

Consideraciones técnicas de medición de densidad de flujo magnético en corriente continua (c.c.)

Encuentro Nacional de Metrología Eléctrica 2005

Martín Pablo García Torres,
Marco Antonio Escobar Valderrama
Centro Nacional de Metrología (CENAM)
e-mail: pgarcia@cenam.mx
Junio 15, 2005

Contenido

- ✓ Introducción
- ✓ Tipos de instrumentos
- ✓ Selección de equipo
- ✓ Consideraciones técnicas
- ✓ Calibración
- ✓ Conclusiones

Introducción

La medición de magnitudes magnéticas son muy importantes en muchos aspectos de la economía moderna, incluyendo: ingeniería eléctrica, química, automotriz, naval, aérea, espacial y en pruebas no destructivas tanto en la industria como en investigación.

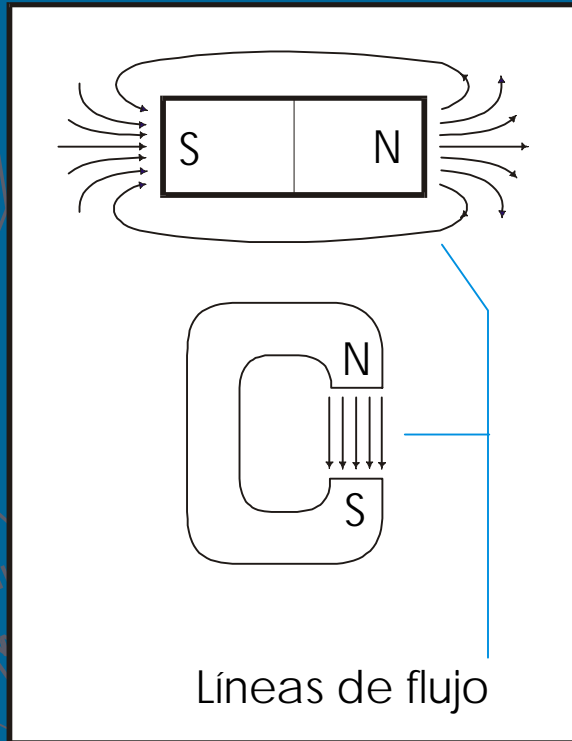


Introducción

- El magnetismo tiene su origen, en el movimiento de cargas eléctricas, electrones.
- A nivel macroscópico, el magnetismo en la materia, se manifiesta a través de fuerzas de atracción ó de repulsión que actúan entre algunos materiales, como el hierro, níquel, cobalto, etc..
- Los principios y mecanismos que explican el fenómeno magnético son complejos y aunque están bien definidos en la teoría, en la práctica, la medición de densidad de flujo magnético, B , debe tener en consideración todos los posibles factores que pueden influir en su medición.



Introducción...definiciones



Magnitud

- Densidad de flujo magnético
- Inducción magnética
- Campo magnético B

El número de líneas de flujo magnético por unidad de área, que pasan a través de un superficie dada, es llamado **densidad de flujo magnético**.

Unidad

SI tesla [T]

cgs gauss [G]



Introducción...conversión de unidades

Los magnetómetros digitales muestran sus lecturas de densidad de flujo en tesla (T) y en gauss (G), mientras que en los analógicos únicamente en gauss (G).

Conversión: 1 gauss (G) = 10^{-4} tesla (T)



Introducción

- ▶ Niveles de campo magnético B de alto riesgo en personas, de acuerdo a ICNIRP (The International Commission on Non-ionizing Radiation Protection)
 - * 200 mT : exposición continua,
 - * 2 T : exposiciones cortas (todo el cuerpo),
 - * 5 T : exposiciones cortas, en brazos y piernas,
 - * 0,5 mT personas con marcapasos y prótesis.

El valor del campo geomagnético de la Tierra depende del lugar donde se mida y puede tener valores entre 20 y 50 μT .



Tipos de instrumentos

Existe una amplia variedad de magnetómetros que miden densidad de flujo magnético, tanto digitales como analógicos, cada vez con mejores especificaciones técnicas y fácil operación. Aunque los instrumentos digitales están reemplazando a los instrumentos analógicos, éstos últimos siguen siendo más útiles en determinadas aplicaciones que los digitales.



Magnetómetros analógicos

Ventajas

- * Precisión
- Repetibilidad
- Rápida respuesta
- Bajo costo
- Fácil de transportar
- Compacto
- Sensa dirección del campo magnético B .

Desventajas

- * Baja exactitud
- Sensible a impactos
- Mide solo campos magnéticos en c.c.



Magnetómetros digitales

Se hará una comparación entre los tres magnetómetros digitales que tienen mayor demanda por sus características técnicas y metrológicas, así como por ser los que tienen más aplicaciones tanto en la industria como en los laboratorios de calibración:

* Magnetómetro de Resonancia magnética Nuclear (RMN)

• Magnetómetro Fluxgate

• Magnetómetro de efecto Hall.

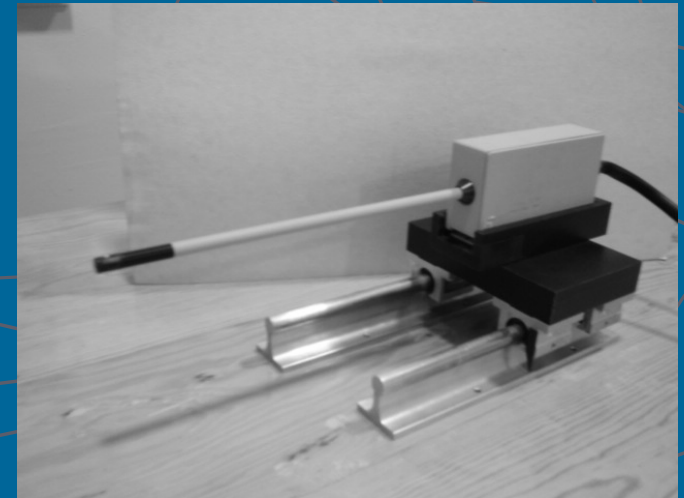


Magnetómetro de RMN

Ventajas

- Se puede medir campo magnético B en el intervalo de algunos microteslas a teslas.
- Incertidumbres menores a 50 ppm.
- La sonda es robusta.

Su principal aplicación: calibración de instrumentos de medición y de generación magnética (magnetómetros de efecto Hall, fluxgate, imanes permanentes, solenoides, etc.).



Magnetómetro de RMN.....continuación

Desventajas

- * Solo mide densidad de flujo magnético, B , en c.c.
- ▶ No sensa dirección de las líneas de flujo
- ▶ Mide las tres componentes (x, y, z)
- ▶ Requiere de una alta estabilidad del campo magnético B a medir: $<1\%/s$
- ▶ Requiere de una alta homogeneidad del campo magnético B a ser medido: $<0,1\%/cm$.
- ▶ Costo alto.



Magnetómetro fluxgate

Especificaciones

* Excelente estabilidad

- ▶ Linealidad 0,01%
- ▶ Incertidumbre: $\leq 0,1$ %
- ▶ Sensibilidad de (1 a 0,1) nT

▶ *Ventajas*

- ▶ Ideal para medir bajos valores (< 2 mT)
- ▶ Sensa dirección de las líneas de flujo
- ▶ Ancho de banda de c.c. hasta 10 Hz
- ▶ Posee sondas para medir flujo axial y transversal, robustas y con identificación de la posición del sensor
- ▶ Es portátil y cómodo para realizar mediciones en cualquier lugar.
- ▶ Puede emplearse a bajas temperaturas
- ▶ Costo medio



Magnetómetro fluxgate....continuación

Desventajas

- ▶ Intervalo de medición reducido: 0,1 nT a 2 mT (1 μ G a 20 G)
- ▶ No compensa los campos magnéticos ambientales por lo que se requiere hacer correcciones al resultado final.



Magnetómetro de efecto Hall

▶ *Especificaciones*

- ▶ Intervalo de trabajo típico en c.c., [0,1 μ T (1 mG) hasta 30 T (300 kG)]
- ▶ Resolución (0,1 a 10) μ T (1 a 100) mG
- ▶ Incertidumbre (0,05 a 2) %, para c.c.
- ▶ Estabilidad +/- 1 % por año



Magnetómetro de efecto Hall....continuación

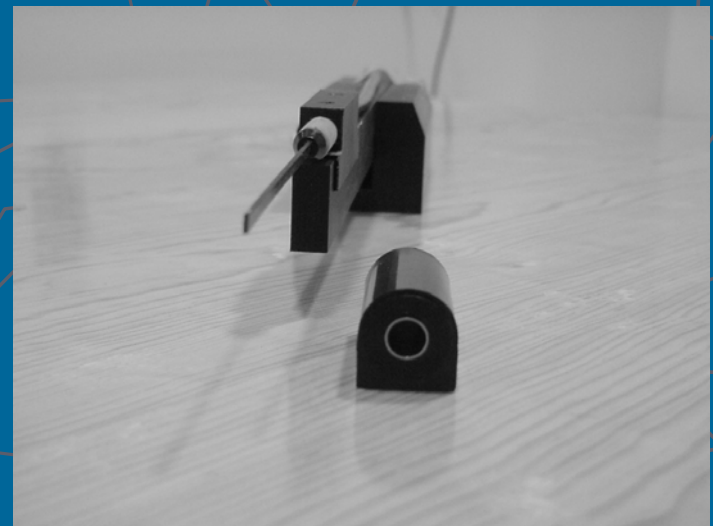
▶ *Ventajas*

- ▶ Mide campos magnéticos B en c.c. y en c.a.
- ▶ Emplea sondas de flujo axial y transversal
- ▶ Compensa los campos magnéticos ambientales
- ▶ Compensa los errores de offset que se generan internamente
- ▶ Existe una gran variedad de modelos en el mercado
- ▶ Es el más barato y versátil de los tres equipos digitales aquí mostrados
- ▶ Mide en geometrías complejas



Magnetómetro de efecto Hall...continuación

- ▶ *Desventajas*
- ▶ No es lineal en todo su intervalo de medición
- ▶ Sensible a la temperatura (ver especificaciones)
- ▶ Se tienen más fuentes de error que en los dos equipos mostrados anteriormente



Magnetómetro de efecto Hall...fuentes de error

Las fuentes de error que se eliminan al realizar el ajuste de cero en los magnetómetros de efecto Hall son:

- ▶ La tensión Hall de offset, V_m ,
- ▶ La tensión de offset debida a la electrónica del equipo,
- ▶ el campo magnético terrestre y fuentes magnéticas cercanas al sensor.



Magnetómetro de efecto Hall...fuentes de error

- ▶ La alineación entre los planos del sensor Hall y el soporte que lo sostiene no es exacta.
- ▶ La alineación entre la normal del sensor Hall y las líneas de flujo es crítico (ver tabla 1, siguiente diapositiva).

Para el primer caso se puede apoyar en las especificaciones del fabricante, para el segundo caso dependerá sólo de la habilidad del usuario.

En ambos casos se debe asociar una incertidumbre de medición.



Efectos al variar el ángulo entre el sensor Hall y las líneas de flujo

$$\varepsilon = (1 - \cos \theta) \times 100$$

Donde ε es el error generado

θ es el ángulo entre la normal del sensor Hall y las líneas de flujo

Ángulo (°)	Error (%)
0	0
1	0,015
2	0,061
3	0,137

Tabla 1



Magnetómetro de efecto Hall...fuentes de error

- ▶ Fuentes de error que también deben ser consideradas al realizar mediciones con sensores de efecto Hall
- ▶ Efectos de temperatura en la sonda
- ▶ Errores de linealidad (arriba de 1 T)
- ▶ Errores de reversibilidad



Selección de equipo

- ▶ Deberán tenerse en cuenta los requerimientos siguientes:
 - a) El campo magnético B a medir es, en c.a. ó en c.c.
 - b) Valores mínimos y máximos del campo B a medir y resolución requerida
 - c) Nivel de incertidumbre
 - d) Campo magnético a medir: tangencial o axial
 - e) Dimensiones del espacio donde se realizará la medición



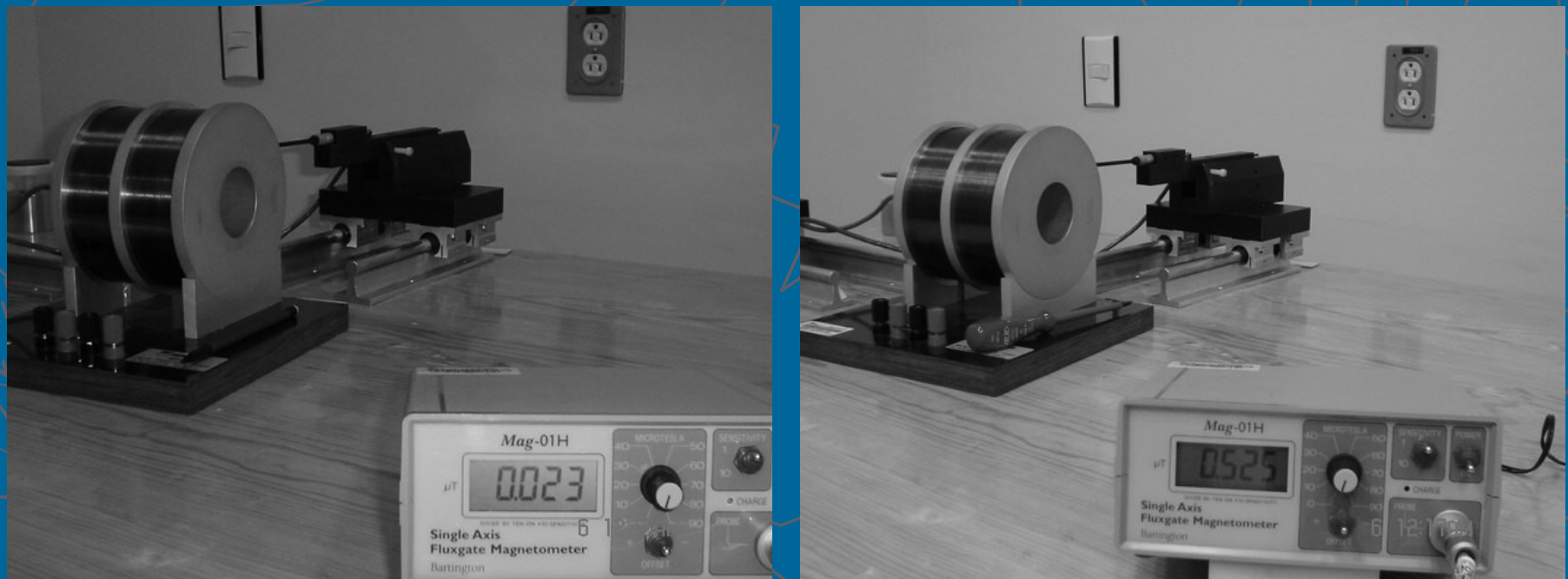
Consideraciones técnicas

Las siguientes consideraciones se aplican a los tres equipos arriba mencionados.

- ▶ El campo magnético B ambiental se debe minimizar, compensar ó realizar las correcciones al resultado obtenido
- ▶ El error generado si el sensor no es perpendicular a las líneas de flujo será: $(1 - \cos \theta) \times 100$, donde θ es el ángulo entre la normal del sensor y las líneas de flujo magnético
- ▶ Antes de realizar las mediciones se debe tener bien posicionado el sensor.
- ▶ Es importante revisar a detalle las especificaciones y recomendaciones que proporciona el fabricante



Cambio en la medición de densidad de flujo magnético al estar presente material ferromagnético



Calibración

- ▶ A fin de conocer el error y la incertidumbre de medición con la que mide el magnetómetro, éste debe ser calibrado regularmente.
- ▶ El periodo de calibración debe ser determinado por el usuario de acuerdo a sus necesidades metrológicas. El periodo puede ser por ejemplo cada 6 meses o cada año.
- ▶ Cuando se realice un ajuste ó reparación al equipo es necesario calibrarlo



Calibración...continuación

Información requerida para la solicitud de un servicio de calibración

- a) Marca y modelo del equipo a calibrar
- b) Especificaciones técnicas del equipo
- c) Tipo y dimensiones del sensor o sensores con los que se requiere calibrar el equipo
- d) Campo magnético en c.c. ó en c.a.
- e) Intervalos de calibración
- f) Especificar puntos de calibración



Conclusiones

- ▶ Es imprescindible que la gente que realice mediciones de magnitudes magnéticas este familiarizado con técnicas de medición magnéticas, así como entender las limitaciones de los instrumentos de medición y la necesidad de calibración de los mismos.
- ▶ El sistema de posicionamiento y la alineación sensor-líneas de flujo son fundamentales en la calidad de las mediciones.
- ▶ Es muy importante tomar ventaja de las especificaciones proporcionadas por el fabricante del equipo.
- ▶ En los casos en que el magnetómetro a utilizar permita compensar el campo magnético ambiental, se recomienda utilizar esta función. Para los demás casos se deberán de realizar las correcciones necesarias al valor del campo magnético medido.
- ▶ Un programa de calibración adecuado proporcionará información de la estabilidad del equipo y con ello se podrá estimar su comportamiento futuro.



Gracias por su asistencia

" Sin experimentación no hay verdad "

Aristóteles