

Métodos de Calibración de Densímetros de Inmersión (Hidrómetros)

Los densímetros de inmersión, inventados por Hipatia de Alejandria (370 - 415 A.C.), también conocidos como hidrómetros ó areómetros, son usados para la medición de densidad de líquidos con escalas de: densidad, densidad relativa, % volumen alcohol, grados API, grados Baumé, Brix y otras son aceptados para su calibración en los laboratorios de calibración.



Existen método de comparación directa y método primario (método Cuckow) para la calibración de densímetros de inmersión.

MÉTODO DE COMPARACIÓN DIRECTA

Este método es la manera más simple de calibrar los densímetros de inmersión usando diferentes líquidos de referencia de densidad conocida. La densidad de los líquidos de referencia puede ser medida experimentalmente a la temperatura de referencia:

- 1) Por la relación entre densidad y temperatura obtenida por pesada hidrostática (aplicando el principio de Arquímedes) de un patrón sólido de densidad masa y volumen conocidos.

Apasionados por la Metrología

La Guía MetAs, es el boletín electrónico de difusión periódica de MetAs & Metrologos Asociados.

En *La Guía MetAs* se presentan: noticias de la metrología, artículos e información técnica; seleccionada por nuestros colaboradores, que deseamos compartir con Usted, colegas, usuarios, clientes, estudiantes, amigos y en fin, con todos aquellos interesados o relacionados con la metrología técnica e industrial.

Calle: Jalisco # 313. Colonia: Centro
49 000, Cd. Guzmán, Zapotlán El Grande, Jalisco, México
Teléfono & Fax: 01 (341) 4 13 61 23 multi-línea
E-mail: laguiametas@metas.mx. Web: www.metas.mx

Servicios Metroológicos:

Laboratorio de Calibración:

Presión, Alto Vacío, Temperatura, Humedad, Eléctrica, Vibraciones, Masa, Densidad, Volumen, Óptica y Dimensional

Ingeniería:

Selección de Equipos, Desarrollo de Sistemas de Medición y Software, Reparación y Mantenimiento

Gestión Metroológica:

Subcontratación de Servicios, Outsourcing, Selección de Proveedores, Confirmación Metroológica

Consultoría:

Capacitación, Entrenamiento, Asesoría, Auditorías, Ensayos de Aptitud, Sistemas de Calidad

- 2) Contra un densímetro de inmersión de mayor exactitud, descrito en el documento ASTM E-126.
- 3) Estimada por cartas y tablas en manuales con información detallada acerca de las densidades de soluciones como una función de su composición (típicamente, en términos de porcentaje de soluto en la solución).

La desventaja del método de comparación directa es la necesidad de tener varios líquidos de referencia con la densidad apropiada en orden de cubrir todo el intervalo del densímetro de inmersión.

Método de Comparación Directa



Figura 1. Calibración por Método de Comparación Directa

MÉTODO CUCKOW

El método Cuckow (pesada hidrostática) es el método de calibración común aceptado por la mayoría de institutos nacionales de metrología para la calibración de densímetros de inmersión con variación continua en la profundidad de inmersión del instrumento a calibrar en el líquido de referencia de densidad y tensión superficial conocida, como el agua (H₂O) bidestilada, mantenido a la temperatura de referencia. Los líquidos de referencia de densidad y tensión superficial conocida pueden ser: agua, etanol, undecano, tridecano, tetradecano, tolueno y tricloroetileno.

Este método requiere que un densímetro de inmersión sea pesado A: en el aire y B: pesado (suspendido por debajo de un instrumento para pesar) mientras es inmerso (en un líquido de densidad conocida) en cada marca seleccionada de la escala en la espiga a ser calibrada.

**Método
Cuckow**
-
**Pesada
Hidrostática**

El método Cuckow tiene las ventajas siguientes:

- 1) Elimina la inconveniencia del almacenamiento de una colección de líquidos, tales como soluciones acuosas de ácidos y mezcla de hidrocarburos volátiles.
- 2) Permite la calibración de un densímetro de inmersión en cualquier marca de la escala sin el inconveniente de preparar varias mezclas de ácido sulfúrico con agua y mezclas de solventes orgánicos volátiles con aceite a densidades específicas.
- 3) Este método es superior al método de comparación directa de calibración.
- 4) El método Cuckow puede ser automatizado más fácilmente.
- 5) Un solo fluido de calibración es usado y su uso es amigable.

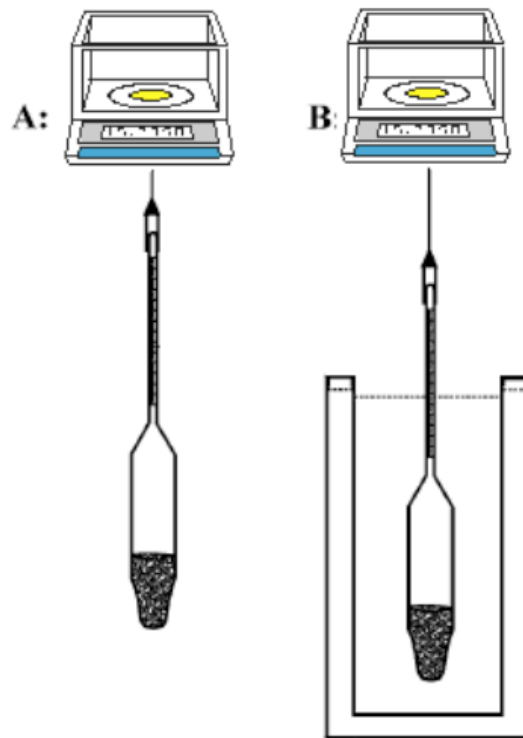


Figura 2. Calibración por Método Cuckow

ECUACIÓN DEL MÉTODO CUCKOW

El fundamento físico de medición del método de Cuckow se basa en el principio de Arquímedes, por el cual en el equilibrio estático en flotación de un densímetro de inmersión (hidrómetro), el empuje que ejerce el líquido sobre el mismo es igual a la fuerza gravitatoria (masa por aceleración de la gravedad) del volumen desplazado por el densímetro. Es decir con el valor conocido y constante de la masa del densímetro una cantidad de volumen desplazado de líquido indicado por el volumen inmerso del densímetro nos indicará la densidad del líquido indicado cuyo empuje iguala la fuerza gravitatoria.

La densidad del punto a calibrar del instrumento, por el método de Cuckow, se determina mediante la ecuación:

$$p_x = (\rho_{liq} - \overline{p_a}) \cdot \left(\frac{m_a g + \pi D \lambda_x}{m_a g - m_{liq} g + \pi D \lambda_{liq}} \right) + \overline{p_a} \quad (1)$$

Ecuación del Método Cuckow

Donde:

- ρ_x densidad del punto de la escala a calibrar del instrumento
- m_a masa del instrumento en el aire
- m_{liq} masa del instrumento parcialmente sumergido
- g aceleración de caída libre de la gravedad
- π No. de PI (3,141 592 654)
- D diámetro de la espiga del instrumento
- γ_x tensión superficial del líquido, donde será utilizado el instrumento
- γ_{liq} tensión superficial del líquido de referencia de densidad
- ρ_{liq} densidad del líquido de referencia de densidad
- $\overline{p_a}$ densidad del aire promedio durante la calibración

INFORME DE RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Si es deseado por el usuario de la calibración, el laboratorio de calibración informará los resultados de la calibración en las unidades específicas de la escala del densímetro de inmersión convirtiendo las mediciones de densidad del método de Cuckow a estas unidades.

Normalmente una calibración es hecha en tres marcas de la escala de la espiga, en aproximadamente 10 %, 50 % y 90 % de la escala del densímetro de inmersión.

El informe de resultados de la calibración provee para cada marca seleccionada de la escala de la espiga el error de ajuste del instrumento a la indicación del densímetro de inmersión, que son una función de la tensión superficial del líquido (provisto por el usuario), donde será utilizado el instrumento asumiendo que el ángulo de contacto del líquido entre el menisco y la espiga es cero. Para la mayoría de los densímetros de inmersión, es necesario tomar en cuenta efectos de la tensión superficial en orden de obtener la exactitud de la densidad deseada.

Los usuarios pueden esperar incertidumbres más grandes que los logrados en el laboratorio de calibración, cuando usan sus densímetros para la medición de la densidad del líquido debido a los efectos de tensión superficial, ángulo de contacto, lecturas del menisco impropias y temperatura.

Informe de Resultados

Tensión Superficial ... Diámetro de Espiga en el Menisco	Valor de Referencia de la Magnitud (VIM3 5.18)		Indicación (VIM3 4.1) Promedio		Error de Ajuste de un Instrumento (VIM3 4.20)		Incertidumbre Instrumental (VIM3 4.24)	
	D Rel. (15,56/15,56 °C)	kg/m ³ @ 15,56 °C	D Rel. (15,56/15,56 °C)	kg/m ³ @ 15,56 °C	D Rel. (15,56/15,56 °C)	kg/m ³ @ 15,56 °C	D Rel. (15,56/15,56 °C)	kg/m ³ @ 15,56 °C
27,2 — 6,08	0,845 41	844,58	0,845 0	844,2	-0,000 41	-0,41	± 0,000 29	± 0,29
26,2 — 6,08	0,825 28	824,47	0,825 0	824,2	-0,000 28	-0,28	± 0,000 29	± 0,29
25,2 — 6,08	0,805 34	804,54	0,805 0	804,2	-0,000 34	-0,34	± 0,000 29	± 0,29

Las indicaciones, errores de ajuste e incertidumbres instrumentales son resultado del promedio de las mediciones.
 Observaciones: Los valores de tensión superficial tabulados arriba del líquido, donde será utilizado normalmente, son estos definidos como los valores de referencia para este instrumento.

Cuadro 1. Informe de Resultados de la Calibración

LA INFLUENCIA DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL

Cuando un densímetro de inmersión es flotado en un líquido, una pequeña cantidad del líquido se eleva alrededor de la espiga para formar un menisco. Este líquido adherido a la espiga por encima del nivel general de la superficie del líquido, en el cual el instrumento es flotado, esto tiene el mismo efecto como adicionar masa al densímetro de inmersión, de esta manera, incrementando la profundidad de inmersión. Debido a esto, un densímetro de inmersión indicará diferentemente en dos líquidos que tienen la misma densidad, pero diferente tensión superficial.



Figura 3. Influencia de la Tensión Superficial

**Tensión
Superficial**

REFERENCIAS

- ISO 649-1 1981 Laboratory Glassware—Density Hydrometers for General purposes—Specification
- ISO 649-2 1981 Laboratory Glassware—Density Hydrometers for General purposes—Test Methods
- Cuckow F. W. (1949) A New Method of High Accuracy for the Calibration of Reference Standard Hydrometers, J. Soc. Chem. Industry, 68, 44-9
- ASTM E-100 (2005). Standard Specification for ASTM hydrometer, ASTM Standards 14.03
- ASTM E-126 (2005). Standard Test Method for Inspection and Verification of Hydrometers, ASTM Standards 14.03
- Lorefice S, Malengo A. (2006). Calibration of Hydrometer, Measurement Science and Technology, 17 (2006), 2560-2566
- Lorefice S, Malengo A. (2006). Hydrostatic Weighing System at the INRIM for Calibrating Hydrometers, XVIII Imeko World Congress, Septiembre 17—22 (2006), Río de Janeiro, Brasil
- NIST Special Publication 250-78 (2008) NIST Calibration Services for Hydrometers, NIST, Agosto 8, 2008