



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

REVISIÓN DE TÉCNICAS ANALÍTICAS
PARA EL ANÁLISIS DE VISCOSIDAD

TRABAJO ESCRITO VÍA EDUCACIÓN CONTINUA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

VÍCTOR AVENDAÑO LÓPEZ



MÉXICO, D. F.

2005



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

m. 345587



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.

Jurado asignado:

Presidente	Prof. María de los Ángeles Olvera Treviño
Vocal	Prof. Adolfo García Osuna
Secretario	Prof. Filiberto Rivera Torres
1 ^{er} suplente	Prof. María Cecilia Delgado Briseño
2 ^o suplente	Prof. Sara Elvia Meza Galindo

Sitio donde se desarrollo el tema:

Tulancingo # 215

La loma de San Miguel Vindhó

Tula de Allende, Hgo.

C. P. 42840

Asesor del tema:

Q. Adolfo García Osuna

Sustentante:

Víctor Avendaño López

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y padre por su apoyo.

A todos mis hermanos por su apoyo y comprensión que cada uno me ha brindado.

A mis sobrinos por ser un estímulo.

A cada una de las instituciones educativas por ofrecerme la posibilidad de aprender, y en especial a la Universidad Nacional Autónoma de México.

Víctor Avendaño López

Índice

Introducción	1
1. Información general sobre el tema.	
1.1. Definiciones.	2
1.2. Técnicas de medición de la viscosidad.	
1.2.1. Técnica por viscosimetría capilar.	5
1.2.2. Técnica por viscosimetría de cilindros concéntricos.	6
1.2.3. Técnica por viscosimetría de plato y cono.	9
1.3. Normas y métodos estandarizados.	11
2. Discusión.	15
3. Conclusión.	16
4. Bibliografía.	18
Apéndice 1.	20

Introducción.

Debido al uso de fluidos en los procesos de producción y aplicación de productos, es necesario conocer la viscosidad de estos fluidos, para saber como los podemos transferir durante estos procesos.

La propiedad física que caracteriza la resistencia al flujo de fluidos es la viscosidad.

En la industria de las emulsiones asfálticas por ejemplo, se necesita medir la viscosidad de la siguiente manera:

- Asfalto puro. Viscosidad rotacional, nos permite saber la energía necesaria para transferir de un punto a otro el asfalto durante su recepción y proceso.
- Emulsión asfáltica. Viscosidad Saybolt, nos proporciona la viscosidad del producto, para así saber si está con la fluidez adecuada para su uso y aplicación.

Por lo tanto para medir la viscosidad del asfalto y las emulsiones primero debemos contar con un método apropiado para el propósito que se requiere, ya que tenemos el método hay que validar los resultados obtenidos con él. Ésta validación del método será de acuerdo con los criterios que el usuario determine adecuados para cumplir con los requisitos del producto y/o el cliente.

Para esto se debe medir la viscosidad del fluido que se va a desplazar. En este trabajo vamos a revisar el principio y la técnica para medir viscosidad. También se mencionarán algunos métodos estándar y normas relacionadas con la medición de viscosidad.

1. Información general sobre el tema.

1.1. Definiciones.

Durante años se ha necesitado mover fluidos desde un punto a otro. En el caso de fluidos en estado líquido se hace utilizando bombas, para poder seleccionar entre una variedad de equipos es necesario conocer el comportamiento del fluido que se ha de desplazar.

En flujo de fluidos una característica importante de los fluidos es la viscosidad, la cuál nos proporciona información de la resistencia a fluir de un fluido.¹

Consideremos un fluido contenido entre dos grandes láminas planas y paralelas de área A , separadas entre sí por una distancia muy pequeña Y (ver figura 1). Supongamos que el sistema está inicialmente en reposo ($t=0$), y cuando $t \neq 0$, la lámina inferior se pone en movimiento en la dirección del eje $+x$, con una velocidad constante V . A medida que transcurre el tiempo el fluido gana cantidad de movimiento y, finalmente se establece el perfil de velocidad en régimen estacionario, que se indica en la figura 1; aquí se muestra un corte longitudinal de un tubo, dónde $y = Y$ es la pared del tubo y, $y = 0$ es el centro del tubo. Una vez alcanzado dicho estado estacionario de movimiento, es preciso aplicar una fuerza constante F para conservar el movimiento de la lámina inferior. Esta fuerza viene dada por la siguiente expresión (suponiendo flujo laminar):

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{V}{Y} \quad (\text{ecuación 1})$$

Es decir que la fuerza por unidad de área es proporcional a la disminución de la velocidad con la distancia Y . La constante de proporcionalidad μ se denomina *viscosidad* del fluido.

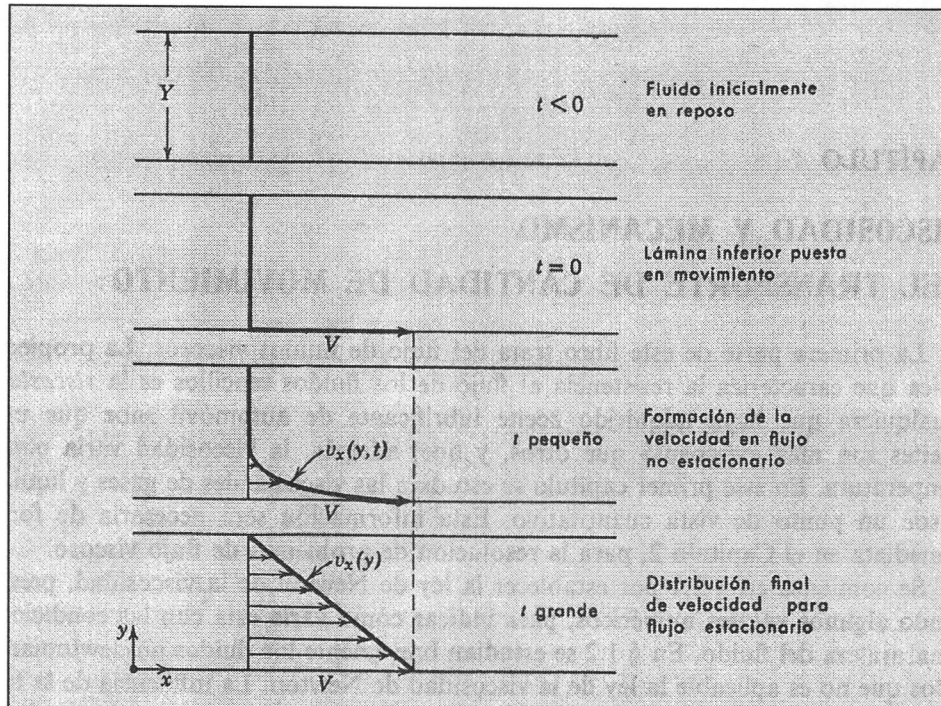


Figura 1. Formación del perfil de velocidad en estado estacionario para un fluido contenido entre dos láminas.

Para la posterior utilización de la ecuación 1 es conveniente expresarla en una forma más explícita. El esfuerzo cortante que se ejerce en la dirección de x sobre la superficie de un fluido, situada a una distancia constante y , por el fluido existente en la región es menor, se designa por τ_{yx} , y la componente de x del vector de velocidad del fluido, por v_x . Téngase en cuenta que v_x no es igual a $\partial v / \partial x$; en este caso se utilizan subíndices para diferenciar los componentes de

la velocidad. De acuerdo con esta simbología la ecuación 1 queda de la siguiente forma:

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy} \quad (\text{ecuación 2})$$

Es decir que la fuerza de corte por unidad de área es proporcional al gradiente negativo de la velocidad local, ésta es la *ley de Newton de la viscosidad*, y los fluidos que la cumplen se denominan *fluidos newtonianos*. Todos los gases y una parte de los líquidos se comportan de acuerdo con la ecuación 2.

Algunas ocasiones se utiliza la viscosidad del fluido dividida por su densidad, con este fin se define ν que es la denominada *viscosidad cinemática*.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{ecuación 3})$$

Ahora vamos a revisar las unidades de la viscosidad, utilizando la ecuación 1, obtenemos lo siguiente:

$$\mu = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{dv_x}{dy}} [=] \frac{\frac{N}{m^2}}{m \cdot s^{-1}} [=] \frac{N}{m^2} \cdot s \quad (\text{ecuación 4})$$

donde $N/m^2 = Pa$ (Pascal), por lo tanto las unidades de la viscosidad son $Pa \cdot s$.

Es importante mencionar que la mayor parte de los datos de viscosidad, en la industria, están reportados en *centipoise (cP)*, $1cP = 1mPa \cdot s$. Para el caso de la

viscosidad cinemática la unidad utilizada es el Stoke (en Sistema Internacional $m^2 \cdot s^{-1}$).

1.2. Técnicas de medición de la viscosidad.

1.2.1. Técnica por viscosimetría capilar.^{1,2}

Es el instrumento que nos permite medir la viscosidad, al medir el tiempo en segundos requeridos para que una cantidad determinada de fluido pase por un tubo capilar de dimensiones conocidas (específicas) a una temperatura entre 20 y 100°C. Este método es el apropiado para aceites de alta viscosidad tales como los usados en engranajes y para combustibles pesados.

El procedimiento de trabajo para la medición por esta técnica consta de los siguientes pasos:

- La muestra a analizar, se introduce en el tubo, en la cantidad suficiente para la prueba del fluido.
- Se lleva a un sistema temperatura constante entre 20 y 100°C.
- Se comienza la descarga del fluido, se inicia la medición del tiempo que tardan en fluir los 60mL (cm^3), del fluido. Ver figura 2.
- En el momento en que se ha llenado la copa hasta el aforo se detiene la medición del tiempo, y éste se registra como la viscosidad en segundos.

En el uso de esta técnica se utilizan dos sistemas de medición; uno la combinación de una copa Saybolt con un orificio universal y otro con copa Saybolt y orificio Furol. La viscosidad se reporta en segundos Saybolt Universal o en segundos Saybolt Furol respectivamente.

El tiempo que se mide nos proporciona información de la resistencia a fluir de un fluido, en condiciones específicas, de acuerdo con el análisis dimensional de la viscosidad (ver ecuación 4), pues a mayor tiempo más viscoso es el fluido.



Figura 2. Viscosímetro Saybolt.

1.2.2. Técnica por viscosimetría de cilindros concéntricos (rotacional).³

Consta de dos cilindros concéntricos, el cilindro interno gira, mientras el exterior permanece estacionario, la viscosidad se determina midiendo la velocidad de rotación del cilindro interior por efecto de la aplicación de un esfuerzo conocido. Se puede medir la viscosidad de asfalto, pinturas, lubricantes, suspensiones, entre otros fluidos.

El procedimiento de trabajo para la medición por esta técnica consta de los siguientes pasos:

- Se homogeniza la muestra a la cual se le va a medir la viscosidad.
- Se coloca la muestra en el contenedor (cilindro exterior), hasta el nivel indicado en el manual del equipo. Ver figura 3.

- Se introduce el cilindro interior, evitando quede desalineado con el cilindro exterior.
- Se espera que la temperatura esté estabilizada, en el valor que se necesita para la medición.
- Se hace girar el cilindro interior a una velocidad angular constante y conocida.
- Se espera que la lectura del esfuerzo aplicado por el equipo, para mantener en movimiento el cilindro interior a velocidad constante, se estabilice, se registra la lectura.

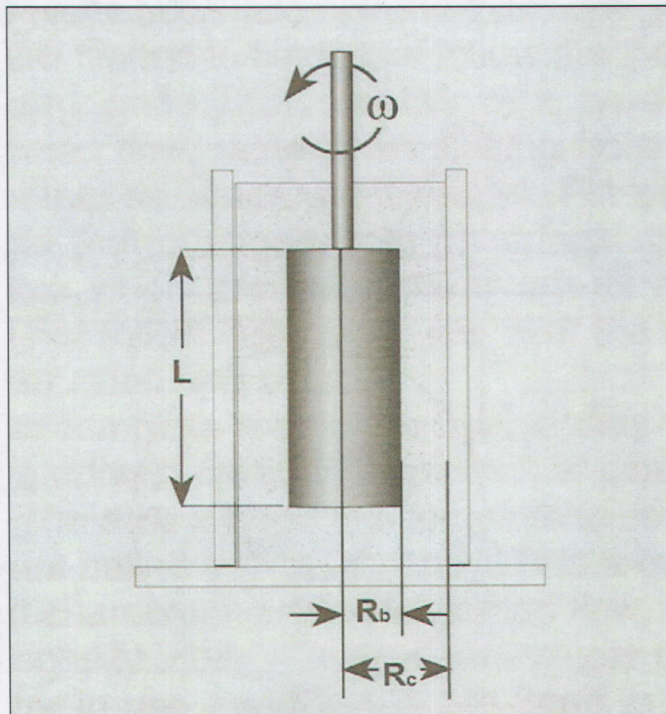


Figura 3. Esquema del viscosímetro de cilindros concéntricos.

La rapidez de corte, el esfuerzo de corte y la viscosidad se obtienen con las ecuaciones 5, 6 y 7.

$$\dot{\gamma} = \left(\frac{2R_c^2}{R_c^2 - R_b^2} \right) \omega \quad (\text{ecuación 5})$$

$$\tau = \frac{M}{2\pi R_b^2 L} \quad (\text{ecuación 6})$$

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (\text{ecuación 7})$$

Los parámetros son:

$\dot{\gamma}$ = rapidez de corte [=] s^{-1}

τ = esfuerzo de corte [=] $\frac{g \cdot cm}{s^2 \cdot cm^2}$

μ = viscosidad [=] P

ω = velocidad angular, $\omega = \frac{2\pi}{60} N$

N = RPM

R_b = radio cilindro interior (giratorio) [=] cm

R_c = radio cilindro exterior (contenedor) [=] cm

L = longitud efectiva del cilindro interior [=] cm

M = torca provista por el instrumento [=] $\frac{g \cdot cm}{s^2} \cdot cm$

1.2.3. Técnica por viscosimetría de plato y cono (oscilatorio).³

Consta esencialmente de una lámina plana estacionaria, sobre la que se coloca el líquido o pasta a ensayar, y un cono invertido, que se introduce en la muestra hasta que la punta toca la lámina. El cono se hace girar a una velocidad angular conocida, y la viscosidad se determina midiendo el esfuerzo que se necesita para hacer girar el cono. Se utiliza en polímeros, asfaltos modificados entre otros.

El procedimiento de trabajo para la medición por esta técnica consta de los siguientes pasos:

- Se hace homogénea la muestra por analizar.
- Se coloca sobre el plato, la cantidad apropiada de fluido.
- Se coloca el cono encima de la muestra, hasta que el mismo haga contacto con el plato (este contacto debe ser mínimo). Ver figura 4.
- Se espera que el sistema se encuentre en las condiciones de temperatura deseadas para realizar la medición.
- Se pone en funcionamiento el cono, con una velocidad angular conocida.
- Tomar la lectura del esfuerzo utilizado para hacer girar el cono, de esta manera podemos conocer el valor de la viscosidad de nuestro fluido.

La rapidez de corte, el esfuerzo de corte y la viscosidad se obtienen con las ecuaciones 8, 9 y 10.

$$\dot{\gamma} = \frac{\omega}{\text{sen}\theta} \quad (\text{ecuación 8})$$

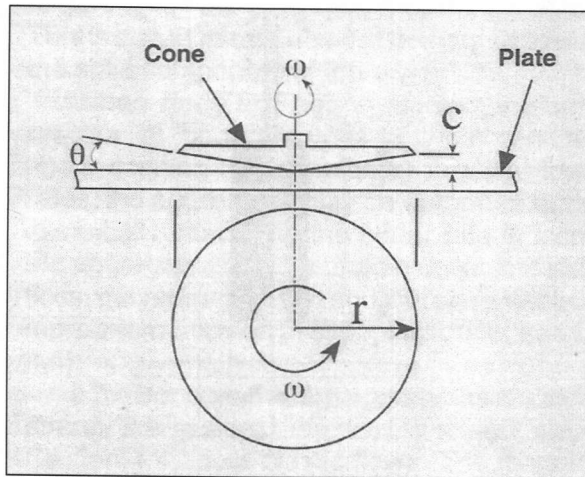


Figura 4. Esquema del viscosímetro de plato y cono.

$$\tau = \frac{M}{\frac{2}{3} \pi r^3} \quad (\text{ecuación 9})$$

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (\text{ecuación 10})$$

Los parámetros son:

$$\dot{\gamma} = \text{rapidez de corte} [=] s^{-1}$$

$$\tau = \text{esfuerzo de corte} [=] \frac{g \cdot cm}{s^2 \cdot cm^2}$$

$$\mu = \text{viscosidad} [=] P$$

$$\omega = \text{velocidad angular,} \quad \omega = \frac{2\pi}{60} N$$

$$\theta = \text{ángulo del cono} [=]^\circ$$

$r = \text{radio del cono} [=] \text{cm}$

$M = \text{torca provista por el instrumento} [=] \frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{s}^2} \cdot \text{cm}$

1.3. Normas y Métodos Estandarizados.

En la medición de la viscosidad a nivel mundial se llega a aplicar alguna de las técnicas mencionadas anteriormente, y ésta puede tener variaciones en la manera de presentar los resultados, en las geometrías utilizadas, los fluidos que pueden ser analizados por cada una de ellas y características metrológicas.

En la presentación de resultados, existen equipos que dan el esfuerzo aplicado (N/m^2), otros el valor de la viscosidad en Poise o en Stoke.

Se utilizan geometrías del tipo de, orificio capilar, relación de radios de cilindros concéntricos y ángulo del cono.

Se toma en cuenta de los fluidos a analizar, el comportamiento viscoso de los fluidos y temperaturas de interés.

En cuanto a características metrológicas se toma en cuenta, el intervalo de medición, incertidumbre y resolución.

En México las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son las que se deben aplicar, pero si no existe alguna NOM las Normas Mexicanas (NMX) pueden ser utilizadas, aunque estas últimas no son de carácter obligatorio.⁴ Es importante mencionar que, de no existir NOM o NMX, se puede recurrir a métodos normalizados o estándar de reconocimiento internacional; y en caso de usar un método ya existente o nuevo, se debe validar el mismo, para tener confiabilidad de

los resultados obtenidos. También se ha de asegurar la trazabilidad de las mediciones, pues esto genera credibilidad de las mediciones realizadas.

Para la validación de un método se requiere cuidar los siguientes aspectos: verificar las operaciones, equipo, condiciones y procedimientos.⁵

Para lograr trazabilidad en las mediciones se caracteriza por: una cadena ininterrumpida de comparaciones, incertidumbre de la medición, documentación, competencia, referencia al Sistema Internacional de Unidades (SI) y recalibraciones.⁶

México no cuenta con NOM's y/o NMX's para el análisis de viscosidad por lo que en caso de querer realizar éste se tiene que recurrir a métodos internacionales como ya se mencionó,^{7,8} a nivel mundial los métodos más aplicados (incluyendo México) son los planteados por la "American Society Testing and Materials" (ASTM por sus siglas en inglés). En éstas se aplican las diferentes técnicas mencionadas en el punto 1.2, se da un listado de estos métodos en la tabla 1.

Tabla 1. Métodos estándar ASTM⁹

Clave	Nombre en inglés	Traducción	Principio
C965-96 (2002)	Practice for measuring viscosity of glass above the softening point.	Práctica para medir viscosidad de vidrio cerca del punto de ablandamiento.	Cilindros concéntricos
C1276-94	Standard test method for measuring the viscosity of mold powders above their melting point using rotational viscometer.	Método de prueba estándar para medir la viscosidad de polvos para molde arriba de su punto de fusión usando viscosímetro rotacional.	Cilindros concéntricos

Clave	Nombre en inglés	Traducción	Principio
D88-94 (1999)	Standard test method for Saybolt viscosity.	Método de prueba estándar para viscosidad Saybolt.	Tubo capilar
D562-01	Standard test method for consistency of paints measuring Krebs unit (KU) viscosity using the Stomer-type viscometer.	Método de prueba estándar para consistencia de pinturas midiendo viscosidad en unidades Krebs (KU) usando el viscosímetro tipo-Stomer.	Cilindros concéntricos
D789-04	Test methods for determination of relative viscosity, melting point and moisture content of polyamide (PA).	Métodos de prueba para la determinación de viscosidad relativa, punto de fusión y contenido de humedad de poliamida (PA).	Cilindros concéntricos
D1084-97 (2005)	Test methods for viscosity of adhesives.	Métodos de prueba para viscosidad de adhesivos.	Cilindros concéntricos
D1417-03a	Methods of testing rubber latices-synthetic.	Métodos de prueba de hule con entrecruzamiento-sintético.	Cilindros concéntricos
D1824-95 (2002)	Test method for apparent viscosity of plastisols and organosols at low shear rates by Brookfield viscometer.	Método de prueba para viscosidad aparente de plastisoles y organosoles a baja rapidez de corte por viscosímetro Brookfield.	Cilindros concéntricos
D2196-99	Test methods rheological properties on non-newtonian materials by rotational (Brookfield) viscometer.	Métodos de prueba para propiedades reológicas en materiales no-newtonianos por viscosímetro rotacional (Brookfield).	Cilindros concéntricos
D2556-93a (1997)	Standard test method for apparent viscosity of adhesives having shear rate dependent flow properties.	Método de prueba estándar para viscosidad aparente de adhesivos teniendo dependencia entre la rapidez de corte y las propiedades de flujo.	Cilindros concéntricos

Clave	Nombre en inglés	Traducción	Principio
D2983-04a	Standard test method for low-temperature viscosity of lubricants measured by Brookfield viscometer.	Método de prueba estándar para viscosidad a baja temperatura de lubricantes medida por viscosímetro Brookfield.	Cilindros concéntricos
D3236-88 (2004)	Test method for apparent viscosity of hot melt adhesives and coating materials.	Método de prueba para viscosidad aparente de adhesivos de disolución en caliente y materiales de cubrimiento.	Cilindros concéntricos
D4016-02	Standard test method for viscosity of chemical grouts by Brookfield viscometer (laboratory method).	Método de prueba estándar para viscosidad de suspensiones químicas por viscosímetro Brookfield (método de laboratorio).	Cilindros concéntricos
D4287-00	Standard test method for high-shear viscosity using a cone/plate viscometer.	Método de prueba estándar para viscosidad con alto-corte usando el viscosímetro de cono/plato.	Cono/plato
D4402-87	Standard test method for viscosity determinations of asphalt at elevated temperatures using a rotational viscometer.	Método de prueba estándar para determinación de viscosidad de asfaltos a temperaturas elevadas usando un viscosímetro rotacional.	Cilindros concéntricos
D4889-04	Standard test methods for polyurethane raw materials: determination of viscosity of crude or modified isocyanates.	Método de prueba estándar para materias primas de poliuretano: determinación de viscosidad de crudo o isocianatos modificados.	Cilindros concéntricos

Clave	Nombre en inglés	Traducción	Principio
D5018-89 (2004)	Standard test method for shear viscosity of coal-tar and petroleum pitches.	Método de prueba estándar para viscosidad de corte de alquitrán de hulla y resinas de petróleo.	Cilindros concéntricos
D5133-05	Standard test method for low temperature, low shear rate, viscosity/temperature dependence of lubricating oils using a temperature-scanning technique.	Método de prueba estándar para temperatura baja, rapidez de corte baja, dependencia viscosidad-temperatura de aceites de lubricación usando una técnica de barrido de temperatura.	Cilindros concéntricos

2. Discusión.

Como ya se mencionó no se tienen métodos de prueba relacionados con la viscosidad en la Dirección General de Normas (DGN) ni en el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC), lo que obliga a utilizar métodos internacionales o ha desarrollar métodos que se ajusten a las necesidades de la industria; lo anterior hace más importante el realizar la validación y la trazabilidad de las mediciones de viscosidad que se hagan con estas metodologías.

De la tabla 1 se puede observar que existen varios métodos para medir viscosidad, de acuerdo con el fluido que se va a medir, su temperatura, la rapidez de corte, el equipo que se utiliza (ver apéndice 1), las características metrológicas de los equipos y de los métodos.

Lo anterior indica que es de suma importancia conocer el fluido que se va a medir y lo relevante de la medición que se realizará.

Los métodos de cilindros concéntricos son de mayor aplicación en la industria por su amplio campo de aplicación, ya que puede usarse en una gran variedad de fluidos, desde líquidos puros hasta mezclas. Mientras que en los de tubo capilar son recomendables para líquidos puros y/o de baja y media viscosidad y, los de cono y plato se usan en mezclas que presentan viscosidad alta (semisólidos).

En la actualidad no existen métodos de prueba específicos, para cada fluido que se ocupa en la industria, pero con los ya existentes se pueden desarrollar métodos adecuados para los propósitos particulares.

También debe existir colaboración de los fabricantes de los equipos de medición de viscosidad, del Centro Nacional de Metrología (CENAM), de la Entidad Mexicana de Acreditación (ema), los centros de investigación y los industriales; esto permitirá el crecimiento científico y tecnológico de México.

Hay que recordar que la validación de los métodos de prueba o ensayo, permite tener confiabilidad en nuestras mediciones. Así como la trazabilidad a patrones, nacionales o internacionales, de las mediciones hechas en los laboratorios; son requerimientos necesarios para lograr mediciones altamente confiables.

3. Conclusión.

Como se ha discutido anteriormente el principio en el que se fundamenta la medición de la viscosidad es la consideración de tener un fluido con flujo laminar estacionario. Y éste sea contenido a través de un capilar, entre dos cilindros concéntricos o bien entre dos láminas de separación muy pequeña de acuerdo

con los modelos que se presentaron en la sección 1.2., de aquí que se puede concluir que la medición de la viscosidad se realiza de tal manera que el resultado obtenido sea útil para los fines que se desean, tomando en cuenta el fluido que vamos a analizar, condiciones en las que va a ser procesado, y las características metrológicas de nuestras mediciones.

Siempre que se vaya a utilizar un método de medición nuevo o ya existente se debe validar los resultados obtenidos con este método.

La trazabilidad de las mediciones se debe asegurar, para darle confianza al usuario de las mediciones.

El tomar en consideración todos estos factores permite ofrecer mejores productos y servicios en el mercado. Así como el desarrollo científico y tecnológico de México.

Siempre que nos sea posible debemos ser creadores no solo usuarios.

4. Bibliografía.

1. R. B. Bird, W. E. Stewart and E. N. Lightfoot

Fenómenos de transporte

Ediciones Repla, S. A.

México D. F. (1987).

2. <http://www.chevrontexcoursa.com/Spanish/glossary/vhtml>

Glossary

Glosario de términos.

3. Brookfield Engineering Laboratories, Inc.

More solutions to sticky problems

A guide to getting more from your brookfield viscometer

U. S. A. (2004).

4. Secretaría de Economía.

Ley Federal sobre metrología y normalización.

Título tercero. Capítulo III. De la observancia de las normas; artículos 52 al 54.

Diario Oficial de la Federación, 01 de julio de 2002.

5. Benítez Chávez, Roberto

Una vez más: trazabilidad

Simposio de metrología 2004, CENAM

6. OIML R 69

Glass capillary viscometers for the measurement of kinematic viscosity –
verification method

International Organization of Legal Metrology

1985

7. http://www.imnc.org.mx/espanol/catalogo_normas/catalogo.htm#laboratrios

Catálogo de normas.

Catálogo no. 2005-04-04

8. <http://www.economia.gob.mx/?=144>

Secretaría de Economía – Catálogo de normas.

9. <http://www.astm.org/cgi-bin/SoftCart.exe/index.shtml?E+mystore>

ASTM Internacional – Standard Worldwide

Catálogo de normas.

Apéndice 1



Algunos viscosímetros comerciales:

- a) Viscosímetro Cannon-Ubbelohde
- b) Viscosímetro Ubbelohde
- c) Viscosímetro Cannon-Fenske
- d) Viscosímetro Saybolt
- e) Viscosímetro de cilindros concéntricos
- f) Viscosímetro de plato y cono