

# COMPARACIÓN ENTRE CENAM<sup>\*</sup>, BIPM<sup>\*\*</sup> Y TROEMNER<sup>\*\*\*</sup> PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA EN UNA PESA DE 100 g

Jorge Nava Martínez y Felix Pezet Sandoval  
Centro Nacional de Metrología, Laboratorio Patrones de Referencia de Masa  
km 4,5 Carretera a los Cués, Municipio el Marques, Querétaro, México.  
Tel (+ 52 442) 2 11 05 00, fax (+52 442) 2 11 0568, jnava@cenam.mx

**Resumen:** El nuevo Draft de la OIML R111 (febrero 2000) y la norma oficial mexicana NOM-038-SCFI-2000 han incluido nuevos requerimientos y métodos alternativos para determinar la susceptibilidad magnética volumétrica en los patrones de masa. El BIPM ha desarrollado un susceptómetro para determinar esta magnitud el cual fue utilizado por los tres participantes. Se

## INTRODUCCIÓN

En la determinación de masa normalmente solo se toma en cuenta la fuerza debido al peso del objeto y el empuje del aire, sin embargo la presencia de otras fuerzas, por ejemplo fuerzas magnéticas pueden proporcionar desviaciones en el resultado de la medición, por esta razón nuevos requerimientos para las pesas han sido presentados en la NOM-038-SCFI-2000 [1] y en el Draft de la OIML R111 [2]. Métodos de medición e instrumentos han sido desarrollados e incluidos en estos documentos mencionados anteriormente [1] y [2].

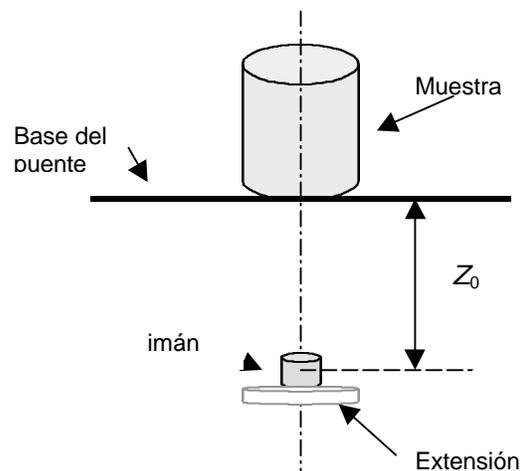
En la fabricación de pesas de alta exactitud se recomienda utilizar acero inoxidable antimagnético [2], sin embargo la calidad de este material puede ser afectado en el proceso de fabricación de tal manera que pueden llegar a magnetizarse y al ser expuestos estos patrones de masa a campos magnéticos como los producidos en las balanzas donde se usan, puede que sean susceptibles a magnetizarse y alterar los resultados de las mediciones.

El Bureau International des Poids et Mesures BIPM por conducto del Dr. Richard Davis desarrolló un equipo (susceptómetro) para poder detectar la susceptibilidad magnética volumétrica y la magnetización permanente en los patrones de masa (pesas) [3].

## PRINCIPIOS BASICOS

Una representación esquemática del principio de operación del susceptómetro desarrollado por el BIPM [3] se representa en la siguiente figura 1 que básicamente consiste en lo siguiente:

Se utiliza una balanza y sobre el plato receptor de carga se coloca una extensión (pedestal) y sobre este un imán (el cual simula un punto magnético dipolar), el centro de este imán se define el origen de un sistema de coordenadas donde la dirección  $z$  hacia arriba del imán se define positivo. El imán tiene un momento magnético  $m$  conocido, la muestra es colocada sobre este a una distancia  $Z_0$  y la muestra es colocada sobre la base de un puente.



**Fig. 1** Vista esquemática del principio de funcionamiento del susceptómetro.

<sup>\*</sup>Centro Nacional de Metrología, México

<sup>\*\*</sup>Bureau International des Poids et Mesures, Sevres Cedex, Francia

<sup>\*\*\*</sup>Laboratorio Secundario Acreditado, NVLAP, USA.

Existe una fuerza de atracción o de repulsión entre el imán y la muestra debida al campo magnético generado por el imán, lo cual la componente de la fuerza en la dirección Z será:

$$F = \mu_0 c \frac{1}{2} \int_v \frac{\partial H^2}{\partial z} dv \quad (1)$$

donde  $\mu_0$  es la constante magnética ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ ),  $H$  es la intensidad de campo magnético en A/m debido al imán, la integral es tomada sobre el volumen  $v$  de la muestra.

### PATRON UTILIZADO

El patrón de masa utilizado fue una pesa de 100 g fabricado por TROEMNER de acero inoxidable antimagnético de acuerdo con los requerimientos establecidos en la OIML R111 [4], las dimensiones para determinar el factor geométrico [3] fueron proporcionados por TROEMNER (fabricante de pesas).

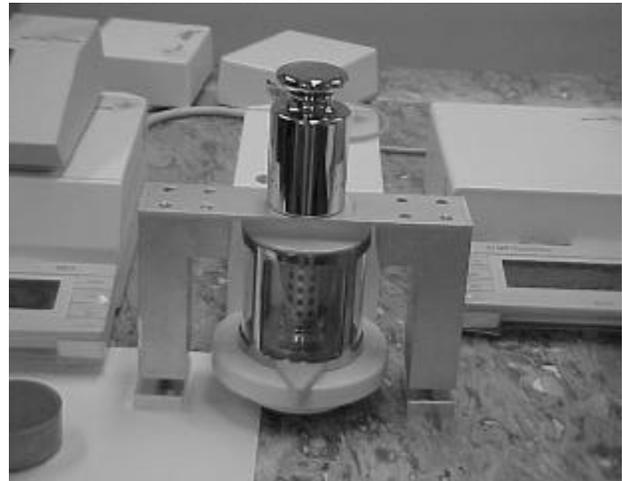
### SUSCEPTOMETRO

CENAM, BIPM y TROEMNER utilizaron el mismo susceptómetro descrito en [3], las características de los instrumento para pesar (balanza) que utilizaron se describen en la siguiente tabla 1:

Instituto	Balanza Mettler-Toledo
CENAM	MX 5 $d= 0,001 \text{ mg}$
BIPM	UMT 5 $d= 0,000 1 \text{ mg}$
TROEMNER	UMT 5 $d= 0,000 1 \text{ mg}$

**Tabla 1.** Características de las balanzas utilizadas por los participantes:

La figura 1 muestra una vista general del susceptómetro utilizado por los tres participantes para realizar las mediciones.



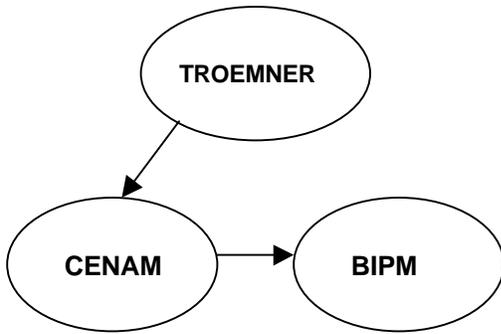
**Fig. 1** Susceptómetro utilizado por los tres institutos participantes

### TRAZABILIDAD

**CENAM** determinó la distancia de  $Z_0$  [3] utilizando dos métodos independientes: a) utilizando el patrón de referencia de susceptibilidad magnética calibrado directamente en el BIPM, b) medición experimental llevada a cabo por la División de Metrología Dimensional del CENAM utilizando bloques patrón y LVDT (medidor de desplazamiento lineal variable) por lo que tienen trazabilidad al patrón nacional de longitud en México. Las lecturas de la balanza MX5 tienen trazabilidad hacia el patrón nacional de masa kilogramo No. 21.

El **BIPM** determinó la distancia de  $Z_0$  [3] utilizando el patrón de referencia de susceptibilidad magnética el cual fue calibrado directamente en el BIPM. Las lecturas de la balanza tienen trazabilidad hacia la sección de masa del BIPM.

**TROEMNER** determinó la distancia de  $Z_0$  [3] utilizando el patrón de referencia de susceptibilidad magnética el cual fue calibrado directamente en el BIPM. Las lecturas de la balanza tienen trazabilidad hacia el patrón nacional de masa kilogramo No. 20 (del NIST-USA).



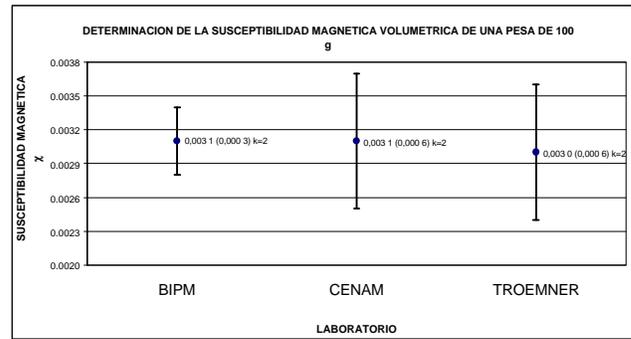
## MEDICIONES

Las mediciones se llevaron de a cabo de la siguiente manera:

TROEMNER llevo a cabo las mediciones en Marzo de 2001, CENAM en Abril de 2001 y el BIPM en mayo de 2001. Estas mediciones fueron llevadas a cabo bajo condiciones normales en la calibración de pesas [2].

Los resultados de las mediciones se indican en la siguiente tabla:

TROEMNER	
Susceptibilidad magnética $c$	0,003 0
$U_c$	0,000 6
Intensidad de campo magnético	0,5 mT
$Z_0$	27,71 mm
CENAM	
Susceptibilidad magnética $c$	0,003 1
$U_c$	0,000 6
Intensidad de campo magnético	1,4 mT
$Z_0$	22,16 mm
BIPM	
Susceptibilidad magnética $c$	0,003 1
$U_c$	0,000 3
Intensidad de campo magnético	0,9 mT
$Z_0$	26,64 mm



La gráfica 1 muestra los resultados de esta comparación informal incluyendo la incertidumbre expandida estimada por cada participante

Se utiliza el criterio de  $E$  [5] para conocer el grado de equivalencia (compatibilidad) entre los participantes los valores son los siguientes:

	$E_n$
BIPM-CENAM	0
BIPM-TROEMNER	0,14
CENAM-TROEMNER	0,12

$$|E_n| \leq 1$$

Los resultados anteriores muestran compatibilidad entre los participantes lo que demuestra que la teoría del susceptómetro puede ser aplicable bajo diferentes condiciones de uso.

Los valores máximos de susceptibilidad magnética propuestos en el Draft OIML R111 [2], son listados en la siguiente tabla:

Clase	$E_1$	$E_2$	$F_1$	$F_2$
Valor nominal $\geq 100$ g	0,010	0,020	0,07	0,21
Valor nominal $< 100$ g	0,025	0,075	0,25	0,75
Valor nominal $\leq 1$ g	0,12	0,37	1,2	

**Tabla 3** Valores máximos de susceptibilidad magnética  $c$

## CONCLUSIONES

Los nuevos requerimientos de magnetismo incluidos en el Draft de la OIML R111 a los patrones de masa (pesas) deben ser tomados en cuenta por los metrologos y fabricantes de pesas debido a que la interacción entre la pesa y la balanza puede provocar variaciones en los resultados [6].

## REFERENCIAS

- [1] Norma Oficial Mexicana NOM-038-SCFI-2000.
- [2] Weights of classes E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, Committee Draft OIML/CD R 111 of February 2000.
- [3] Davis R S 1995 Determining the magnetic properties of 1 kg mass standards *J. Res. NIST* 100 209-225.
- [4] Weights of classes E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, edition 1994.
- [5] Wöger W Remarks on the  $E_n$ -criterion Used in Comparisons.
- [6] Gläser M Magnetic Interactions between weights and weighing instruments, *Meas. Sci. Technol.* 12 (2001) 709-715.