

TRAZABILIDAD DE LAS MEDICIONES DE VISCOSIDAD

Sonia Trujillo Juárez, Raul Molina Mercado
 Centro Nacional de Metrología
 km 4,5 carr. a los Cués, Mpio del Marqués, Qro
 (442) 211-05-00, sonia.trujillo@cenam.mx, rmolina@cenam.mx

Resumen: A nivel industrial, existe una gran diversidad de equipos con diferentes diseños que se utilizan para medir viscosidad. Por lo tanto, los resultados que se obtienen varían dependiendo de las unidades en que se reporta la viscosidad, que pueden ser: metro cuadrado por segundo (m^2/s), pascal segundo (Pa·s), poises (P), estokes (St), segundos (s), segundos Saybolt (SS), Unidades Krebs (KU), entre otras; correspondiendo solo las dos primeras a unidades del Sistema Internacional, SI. Internacionalmente, los patrones primarios de viscosidad se definen usando el valor de la viscosidad del agua bidestilada a 20 °C y presión atmosférica, a partir de lo cual se materializa la escala de viscosidad que consiste en un juego de 20 viscosímetros capilares de vidrio tipo Ubbelohde, con intervalos de medición que se traslapan. Los valores de la viscosidad del agua son aceptados internacionalmente como la base metroológica de la viscosimetría, según se declara en el Reporte técnico ISO TR 3666 [1]. Para tener trazabilidad a la unidad de viscosidad, los viscosímetros de trabajo que miden viscosidad cinemática y viscosidad dinámica se calibran con materiales de referencia certificados. Los viscosímetros que miden viscosidad dinámica, además tienen trazabilidad al patrón nacional de densidad, por medio del picnómetro o densímetro con el que se determina la densidad de los materiales de referencia certificados.

1. INTRODUCCIÓN

Las mediciones de viscosidad son importantes en la industria para apoyar los cálculos de flujo de líquidos, en la determinación de coeficientes de transferencia de calor y en el control de los procesos químicos.

El valor de viscosidad es un punto de referencia en la formulación de muchos materiales, que facilita la reproducción de la consistencia de un lote a otro. La viscosidad se utiliza como un indicador cuantitativo de calidad en la industria de los aceites, la petroquímica, de los alimentos, la farmacéutica, la textil, de las pinturas, entre otras.

A nivel industrial, existe un número indefinido de equipos, con diferentes diseños, que se utilizan para medir viscosidad. Por lo tanto, los resultados que se obtienen varían dependiendo de las unidades en que se reporta la viscosidad, que pueden ser: metro cuadrado por segundo (m^2/s), pascal segundo (Pa·s), poises (P), estokes (St), segundos (s), segundos Saybolt (SS), Unidades Krebs (KU), entre otras; correspondiendo las dos primeras a unidades del Sistema Internacional, SI

Para comparar las mediciones de viscosidad, es necesario relacionar los resultados de medición con las unidades de viscosidad del SI.

2. VISCOSIDAD DINÁMICA Y VISCOSIDAD CINEMÁTICA

La unidad de la viscosidad dinámica η , es una unidad derivada que se expresa en las unidades base de longitud, masa y tiempo:

$$1\text{Pa}\cdot\text{s} = 1\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\cdot\text{s} = 1\frac{\text{kg}\cdot\text{m}}{\text{m}^2\cdot\text{s}^2}\cdot\text{s} = 1\frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$$

La unidad de la viscosidad cinemática ν , se expresa en las unidades básicas de longitud y tiempo:

$$\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

En las mediciones de viscosidad cinemática, la gravedad es la causa que hace fluir al líquido dentro de un capilar (ejemplo de equipos que miden viscosidad cinemática son los viscosímetros capilares, copas de flujo, etc.); mientras que en las mediciones de viscosidad dinámica se aplica una fuerza externa para inducir el movimiento del fluido (por ejemplo: viscosímetros rotacionales, viscosímetros de placa paralelas, cilindros concéntricos, etc).

Por lo tanto, todos los viscosímetros disponibles comercialmente obedecen a cualquiera de los dos

principios, es decir, que miden viscosidad cinemática o viscosidad dinámica.

La viscosidad dinámica y la viscosidad cinemática se relacionan por medio de la densidad ρ , de acuerdo a la siguiente expresión:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (1)$$

3. VISCOSIDAD DEL AGUA COMO BASE METROLÓGICA DE LA VISCOSIMETRÍA

Por razones prácticas, la viscosidad cinemática se usa en los patrones nacionales de la unidad de viscosidad

A nivel internacional, los patrones primarios de viscosidad se definen usando el valor de la viscosidad del agua bidestilada a 20 °C y presión atmosférica, a partir de lo cual se materializa la escala de viscosidad que consiste en un juego de 20 viscosímetros capilares de vidrio tipo Ubbelohde, con intervalos de medición que se traslapan.

Los valores de la viscosidad del agua son aceptados internacionalmente como la base metrológica de la viscosimetría. Según se declara en el Reporte técnico ISO TR 3666 el valor de referencia actual [1] para la viscosidad cinemática es:

$$\nu = 1,003\,4 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Usando el valor de $\rho_{w20} = 0,998\,20 \text{ g/cm}^3$ para la densidad del agua a 20 °C [2,3], el valor de la viscosidad dinámica del agua es el siguiente:

$$\eta = 1,0016 \text{ mPa}\cdot\text{s}$$

Considerándose una incertidumbre de 0,17 % para un nivel de confianza de 95 % para ambos valores [1]

La determinación de la viscosidad del agua pura utilizando métodos fundamentales implica una conexión con la realización de las unidades base del SI.

4. PATRONES DE VISCOSIDAD

El principio de medición de los viscosímetros capilares esta basado en la ecuación de Hagen-Poiseuille [4]:

$$\nu = \frac{\pi R^2 \cdot g \cdot h_m \cdot t}{8 \cdot V \cdot L} \quad (2)$$

donde:

V es el volumen del líquido que fluye durante el tiempo de flujo t a través de un capilar de longitud L y radio R bajo la influencia de la aceleración de la gravedad g . La altura promedio de la columna del líquido en el viscosímetro durante la medición se denota como h_m . Ver figura 1

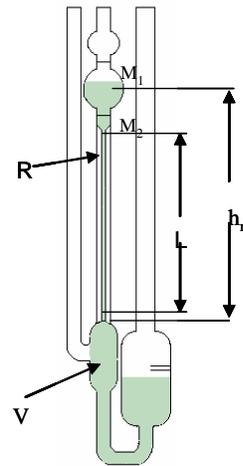


Figura 1. Viscosímetro capilar tipo Ubbelohde

Todas las constantes de la ecuación (2) se pueden combinar en la constante C del viscosímetro:

$$\nu = C \cdot t \quad (3)$$

La constante viscosimétrica C , no se puede calcular con la exactitud necesaria a partir de las dimensiones físicas del viscosímetro, por lo que se determina usando materiales de referencia certificados en su valor de viscosidad. La ecuación (2) es válida para tiempos de flujo suficientemente largos o donde el efecto de la corrección de la energía cinética es despreciable.

La calibración de los viscosímetros capilares consiste en determinar la constante C [mm^2/s^2], calculada a partir de los resultados de medición de los tiempos de flujo del agua.

En la práctica, el intervalo de medición de viscosidad es bastante amplio para ser cubierto con un solo capilar. Por ello, los centros metrológicos

utilizan un juego de capilares con intervalos de medición que se traslapan para materializar la escala de viscosidad. Estos viscosímetros, se calibran utilizando la técnica de traslape o "step-up".

Durante la aplicación de la técnica de traslape, el primer viscosímetro se calibra con agua destilada y se usa para determinar la viscosidad de un segundo líquido de referencia que es entonces usado para calibrar el segundo viscosímetro. El procedimiento se repite hasta cubrir el alcance de viscosidad deseado. Ver figuras 2 y 3

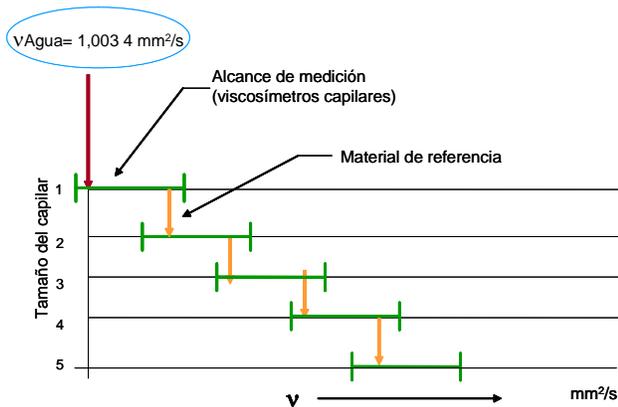


Figura 2. Materialización de la escala de viscosidad - Técnica de traslape o "step-up"

La incertidumbre de los valores de viscosidad se incrementan conforme se alejan del valor de la viscosidad del agua, debido a que el primer viscosímetro hereda su incertidumbre al valor de viscosidad del líquido de referencia y este su vez al segundo viscosímetro, y así sucesivamente, tal como se observa en las incertidumbres de la tabla 1.

5. TRAZABILIDAD

Para tener trazabilidad a la unidad de viscosidad, los viscosímetros de trabajo que miden viscosidad cinemática y viscosidad dinámica, independientemente de su diseño, se calibran con materiales de referencia certificados. Los viscosímetros que miden viscosidad dinámica, además tienen trazabilidad al patrón nacional de densidad, a través del densímetro con el que se determina la densidad de los materiales de referencia certificados. Ver figura 4.

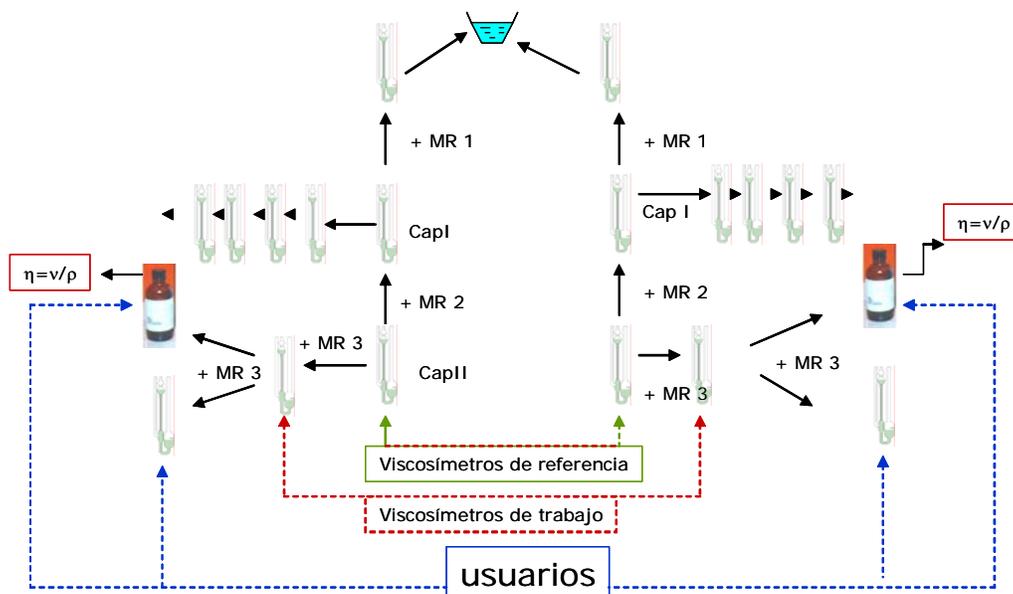


Fig. 3 Materialización de la escala de viscosidad a partir del valor de la viscosidad del agua

Diseminación de la unidad de viscosidad - materiales de referencia certificados

Los líquidos de referencia certificados para viscosidad se utilizan con frecuencia para obtener trazabilidad a las unidades de viscosidad del SI. Los líquidos que provee el CENAM (tabla 1) son un ejemplo de los líquidos que se utilizan con este fin.

Los líquidos de referencia cubren un intervalo de viscosidad mucho más amplio que el que se cubre

solamente con agua. Los valores certificados de viscosidad unidos a estos materiales están directa o indirectamente ligados a la viscosidad del agua.

El intervalo de viscosidad cubierto por los materiales de referencia varía dependiendo del centro de metrología que los produce. Por ejemplo, en México, el CENAM cubre un intervalo de 10 mm²/s a 700 000 mm²/s por medio de 23 materiales de referencia [5], ver tabla 1.

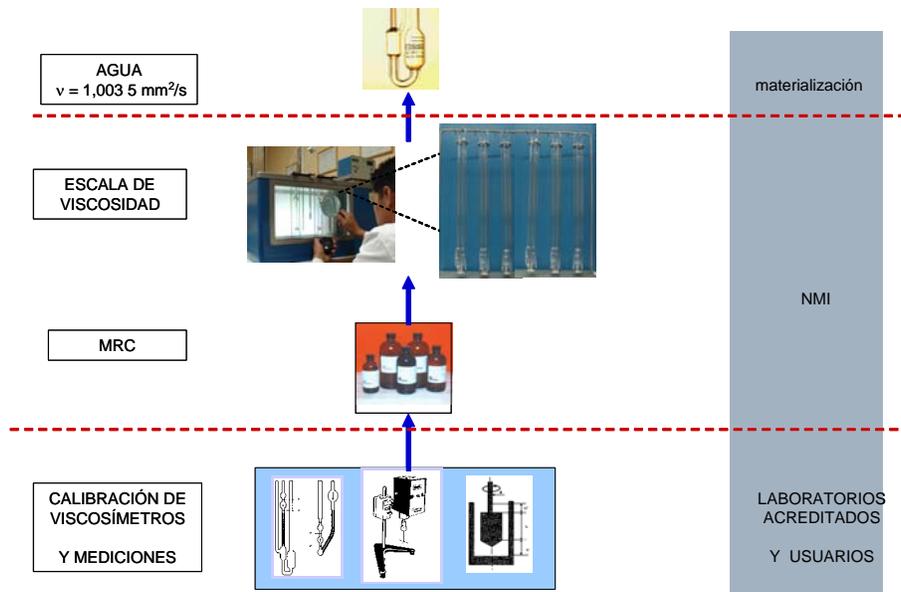


Figura 4. Trazabilidad de las mediciones de viscosidad

6. CONCLUSIONES

La determinación de la viscosidad del agua pura utilizando métodos fundamentales proporciona la trazabilidad de la unidad derivada de la viscosidad a las unidades básicas del SI.

De acuerdo a ISO TR 3666, el valor de la viscosidad del agua se toma como base metrológica de la viscosimetría: 1,003 4 mm²/s para la viscosidad cinemática y $\eta = 1,0016$ mPa·s para la viscosidad dinámica.

Internacionalmente, la escala de viscosidad se materializa con la ayuda de viscosímetros capilares.

De manera práctica, la trazabilidad de las mediciones de viscosidad se logra por medio de líquidos de referencia certificados en su valor de viscosidad, con los que se calibran los instrumentos que miden viscosidad cinemática y viscosidad dinámica.

Designación del líquido	Viscosidad Cinemática mm ² /s, (cSt) (nominal)				Viscosidad Dinámica mPa·s, (cP) (nominal)				Incertidumbre k=2 (%)
	20 °C	25 °C	40 °C	100°C	20 °C	25 °C	40 °C	100°C	
710-3	10	8,5	5,5	1,8	8	6,7	4,3	-	0,3
710-4	22	19	11	2,9	20	16	9,1	-	0,3
710-5	37	30	17	3,5	30	24	13	2,6	0,4
710-6	62	50	26	4,6	57	43	22	3,8	0,4
710-7	75	59	31	5,9	62	48,4	25	4,6	0,4
710-8	103	80	41	7,5	87	68	35	6,3	0,4
710-9	120	93	46	7,8	99	77	37	6,0	0,4
710-10	176	134	65	11	130	100	52	8,4	0,4
710-11	250	190	93	14	220	160	68	11	0,4
710-12	392	340	142	22	380	280	130	17	0,4
710-13	889	651	281	31	780	540	200	16	0,4
710-14	1 297	937	397	40	1 098	790	331	32	0,4
710-15	1 800	1 300	536	52	1 532	1 097	410	29	0,4
710-15 A	3 500	2 467	975	82	2 975	2 090	817	66	0,4
710-16	4 570	3 195	1 235	99	3 900	2 700	1 000	79	0,4
710-17	10 200	6 739	1 700	122	7 900	5 000	1 500	59	0,4
710-17 A	11 600	7 600	2 472	124	10 075	6 607	2 142	102	0,4
710-18	35 340	16 081	4 000	164	19 000	13 990	3 800	150	0,6
710-19	40 300	25 324	7 024	204	35 900	22 450	6 170	172	0,7
710-19A	100 000		20 000	450	95 000		15 600	350	0,7
710-20	157 900	96 700	26 300	650	143 000	86 400	23 200	552	0,8
710-20A	325 890	201 050	54 614	1 327	270 900	181 020	48 736	1 141	0,8
710-21	774 000	480 000	129 000	3 022	701 000	434 000	114 000	2 700	1,0

Tabla 1. Valores aproximados de los materiales de referencia certificados para viscosidad.

REFERENCIAS

- [1] ISO TR 3666, Viscosity of Water. 1998.
- [2] H. Bettin, F Spieweck, Die Dichte des Wassers als Funktion der Temperatur nach Einführung der Internationalen Temperatureskala von 1990, PTB-Mitteilungen 100/3 (1990) 195-196.
- [3] PTB Substance Data Sheet 11: Water, 1995.
- [4] W. A. Wakeham, A. Nagashima, J. V. Sengers, Capillary Viscometers, Measurements of the transport properties of fluids, Experimental thermodynamics, volume III, (1992) p.p. 51.
- [5] Pagina Web del Centro Nacional de Metrología, actualización 2005, <http://www.cenam.mx/liquidos.asp>, Fecha de consulta: 25 de mayo de 2006