

Capacidades de Medición y Calibración del Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético del CENAM

Mario G. Alatorre M., Marco A. Escobar V.

Centro Nacional de Metrología
km 4,5 Carretera a Los Cués, 76246, Querétaro, México.
malatorr@cenam.mx

RESUMEN

En este trabajo se presentan las capacidades de medición y calibración (CMC) actuales, del laboratorio de densidad de flujo magnético del CENAM, que nos permiten cubrir algunas de las necesidades de calibración de magnetómetros, de sectores industriales como el metal-mecánico, y de autopartes, y se da una descripción de los métodos y sistemas de medición que son utilizados. Se presentan también los avances de los trabajos que se desarrollan actualmente para ampliar y mejorar nuestras CMC, con el fin de poder atender las necesidades de medición y calibración en magnitudes magnéticas, de diversos sectores industriales del país, que a la fecha no han podido ser atendidas.

1. INTRODUCCIÓN

La magnitud de densidad de flujo magnético o campo de inducción magnética, B , llamado también campo magnético B , expresa, como su nombre lo indica el flujo magnético, o el número de líneas de campo magnético, por unidad de área, que es generado por corrientes eléctricas que circulan a través de circuitos eléctricos o por materiales ferromagnéticos. En el Sistema Internacional de Unidades, el campo magnético B se expresa en tesla (T), unidad que es igual a Wb/m^2 .

En nuestro país existe la necesidad de dar trazabilidad y asegurar las mediciones en magnitudes magnéticas como densidad de flujo magnético, en sectores tales como el eléctrico, metalmeccánico, autopartes y otros, donde se realizan mediciones de campo magnético B , para el diseño y control de calidad de productos.

Para poder satisfacer estas necesidades se desarrollan en el CENAM capacidades de medición y calibración (CMC), para poder atender algunos de los servicios de calibración y medición requeridos, empleando para ello métodos validados con trazabilidad a patrones nacionales.

En el presente trabajo se hace una descripción de las capacidades de medición y calibración que se han establecido a la fecha en el Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético del CENAM, para la atención de algunos servicios. Se explican los métodos de calibración que son empleados en estos servicios y también se mencionan los nuevos servicios de calibración y medición que se están desarrollando para poder satisfacer mayor número

de necesidades en el campo de la metrología magnética en nuestro país.

2. CALIBRACIÓN DE MAGNETÓMETROS

Los magnetómetros (también llamados gaussmetros o teslámetros) son equipos que miden densidad de flujo magnético, éstos pueden ser digitales o analógicos.

Los magnetómetros analógicos como el mostrado en la Fig. 1, son de baja exactitud y son empleados principalmente en la industria metal-mecánica para la medición de magnetismo residual de piezas metálicas, las cuales deben de cumplir con ciertas especificaciones.



Fig. 1. Magnetómetro analógico.

Los magnetómetros digitales miden con una menor incertidumbre, como es el caso de los magnetómetros que miden bajo el principio de resonancia magnética nuclear (RMN), los de tipo fluxgate y los de efecto Hall.

Actualmente en el Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético del CENAM, se ofrece el servicio de calibración de magnetómetros analógicos y digitales

en la magnitud de densidad de flujo magnético en corriente continua, en el intervalo de $10\mu\text{T}$ a 2 mT , usando dos métodos de medición: el método por comparación directa y el método de comparación

por sustitución. En la Tabla 1 se muestran las capacidades de medición y calibración que han sido establecidas para la calibración de magnetómetros.

Tabla 1. Capacidades de medición y calibración actuales del Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético del CENAM.

Servicio de calibración y medición			Nivel o intervalo del mensurando			Condiciones de medición	Incertidumbre expandida
Magnitud	Instrumento	Método	Valor mínimo	Valor máximo	Unidad	Parámetro y especificación	
Densidad de flujo magnético en corriente continua	Magnetómetros digitales con sensor de flujo axial o transversal	Directo	0,01	2	mT	Temperatura del Laboratorio (23 ± 1) °C	U=10 mT/T Factor de cobertura k=2 Nivel de confianza \approx 95%
Densidad de flujo magnético en corriente continua	Magnetómetros digitales y analógicos con sensor de flujo axial o transversal	Sustitución	0,2	2	mT	Temperatura del Laboratorio (23 ± 1) °C	U=130 mT/T Factor de cobertura k=2 Nivel de confianza \approx 95%

2.1. Descripción y Principio de Operación de los Métodos de Calibración

2.1.1. Método de Medición por Comparación Directa

Este método, también conocido como el método de la bobina de campo magnético calculable, utiliza una bobina de Helmholtz, como la mostrada en la Fig. 2, para generar el campo magnético B.



Fig. 2. Bobina patrón tipo Helmholtz utilizada para la calibración de magnetómetros, por el método de comparación directa.

Una característica importante de esta bobina es que gracias a sus dos accesos para la medición del campo B, un acceso axial paralelo al eje de la bobina y otro acceso radial, perpendicular al eje de

la bobina, se puede realizar la calibración de sensores tipo Hall, de flujo axial y transversal.

El método de la bobina de campo magnético calculable, consiste en alimentar esta bobina con una fuente de corriente continua estable, para generar en el centro de ésta una densidad de flujo magnético homogénea, tal como se muestra en la Fig. 3.

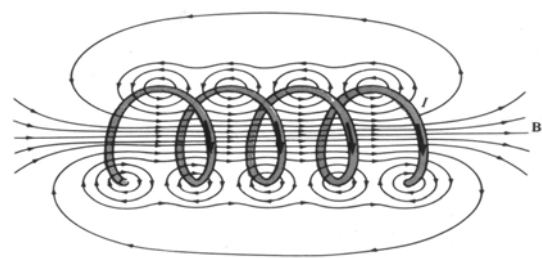


Fig. 3. Generación de un campo magnético B usando el método de la bobina de campo magnético calculable.

En el método de calibración por comparación directa se realizan mediciones con el magnetómetro bajo calibración (IC), introduciendo el sensor de éste en el centro de la cavidad de la bobina, como se muestra en la Fig. 4. Si el sensor es de flujo axial, éste se introduce y se coloca en dirección paralela al eje de la bobina, si es de flujo transversal, éste

se introduce y se coloca en dirección perpendicular al eje de la bobina, ver Fig. 4.

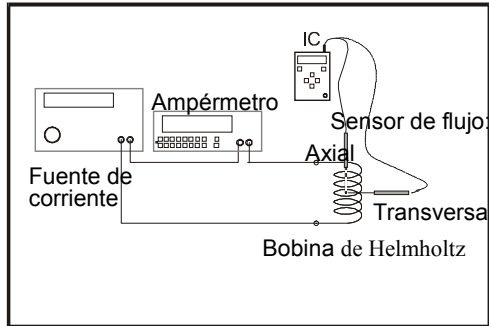


Fig. 4 Método de calibración de magnetómetros por comparación directa.

El valor del campo magnético B de referencia, inducido en la bobina, se determina conociendo la constante de la bobina K, que relaciona el campo magnético con la corriente eléctrica que circula a través de ésta, tal como se muestra en la Ec. (1):

$$B_{ref} = \mu_0(K I), \quad (1)$$

donde B_{ref} es el campo magnético de referencia, en tesla (T), μ₀ es la constante de campo magnético = 4π x 10⁻⁷ (Vs/Am), K es la constante de la bobina, en [(A/m)/A], e I es la corriente eléctrica continua que circula a través de la bobina, en ampere (A).

Con base en los valores promedio del campo magnético medido, B_{med}, por el IC y el valor del campo magnético de referencia de la bobina B_{ref}, se calcula el valor del error de medición, ε_{IC}, del IC, de acuerdo Ec. (2):

$$\epsilon_{IC} = (B_{med} - B_{inicial}) - B_{ref}, \quad (2)$$

donde B_{inicial} es el campo magnético ambiental presente en el centro de la bobina, el cual es medido por el IC, con I = 0.

La trazabilidad de las mediciones que son realizadas usando este método de calibración se muestra en la Fig. 5.

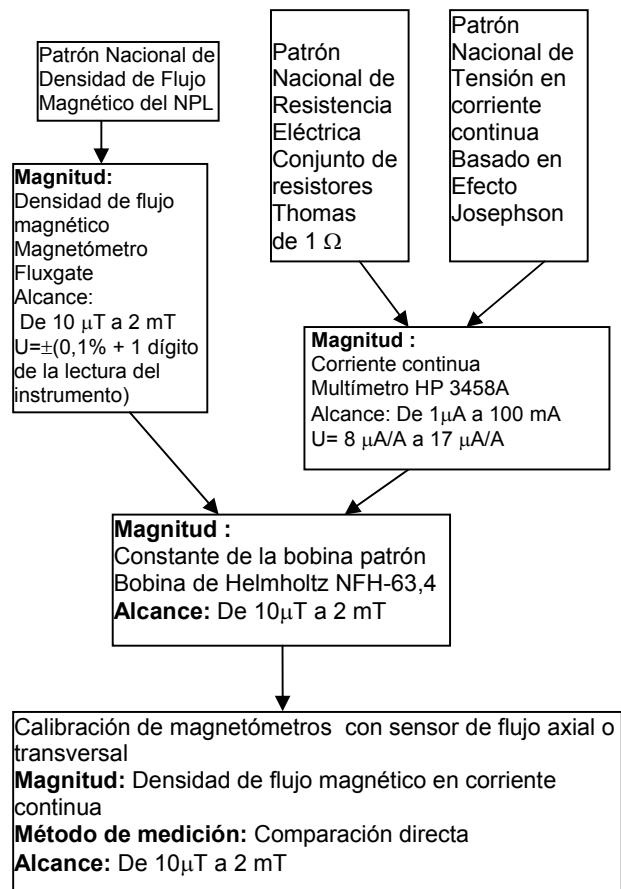


Fig. 5. Carta de trazabilidad del método por comparación directa.

La validación del método de calibración por comparación directa fue realizada midiendo el campo magnético de referencia, B_{ref}, que se genera en el centro de la bobina patrón tipo Helmholtz usando como medidor un magnetómetro que mide bajo el principio de resonancia magnética nuclear y comparando este valor medido con el valor de densidad de flujo magnético que es determinado en función de la constante de la bobina patrón.

2.1.2. Método de Comparación por Sustitución

Este método es utilizado principalmente para la calibración de magnetómetros, en el intervalo de 200 μT a 2 mT, cuyo sensor está incluido dentro del mismo instrumento y por sus dimensiones requieren de una bobina especial, como la mostrada en la Fig. 6, para poder ser calibrados, generalmente se trata de medidores analógicos.

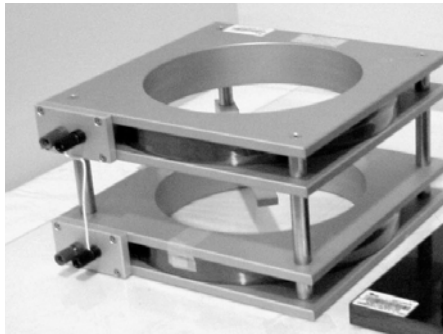


Fig. 6. Bobina tipo Helmholtz utilizada para la calibración de magnetómetros usando el método de comparación por sustitución.

El método de calibración por sustitución, consiste en generar un campo magnético B, con una bobina de Helmholtz vertical y medir este campo magnético con el magnetómetro a ser calibrado (IC) y con un magnetómetro patrón de referencia (MR), de manera alternada, ver Fig. 7.

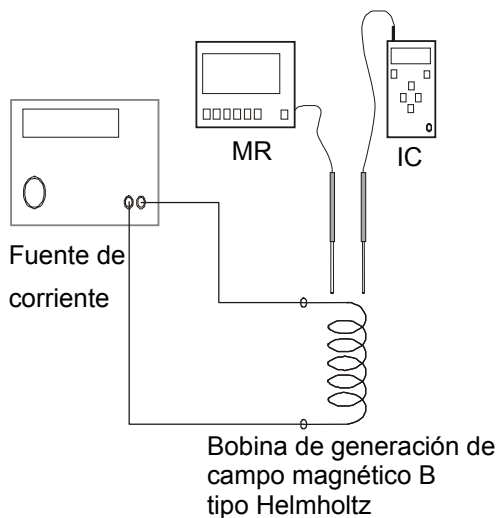


Fig. 7. Método de calibración de magnetómetros por el método de comparación por sustitución.

Con base en el valor promedio del campo magnético B medido, B_{med} , por el IC y el valor del campo magnético B de referencia B_{ref} , se calcula el valor del error de medición, ϵ , del IC, de acuerdo a la Ec. (3):

$$\epsilon_{IC} = B_{med} - B_{ref} \quad (3)$$

La trazabilidad de las mediciones que son realizadas usando el método de comparación por sustitución se muestra en la Fig. 8.

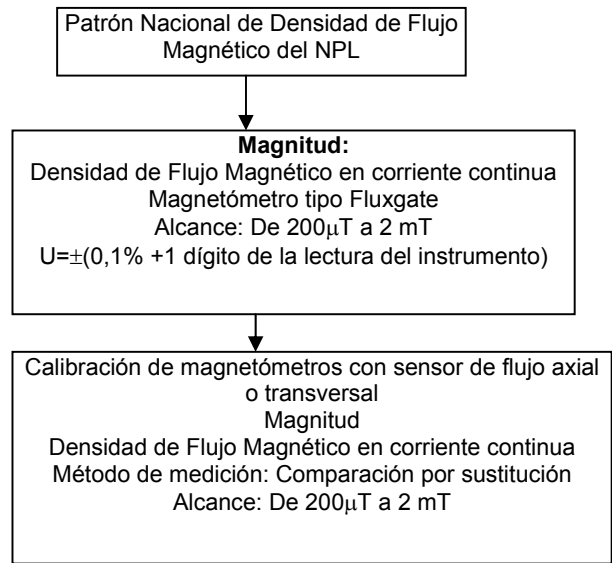


Fig. 8. Carta de trazabilidad de las mediciones realizadas con el método de comparación por sustitución.

La validación del método de medición por sustitución fue realizada, generando un campo magnético de referencia, B_{ref} , en el centro de la bobina vertical tipo Helmholtz, y midiendo en forma alternada, con dos magnetómetros calibrados, con un magnetómetro de efecto Hall y con un magnetómetro de tipo Fluxgate. El método quedó validado al analizar las mediciones considerando su incertidumbre y equivalencia, teniendo en consideración la incertidumbre y el alcance que se persiguen en la calibración de magnetómetros usando el método de sustitución.

En el laboratorio en el cual se ofrecen los servicios de calibración antes descritos, se mantienen condiciones ambientales especiales, para minimizar los factores de influencia que pudieran afectar o alterar el campo magnético B, que es generado y medido. Para ello, se cuenta con mobiliario y soportes fabricados con materiales no ferromagnéticos. Las condiciones de temperatura y humedad relativa, que se mantienen en el laboratorio, son las siguientes: $(23 \pm 1) ^\circ\text{C}$ y $(50 \pm 30) \%$, respectivamente.

3. TRABAJO A FUTURO

Se está trabajando en la ampliación de las capacidades de medición y calibración (CMC) del laboratorio de densidad de flujo magnético, con el propósito de poder atender otras necesidades en metrología magnética, que han sido detectadas en diversos sectores del país. Las nuevas CMC que se

encuentran en proceso de desarrollo se indican en la Tabla 2.

Tabla 2. Servicios de calibración y medición que serán ofrecidos en el Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético del CENAM.

Descripción del servicio de calibración o medición en desarrollo	Método de medición / sistema de generación de campo magnético
Calibración de magnetómetros con sensor de flujo axial o transversal, en corriente continua, en el intervalo de 2 mT a 50 mT.	Directo / Bobina patrón tipo Helmholtz
Calibración de magnetómetros con sensor de flujo transversal, en corriente continua, en el intervalo de 0,1 T a 1 T.	Sustitución / Electroimán
Calibración de magnetómetros con sensor de flujo transversal, en corriente continua, en los puntos de: 100 mT y 250 mT.	Directo / Imanes patrón
Calibración de magnetómetros con sensor de flujo axial, en corriente continua, en el punto de 100 mT.	Directo / Imán patrón
Calibración de imanes patrón en el intervalo de 100 mT a 1T	Método de medición directo
Medición de magnetismo residual	Método de medición directo
Medición de campo magnético ambiental	Método de medición directo

4. CONCLUSIONES

En nuestro país no existía algún laboratorio que pudiera atender las necesidades de calibración de magnetómetros. Con el establecimiento de las capacidades de medición y calibración, del Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético del CENAM, se ha podido dar respuesta a algunas de estas necesidades de calibración. El establecimiento de nuevas CMC permitirá ampliar nuestro alcance en la atención de servicios de calibración y medición de magnitudes magnéticas y dar trazabilidad a las mediciones magnéticas que se realizan en nuestro país.

REFERENCIAS

- [1] M. A. Escobar Valderrama, M. P. García Torres Informe técnico del establecimiento del Patrón Nacional de Densidad de Flujo Magnético en corriente continua Área Eléctrica, División de Mediciones Electromagnéticas, CENAM, 2002.
- [2] Guía BIPM/ISO para la expresión de la incertidumbre en las mediciones. Reporte técnico: CNM-MED-PT-002, 1994.