

PESADA HIDROSTÁTICA DE INMETRO

José Júlio Pinheiro dos Santos Júnior, Paulo Roberto Marteleto, Luiz Fernando Barbosa da Silva, José Renato Real Siqueira, Dalni Malta do Espírito Santo Filho, Leandro Santos Lima, Claudio Roberto da Costa Rodrigues, Alex Pablo Ferreira Barbosa

Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Inmetro), Av. Nossa Senhora das Graças, 50 – Xerém, Duque de Caxias, R.J., CEP 25250-020, Brasil, tel 55 21 2679-9041
e-mail laflu@inmetro.gov.br

Resumen: El Laboratorio de Fluidos de Inmetro (Laflu) es responsable en Brasil por dar trazabilidad a cuatro magnitudes físicas: densidad, tensión superficial, volumen y viscosidad. Con respecto a densidad, actualmente está siendo implementado un sistema de pesada hidrostática (PH) cuyas características metrológicas serán presentadas en este artículo. El objetivo de este artículo es presentar a la sociedad metrológica del SIM los servicios de P.H., para la determinación de la densidad de sólidos y líquidos así como para la calibración de hidrómetros, que en breve estarán a disposición de los usuarios. Estos servicios representan una evolución de la aplicación de diversos sistemas de PH desarrollados desde 1984 para aplicaciones específicas en diversos sectores de Inmetro.

1. INTRODUCCIÓN

Densidad es una importante magnitud física metrológica, definida como la relación entre la masa y el volumen.

Para medir la densidad, existen muchos métodos. Pueden ser usados, por ejemplo, picnómetros, hidrómetros, densímetros digitales, además de la pesada hidrostática.

El Laflu hace servicios de pesada hidrostática desde 1984 [1] (con una exactitud de sólo dos decimales y una incertidumbre muy grande, de $0,01 \text{ g/cm}^3$). No entanto, estos servicios no eran permanentes. El Laflu ha prestado servicios de medición de densidad de esferas para el Laboratorio de Fuerza y para el Laboratorio de Presión en 1984 y en 1992 respectivamente.

Desde esa época había la necesidad de desarrollar un sistema permanente de pesada hidrostática, porque la demanda por estos servicios era (y todavía es) creciente.

Entre los clientes del Laflu, están empresas petrolíferas, laboratorios de la Red Brasileña de Calibración, laboratorios de la Red Brasileña de Metrología Legal, los Institutos de Pesos y Medidas (IPEMs) de Brasil y otros laboratorios pertenecientes al Inmetro, entre ellos, la División de Metrología Legal, la División de Química y el Laboratorio de Medición de Flujo.

Todos ellos son potenciales usuarios del sistema de pesada hidrostática que está siendo implementado en Laflu.

2. PESADA HIDROSTÁTICA

En el sistema que está siendo implementado en Laflu, se utiliza una balanza Sartorius CC3000, un baño Tamson TMVA 70, otro baño para controlar la temperatura del baño Tamson y una esfera de vidrio.

En este artículo son mostradas sólo mediciones para sólidos. Las mediciones de volumen fueron hechas a la temperatura de referencia de 20°C . El Laflu todavía usa el agua como fluido de calibración.

Adicionalmente al sistema de PH aquí presentado, el Laboratorio de Masa (Lamas) posee un sistema de pesada hidrostática para determinación del volumen de pesas patrón de acero inoxidable (Fig. 2). Este sistema utiliza FC-40 como fluido de transferencia y tiene capacidad para utilizar una esfera de silicio como patrón de volumen. Ese sistema de Lamas sólo es utilizado actualmente para calibrar pesas patrón de acero inoxidable.



Fig. 1 Foto parcial de la Pesada Hidrostatica de Inmetro (Laflu)



Fig. 2 Sistema comparador de volumen de pesas patrón por Pesada Hidrostatica del Laboratorio de Masa

3. RESULTADOS

3.1- Resultados obtenidos en el Laflu:

El patrón de referencia sólido utilizado en la determinación de densidad por pesada hidrostática fue una esfera de vidrio con diámetro de $15,8263 \text{ mm} \pm 0,0003 \text{ mm}$ (calibrada en el Laboratorio de Metrología Dimensional de Inmetro).

El fluido de trabajo utilizado fue agua bidestilada y desionizada. La densidad del agua es obtenida del artículo de M. Tanaka et al [2]; La densidad del aire es determinada por la ecuación del CIPM [3];

Para determinación de la densidad se utilizan las siguientes ecuaciones:

(1) densidad del sólido a 20°C , $\rho_o(20^\circ\text{C})$, es

$$\rho_o(20^\circ\text{C}) = \frac{M_{o1} \cdot \rho_L \cdot (1 + \beta_L \cdot (20 - T_L))}{\left(M_{o1} - M_{o2} \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_b} \right) \right) \cdot (1 + \beta_o \cdot (20 - T_o))}$$

determinada por la siguiente ecuación:

$$\rho_o(20^\circ\text{C}) = \frac{M_o}{V_o(20^\circ\text{C})}$$

Donde:

M_o = massa del sólido em g;

V_o = Volumen del sólido medido a la temperatura de 20°C ;

(2) El volúmen del sólido a 20°C é determinado por la ecuación abaixo:

$$V_o(20^\circ\text{C}) = \frac{\left(M_{o1} - M_{o2} \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_b} \right) \right) \cdot (1 + \beta_o \cdot (20 - T_o))}{\rho_L (1 + \beta_L \cdot (20 - T_L))}$$

Donde:

ρ_L : densidad del agua, en g/cm^3 ;

ρ_a : densidad del aire, en g/cm^3 ;

ρ_b : densidad de las pesas utilizadas en la calibración de la balanza, en g/cm^3 ;

$M_o = M_{o1}$: masa del sólido, en g;

M_{o2} : masa indicada del sólido en la balanza, en el interior del líquido (agua), en g;

T_L : temperatura del líquido, en $^\circ\text{C}$;

T_o : temperatura del sólido, en $^\circ\text{C}$;

β_L : coeficiente de expansión térmica de "Bulk" del líquido, en $^\circ\text{C}^{-1}$;

β_o : coeficiente de expansión térmica de "Bulk" del objeto, en $^\circ\text{C}^{-1}$

Finalmente, se utilizó la siguiente ecuación [4],[5]:

Son presentadas abajo dos tablas, de las magnitudes de entrada y de los resultados de medición de la densidad del sólido (en este caso, de una esfera de vidrio).

Tab.1-Magnitudes de Entrada

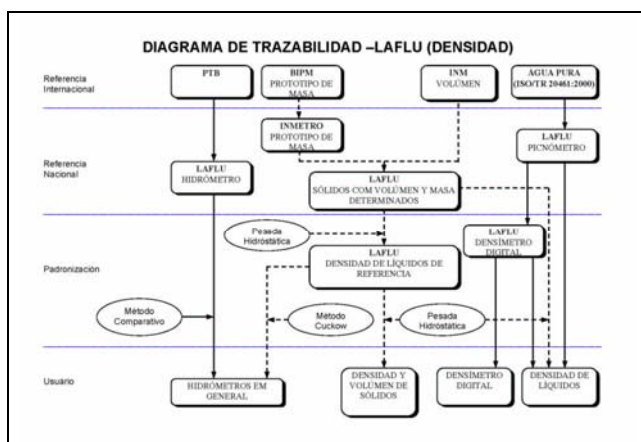
Magnitudes de Entrada	Valor Estimado	Unidade	Incertidumbre Estándar	Distribución de probabilidad	Coefficiente de Sensibilidad	Contribución para la Incertidumbre
X_i	x_i		$u(x_i)$		c_i	$u_i(y)$
M_{O1}	4,9604	g	$1,041 \times 10^{-5}$	normal	$-6,723 \times 10^{-1}$	$-6,997 \times 10^{-6}$
M_{O2}	2,8898	g	$1,210 \times 10^{-4}$	normal	1,154	$1,396 \times 10^{-4}$
ρ_L	0,99821	g/cm ³	$5,915 \times 10^{-6}$	normal	2,390	$1,414 \times 10^{-5}$
ρ_a	0,00119	g/cm ³	$1,172 \times 10^{-6}$	normal	-2,036	$-2,386 \times 10^{-6}$
ρ_b	8,0	g/cm ³	$5,773 \times 10^{-2}$	retangular	$1,065 \times 10^{-4}$	$6,149 \times 10^{-6}$
T_L	19,97	°C	$1,307 \times 10^{-2}$	normal	$-2,797 \times 10^{-3}$	$-3,657 \times 10^{-5}$
α_L	0,0002086	°C ⁻¹	$1,202 \times 10^{-7}$	normal	$8,135 \times 10^{-2}$	$9,776 \times 10^{-9}$
α_O	0,000018	°C ⁻¹	$4,619 \times 10^{-6}$	retangular	$-8,135 \times 10^{-2}$	$-3,757 \times 10^{-7}$
$\delta\rho_O$	-	g/cm ³	$3,329 \times 10^{-4}$	-	1	$3,329 \times 10^{-4}$

Tab.2- Resultados de Medición de la Densidad del Objeto

Temperatura de Referencia	Densidad del Sólido	Incertidumbre Expandida	Factor de Cobertura k	Grados de Libertad Efectivos
°C	g/cm ³	g/cm ³		γ_{eff}
20,00	2,3916	0,0008	2,195	14

4. TRAZABILIDAD

Abajo es presentado el diagrama de trazabilidad de densidad de Inmetro [6].



5. CONCLUSIONES

Existe la necesidad de adquirir esferas de silicio o de *zerodur* para mejorar los resultados en la aplicación del método de pesada hidrostática que es de responsabilidad de Laflu.

También existe la necesidad de cambiar el fluido de calibración de Laflu por otro que sea más estable y que tenga menor tensión superficial, principalmente cuando sea implementada la medición de hidrómetros. El Laflu ya adquirió n-nonano y va a empezar estudios con este fluido.

Existe la necesidad de hacer una comparación bilateral con otro Laboratorio Nacional de Metrología. Inmetro está proponiéndola al Cenam.

Contodo, creemos que esos resultados son suficientes para incluir este servicio del Instituto Nacional de Metrología, Normalización y Calidad Industrial en el ámbito del SIM.

Existe también la intención de utilizar el comparador de volumen del Lamas en calibraciones de sólidos que no sean pesas patrón.

REFERENCIAS

- [1] Un nuovo campione di riferimento per le misure di densità – A Sacconi e A Peuto – Istituto di Metrologia G. Colonnetti – 1983
- [2] Recommended table for the density of water between 0°C and 40°C based on recent experimental reports – M. Tanaka, G. Girard, R. Davis, A. Peuto and N. Bignell, *Metrologia*, 2001, 38, 301-309
- [3] Equation for the determination of the density of moist air (1981/1991) – R.S. Davis, *Metrologia*, 1992, 29, 67-70
- [4] Practical Density Measurement and Hydrometry – S. V. Gupta – Institute of Physics – Series in Measurement Science and Technology - 2002
- [5] Fujii K – Density Standard at NMIJ - 2003
- [6] Becerra, L.O.; Hernández, I.; Pezet, *Establishment the Mexican National Standard in Density XVI IMEKO 2000 World Congress Hofburg, Vienna, Austria, September 25-28, 2000*