy importante en la determinación de las propiedades lubricantes del aceite.

Una vez que la viscosidad de un aceite lubricante ha sido determinada por su temperatura de destilación, se observa que la viscosidad y la volatilidad están relacionadas. De un modo general los aceites más livianos tienen una mayor volatilidad; por consiguiente bajo condiciones de temperaturas altas, la volatilidad de un aceite está indicada por su viscosidad, lo cual debe tenerse muy en cuenta.

Aunque la importancia de los resultados de las pruebas de viscosidad, ha sido considerada desde un punto de vista de los aceites nuevos, estas pruebas desempeñan un papel muy importante en la evaluación de la viscosidad de los aceites

usados, ya que desafortunadamente las máquinas no siempre utilizan aceite nuevo debido a su funcionamiento normal.

Aquellos aceites drenados del carter o de los sistemas de engranajes de una máquina, casi siempre son analizados para determinar su factibilidad de nuevo uso o para diagnosticar defectos en el rendimiento y funcionamiento de la máquina.

Un incremento en la viscosidad del aceite durante el servicio, puede indicar una oxidación del aceite. La oxidación de las moléculas incrementa su tamaño y por consiguiente el espesamiento del aceite. Cuando la oxidación ha avanzado hasta el punto de causar un aumento sensible en la viscosidad, es una señal de una apreciable deterioración del aceite.

3.3.0.- INDICE DE VISCOSIDAD

Los productos del petróleo, igual que otros líquidos, con los cambios de temperatura alteran su viscosidad: se espesan con el frío y se adelgazan con el calor. Hasta el agua justamente antes de congelarse es cuatro veces más viscosa que en el momento de entrar en ebullición.

Los aceites tienen la particularidad de que los cambios en su viscosidad debidos a la temperatura, abarcan una escala muy variada según los diferentes tipos. El Índice de Viscosidad es un número abstracto que mide el grado de variación de la viscosidad de un aceite en relación con la temperatura. Su determinación está basada en el cambio de viscosidad de dos tipos de aceite que posean esta característica ampliamente diferenciada.

3.3.1.- SIGNIFICADO DEL INDICE DE VISCOSIDAD

Uno de los aspectos que permitió el rápido desarrollo del índice de viscosidad, fue la observación inicial, que para los aceites de igual viscosidad a una temperatura dada, un aceite sin refinar se adelgazaba más a una temperatura alta que un aceite refinado. Sin embargo no existía un unico parámetro que pudiera explicar este tipo de relación con los cambios de temperatura.

El sistema del índice de viscosidad desarrollado fue basado en la comparación de las características de viscosidad de un aceite, con las de los aceites " Patrones "

A los aceites nafténicos (menos refinados) en una serie de grados con diferentes viscosidades a una temperatura dada, cuyas viscosidades cambien en un amplio intervalo

con los cambios de temperatura les fue asignado el número arbitrario de cero.

La serie de aceites parafínicos (refinados) cuyas viscosidades cambian menos con la temperatura, les fue asignado un índice de viscosidad (I.V.) de 100. con los datos tabulados de viscosidades de estas dos series de aceites, el I.V. de cualquier aceite puede expresarse como un porcentaje relacionado con la temperatura de 100°F (38°C) del aceite de prueba, entre el índice de viscosidad de cero y el índice de viscosidad de 100, todos los cuales tenían la misma viscosidad a 210°F (99°C) . Estas relaciones se ilustran en la figura 3a sobre la base de la fórmula #1

$$\text{I.V.} = \frac{L - u}{L - H} \times 100 \quad (1)$$

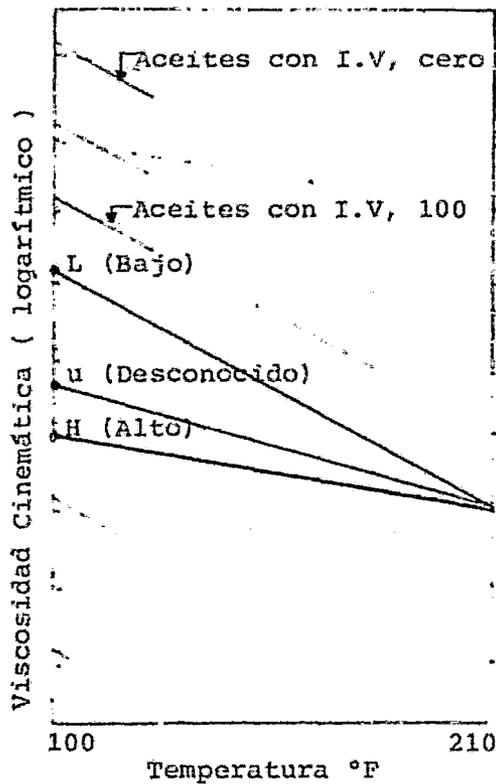
En donde:

L. es la viscosidad a 100°F del aceite de I.V. cero

H. es la viscosidad a 100°F del aceite de I.V. 100

u. es la viscosidad a 100°F del aceite desconocido o que se está analizando.

Gráfica 3 a

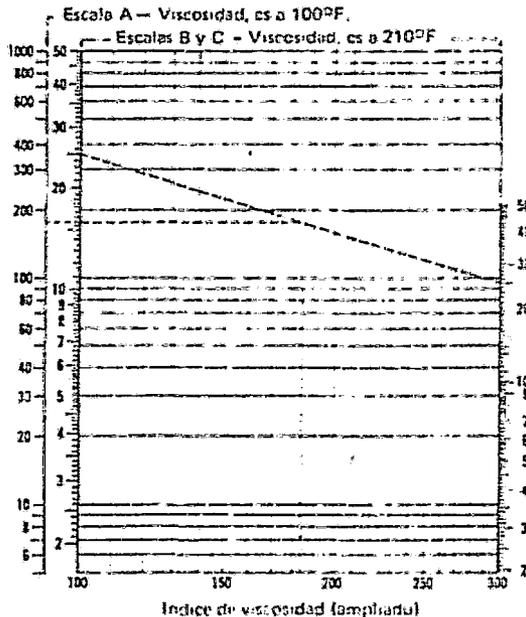


3.3.2.- CALCULO DEL INDICE DE-VISCOSIDAD

El índice de viscosidad de un aceite puede calcularse de las tablas o gráficas incluidas en los métodos A.S.T.M. D 2270 y D 567 que son idénticos, cualquiera de los dos puede ser utilizado. Para índice de viscosidad mayor de 100 debe usarse el método A.S.T.M. D 2270, debido a que es el más completo.

El I.V. de un aceite puede ser también calculado con cierta precisión, por medio de las gráficas a partir de las tablas A.S.T.M.

El diagrama para un I.V. mayor de 100 es mostrado en la gráfica 3b que se basa en el método A.S.T.M. D 2270



Gráfica 3b para calcular índices de viscosidad mayores de 100, a partir de la viscosidad cinemática

3.3.3.- IMPORTANCIA DEL ÍNDICE DE VISCOSIDAD

Los aceites lubricantes están expuestos a un amplio intervalo de temperatura durante el tiempo de servicio.

A altas temperaturas la viscosidad de un aceite puede bajar, hasta puntos donde se rompa la película de lubricación, dando como resultado el contacto metal-metal ocasionando un desgaste severo.

En el caso contrario, el aceite puede volverse demasiado viscoso para una adecuada circulación o puede generar fuerzas tan altamente viscosas que impidan el funcionamiento adecuado de la maquinaria, por consiguiente, muchas aplicaciones requieren un aceite de altos índices de viscosidad.

Por ejemplo, los aceites del cárter de los automoviles no deben ser muy espesos a bajas temperaturas de encendido, impartándole una carga excesiva para el movimiento del motor. Durante tiempo caliente, el aceite debe fluir libre para dar una completa lubricación a todas las partes del motor. Después que el aceite haya alcanzado la temperatura de operación, éste no debe adelgazarse a un punto que cause un gran consumo de si mismo o que la película de lubricación no pueda soportar la carga.

De forma similar un fluido hidráulico en el sistema de una aeronave puede estar expuesto a temperaturas de 100°F o mayores en tierra y a temperaturas por debajo de cero cuando está en vuelo.

Para una correcta operación bajo estas condiciones variables, la viscosidad de un fluido hidráulico debe permanecer relativamente constante, lo cual requiere un índice alto

Como se sugirió anteriormente mediante la relación entre los aceites nafténicos y parafínicos, el índice de viscosidad de un aceite puede, algunas veces, ser tomado como una indicación del tipo de base utilizada en su elaboración. Un aceite mineral puro con un índice de 80 o más es probablemente parafínico, mientras que un I.V. de 40 nos indica usualmente una base nafténica.

Sin embargo, en general esta relación entre el índice de viscosidad de un aceite y la base es aplicada únicamente para los aceites minerales puros. Las técnicas de refinación y los aditivos disponibles hoy en día, hacen posible producir aceites nafténicos con muchas de las características de los aceites parafínicos, incluyendo el I.V.

Por lo tanto el índice de viscosidad debe ser considerado como una indicación de la composición del hidrocarburo solamente si se cuenta con otra información adicional.

4.0.0.- GENERALIDADES SOBRE VISCOSÍMETROS

En los estudios que hasta la fecha se han llevado a cabo, para determinar las características de los fluidos se usan diferentes métodos y sobre todo para determinar la viscosidad, y a los aparatos o equipos empleados para llevar a cabo estas mediciones se les llama viscosímetros.

De estos hay una inmensa variedad y se caracterizan cada uno por su aplicación que tienen para cada fluido, ya sea newtoniano o no newtoniano.

Entre los caminos o métodos más comunes para medir una viscosidad son los que se caracterizan por lo siguiente:

- 1). El uso de la ecuación deducida por Newton para la viscosidad.
- 2). El empleo de la ecuación de Hagen-Poiseuille.
- 3). El empleo de técnicas en donde hay que utilizar fluidos de viscosidad conocida, para poder hacer una comparación.

En el primer método se mide el gradiente dv/dy y el esfuerzo cortante τ despejándose de la viscosidad absoluta de la ecuación. 2

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \quad \text{-----} \quad 2$$

Este método es muy sencillo y por tal motivo es muy empleado industrialmente.

El segundo método se basa en la medición de todas las magnitudes de la ecuación de Hagen-Poiseuille. Exceptuando la viscosidad que se denota por (μ)

$$Q = \frac{\Delta P \pi D^4}{128 \mu L} \text{-----} (3)$$

En donde:

ΔP = Caída de presión

D = Diámetro del ducto del viscosímetro

Q = Gasto en el ducto

μ = Viscosidad absoluta

L = Longitud del ducto

En el tercer método se utilizan viscosímetros que se tienen que calibrar con otros líquidos de viscosidad conocida, y como ejemplo tenemos el viscosímetro Ostwald.

El procedimiento consiste en la comparación del comportamiento del fluido de viscosidad conocida con el fluido de viscosidad desconocida. Siendo la única incógnita la viscosidad del fluido problema.

Los viscosímetros más comunmente empleados se clasifican de la siguiente forma:

I.- ROTACIONALES

- a). Viscosímetro de cilindro coaxial.
- b). " " de disco rotante.
- c). " " de esfera concéntrica rotante.
- d). " " de cono y plato.
- e). " " de doble cono.
- f). " " conicilíndrico.

II.- OSCILANTES

II.A.- Oscilación Libre

- a). Viscosímetro de cilindro coaxial oscilante.
- b). " " de disco oscilante.
- c). " " de esfera concentrica oscilante

II.B.- Oscilación Axial

- a). Penetrómetro oscilante

II.C.- Oscilación Forzada

- a). Viscosímetro de cilindro coaxial oscilante.
- b). " " de esfera concentrica oscilante
- c). " " de plato oscilante.

III.- RECTILINEOS

- a). Viscosímetro de capilar.
- b). " " de esfera descendente.
- c). " " pochettino.

d). Penetrómetro

IV.- COMPRESIÓN

a). Plastómetro de platos paralelos.

Como vemos existe una inmensa variedad de viscosímetros, clasificados adecuadamente, y mencionaremos en este trabajo los que tienen íntima relación con el viscosímetro Saybolt Furol, quedando clasificado de la siguiente forma.

III.- RECTILINEOS

- a). Viscosímetros de capilar
- Cilindro y pistón
 - Vidrio
 - Orificio (Saybolt Furol)

VISCOSÍMETROS DE CAPILAR

Estos viscosímetros fueron los primeros sistemas que se utilizaron para la medición de viscosidades. Hagen en 1839 realizó el primer experimento, cuando se dedicó a estudiar el flujo en capilares para explicar el flujo sanguíneo y el que vino a perfeccionar la teoría fue. Poiseuille. Encontrando la relación entre gasto volumétrico y caída de presión. Con este descubrimiento se marca el comienzo de la viscosimetría capilar.

Este método consiste en hacer pasar un fluido a través de un tubo de diámetro muy pequeño, para que midiendo el gasto volumétrico y caída de presión se pueda calcular la viscosidad.

Un viscosímetro capilar completo consta de las siguientes partes:

- a). Tanque de almacenamiento del fluido.
- b). Capilar de dimensiones conocidas.
- c). Sistemas de medición de caídas de presión.
- d). Sistema de medición de gasto volumétrico.
- e). Unidad para controlar la temperatura.

Ahora pasaremos a describir los tres viscosímetros de capilar antes mencionados.

- En primer lugar tenemos el de Cilindro y Pistón

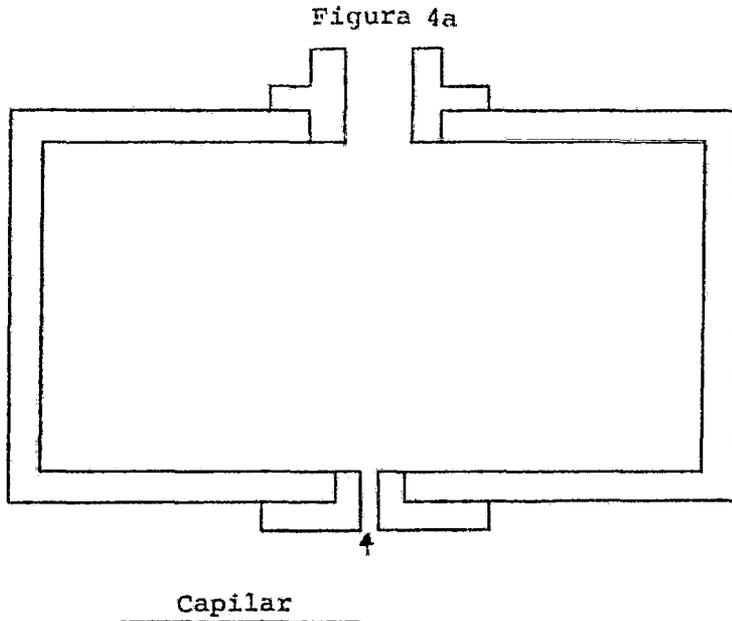
Consta de un cilindro en donde está contenido el fluido. El fluido se desplaza por el pistón que puede accionarse por medio de:

- a). Peso muerto.
- b). Sistema Neumático (presión suministrada por nitrógeno)
- c). Sistema Mecánico.
- d). Sistema Hidráulico.

Estos viscosímetros se emplean bastante para medir las propiedades de los fluidos no newtonianos, con una viscosidad hasta de 10^6 Poises, con un esfuerzo cortante de 2×10^4 dinas/cm².

Una variedad del viscosímetro capilar de cilindro y pistón, es aquella en la cual elimina el pistón, y el fluido es obligado a desplazarse aplicándole una presión.

La figura 4a nos muestra como es fundamentalmente este tipo de viscosímetro.



La ilustración es básicamente el funcionamiento de una variedad del viscosímetro de cilindro y pistón.

-En segundo lugar, tenemos a los viscosímetros de vidrio, dentro de los cuales; el ideado por: Wilhelm Ostwald.

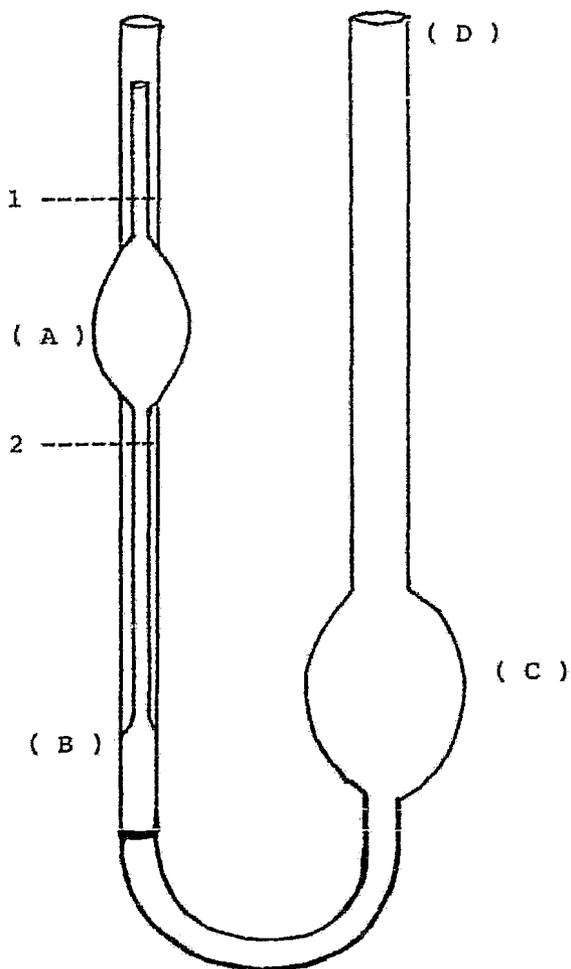
Este viscosímetro es utilizado principalmente para fluidos Newtonianos; el cual consta de un tubo capilar que principia en B, unido por la parte superior a un bulbo A, y por la parte inferior a un tubo de vidrio doblado en U, provisto de un bulbo C.

Encima y debajo del bulbo A, se encuentran las marcas 1 y 2. Se vierte en D, un determinado volúmen de líquido problema. Se sopla por D, hasta que el líquido haya subido en el bulbo A, un poco encima de la marca 1. Posteriormente se deja libre la parte D, y se cuenta el número de segundos que tarda el líquido desde que enrasa en 1 hasta enrasar en 2

Se repite entonces la operación con agua destilada o con otro líquido cuya viscosidad sea conocida, empleando el mismo volúmen que el líquido problema.

La figura 4b nos muestra a grandes razgos este tipo de viscosímetros.

Figura 4b



VISCOSÍMETRO DE OSTWALD

- En tercer lugar tenemos el Viscosímetro de Orificio

El fundamento teórico de este dispositivo fue derivado de la ley de Hagen-Poiseuille, que dice: " el tiempo que tarda cierto volumen de un fluido en pasar a través de un capilar, es proporcional a la viscosidad del fluido "

Debido a la distancia que recorre el fluido en estos capilares que es muy pequeña, la ley de Hagen-Poiseuille sufre grandes desviaciones, y entre los factores que afectan tenemos los siguientes:

- a). La cabeza hidrostática se consume prácticamente a la entrada del orificio.
- b). Las pérdidas por fricción son función del área transversal, velocidad del fluido, forma del orificio de entrada y propiedades del fluido.

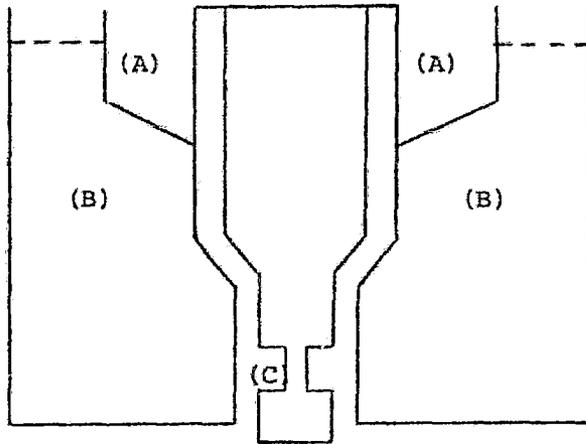
A pesar de estos inconvenientes este aparato se emplea ampliamente en la industria, debido a la facilidad de operación y bajo costo.

Algunas marcas comerciales de este tipo de viscosímetros son: SAYBOLT UNIVERSAL, REDWOOD, ENGLER, BARBEY y desde luego el SAYBOLT FUROL, que es el motivo de este trabajo.

La figura 4c nos muestra las partes fundamentales de este aparato. (Saybolt Furol)

Todos los viscosímetros capilares de orificio funcionan bajo este mismo principio, aunque tengan diferentes formas en la parte de la coraza.

Figura 4c



VISCOSÍMETRO SAYBOLT

En donde:

- (A). Sección de derrame.
- (B). Sistema de control de temperatura.
- (C). Tubo capilar.

Este viscosímetro mide la viscosidad cinemática según se deduce de la ecuación de Hagen-Poiseuille

$$Q = \frac{\Delta P \pi D^4}{128 \mu L} = \frac{V}{\theta}$$

-----4

Donde $\Delta P = \rho g h$ Por lo tanto queda:

$$\frac{\mu}{\rho \theta} = \frac{g h \pi D^4}{128 V L} = C_1$$

-----5

Aunque la altura (h) varía durante la prueba; esta variación se lleva a cabo con el mismo intervalo para todos los líquidos y los términos de la derecha de la ecuación 5 pueden considerarse como constantes en un viscosímetro particular.

Simplificando la ecuación número 5 resultaría lo siguiente.

$$\frac{\mu}{\rho \theta} = C_1 \quad \text{pero:}$$

$$\frac{\mu}{\rho} = v \quad \text{por lo tanto queda:}$$

$$\boxed{v = C_1 \theta} \text{-----6}$$

En donde puede apreciarse, que la viscosidad cinemática varía en razón directa con el tiempo. Por otro lado el tubo capilar es tan corto, que la distribución normal de velocidades no llega a establecerse. El flujo tiende a entrar uniformemente, y después debido a la resistencia viscosa de las paredes y las capas en contacto con estas, el líquido se frena en la zona, mientras que en el centro la velocidad resulta mayor y por lo tanto la ecuación 6 necesita corregirse.

$$\boxed{v = C_1 \theta + \frac{C_2}{\theta}} \text{-----7}$$

que para segundos Saybolt. Queda:

$$\boxed{v = 0.0022 \theta - \frac{1.80}{\theta}} \text{-----8}$$

Donde θ = Tiempo en segundos y v = Viscosidad cinemática en Stokes.

4.1.0.- DESCRIPCIÓN DEL VISCOSÍMETRO SAYBOLT FURÓL

Este aparato ha sido destinado para determinar la viscosidad de los productos del petróleo.

El producto del petróleo se hace pasar a través de un tubo que tiene un orificio de dimensiones conocidas, midiendo el tiempo que tarda en pasar, o sea, el flujo de un determinado volumen de aceite a una temperatura dada.

Aunque se menciona que este aparato es para productos del petróleo, se ha encontrado que el Viscosímetro Saybolt Furol debe utilizarse únicamente con aceites cuyo tiempo de flujo sea mayor que 25 segundos. El tiempo de flujo del instrumento Furol es aproximadamente un décimo del tiempo que utiliza el Viscosímetro Saybolt Universal.

La manufactura del Viscosímetro Saybolt Furol es de acuerdo con las especificaciones de la American Society for Testing Materials (A.S.T.M.) D-88 método federal estándar- 304.

La palabra Furol es una contracción de la frase: " Fuel and road oils " que se puede traducir como combustibles y lubricantes para vehículos.

El Viscosímetro Saybolt Furol deberá usarse para los aceites a una temperatura de 70°F y 210°F.

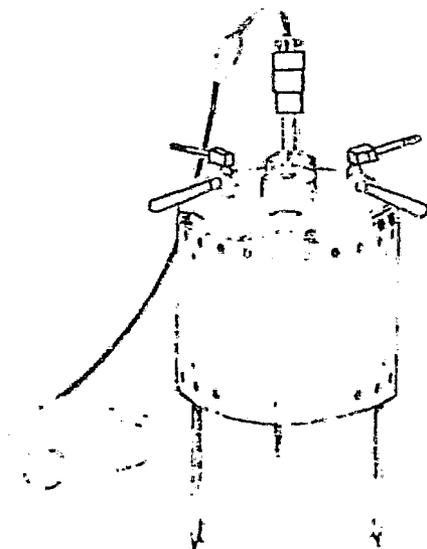
El componente clave de estos aparatos consiste de un tubo de bronce para el aceite, que también puede ser de acero ajustado de manera especial que se pueda intercambiar a universal.

Al tubo de bronce para el aceite lo envuelve un recipiente que sirve como baño de agua, y tiene una profundidad de 6"

El baño de agua está encerrado por una cubierta de acero con ventilación que tiene un diametro de 8" y una altura de 32 cm. y montado en tres soportes altos.

En la parte de abajo se coloca un disco de madera con una perforación donde se coloca el matraz para medir la Viscosidad. La figura 4d nos muestra el Viscosímetro Saybolt Furol para tener una idea más clara de dicho aparato

Figura. 4d



4.2.0.- DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO UTILIZADO EN LA EXPERIMENTACIÓN

Como ya se mencionó el aparato consiste de un tubo para el aceite, baño, copa receptora, termómetros, cronómetro y pipeta para aforo; de acuerdo con los requisitos que se especifican en párrafos siguientes.

a). La sección de la ceja de derrame debe estar limitada por líneas rectas, con excepción de la unión con la base de la galería, que puede ser redondeada.

b). Baño. El baño debe servir como soporte para sostener el tubo para el aceite en posición vertical, y como recipiente para el líquido del baño. El baño deberá estar provisto de un agitador, y de los medios necesarios para calentamiento o enfriamiento. La fuente de calentamiento o de refrigeración debe estar retirada del tubo para el aceite alrededor de 3 cm.

Si se llega a emplear un calentador externo, este debe estar a 5 cm. del tubo

La temperatura del baño necesaria para mantener el equilibrio térmico (mientras el aceite es agitado en el tubo por medio del termómetro para el tubo), no debe diferir en más de 0.1°F (0.06°C) de las temperaturas especificadas de 70°F ó 77°F ó no debe exceder de 100.25, 122.35, 130.50, 141.00, 181.50 ó 212.00°F .

El nivel del líquido del baño no debe ser más bajo de 0.5 cm. por encima de la ceja de derrame del tubo para el aceite,

Para pruebas de medición, el líquido del baño debe ser tal que satisfaga las anteriores condiciones de temperatura del baño.

NOTA.- Estos requisitos de las temperaturas del baño, se pueden satisfacer con agua, soluciones acuosas y en algunos baños con aceite. En las pruebas de rutina, generalmente se usa aceite como líquido para el baño. Esto es permisible siempre y cuando la temperatura del baño se ajuste de tal forma, que las condiciones de equilibrio térmico necesarias, si puedan mantenerse. Puede ser necesario que la temperatura del baño de aceite se mantenga un poco arriba de las temperaturas especificadas en el párrafo anterior. Los diferenciales de temperatura entre el baño de aceite y el tubo, que son necesarios para mantener el equilibrio térmico, pueden ser el doble de lo señalado anteriormente.

c). Copa. La copa (fig. 4e) debe ser de vidrio, con una capacidad hasta la marca en el cuello, de 60 ± 0.05 ml. a 69°F (20°C). En la marca del diámetro interior del cuello de la copa debe ser 1 ± 0.1 cm. La porción cilíndrica del matríz debe llegar a no menos de 0.3 cm. arriba y abajo de la marca. La marca debe estar a 5.8 ± 1.0 cm. arriba del fondo del matraz.

El máximo diámetro exterior debe ser menor de 5.5 cm.

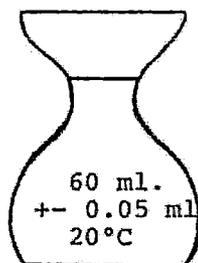


Figura 4e

NOTA.- La experiencia de muchos años con copas que satisfacen estas recomendaciones, ha demostrado que son adecuadas para casi todos los aceites con excepción de los excesivamente viscosos. Con estos últimos se tienen errores por retención si la longitud del cuello arriba de la marca varía excesivamente. Una vez que se hayan agotado las existencias de copas que actualmente se tienen, se proyecta revisar las especificaciones de la copa, limitando la longitud del cuello arriba de la marca, a un máximo de 11 mm.

d). Termómetros para el tubo. Los termómetros A.S.T.M. para viscosidades Saybolt Furol deben incluir dos juegos de seis termómetros cada uno, un juego graduado en °F y el otro en °C . Las escalas se encogerán de modo que incluyan las temperaturas comunmente usadas, de acuerdo con las indicaciones de la tabla 4a. Deben estar de acuerdo con los requisitos prescritos en las especificaciones para termómetros de A.S.T.M. (designación E-1).

Para evitar el contacto del termómetro con el orificio del tubo, se debe adaptar un soporte apropiado en el alargamiento del vástago del termómetro.

e). Termómetros para el baño. En el baño se deben emplear los termómetros especificados en el párrafo (d), o cualquier otro medio que permita medir la temperatura, por lo menos con la misma exactitud.

Tabla 4a

TERMÓMETROS EN GRADOS FAHRENHEIT

Termómetros A.S.T.M. #	Escala	Sub- divisiones	Temperatura de pruebas
17 F	66 a 80	0.2	70 y 77
18 F	91 a 109	0.2	100
19 F	120 a 134	0.2	122 y 130
20 F	134 a 148	0.2	140
21 F	174 a 188	0.2	180
22 F	204 a 218	0.2	210

TERMÓMETROS EN GRADOS CENTÍGRADOS

17 C	19 a 27	0.1	21.1 y 25
18 C	34 a 42	0.1	37.8
19 C	49 a 57	0.1	50 y 54.4
20 C	57 a 65	0.1	60
21 C	79 a 87	0.1	82.2
22 C	95 a 103	0.1	98.9

f). Cronómetro. El cronómetro o cualquier otro instrumento para medir el tiempo, debe estar graduado en subdivisiones de 0.2 segundos o menos y debe tener una exactitud mínima de 0.1 % cuando se prueba durante un período de 60 minutos.

NOTA.- Los instrumentos eléctricos para medir tiempo, pueden usarse siempre que sean exactos y que se puedan leer hasta 0.2 segundos o menos. Los instrumentos con motores sincrónicos solo pueden usarse en circuitos eléctricos de frecuencia controlada.

g). Tubo para aforo. El tubo o pipeta que se usa para vaciar la galería, debe tener una punta lisa de unos 3 mm. de diámetro exterior.

5.0.0.- EXPERIMENTACION

Si recordamos el segundo paso del método científico, lo podríamos definir así:

Experimentación: consiste en hacer variar las circunstancias que intervienen en un fenómeno, para tratar de establecer relaciones de causa a efecto.

De tal manera que la experimentación objeto de esta tesis, se practicó a diferentes aceites con diferentes graduaciones, y desde luego a diferentes temperaturas.

Dicha experimentación se llevo a cabo en el laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química U.N.A.M.

Ya en la parte 3.2.0 de este trabajo se mencionaron las condiciones necesarias para llevar a cabo la experimentación en forma más adecuada, con el fin de obtener resultados más apegados a la realidad.

El análisis de viscosidad se le practicó a los siguientes aceites:

Pémex Sol	-----	Grado 30
Pémex Sol	-----	Grado 40
Pémex Sol	-----	Grado 50
Mobil Oil	-----	Multigrado (20-40)
Mobil Oil	-----	Grado 90

Los termómetros que se utilizaron para las mediciones fueron en grados Fahrenheit, con las siguientes escalas:

de 94°F a 108°F y
de 120°F a 134°F

Se hicieron mediciones de viscosidad cada 2°F; resultando un total de 16 lecturas de tiempo para cada graduación de aceite.

A excepción del aceite grado 90 ya que para este sólo se hicieron 8 mediciones.

5.1.0.- PROCEDIMIENTO.

Es necesario cerciorarse que todo el equipo esté lo más limpio posible, sobre todo el tubo en donde se coloca el aceite que va a ser analizado, y también el recipiente que sirve de baño al tubo del aceite. (figuras 5a y 5b)



Fig. 5a
Tubo para el aceite

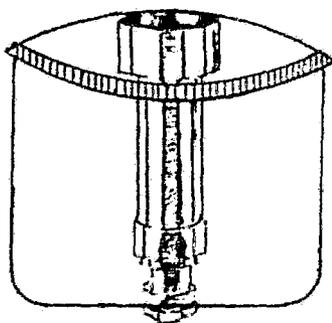


Fig. 5b
Recipiente para el baño con el tubo del aceite

Al recipiente del baño, se le agrega agua o cualquier otro líquido que pueda servir para mantener la temperatura constante, dentro del tubo del aceite.

El nivel del líquido debe llegar hasta donde empieza la galería del tubo para el aceite, y se coloca este baño dentro del soporte o enchaquetamiento. (figura 5c)

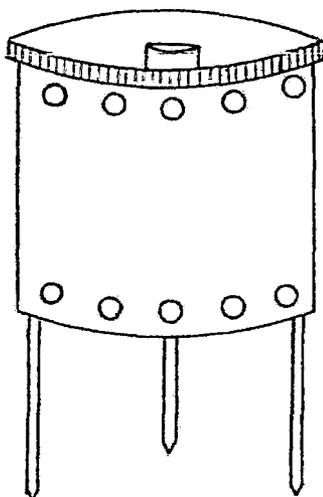


Fig. 5c

Recipiente para el baño con el tubo para el aceite, dentro del soporte.

Enseguida, se acomoda la tapa del recipiente, que ya tiene los orificios adecuados, para introducir los termómetros, y la resistencia eléctrica para calentar el líquido del baño. (figura 5d)

En la parte inferior del soporte se deberá colocar un disco de madera, con un orificio en el centro para acomodar la copa receptora del aceite.

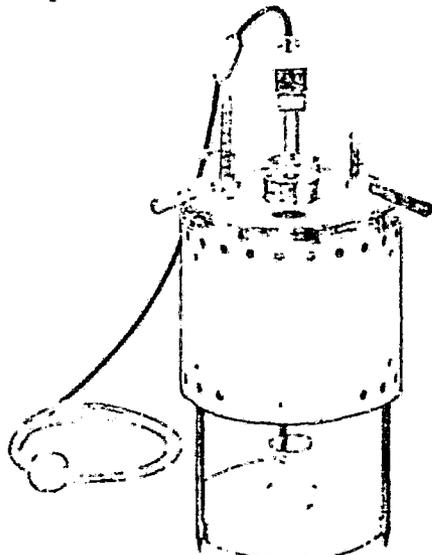


Fig. 5d

Viscosímetro Saybolt Furól instalado en forma adecuada.

A continuación se debe limpiar el tubo para el aceite, utilizando Benzol de preferencia. Se tapa dicho tubo por la parte inferior, con un tapón de corcho o también puede ser de hule, que tiene unida una cadena.

Es muy importante colar el aceite antes de ponerse en el tubo, utilizando el colador que viene con el equipo.

Posteriormente se empieza el llenado del tubo hasta que cese el desbordamiento en la taza; o sea dentro de la galería.

Hecho lo anterior se acciona la resistencia eléctrica que empezará a calentar el baño y desde luego el aceite.

Una vez que la temperatura del líquido del baño es uniforme, porque se ha mantenido en agitación constante, entonces uno de los termómetros se puede utilizar para agitar el aceite, hasta llegar a la temperatura deseada; recordando que puede haber una diferencia en la temperatura de 0.2°F entre el baño y el aceite.

El control de la temperatura se hace encendiendo y apagando la resistencia. Cuando la temperatura del baño y del aceite dentro del tubo, permanece constante durante un minuto, en el punto más deseado, se retira el termómetro del tubo del aceite, y con la pipeta se quita el exceso de aceite en la taza de la galería, dirigiendo la pipeta a un solo punto.

A continuación, se retira el tapón de corcho o de hule de un solo tirón, y al mismo tiempo se pone a funcionar el cronómetro. Cuando el tope del menisco del aceite alcanza la marca de 60 ml. en la copa receptora, entonces se detiene el cronómetro y se anotan los segundos transcurridos; con lo cual nos estará indicando la viscosidad en Segundos Saybolt Furol (S.S.F.)

Sí es necesario hacer más determinaciones a diferentes temperaturas, y también a otros aceites con diferente graduación; entonces se deberán repetir los mismos pasos, desde la limpieza del tubo para el aceite.

5.2.0.- TEMPERATURAS DE EXPERIMENTACION

Las temperaturas que se utilizaron para desarrollar la parte práctica de este trabajo, se especifican en la siguiente tabulación.

TEMPERATURAS EN °F	TEMPERATURAS EN °C
94	34.5
96	35.5
98	36.6
100	37.7
102	38.9
104	40.0
106	41.1
108	42.2
120	48.9
122	50.0
124	51.1
126	52.2
128	53.2
130	54.4
132	55.5
134	56.6

5.3.0.- CRONOMETRAJE

El tiempo en segundos, obtenido a la temperatura a la cuál se hace la prueba, debe reportarse hasta el décimo de segundo más próximo, cuando se trata de viscosidades inferiores a los 200 segundos, y hasta el segundo entero más próximo para valores mayores a los 200 segundos; por lo anterior los tiempos obtenidos en la práctica son reportados en las tablas, de informe de resultados.

5.4.0.- REPORTE DE RESULTADOS

Se utilizaron cinco graduaciones diferentes de aceite, y se obtuvieron los resultados reportados en las tablas: 5a, 5b, 5c, 5d, y 5e.

ACEITE PEMEX SOL 30

TEMPERATURA °F	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD en S.S.F.
94	34.4	77.0
96	35.5	74.5
98	36.6	70.0
100	37.7	66.5
102	38.9	62.0
104	40.0	58.0
106	41.1	55.5
108	42.2	50.7
120	48.9	40.0
122	50.0	35.5
124	51.1	34.5
126	52.2	33.5
128	53.3	32.5
130	54.4	31.0
132	55.5	30.0
134	56.6	28.5

S.S.F (Segundos Saybolt Furol)

Tabla--5a

ACEITE PEMEX SOL 40

TEMPERATURA °F	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD en S.S.F.
94	34.4	87.0
96	35.5	82.7
98	36.6	77.8
100	37.7	71.6
102	38.9	68.5
104	40.0	64.7
106	41.1	61.0
108	42.2	58.0
120	48.9	41.2
122	50.0	39.0
124	51.1	37.5
126	52.2	35.2
128	53.3	34.0
130	54.4	32.5
132	55.5	31.5
134	56.6	30.0

Tabla--5b

ACEITE PEMEX SOL 50

TEMPERATURA °F	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD en S.S.F.
94	34.4	95.5
96	35.5	88.8
98	36.6	81.0
100	37.7	77.0
102	38.9	75.0
104	40.0	70.5
106	41.1	69.0
108	42.2	62.6
120	48.9	44.0
122	50.0	42.2
124	51.1	40.2
126	52.2	38.8
128	53.3	37.2
130	54.4	36.0
132	55.5	33.2
134	56.6	32.1

Tabla-- 5c

ACEITE MULTIGRADO 20 - 40

TEMPERATURA °F	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD en S.S.F.
94	34.4	57.9
96	35.5	53.0
98	36.6	50.8
100	37.7	48.6
102	38.9	46.0
104	40.0	44.0
106	41.1	42.1
108	42.2	40.0
120	48.9	31.2
122	50.0	29.0
124	51.1	28.5
126	52.2	27.2
128	53.3	26.1
130	54.4	25.0
132	55.5	24.5
134	56.6	24.0

Tabla--5d

ACEITE PARA TRANSMISIONES DE AUTOS (MOBIL OIL 90)

TEMPERATURA °F	TEMPERATURA °C	VISCOSIDAD en S.S.F.
94	34.4	103.5
98	36.6	91.0
102	38.9	79.5
108	42.2	66.5
122	50.0	45.0
126	52.2	40.5
130	54.4	37.0
134	56.6	33.5

Tabla--5e

5.4.1.- CONVERSION DE VISCOSIDADES.

Existen dos formas para hacer conversiones de viscosidad, ya sea utilizando gráficas o fórmulas que para cada caso se conocen. En este trabajo aplicamos los metodos, para llevar a cabo las siguientes conversiones:

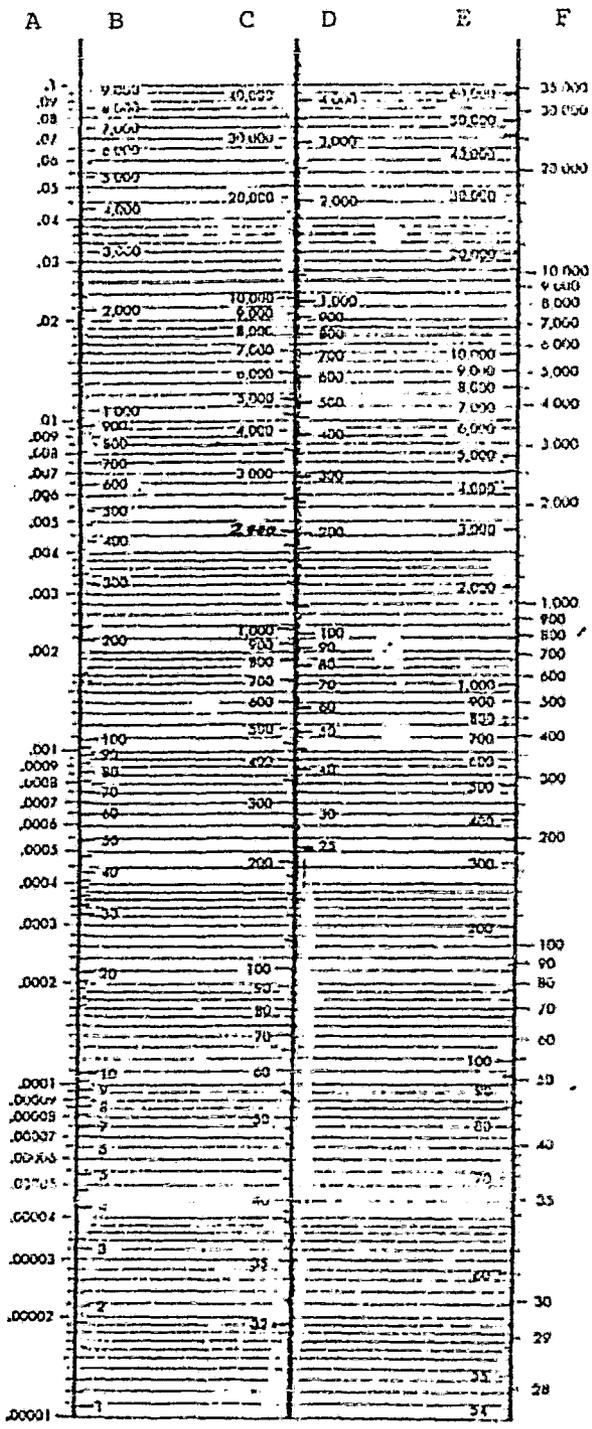
- a). Viscosidad en S.S.F. a Centistokes (Viscosidad Cinemática)
- b). Viscosidad en S.S.F. a Centipoises (Viscosidad Absoluta)
- c). Viscosidad en S.S.F. a S.S.U (Segundos Saybolt Universal)

a).- Cuando se tiene la viscosidad en S.S.F. (Segundos Saybolt Furol), y se quiere convertir a Centistokes, se puede utilizar la fórmula siguiente:

$$\boxed{\text{Viscosidad Cinemática} = C \times t - B/t} \text{----- } 9$$

En donde C y B, son constantes que se localizan en la tabla 5f y t, es el tiempo en segundos que tarda en fluir el aceite a través del orificio.

Para la conversión a viscosidad cinemática también se puede utilizar la gráfica 5-1, en donde se tienen seis escalas diferentes de viscosidad; desde luego se obtienen los resultados que cuando se utiliza la fórmula 9



- A = Viscosidad Cinemática
- A = ft²/seg
- B = Viscosidad Cinemática
- B = cm²/seg
- C = Viscosidad en S.S.U.
- D = Viscosidad en S.S.F.
- E = Viscosidad Engler.
- E = Segundos.
- F = Viscosidad Redwood
- F = Segundos.

Gráfica 5-1

Tabla 5f

VISCOSIMETRO	Rango de tiempo de flujo	Constantes	
		B	C
SAYBOLT UNIVERSAL	32 s - 100 s	1.95	.00226
	más de 100 s	1.35	.00220
SAYBOLT FUROL	25 s - 40 s	1.84	.0224
	más de 40 s	0.60	.0216
REDWOOD # 1	34 s - 100 s	1.79	.00260
	más de 100 s	0.50	.00247
ENGLER	cualquier tiempo	3.74	.00147

Los resultados obtenidos para las cinco diferentes graduaciones de aceite, se reportan en las tablas 5g, 5h, 5i, 5j, 5k

Tabla 5g

Aceite Pemex Sol - 30		
Temperatura °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemática en Centistokes = cm ² /seg
94	77.0	1.6554
96	74.5	1.6011
98	70.0	1.5034
100	66.5	1.4273
102	62.0	1.3295
104	58.0	1.2424
106	55.5	1.1880
108	50.7	1.0833
120	40.0	0.8500
122	35.5	0.7433
124	34.5	0.7194
126	33.5	0.6954
128	32.5	0.6713
130	31.0	0.6350
132	30.0	0.6106
134	28.5	0.5738

Tabla 5h

Aceite Pemex Sol - 40		
Temperatura °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemática en Centistokes = cm ² /seg
94	37.0	1.8723
96	82.7	1.7790
98	77.8	1.6726
100	71.6	1.5381
102	68.5	1.4708
104	64.7	1.3882
106	61.0	1.3077
108	58.0	1.2424
120	41.2	0.8753
122	39.0	0.8264
124	37.5	0.7837
126	35.2	0.7361
128	34.0	0.7074
130	32.5	0.6713
132	31.5	0.6471
134	30.0	0.6106

Tabla 5i

Aceite Pemex Sol - 50		
Temperatura °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemática en Centistokes = cm^2/seg
94	95.5	2.0500
96	88.8	1.9113
98	81.0	1.7422
100	77.0	1.6554
102	75.0	1.6120
104	70.5	1.5142
106	69.0	1.4817
108	62.6	1.3420
120	44.0	0.9367
122	42.7	0.8972
124	40.2	0.8511
126	38.8	0.8216
128	37.2	0.7837
130	36.0	0.7552
132	33.2	0.6881
134	32.1	0.6616

Tabla 5j

Aceite Mobil Special Multigrado 20 - 40		
Temperatura °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemática en Centistokes = cm^2/seg
94	57.9	1.2402
96	53.0	1.1334
98	50.8	1.0854
100	48.6	1.0374
102	46.0	0.9805
104	44.0	0.9367
106	42.1	0.8950
108	40.0	0.8500
120	31.2	0.6398
122	29.0	0.5861
124	28.5	0.5738
126	27.2	0.5416
128	26.1	0.5141
130	25.0	0.4864
132	24.5	0.4737
134	24.0	0.4609

Tabla 5k

Aceite Mobil Oil - 90 (Para transmisiones)		
Temperatura °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemática en Centistokes = cm^2/seg
94	103.5	2.2298
98	91.0	1.9590
102	79.5	1.7096
108	66.5	1.4273
122	45.0	0.9587
126	40.5	0.8599
130	37.0	0.7790
134	33.5	0.6954

b).- Para realizar la conversi3n de la viscosidad que est1 en Segundos Saybolt Furol a Centipoises, se puede utilizar la f3rmula # 10 6 tambi3n la f3rmula 11. S3lo que esta 3ltima hace uso de la viscosidad cinem1tica, por lo tanto es necesario hacer dicha conversi3n.

$$\mu = \frac{3.1416 P r^4 t}{8 L V} \text{----- 10}$$

En donde:

μ = Viscosidad absoluta en Poises.

π = 3.1416

V = Volumen del l3quido, al que se le mide la viscosidad.

t = Tiempo de flujo (en nuestro caso S.S.F.)

r = Radio capilar.

L = Longitud del capilar.

P = Presi3n hidrost1tica sobre el l3quido proporcional a su densidad.

Cuando ya se ha calculado la viscosidad cinem1tica en centistokes, se puede utilizar la f3rmula siguiente:

$$\nu = \frac{\text{Centipoises}}{D} \text{----- 11}$$

En donde:

ν = Viscosidad cinemática en centistokes

D = Densidad o masa específica.

Por lo tanto para obtener viscosidad absoluta en Centipoises, se hace el despeje correspondiente y resulta la fórmula # 1.

$$\boxed{\text{Centipoises} = \nu \cdot D} \quad \text{----- 1}$$

Como $D = \frac{M_e}{V}$ y $M_e = \frac{M}{V}$.

En donde:

M = masa en gramos

V = Volumen en cm^3 . Entonces:

$M_e = \frac{g}{\text{cm}^3}$.

Si sabemos que: $\nu = \frac{\text{cm}^2}{\text{seg}}$. y hacemos el desarrollo de la fórmula 1. Obtenemos el resultado de la viscosidad absoluta. O sea.

$$\text{Centipoises} = \frac{g}{\text{seg.cm.}}$$

Cuando aplicamos la fórmula # 1 obtenemos las siguientes equivalencias de:

Viscosidad S.S.F. - Viscosidad Cinemática - Viscosidad Absoluta.

(Tablas 5L, 5M, 5N, 5O, 5P)

Tabla 5L

Aceite Pemex Sol - 30			
Temp. °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemática = $\text{cm}^2/\text{seg.}$	Viscosidad Absoluta = $\frac{\text{g.}}{\text{seg.cm}}$
94	77.0	1.6554	1.4335
96	74.5	1.6011	1.3865
98	70.0	1.5034	1.3019
100	66.5	1.4273	1.2360
102	62.0	1.3295	1.1513
104	58.0	1.2424	1.0759
106	55.5	1.1880	1.0295
108	50.7	1.0833	0.9381
120	40.0	0.8500	0.7361
122	35.5	0.7433	0.6436
124	34.5	0.7194	0.6230
126	33.5	0.6954	0.6022
128	32.5	0.6713	0.5813
130	31.0	0.6350	0.5499
132	30.0	0.6106	0.5287
134	28.5	0.5738	0.4969

Tabla 5M

Aceite Pemex Sol - 40			
Temp. °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemática = cm^2/seg	Viscosidad Absoluta = $\frac{\text{g.}}{\text{seg.cm}}$
94	87.0	1.8723	1.6214
96	82.7	1.7799	1.5413
98	77.8	1.6726	1.4484
100	71.6	1.5381	1.3319
102	68.5	1.4708	1.2739
104	64.7	1.3882	1.2021
106	61.0	1.3077	1.1324
108	58.0	1.2424	1.0759
120	41.2	0.8753	0.7562
122	39.0	0.8264	0.7156
124	37.2	0.7837	0.6786
126	35.2	0.7361	0.6374
128	34.0	0.7074	0.6126
130	32.5	0.6713	0.5813
132	31.5	0.6471	0.5603
134	30.0	0.6106	0.5287

Tabla 5N

Aceite Pemex Sol - 50			
Temp. °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemática = $\text{cm}^2/\text{seg.}$	Viscosidad Absoluta = $\frac{\text{g.}}{\text{seg. cm}}$
94	95.5	2.0500	1.7753
96	88.8	1.9113	1.6551
98	81.0	1.7422	1.5087
100	77.0	1.6554	1.4335
102	75.0	1.6120	1.3959
104	70.5	1.5142	1.3112
106	69.0	1.4817	1.2831
108	62.6	1.3420	1.1621
120	44.0	0.9367	0.8111
122	42.2	0.8972	0.7769
124	40.1	0.8511	0.7370
126	38.8	0.8216	0.7115
128	37.2	0.7837	0.6786
130	36.0	0.7552	0.6540
132	33.2	0.6881	0.5958
134	32.1	0.6616	0.5729

Tabla 56

Aceite Mobil Special Multigrado 20 - 40			
Temp. °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad = cm ² /seg. Cinemática	Viscosidad = $\frac{g.}{seg.cm}$ Absoluta
94	57.9	1.2402	1.0740
96	53.0	1.1334	0.9815
98	50.8	1.0854	0.9399
100	48.6	1.0374	0.8983
102	46.0	0.9805	0.8491
104	44.0	0.9367	0.8111
106	42.1	0.8950	0.7750
108	40.0	0.8500	0.7361
120	31.2	0.6398	0.5540
122	29.0	0.5861	0.5075
124	28.5	0.5738	0.4969
126	27.2	0.5416	0.4690
128	26.1	0.5141	0.4452
130	25.0	0.4864	0.4212
132	24.5	0.4737	0.4102
134	24.0	0.4609	0.3991

Tabla 5P

Aceite Mobil Oil - 90 (Para transmisiones)			
Temp. °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad Cinemat́ica = cm ² /seg.	Viscosidad = $\frac{g.}{seg.cm}$ Absoluta
94	103.5	2.2298	1.9310
98	91.0	1.9590	1.6954
102	79.5	1.7096	1.4805
108	65.5	1.4273	1.2360
122	45.0	0.9587	0.8302
126	40.5	0.8599	0.7446
130	37.0	0.7790	0.6746
134	33.5	0.6954	0.6022

c).- El tiempo de flujo del viscosímetro Saybolt Furol, es más o menos un décimo del tiempo de flujo del viscosímetro Saybolt Universal.

Sólo presentaré la conversión de S.S.F a S.S.U, para el aceite pemex sol - 30 (tabla 5Q); pero esta conversión se puede hacer para cualquier grado de aceite.

Aceite Pemex Sol - 30		
Temperatura °F	Viscosidad S.S.F.	Viscosidad S.S.U.
94	77.0	770
96	74.5	745
98	70.0	700
100	66.5	665
102	62.0	620
104	58.0	580
106	55.5	555
108	50.7	507
120	40.0	400
122	35.5	355
124	34.5	345
126	33.5	335
128	32.3	325
130	31.0	310
132	30.0	300
134	28.5	285

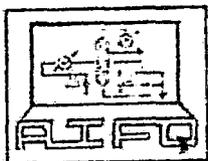
Tabla 5Q

LABORATORIO DE INGENIERIA QUIMICA

VISCOSIMETRO SAYBOLT FUROL



DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES



FACULTAD DE QUIMICA

Area de Ingeniería



6.0.0.- DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD, UTILIZANDO
EL VISCOSIMETRO " SAYBOLT FUROL "

6.1.0.- OBJETIVOS.

- a) Determinar las viscosidades de dos o más aceites, a diferentes temperaturas.
- b) Deducir cuál es la graduación óptima de un aceite, para una máquina que alcanza cierta temperatura, durante su funcionamiento.
- c) Conocer el Viscosímetro Saybolt Furol, en todas sus partes.

6.2.0.- GENERALIDADES.

Todas las industrias dependen en mayor o menor grado de los productos del petróleo, ya sea en forma directa o indirecta. Estas industrias obtienen su energía a partir de combustibles del petróleo. En todas ellas, la maquinaria de producción, el equipo auxiliar, y los vehículos de reparto, requieren lubricación con productos a base de petróleo.

Muchas de estas industrias utilizan en su producción aceites o aditivos. Por lo tanto es necesario mantener la calidad de estos productos; y pudiera considerarse que la viscosidad es una variable que debe controlarse, fundamentalmente para obtener la calidad antes mencionada.

Esta variable se puede definir, como la resistencia que experimenta una capa de líquido al moverse sobre otra capa. Es decir la resistencia que opone un líquido a fluir libremente.

Cuando se quiere obtener la viscosidad de un fluido, es de fundamental importancia que la temperatura permanezca constante, ya que un aumento en la temperatura, causa indiscutiblemente una variación en la viscosidad de los fluidos.

Es importante mencionar, que la viscosidad en los líquidos, generalmente disminuye con el aumento de la temperatura, mientras que en los gases sucede el fenómeno contrario

Como lo podemos notar la viscosidad requiere mantenerse lo más constante posible.

Se considera que la unidad de viscosidad es el Poise, el cuál se define de la forma siguiente:

POISE: es una viscosidad tal que se requiere una fuerza unitaria, por unidad de área para que dos superficies paralelas del líquido, de área unitaria y separadas una distancia unitaria, se deslicen una sobre la otra a una velocidad unitaria, y que puede expresarse matemáticamente de la forma siguiente.

$$\mu = \frac{P r^4 t}{8 L V} \quad \text{-----} \quad 1$$

En donde:

P = Presión hidrostática sobre el líquido, proporcional a su densidad.

r = Radio capilar.

t = Tiempo de flujo.

L = Longitud del capilar.

V = Volumen del líquido objeto de análisis.

Por lo tanto cuando se obtienen viscosidades en otro tipo de unidades, es conveniente hacer conversiones, utilizando la fórmula anterior, y así los resultados que se obtienen, pueden quedar así:

$$\mu = \frac{\text{g.}}{\text{cm} \times \text{seg}} \quad \text{ó} \quad \frac{\text{dina} \times \text{seg}}{\text{cm}^2}$$

El centipoise, como su nombre lo indica es la centésima parte del Poise.

Son varios los instrumentos diseñados para medir la viscosidad de un aceite. Entre los más usados están los viscosímetros Engler y Redwood, pero su mayor campo de acción está en los países Europeos, ya que en los Estados Americanos, los aparatos que más se utilizan son los Viscosímetros Saybolt Universal, Saybolt Furol y desde luego los Cinemáticos, por lo tanto es muy usual hacer conversiones de viscosidad para relacionar los tres sistemas.

De acuerdo a la medición efectuada con el viscosímetro Saybolt Furol, la viscosidad se expresa como:

El tiempo en segundos requerido por un determinado volumen de aceite, para fluir, a una temperatura también determinada, a través de un pequeño tubo, contando únicamente con la fuerza de gravedad.

Aunque el Viscosímetro Saybolt Furol tiene varias partes esenciales, en síntesis puede describirse como un recipiente de aproximadamente 28 mm. de diámetro y 90 mm. de altura, con un tubo de descarga en el fondo de 1.765 mm. de diámetro y 12 mm. de longitud. La parte superior de todo el recipiente está construido de tal forma que puede llenarse hasta un nivel muy exacto y cuando se retira el corcho que tapa el tubo de escape, el aceite fluye hacia una pequeña copa receptora llenándola hasta un nivel indicado en el cuello de la misma. Ambos recipientes se ilustran en las figuras a y b.

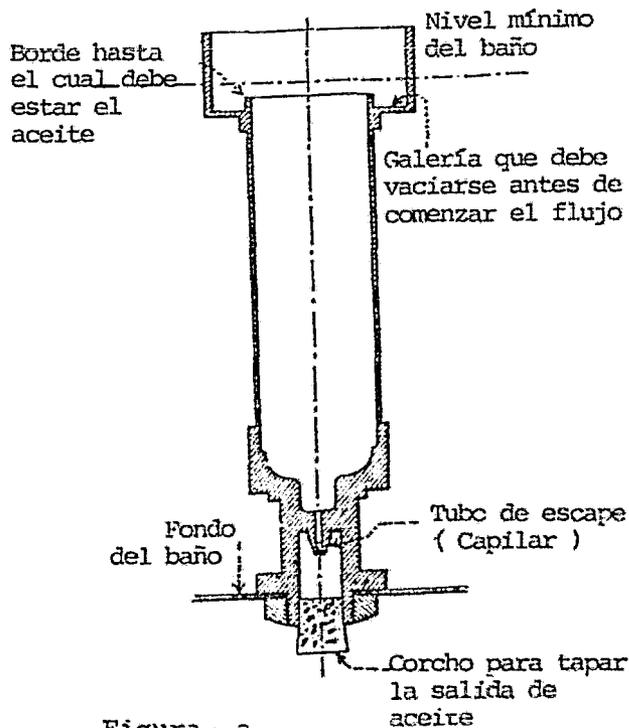


Figura - a

Como la viscosidad de los líquidos varía entre límites muy grandes, de acuerdo con los cambios de temperatura, es absolutamente esencial mantener durante la prueba de viscosidad un control exacto de la temperatura del aceite, por lo que el recipiente en forma de tubo que contiene ese producto (fig. a) se coloca dentro de un baño especial equipado con un agitador y otros accesorios para mantener una temperatura exacta y constante.

para efectuar la prueba se llena el tubo con el aceite que se va a ensayar, filtrándolo previamente con una malla muy fina para extraer todo vestigio de suciedad. Una vez que el aceite se calienta hasta la temperatura deseada para el ensayo, el exceso que queda encima del borde del tubo viscosímetro

se extrae con la pipeta, de manera que el tubo quede lleno exactamente hasta el borde; entonces se retira el corcho del fondo del tubo y con un cronómetro se registra el tiempo en segundos necesario para llenar la copa receptora hasta su marca de graduación (60 ml.) Fig. b

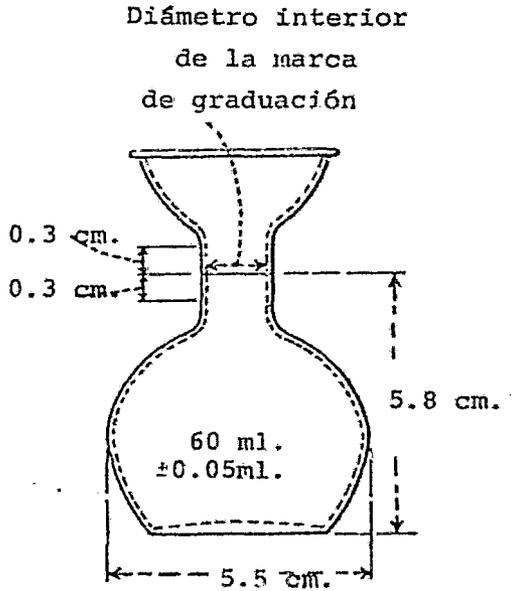


Figura b

Los factores principales que regulan la corriente de aceite a través del tubo de descarga del viscosímetro hacia la copa receptora, son tres:

Primero, la propia viscosidad o resistencia al movimiento del aceite.

Segundo, la presión o peso del aceite que le obliga a fluir por el tubo.

Tercero, las corrientes contrarias al curso descendente del aceite que se originan alrededor del orificio superior

del tubo de escape.

Al encontrar esta resistencia adicional, el aceite fluye con menor rapidez, por lo que sería erróneo atribuir todo ese tiempo en segundos a la viscosidad. Esta es la razón principal para que el viscosímetro Saybolt Furol sólo sea utilizado, para valores de viscosidad mayores de 30 segundos.

Ahora bien un valor calculado por el tiempo de la afluencia en segundos a través de un tubo capilar sin haber efectuado la corrección por las diferencias de gravedad específica, es lo que se llama Viscosidad Cinemática. En otras palabras, la Viscosidad Cinemática de un líquido es su viscosidad absoluta no corregida de acuerdo a su gravedad específica a la temperatura de prueba. Expresada matemáticamente, la relación es la siguiente:

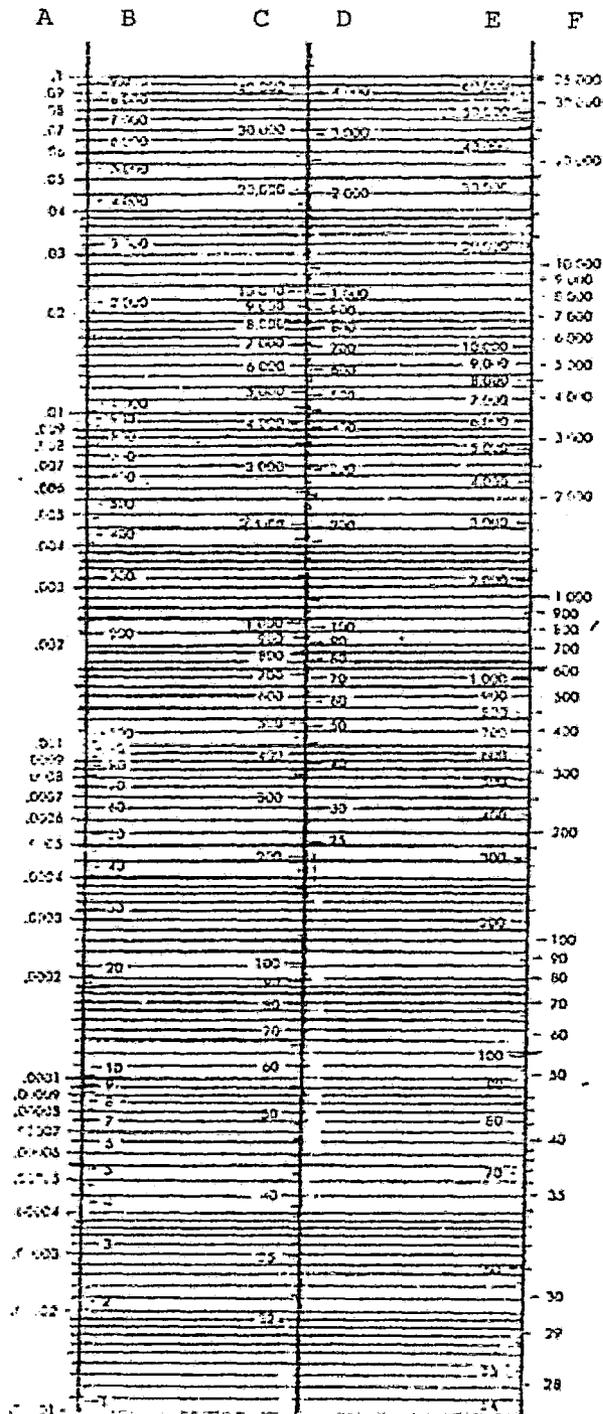
Viscosidad Absoluta = Viscosidad Cinemática X Gravedad Específica

Los valores de la escala cinemática han sido denominados " Centistokes " en honor de Físico Inglés, G.C. Stokes.

La gráfica # 1 relaciona la Viscosidad Absoluta con la Viscosidad Cinemática, de acuerdo a los datos de viscosidad que se tengan. También se puede utilizar la fórmula # 2 para hacer conversiones de viscosidad, tomando en cuenta la tabla A, de donde se obtienen los valores de las constantes de dicha fórmula

$$\text{Viscosidad Cinemática} = C \times t - \frac{B}{t} \text{-----} 2$$

En donde C y B son las constantes que se localizan en la tabla y t es el tiempo que tarda en fluir el aceite a través del orificio.



- A = Viscosidad Cinemática en ft²/seg.
- B = Viscosidad Cinemática en cm²/seg.
- C = Viscosidad en S.S.U.
- D = Viscosidad en S.S.F.
- E = Viscosidad Engler en segundos.
- F = Viscosidad Redwood en segundos.

Gráfica #1

VISCOSIMETRO	Intervalo de tiempo de flujo	Constantes	
		B	C
SAYBOLT UNIVERSAL	32 s - 100 s	1.95	.00226
	más de 100 s	1.35	.00220
SAYBOLT FUROL	25 s - 40 s	1.84	.02240
	más de 40 s	0.60	.02160
REDWOOD	34 s - 100 s	1.79	.00260
	más de 100 s	0.50	.00247
ENGLER	Cualquier tiempo	3.74	.00147

Tabla A

6.3.0.- EQUIPO UTILIZADO EN LA PRACTICA

1) Partes Principales.

- a) Tubo viscosímetro. Recipiente de bronce de 2.8 cm. de diámetro y 9.0 cm. de altura. En la parte inferior cuenta con un capilar interno de .176 cm. de diámetro, y de 1.2 cm. de longitud, cuya finalidad es permitir la descarga del aceite.
- b) Un baño cilíndrico de 13 cm. de diámetro y 15 cm. de altura, con un orificio en la parte inferior que sirve para sujetar por medio de una tuerca el tubo viscosímetro.
- c) Un enchaquetamiento para el baño, de acero inoxidable, con ventilación, soportado por tres columnas, con un diámetro de 20 cm. y una altura total de 32 cm.
- d) una resistencia eléctrica que proporciona calor al baño, con una potencia de 500 Watts.
- e) Cuatro termómetros graduados en grados fahrenheit con subdivisiones de 0.2 grados y con los siguientes intervalos:
2 de 94°F a 108°F
2 de 120°F a 134°F.
- f) Un disco de madera con un diámetro de 19 cm. y un orificio central de 7 cm. de diámetro, en donde se coloca la copa receptora.
- g) Una copa (matraz) receptora de aceite, aforada a 60 ml.

h) Un tapón de corcho o de hule que se coloca en el orificio por donde escurre el aceite hacia la copa.

i) Un cronómetro graduado en subdivisiones de 0.2 segundos o menos, ya que debe tener un margen de error mínimo de 0.1%, sobre todo cuando se hacen mediciones hasta de 60 minutos.

2) Equipo Auxiliar.

a) Colador para el aceite con malla de bronce # 100.

b) Pipeta volumétrica, con bulbo de hule para succionar.

c) Recipiente metálico para contener el aceite colado, y que también sirve para vaciar de mejor forma el aceite al tubo viscosímetro.

d) Compresor de aire para utilizarse en caso necesario (abatir temperatura).

6.4.0.- TECNICA DE OPERACION

- 1.- Instalar el aparato como se indica en la figura c, sobre una superficie horizontal

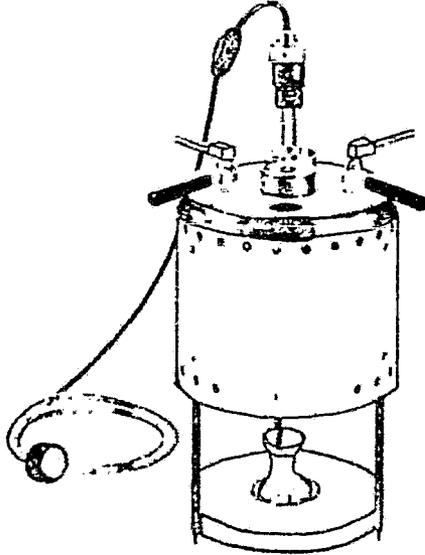


Figura - c

- 2.- Verificar:

- a) Qué el tubo viscosímetro (tubo para el aceite) y la copa de cristal se encuentren perfectamente limpios, para cada medición que se vaya a realizar.
- b) Qué el tapón inferior del tubo viscosímetro esté colocado correctamente.
- c) Qué la resistencia se encuentre en posición OFF (apagada), antes de introducirse al baño del viscosímetro.

- 3.- Llenar con agua el baño del viscosímetro hasta la parte inferior de la galería.

- 4.- Colar el aceite a emplearse, usando la rejilla correspondiente, y recibiendo en el recipiente metálico de asa.
- 5.- Llenar el tubo viscosímetro con el aceite a medir hasta el rebosadero de la galería
- 6.- Introducir un termómetro en le baño y otro en el aceite, este último servirá como agitador del mismo.
- 7.- Encender la resistencia de calentamiento e ir agitando, tanto el baño como el aceite.
- 8.- Esperar que el baño alcance la temperatura prefijada por el instructor, e ir agitando el aceite hasta que éste alcance la temperatura del baño, no debiendo existir entre ambos, una diferencia superior a 0.4°F .
- 9.- Cuando la temperatura prefijada se ha alcanzado en el baño, apagar la resistencia.
- 10.- Retirar, despacio el termómetro del baño y con la pipeta volumétrica, retirar el exceso de aceite de la galería.
- 11.- Destapar el tubo viscosímetro, retirando el tapón de un sólo tirón, firme y seguro, arrancando al mismo tiempo un cronómetro.
- 12.- Parar el cronómetro en el aforo de la copa.
- 13.- Repetir la operación tantas veces como temperaturas se hayan prefijado.

14.- Al terminar todas las determinaciones, limpiar el equipo con benzol.

6.5.0.- TRABAJO POSTERIOR A LA REALIZACION DE LA PRACTICA

- a) Determinar la viscosidad en S.S.F. del aceite grado 30, 50 y 90 a las temperaturas de: 94°F, 100°F, 122°F y 134°F.

- b) Convertir las viscosidades obtenidas de cada aceite a, Viscosidad Absoluta y Viscosidad Cinemática.

- c) Investigar viscosidades de cada aceite con sus respectivos fabricantes y compararlas con los resultados obtenidos.

6.6.0.----- CUESTIONARIO
VISCOSIDAD

NOMBRE DEL ALUMNO -----GRUPO-----

- 1.- Define qué es la Viscosidad
- 2.- ¿ Cómo varía la Viscosidad con la temperatura ?
- 3.- ¿ Qué diferencia existe entre un fluido Newtoniano Y un no Newtoniano. ?
- 4.- Cite 5 fluidos Newtoniános.
- 5.- Cite 5 fluidos no Newtonianos.
- 6.- Cite 5 materiales Pseudoplásticos.
- 7.- Escriba 5 unidades diferentes de Viscosidad.
- 8.- ¿Cuál es la diferencia entre la Viscosidad Absoluta y la Viscosidad Cinemática ?
- 9.- De los aceites utilizados en esta práctica ¿ qué grado tiene el que menos varía su Viscosidad con el incremento de la temperatura.
- 10.- Escribe el fundamento del Viscosímetro Saybolt Furol.
- 11.- ¿ Cuales son los errores más comunes que se pueden cometer al determinar la Viscosidad, con el Viscosímetro Saybolt Furol ?

NOMBRE DEL PROFESOR.-----

6.7.0.- DATOS OBTENIDOS CON EL VISCOSIMETRO " SAYBOLT FUROL "

Grupo -----

Fecha -----

Profesor -----

	Aceite Grado - 30			Aceite Grado - 50			Aceite Grado - 90		
	Temp. °F	Temp. °C	Tiempo t(s)	Temp. °F	Temp. °C	Tiempo t(s)	Temp. °F	Temp. °C	Tiempo t(s)
1									
2									
3									
4									

Diametro del capilar = 1.755mm.

Longitud del capilar = 12.0 mm.

Volumen total del matraz receptor = 70 ml.

Volumen medido = 60 ml.

OBSERVACIONES. _____

7.0.0.- CONCLUSIONES.

a) La práctica con el Viscosímetro Saybolt Furol, tal y como está diseñada en este trabajo, se deberá realizar en una sola sesión de tres horas de laboratorio, ya que las temperaturas deseadas deben ser controladas estrictamente, y por tal motivo el tiempo se prolonga.

b) Si la práctica con el Viscosímetro Saybolt Furol se incluye en la práctica general de viscosidad; entonces se deberá hacer una sola determinación, para cada uno de los tres aceites.

c) Si la práctica general de viscosidad se divide en dos sesiones de laboratorio; en una se deberá trabajar con los Viscosímetros Ostwald y Saybolt Furol.

Sólo que en el caso del Saybolt Furol, se tendrían que utilizar los tres aceites y determinar la viscosidad a dos temperaturas diferentes para cada uno.

Y en una segunda sesión se deberá trabajar con los Viscosímetros Hoesppler y Brookfield.

d) Aunque se pueden identificar los datos de viscosidad en las gráficas, los resultados algunas veces no son muy exactos, ya que al utilizar la vista para ubicar el valor de la variable, permite que se cometan errores, por lo tanto es más conveniente usar métodos matemáticos.

e) Considerando que la viscosidad es la propiedad física más importante de un aceite lubricante, es deseable que el alumno llegue a dominar perfectamente esta variable, ya que el dato que reportan los aceites en la tapa de su envase (SAE 30W, 40W, 90W 140W etc.) no deja ver claramente la descomposición que sufre un aceite por el incremento en la temperatura.

8.0.0.- BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Bird. Et. Al.
Transpor Phenomena
John Willey and Sons (1960)
- 2.- Purón de la Borbolla Alejandro
Principios de los procesos de Ingeniería
Ed. Limusa (1974)
- 3.- Hector Gerardo Mendez Fragoso
Diseño de una Práctica para Determinación de
Viscosidad, en un Viscosímetro Hoeppler.
Tesis Profesional (1977)
- 4.- S. Oka.
Principles de Rheometry
Rheology (Eirich) Vol. 3
Academic Press (1960)
- 5.- Manual de Control de Calidad ESSO
su Aplicación a Productos del Petróleo
- 6.- Weltman Ruth N.
Rheology Vol. 3 (Eirich)
Academic Press (1960)
- 7.- García Cazarín Fidel.
Conductividad Térmica en Líquidos
Tesis Profesional.
- 8.- Prácticas de Laboratorio de Momentum y Calor
Antonio Valiente y Colaboradores del Laboratorio
de Ingeniería Química. (1978)

- 9.- J. R. Welty
Fundamentals Of. Momentum Heat And Mass Transfer
Willey International (1969)

- 10.- Castillejos Salazar Adela.
Recapitulación de Métodos para la Estimación
de Viscosidad.
Tesis Profesional. UNAM. (1974)

- 11.- Donald Q. Kern.
Procesos de Transferencia de Calor
7a.Edición C.E.C.S.A. (1973)

- 12.- García Rejón Gutierrez Andrés A.
Teoría Diseño y Determinación de Factores de
Corrección de un Viscosímetro Capilar.
Tesis Profesional. UNAM. (1974)

- 13.- Virgil B. Guthrie
Petroleum Products Handbook
1a. Edición

- 14.- J. H. Perry
Chemical Enginners Handbook
5th Edition
Mc Graw Hill. (1973)

- 15.- Pruebas de Laboratorio en Aceites Lubricantes.
Mobil Oil de México S.A.