

DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE K DE UNA BOBINA TIPO HELMHOLTZ EMPLEADA PARA LA CALIBRACIÓN DE MAGNETÓMETROS

Mario Gerardo Alatorre, Marco Antonio Escobar
Centro Nacional de Metrología

km 4.5 Carretera a los Cués. El Marqués, Querétaro. C. P. 76246. México
Tel. (442) 2110500, Ext. 3454, Fax: 2153904. Correo electrónico: malatorr@cenam.mx

Resumen: Se describe el método empleado en la determinación del valor de la constante K de una bobina de Helmholtz y se dan a conocer los resultados obtenidos en función de la corriente eléctrica que circula por ésta y del campo magnético inducido. El conocimiento de la constante K de la bobina, permite que ésta pueda emplearse en la calibración de magnetómetros, los cuales se utilizan generalmente para realizar mediciones de magnetismo residual, en la industria metal mecánica y de autopartes.

1. INTRODUCCIÓN

Los magnetómetros (también llamados gaussímetros o teslámetros), ya sean de tipo digital o analógico, son instrumentos de medición que se emplean para medir densidad de flujo magnético, o campo magnético B . En el Sistema Internacional de Unidades, el campo magnético B se expresa en tesla (T). Para la calibración de magnetómetros se requieren sistemas o patrones que generen campos magnéticos, B , estables y homogéneos, como: imanes patrón, solenoides, bobinas de Helmholtz, y electroimanes.

La selección del método de generación del campo magnético B , depende de factores como: el nivel o intensidad del campo B a medir, de la homogeneidad del campo necesario para realizar la medición, de las dimensiones de la sonda de medición y la incertidumbre requerida.

Existen magnetómetros analógicos cuyo sensor de medición está incluido dentro del mismo instrumento y por sus dimensiones requieren de una bobina de Helmholtz especial, como la mostrada en la figura 1, para poder ser calibrados.

Los magnetómetros analógicos como el mostrado en la figura 1, se emplean principalmente en la industria metal-mecánica, para la medición de magnetismo residual de piezas metálicas, las cuales deben cumplir con ciertas especificaciones.

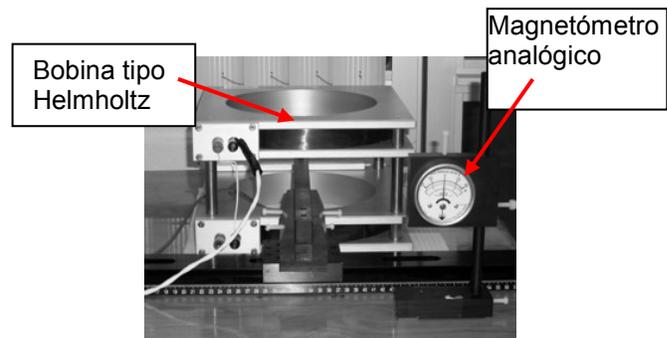


Fig. 1 Bobina de Helmholtz y magnetómetro analógico.

2. BOBINA DE HELMHOLTZ

2.1 Descripción

La bobina de Helmholtz, objeto de este trabajo, con un valor nominal de resistencia de 38Ω y un diámetro de 0.2 m, genera en su centro un campo magnético B homogéneo, al hacer circular a través de ésta una corriente eléctrica continua estable, produciendo un campo magnético axial a lo largo de su eje. El valor del campo magnético B , 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. El valor del campo magnético B (T), se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$B = \mu_0(K I) \quad (1)$$

donde:

B = campo magnético inducido en la bobina, en tesla (T),

μ_0 = constante de campo magnético = $4\pi \times 10^{-7}$ (Vs/Am),
 K = constante de la bobina, en [(A/m)/A],
 I = corriente eléctrica continua, que circula a través de la bobina, en ampere (A).

2.2 Mediciones

En la figura 2 se muestra el diagrama del sistema de medición, que fue utilizado para determinar el valor de la constante K de la bobina.

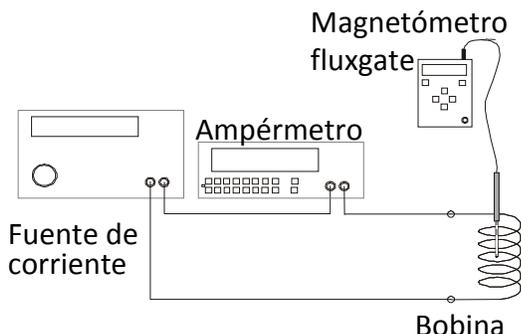


Fig. 2 Sistema de medición de la constante K de la bobina de Helmholtz.

Para medir el campo B inducido en la bobina, se empleó un magnetómetro tipo fluxgate, con sensor de medición de flujo axial, y un amperímetro para realizar las mediciones de corriente. El valor de la constante K se determinó para diferentes valores de corriente, que se hicieron circular a través de la bobina de Helmholtz, conectada en configuración serie, y se midieron, tanto el campo magnético generado, B_{med} , como la corriente eléctrica I . El valor de la constante K se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{B_{med} - B_{inicial}}{\mu_0 I} \quad [(A/m)/A] \quad (2)$$

donde:
 $B_{inicial}$ = es el valor del campo magnético B ambiental en el centro de la bobina, sin hacer circular ninguna corriente.

El sensor de campo magnético B , se colocó en dirección paralela al eje de la bobina, en el centro de la cavidad de ésta. Para su posicionamiento se emplearon soportes de materiales no magnéticos, para no afectar el campo magnético generado.

En la siguiente tabla se muestran los valores nominales de la corriente eléctrica, que se hizo circular por la bobina de Helmholtz, así como los valores de campo magnético B , generados por estas corrientes, para las cuales se determinó el valor de la constante K de la bobina.

Tabla 1 Valores nominales de la corriente eléctrica y del campo magnético B generado en la bobina.

$B_{nominal}$ (mT)	$I_{nominal}$ (mA)
0.1	14
0.2	24
0.5	56
1	115
2	226

3. RESULTADOS

3.1 Determinación de la constante K

La tabla siguiente muestra los valores de la constante K que fueron determinados y su incertidumbre expandida, con un factor de cobertura $k = 2.0$, que asegura un nivel de confianza de al menos 95 %, para los diferentes valores de campo magnético B , generados por las corrientes que se hicieron circular por la bobina de Helmholtz.

Tabla 2 Valores determinados de la constante K de la bobina tipo Helmholtz.

$B_{nominal}$ (mT)	K ((A/m)/A)	U ((A/m)/A)
0.1	7122	± 39
0.2	7119	± 39
0.5	7114	± 39
1	7115	± 38
2	7110	± 38

La gráfica siguiente muestra el comportamiento de la constante K en función del campo magnético B .

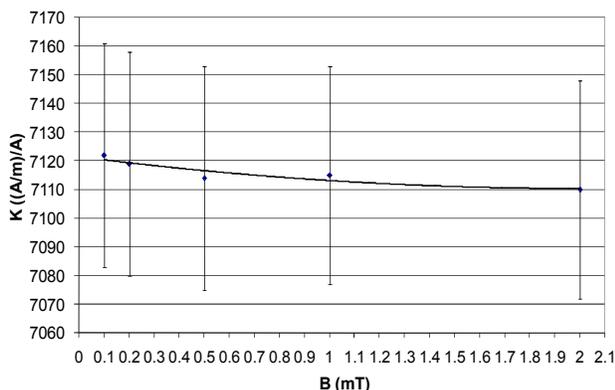


Fig. 3 Valor de la constante K , determinada para diferentes valores de campo magnético B .

3.2 Fuentes de incertidumbre

Las fuentes de incertidumbre que se consideraron en la determinación de la constante K de la bobina tipo Helmholtz, se muestran en la tabla 3 y se presentan los valores de incertidumbre para el caso de un campo magnético B de 1 mT.

Tabla 3 Fuentes de incertidumbre en la determinación de la constante K .

Fuentes de incertidumbre	Incertidumbre ((A/m)/A)
1.- Dispersión de las mediciones de densidad de flujo magnético (B_{med})	18.5
2.- Resolución de B_{med}	2×10^{-1}
3.- Error de medición de B_{med}	4
4.- Dispersión de las mediciones de densidad de flujo magnético ambiental ($B_{inicial}$)	2×10^{-1}
5.- Resolución de $B_{inicial}$	2×10^{-2}
6.- Error de medición de $B_{inicial}$	5×10^{-2}
7.- Dispersión de las mediciones de corriente	8×10^{-8}
8.- Resolución de las mediciones de corriente	2×10^{-11}
9.-Error de indicación del ampermetro	4×10^{-8}
10.- Estabilidad del ampermetro	1×10^{-6}
Incertidumbre expandida	38

A continuación se explica cómo se determinaron los valores de las fuentes de incertidumbre, asociados a la tabla 3:

1.- Dispersión de las mediciones de densidad de flujo magnético (B_{med})

Esta es una incertidumbre tipo “A”, la cual está asociada a la dispersión de las mediciones realizadas con el magnetómetro tipo fluxgate del campo magnético B_{med} , generado por la bobina tipo Helmholtz.

2.- Resolución de B_{med}

Esta es una incertidumbre tipo “B”, la cual es atribuida a la resolución del magnetómetro fluxgate, al medir el campo magnético B_{med} generado por la bobina tipo Helmholtz.

3.- Error de medición de B_{med}

Incertidumbre tipo “B”, atribuida al error de medición del magnetómetro tipo fluxgate, al medir el campo magnético B_{med} , generado por la bobina tipo Helmholtz. Esta incertidumbre es obtenida del certificado de calibración del magnetómetro.

4.- Dispersión de las mediciones de densidad de flujo magnético ambiental ($B_{inicial}$)

Incertidumbre tipo “A”, asociada a la dispersión de las mediciones del campo magnético ambiental, realizadas con el magnetómetro tipo fluxgate.

5.- Resolución de $B_{inicial}$

Esta es una incertidumbre tipo B, la cual es atribuida a la resolución del magnetómetro fluxgate al medir el campo magnético ambiental ($B_{inicial}$).

6.- Error de medición de $B_{inicial}$

Incertidumbre tipo “B”, atribuida al error de medición del magnetómetro tipo fluxgate, al medir el campo magnético ambiental ($B_{inicial}$). Esta información es obtenida del certificado de calibración del magnetómetro tipo fluxgate.

7.- Dispersión de las mediciones de corriente

Incertidumbre tipo “A”, asociada a la dispersión de las mediciones de corriente realizadas con el ampermetro.

8.- Resolución de las mediciones de corriente

Incertidumbre tipo “B”, la cual es atribuida a la resolución del ampermetro al medir la corriente

eléctrica que se hace circular a través de la bobina tipo Helmholtz.

9.-Error de indicación del ampérmetro

Incertidumbre tipo “B”, asociada al error de indicación del ampérmetro, al medir la corriente que circula a través de la bobina de Helmholtz. Esta información es obtenida del certificado de calibración del ampérmetro.

10.- Estabilidad del ampérmetro

Incertidumbre tipo “B”, asociada a la estabilidad del ampérmetro. Esta información se obtiene de las especificaciones dadas por el manual del fabricante.

3.3 Estabilidad de la constante *K*

Otro de los trabajos que se ha realizado es la determinación de la estabilidad de la constante *K* de la bobina, para diferentes valores de campo magnético *B*, generados con la bobina tipo Helmholtz, en el intervalo de 0.1 mT a 2 mT.

La gráfica siguiente muestra el comportamiento de la constante *K* en función del tiempo, para un campo magnético *B* generado de 1 mT, desde el año 2007 hasta el año 2010.

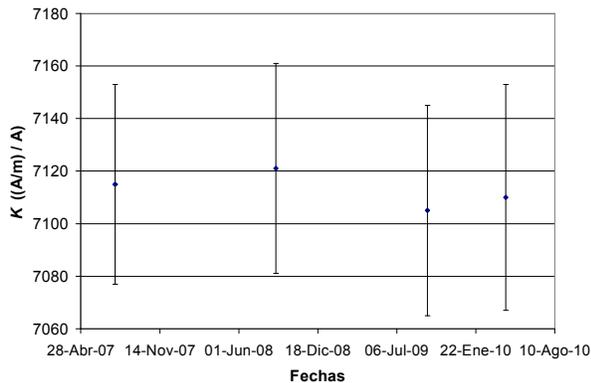


Fig. 4 Comportamiento en el tiempo de la constante *K* de la bobina tipo Helmholtz.

El conocimiento de la estabilidad de la constante *K* de la bobina, nos permite asegurar la calidad de las mediciones que se realizan en los servicios de calibración de magnetómetros analógicos y digitales usando el método de sustitución.

4. CONCLUSIONES

Se determinó el valor de la constante *K* de la bobina de Helmholtz, para diferentes valores de corriente y de campo inducido. Con el conocimiento de este parámetro, se asegura la trazabilidad de las mediciones a patrones nacionales, en los servicios de calibración de magnetómetros, que ofrece el CENAM.

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