

Desarrollo de nuevas capacidades de medición y calibración
del Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético del CENAM

Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético Centro Nacional de Metrología

M. G. Alatorre Moreno
malatorr@cenam.mx

M. A. Escobar V.
mescobar@cenam.mx

Contenido

- 1.- Objetivo y motivación
- 2.- Introducción
- 3.- Capacidades de calibración del Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético
 - A) Calibración de magnetómetros
 - B) Calibración de imanes patrón
- 4.- Servicios de medición que ofrece el Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético
 - 4.1 Medición de magnetismo residual
 - 4.2 Medición de campo magnético ambiental
 - 4.3 Medición del campo magnético B generado por imanes
- 5.- Conclusiones

1.

OBJETIVO :

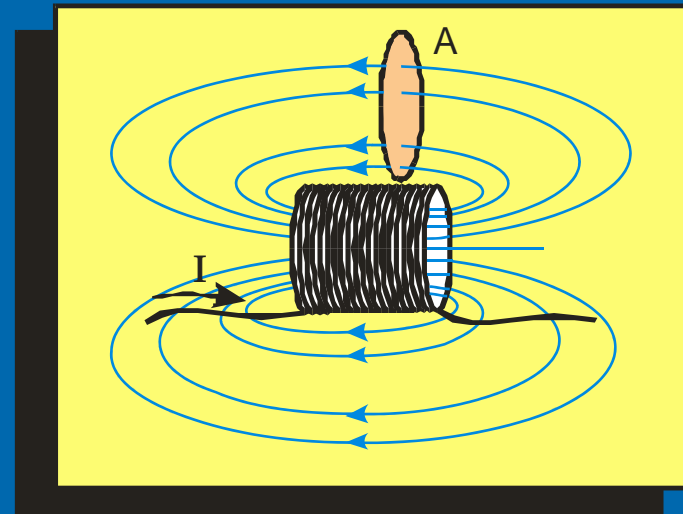
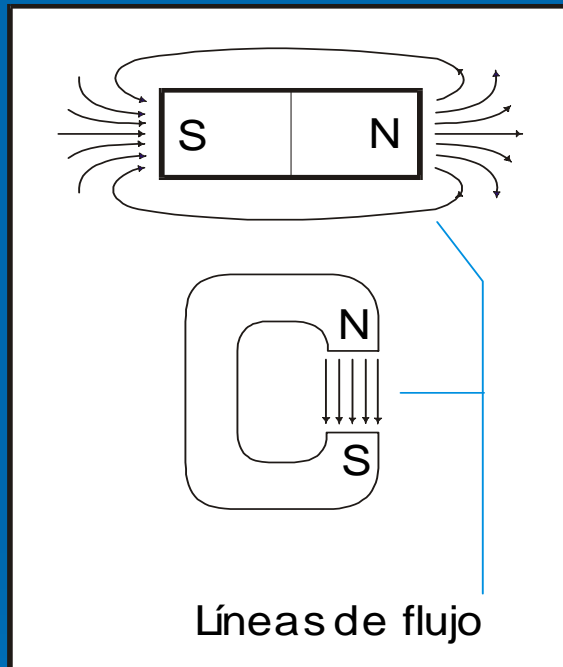
Dar a conocer las capacidades de medición y calibración del Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético del CENAM, haciendo una descripción de los métodos y sistemas de medición empleados.

MOTIVACIÓN:

Atender las necesidades de calibración y medición magnéticas para apoyar la competitividad de diversos sectores industriales del país.

2.- Introducción

Densidad de flujo magnético: Flujo magnético o 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 imanes

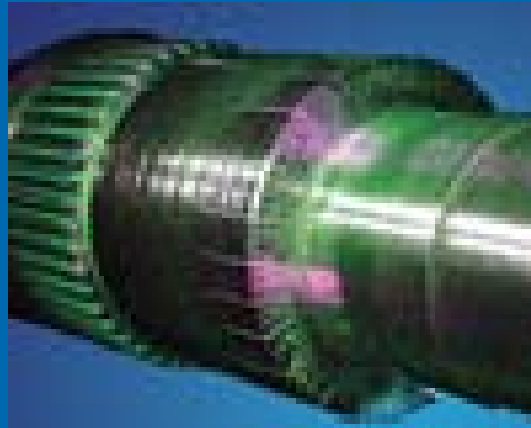


| Magnitud | Símbolo | Unidad del Sistema Internacional |
|-----------------------------|---------|----------------------------------|
| Densidad de flujo magnético | B | tesla (T) |

Ejemplos de aplicaciones metrológicas en el campo de mediciones magnéticas

Aplicaciones en la industria automotriz

- Medición de magnetismo residual
- Medición del campo magnético B



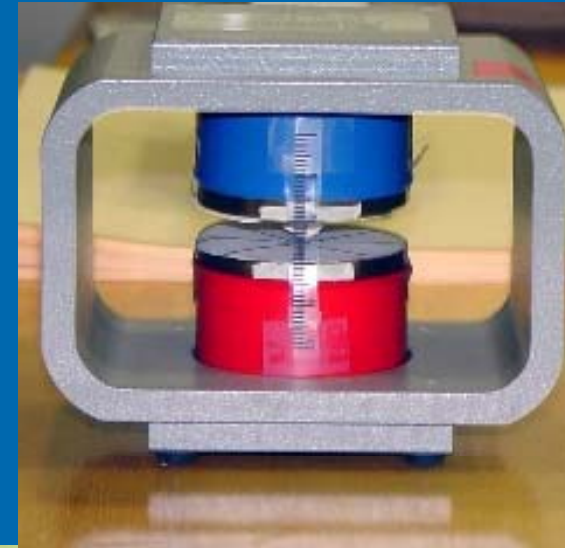
Aplicaciones en los laboratorios de metrología

- Calibración de imanes de referencia
- Calibración de magnetómetros

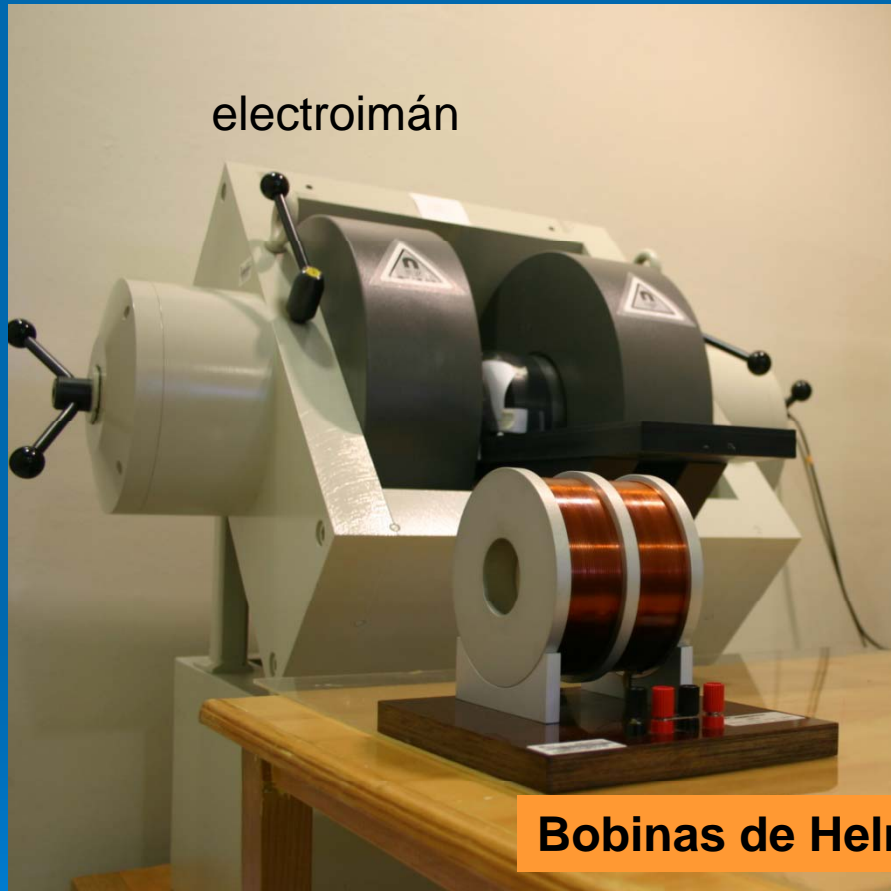


Sistemas de generación de campo magnético B

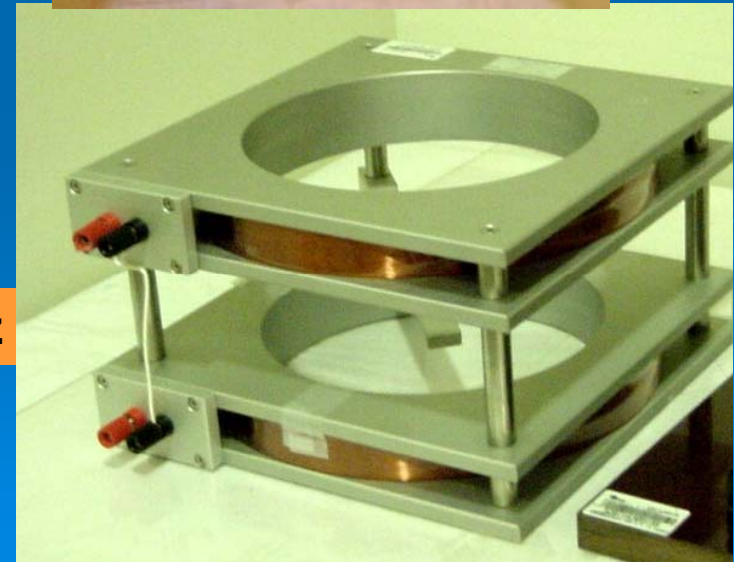
Imán patrón



electroimán



Bobinas de Helmholtz

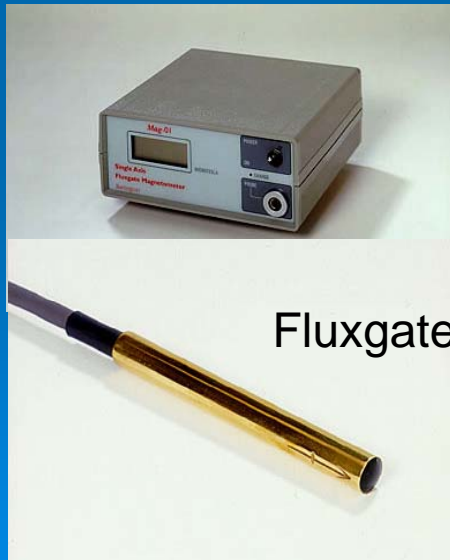


Magnetómetros

Analógico



Resonancia Magnética Nuclear



Fluxgate



Efecto Hall

3.- Capacidades de calibración del Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético

A) Calibración de magnetómetros

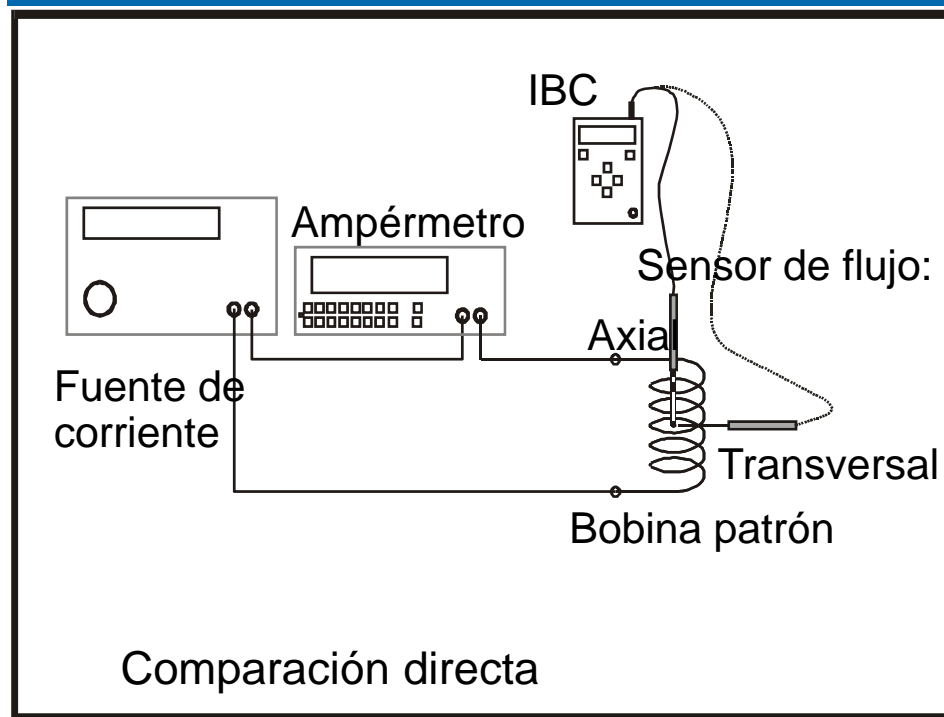
TABLA 1

| Calibración de: | Método de calibración | Intervalo de medición | $\pm U$ (mT/T) |
|---|--|-----------------------|-------------------|
| 1.- Magnetómetros digitales, con sensor de flujo axial o transversal | Comparación directa/ bobina de Helmholtz | 10 μ T a 2 mT | 3 |
| 2.- Magnetómetros digitales o analógicos, con sensor de flujo axial o transversal | Comparación por sustitución/ bobina de Helmholtz | 100 μ T a 2 mT | 10 |
| 3.- Magnetómetros digitales, con sensor de flujo transversal | Comparación por sustitución/ electroimán | 100 mT a 300 mT | 3 |
| 4. Magnetómetros con sensor de flujo transversal | Comparación directa / imanes patrón | 100 mT y 250 mT | 4 |
| 5.- Magnetómetros con sensor de flujo axial | Comparación directa / imán patrón | 100 mT | 4 |

3.1 Calibración de magnetómetros con sensor de flujo axial o transversal

Usando una bobina de Helmholtz para la generación y determinación del campo magnético B en el intervalo de medición de $10 \mu\text{T}$ a 2 mT

Método por comparación directa



$$B = \mu_0 k I$$

B : Campo magnético de referencia, en tesla (T)

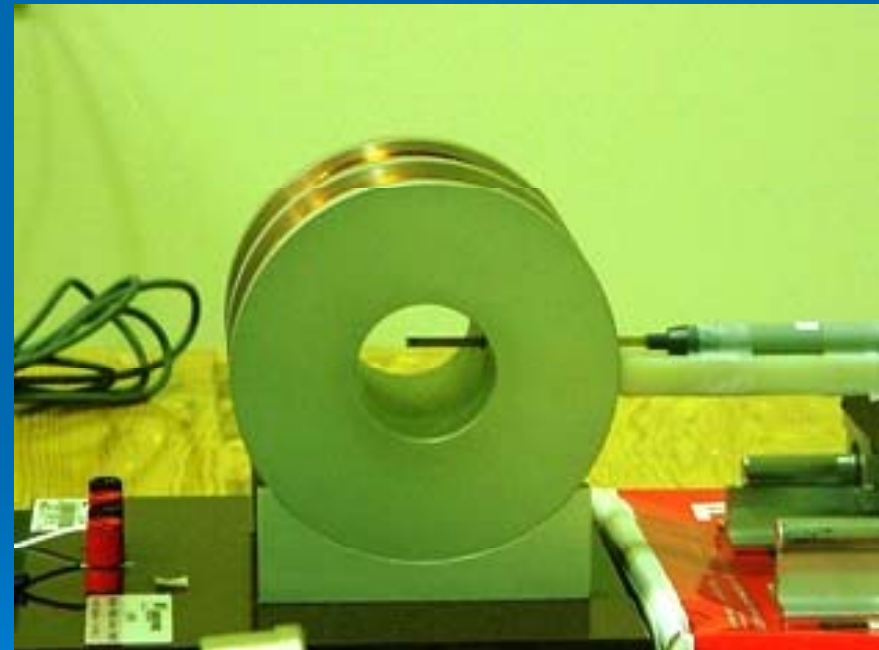
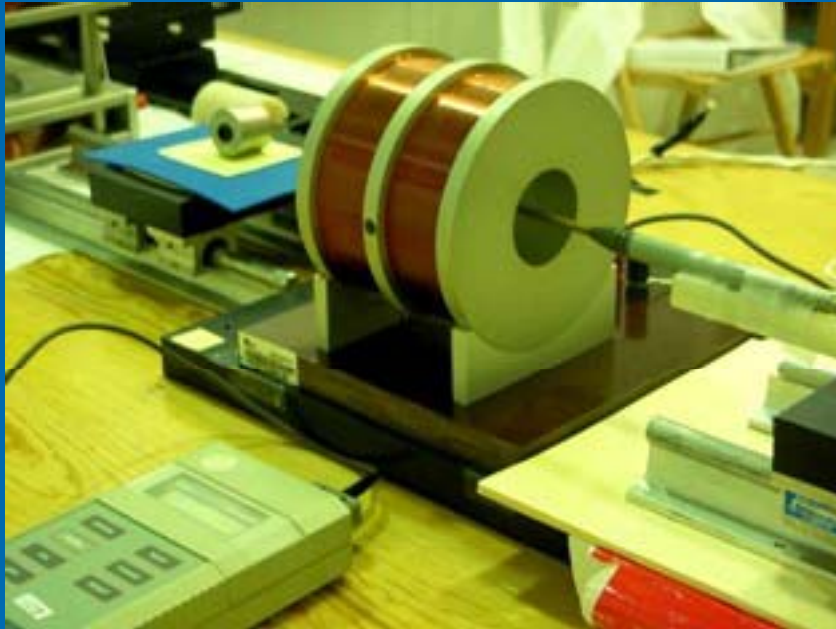
μ_0 : Constante de campo magnético en (Vs/Am)

k : Constante de la bobina patrón, en [(A/m)/A]

I : Corriente eléctrica continua que circula por la bobina, en (A)

Calibración de magnetómetros con sensor de flujo axial y transversal

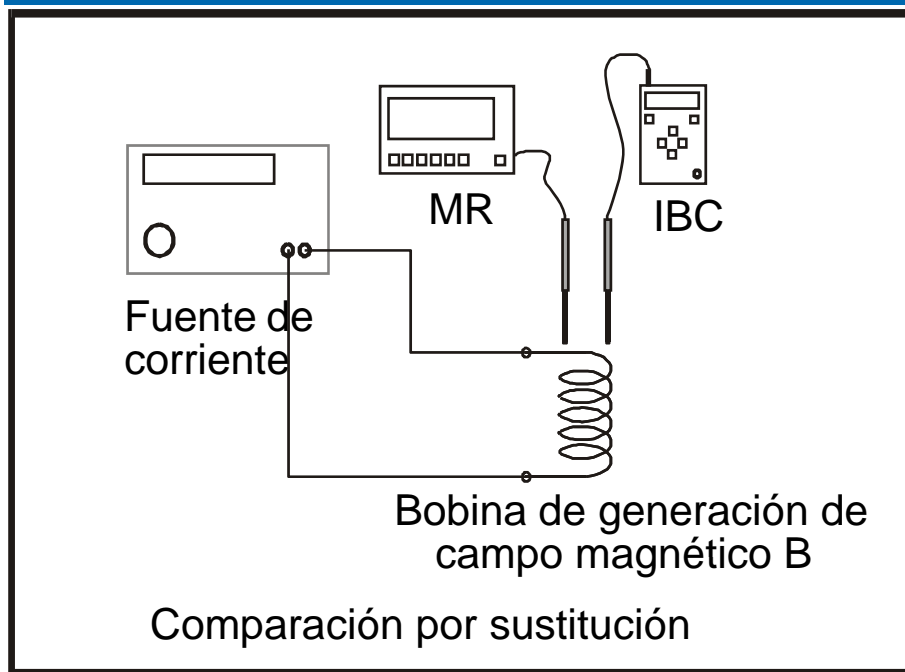
Usando una bobina de Helmholtz para la generación y determinación del campo magnético B en el intervalo de medición de $10 \mu\text{T}$ a 2 mT



3.2 Calibración de magnetómetros con sensor de flujo axial o transversal

Usando una bobina de Helmholtz para la generación y determinación del campo magnético B en el intervalo de medición de $100 \mu\text{T}$ a 2 mT

Método de calibración: comparación por sustitución



$$E_{IBC} = B_{IBC} - B_{MR}$$

Donde :

E_{IBC} : Error de medición del magnetómetro bajo calibración

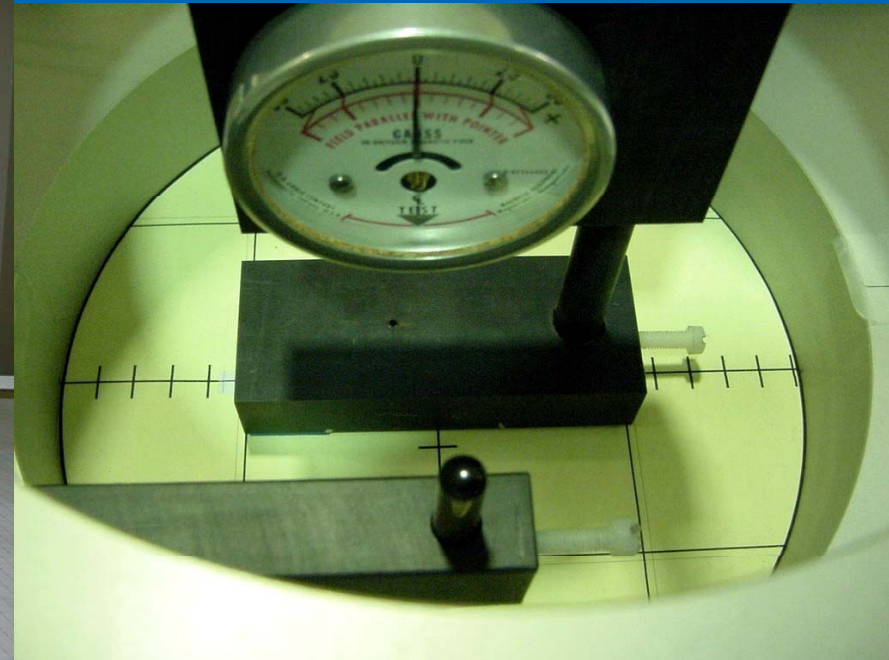
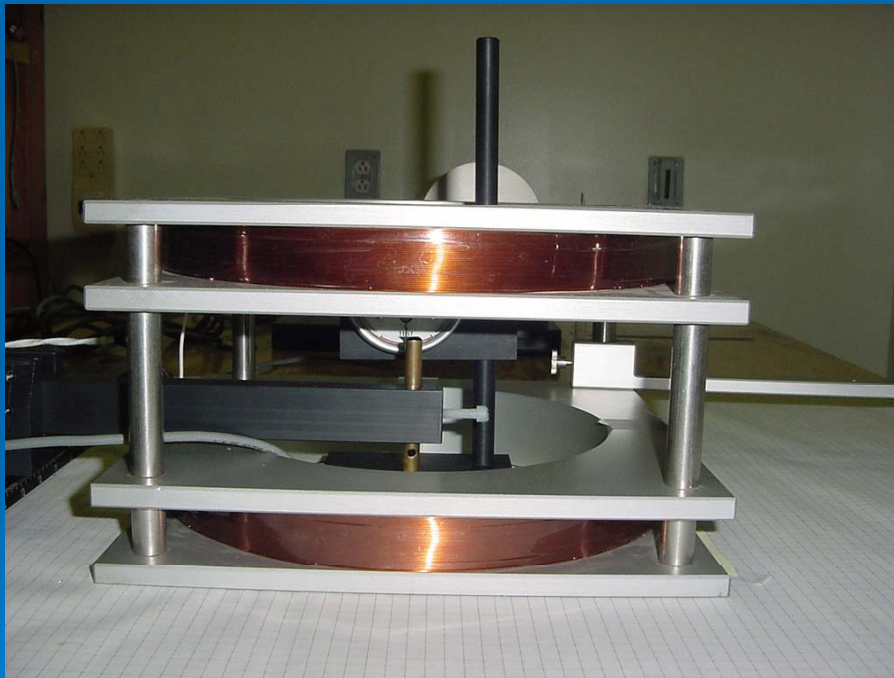
B_{IBC} : Medición de densidad de flujo magnético realizada con el magnetómetro bajo calibración

B_{MR} : Medición de densidad de flujo magnético realizada con el magnetómetro de referencia

Calibración de magnetómetros analógicos

Usando una bobina de Helmholtz para la generación y determinación del campo magnético B en el intervalo de medición de $100 \mu\text{T}$ a 2 mT

Método de calibración: comparación por sustitución



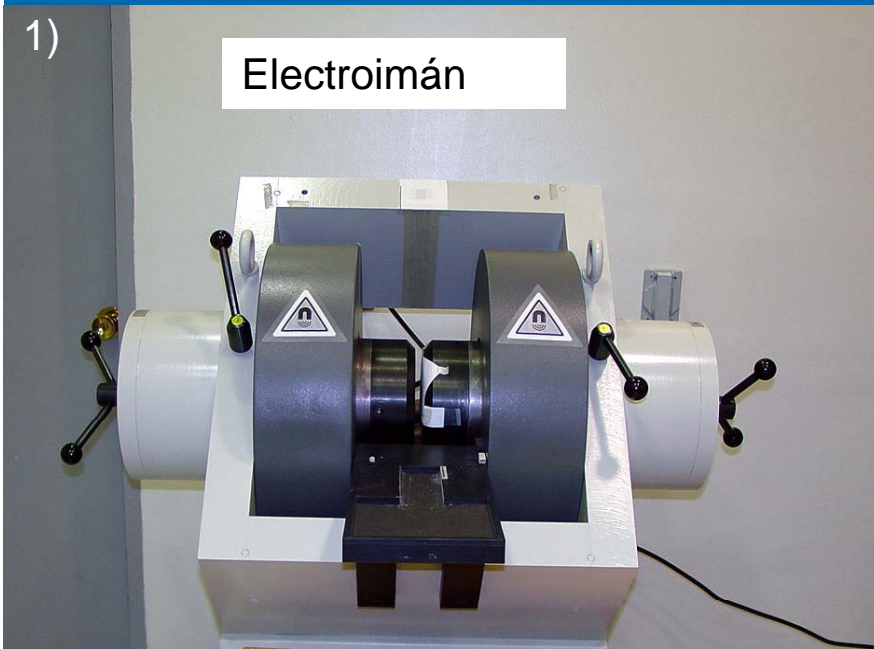
3.3 Calibración de magnetómetros con sensor de flujo transversal

Usando un electroimán y una fuente de corriente de alta estabilidad para la generación de campo magnético B en el intervalo de medición de 100 mT a 300 mT

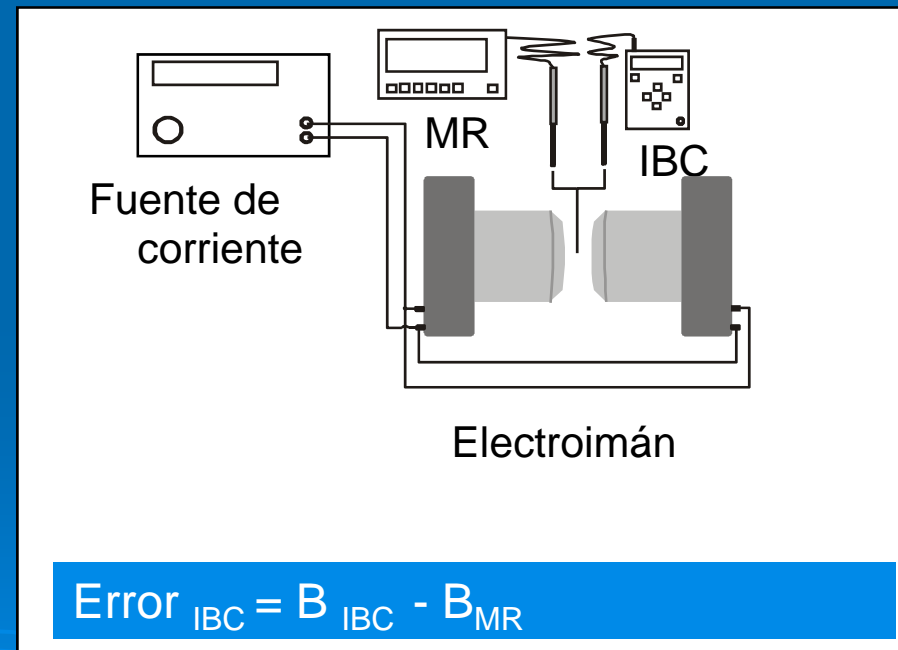
Método de calibración: comparación por sustitución

1)

Electroimán



2)



$$\text{Error}_{IBC} = B_{IBC} - B_{MR}$$

3.4 / 3.5 Calibración de magnetómetros con sensor de flujo transversal (100 mT y 250 mT) y con sensor de flujo axial (100 mT)

Sistema de generación de campo magnético B usando imanes patrón

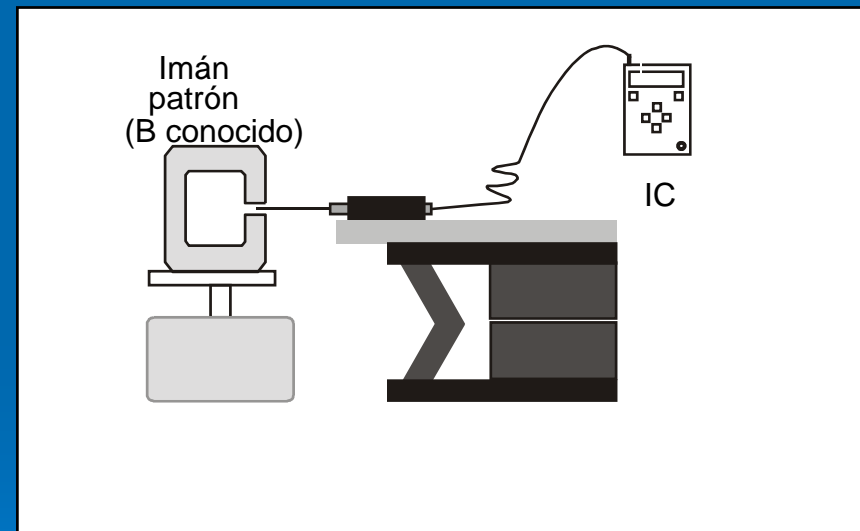
Método de calibración: comparación directa

1) Imán patrón con cavidades para medir flujo axial y transversal



Imán patrón con valor nominal de 100 mT

$$\text{Error}_{IC} = B_{IC} - B_{\text{conocido}}$$



Sistema de medición utilizado para la calibración

Imán patrón con cavidades para medir flujo axial y transversal
Valor nominal de campo magnético B 100 mT

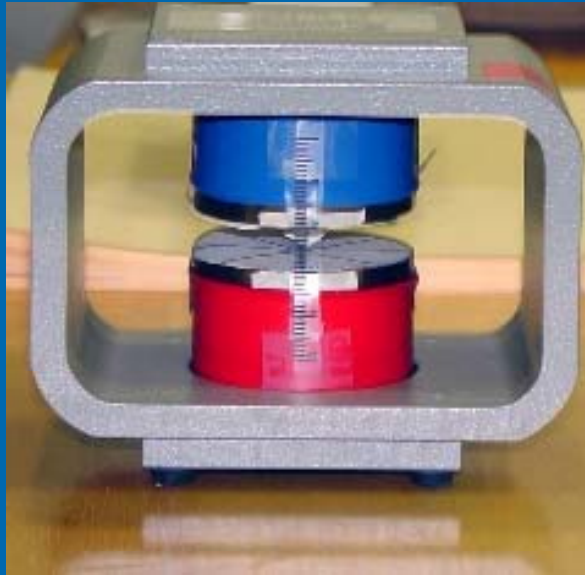


$$B_{\text{med}} \pm U = (105,83 \pm 0,37) \text{ mT}$$

Especificaciones

| Altura | Diámetro | Cavidad axial | Cavidad transversal |
|--------|----------|---------------|---------------------|
| 6,8 cm | 5,5 cm | 0,6 cm | 0,5 cm x 1 cm |

Imán patrón con cavidades para medir flujo transversal
 Imán patrón con valor nominal de campo magnético 250 mT

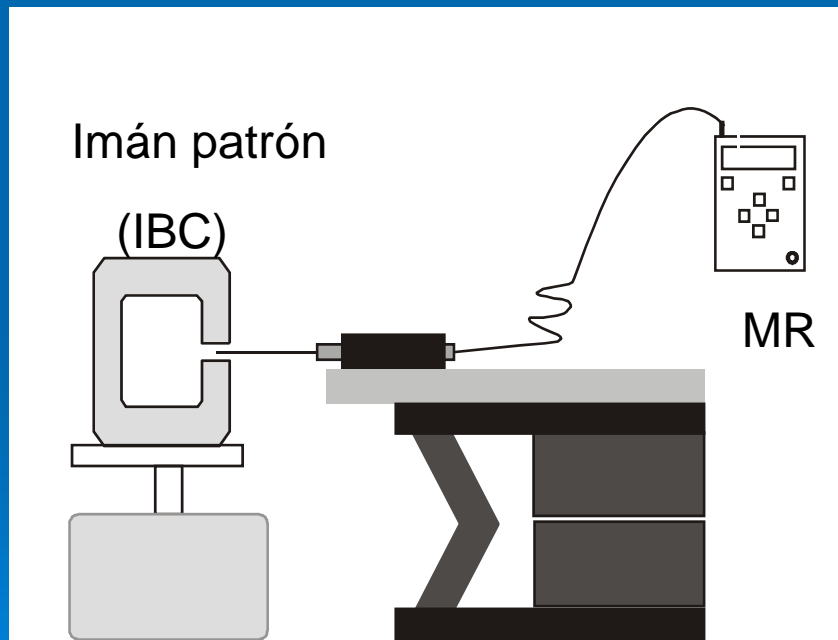


Especificaciones

| Altura | Diámetro | Entrehierro | $B_{med} \pm U$ |
|--------|----------|-------------|----------------------------|
| 9 cm | 5 cm | 1 cm | (247,886 \pm 0,004) mT |

B) Calibración de imanes patrón con cavidad para medición de flujo transversal

| Método de calibración | Intervalo de calibración | Incertidumbre expandida (mT / T) |
|---|--------------------------|----------------------------------|
| Comparación directa / magnetómetro de efecto Hall | 100 mT a 300 mT | 4 |



$$B_{IBC} = B_{MR} - E_i$$

Donde :

B_{IBC} : Valor de la densidad de flujo magnético generado por el imán bajo calibración

B_{MR} : Valor de la densidad de flujo magnético, medido con el magnetómetro de efecto Hall (magnetómetro de referencia)

E_i : Error de medición del magnetómetro de efecto Hall

Sistema de medición utilizado para la calibración de imanes patrón

4.- Servicios de medición del Laboratorio de Densidad de Flujo Magnético

4.1 Medición de magnetismo residual

Por magnetismo residual se entiende el magnetismo o inductancia magnética o polarización magnética remanente, que persiste en ciertos materiales después de haber desaparecido el campo magnético al que fueron expuestos, éste varía dependiendo del material.



Centralizador de
acero

En el caso de los aceros, el valor del magnetismo residual puede ser muy pequeño, aproximadamente del orden de nT a algunos μT .

4.2 Medición de campo magnético ambiental

Campo magnético de la Tierra



Equipo de medición:

Magnetómetro de referencia
tipo Fluxgate



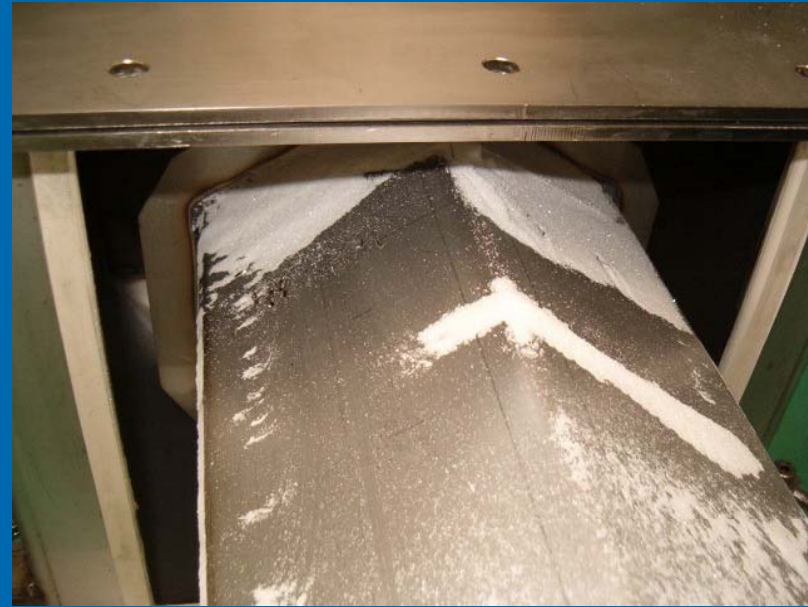
Para estas mediciones se coloca el sensor en la posición de interés, en tres diferentes direcciones: **este-oeste, sur-norte y vertical**

4.3 Medición del campo magnético B, generado por imanes

* Medición de campo magnético B en imanes permanentes, utilizados en la industria minera, para los revestimientos de los molinos



* Medición de campo magnético B en los imanes de una trampa de metales, empleados en la industria agroalimentaria



Servicios de medición de densidad de flujo magnético

| Servicio de medición | | Intervalo de medición | Incertidumbre Expandida | Patrón | Trazabilidad |
|---------------------------------------|---------|-----------------------|--------------------------------|--|---|
| Descripción | Método | | | | |
| Magnetismo residual | Directo | 50 nT a 2 mT | ± 20 mT/T a ± 200 mT/T | Magnetómetro fluxgate | Patrón nacional de densidad de flujo magnético del NPL , Inglaterra |
| Campo magnético ambiental | Directo | 50 nT a 2 mT | ± 14 mT/ T | Magnetómetro fluxgate | Patrón nacional de densidad de flujo magnético del NPL , Inglaterra |
| Campo magnético B generado por imanes | Directo | 100 mT a 300 mT | ± 5 mT/T | Magnetómetro de efecto Hall con sensor transversal | Patrón nacional de densidad de flujo magnético del CENAM |

La incertidumbre corresponde a un factor de cobertura $k=2$ para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %

5. Conclusiones

Con el establecimiento y mejora continua de nuestras capacidades de calibración y medición se han podido atender algunas de las necesidades en metrología magnética de la industria nacional.

Se pretende continuar con el trabajo que se está desarrollando para poder incrementar el alcance de los servicios que ofrece el laboratorio y así poder satisfacer un mayor número de necesidades en metrología magnética que hemos detectado, con la calidad y confiabilidad que garanticen la trazabilidad de las mediciones realizadas a los patrones nacionales del CENAM.

NOTAS

Nota 1: Este trabajo ha sido desarrollado con recursos del gobierno federal de México. Sólo se permite su reproducción sin fines de lucro y haciendo referencia a la fuente.

Nota 2: En este documento pueden aparecer marcas comerciales únicamente con fines didácticos y a fin de lograr un entendimiento claro de las técnicas y procesos descritos . En ningún caso esta identificación implica recomendación o aval del CENAM o de alguna otra institución del gobierno federal de México, ni tampoco implica que los equipos o materiales identificados sean necesariamente los mejores para el propósito para el que son usados. El CENAM y las demás instituciones no tienen compromisos con ninguna marca comercial en particular