

Necesidades de mediciones magnéticas en la industria

M. A. Escobar, M. G. Alatorre
Centro Nacional de Metrología
División de Mediciones Electromagnéticas
mescobar@cenam.mx

Contenido:

1. Objetivo y motivación
2. Introducción
3. Necesidades metrológicas
4. Elementos de magnetismo
5. Capacidades de calibración
6. Capacidades de medición
7. Conclusiones
8. Notas

1. Objetivo:

- Dar a conocer algunas de las necesidades metrológicas de la industria en el campo de las mediciones magnéticas, así como las capacidades de medición desarrolladas para la atención de estas necesidades.

Motivación:

- Cumplir con nuestra Misión.
- Atender las necesidades de mediciones magnéticas de la industria.
- Contribuir al fortalecimiento de la competitividad industrial de nuestro país.
- En México no hay laboratorios de metrología magnética.



2. Introducción:

- El cumplimiento de normas nacionales e internacionales, así como el aseguramiento de un sistema de calidad confiable, a inducido a diversas industrias a incursionar en el campo de la metrología, para cumplir con estándares que les permitan ser competitivas y poder exportar sus productos. Tal es el caso, por ejemplo, de industrias del sector automotriz, metal-mecánico, agroalimentario y minero, las cuales basan el desarrollo de algunos de sus productos en la medición de propiedades magnéticas de materiales. En la tabla siguiente se da una descripción de las necesidades metrológicas detectadas en estos sectores.

3. Necesidades metrológicas:

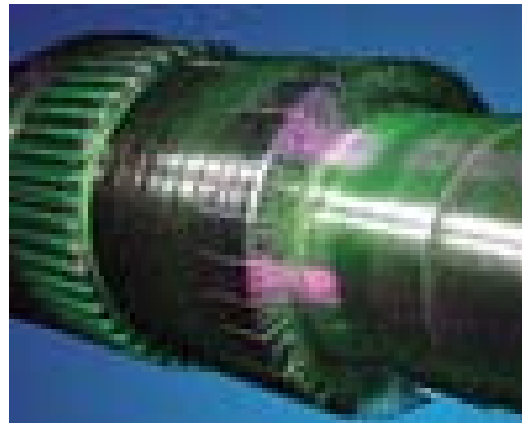
Necesidad	Industria o Sector
Medición de magnetismo residual.	Autopartes
Medición de susceptibilidad magnética.	Metal-mecánica
Medición de campo magnético B e intensidad de campo H, de imanes.	Agroalimentaria
Medición de campo magnético B ambiental	Minera
Calibración de magnetómetros.	Laboratorios de calibración
Capacitación en metrología magnética.	

- **En la Industria Agroalimentaria:**



- Caracterización magnética de filtros o trampas magnéticas, empleados por fabricantes de jugos, aditivos nutricionales y colorantes de alimentos, ingenios azucareros, y alimentos para niños, entre otros, para la retención de partículas ferromagnéticas, producidas durante el proceso de molienda, y el aseguramiento de calidad de sus productos.
- Calibración de magnetómetros para la medición de los campos magnéticos producidos por los filtros o trampas magnéticos y cumplimiento con los requerimientos de su sistema de calidad.
- Capacitación en mediciones magnéticas.

- *En la Industria de Autopartes:*



- Medición de magnetismo residual en partes automotrices , que han sido sujetas a campos magnéticos para la detección de fisuras por partículas ferromagnéticas, para el cumplimiento de normas internacionales y el aseguramiento de su sistema de calidad.
- Medición de campo magnético B y capacitación para realizar buenas prácticas de medición de magnetismo residual.
- Medición del campo magnético B y H, generado por imanes.

- ***En la Industria Metal-Mecánica:***



- Medición de magnetismo residual en centralizadores y tubos de acero para la industria petrolera.
- Calibración de magnetómetros para la medición de magnetismo residual o remanente.
- Medición de campos magnéticos generados por imanes, empleados en la fabricación de filtros o trampas magnéticas. Calibración de magnetómetros para la medición del campo magnético B, generado por estos imanes y para el control de calidad de productos.
- Capacitación para realizar buenas prácticas de medición de campos magnéticos.

- **En la Industria Minera:**



- Caracterización magnética de “orebeds” : medición del campo magnético B, generado por los imanes que constituyen los “orebeds”, los cuales son empleados para el recubrimiento de molinos.
- Asegurar la calidad de este producto .
- Medición del campo magnético B, de lotes de “orebeds”, para el cumplimiento de normas internacionales , como la “International Air Transport Association” (IATA), para la exportación de producto vía aérea.

- **Medir bien, para asegurar la calidad de los productos, implica:**
 - Tener conocimiento del material, cuya propiedad magnética se quiere medir.
 - Tener conocimiento de la magnitud o propiedad magnética del material, que se quiere medir o determinar su valor.
 - Conocer los factores de influencia que pueden afectar el o los resultados de una medición.
 - Determinar y conocer el equipo más adecuado para realizar las mediciones.
 - Contar con patrones o instrumentos de medición calibrados, para hacer correcciones por el error de medición del instrumento utilizado.
 - Contar con métodos de medición validados.

4. Elementos de magnetismo

- Inducción magnética **B** en la materia:

Cuando se coloca un material en un campo magnético **H**, el material bajo prueba puede ser atraído por la región intensa del campo ó bien repelido por éste. Esto significa que en el material se induce un campo magnético **B**, llamado también inducción magnética o densidad de flujo magnético, el cual interacciona con el campo externo **H**.

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0\mathbf{H} + \mathbf{J}$$

donde:

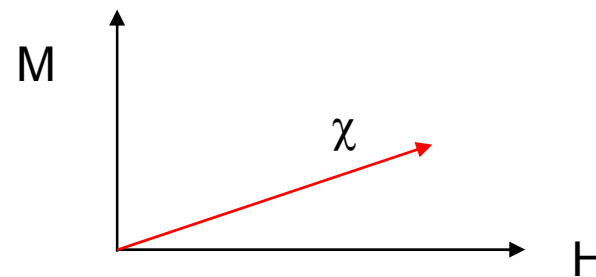
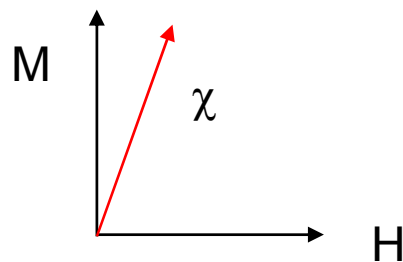
- B = densidad de flujo magnético, en tesla T (Wb/m²),
- $\mu_0 \equiv$ cte. magnética = $4\pi \times 10^{-7}$, en Wb/Am
- M = magnetización inducida, en A/m
- J = polarización magnética inducida, en tesla T
- H = intensidad del campo magnético externo, en A/m.

- Susceptibilidad magnética χ :

Es una propiedad característica de los materiales, la cual podemos definir como la razón entre la magnetización inducida en el material, o polarización magnética, y la intensidad del campo magnético H , al cual está sujeto dicho material. Puede interpretarse como una medida de la facilidad que presenta un material para ser magnetizado por un campo magnético externo H :

$$M = \chi H \quad \rightarrow \quad \text{Susceptibilidad relativa } \chi = M / H$$

$$J = \chi H \quad \rightarrow \quad \text{Susceptibilidad absoluta } \chi = J / H \text{ (en Wb/Am)}$$



- Permeabilidad magnética μ :

Se puede definir como la relación entre el campo de inducción magnética B y la intensidad de campo magnético H :

$$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H} + \mathbf{M}) = \mu_0(1 + \chi)\mathbf{H}$$
$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad [\text{en tesla, T}]$$

donde:

$\mu = \mu_0(1 + \chi) \equiv$ *permeabilidad magnética absoluta* [en Wb/Am], y

$\mu/\mu_0 = (1 + \chi) = \mu_r \equiv$ *permeabilidad magnética relativa* [sin dimensiones]

- Clasificación Magnética de materiales:

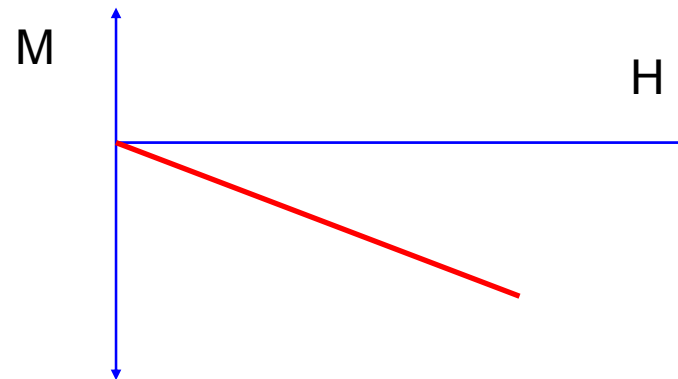
Los materiales pueden clasificarse magnéticamente, según el valor de su susceptibilidad magnética ($\chi = \mathbf{M} / \mathbf{H}$), en tres grupos principales:

- Materiales Diamagnéticos: $\chi < 0$
(Ejemplos: H₂O, Ag, Au, Cu, C, Pb y el petróleo)
- Materiales Paramagnéticos: $\chi > 0$
(Ejemplos: Al, O, K)
- Materiales Ferromagnéticos: $\chi \rightarrow \infty$
(Ejemplos: Fe, Co, Ni)

las propiedades magnéticas de los materiales dependen de su estructura electrónica y de los movimientos propios de los electrones: movimiento orbital y de spin.

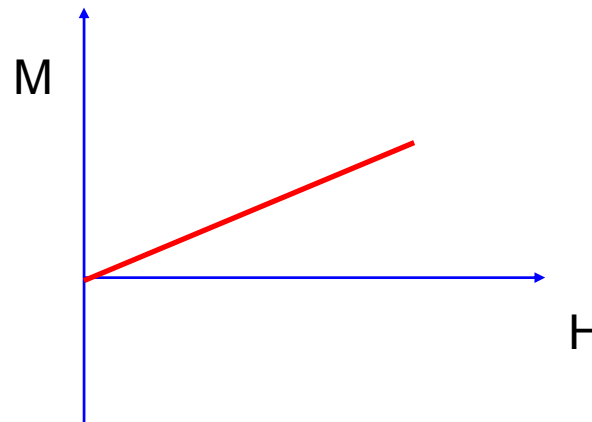
- Materiales Diamagnéticos: $\chi < 0$

Este tipo de materiales se caracteriza por presentar una susceptibilidad negativa. El diamagnetismo es debido al movimiento orbital de los electrones. Bajo la acción de un campo magnético externo \mathbf{H} , se induce en el material un cambio en el movimiento orbital de sus electrones, de tal manera que los momentos magnéticos asociados a las corrientes así inducidas, producen una magnetización $\neq 0$, muy pequeña.

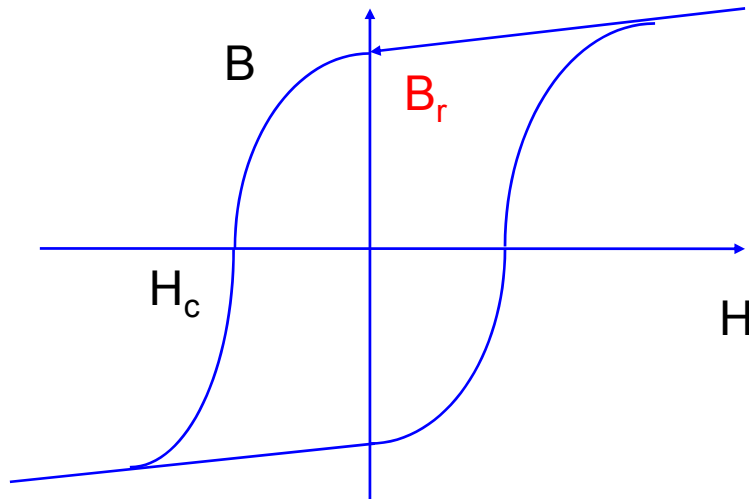


- Materiales Paramagnéticos: $\chi > 0$

Los materiales paramagnéticos se caracterizan por tener una susceptibilidad positiva, relativamente pequeña. Son materiales cuyos átomos presentan dos características esenciales: (1) capas electrónicas parcialmente llenas, y como consecuencia de esto, (2) un momento magnético resultante distinto de cero. Bajo la acción de un campo magnético externo \mathbf{H} , los momentos magnéticos de los átomos tienden a alinearse en la dirección del campo (ver Fig.), resultando así una magnetización $\mathbf{M} \neq 0$.



- Materiales Ferromagnéticos: $\chi \rightarrow \infty$



B_r , inducción magnética remanente o residual, es el valor de B a $H = 0$,

Ejemplos: Fe, Co, Ni y aleaciones con elementos de tierras raras, como el Nd.

- A nivel microscópico estos materiales presentan una **alineación paralela espontánea**, de sus momentos magnéticos atómicos en ausencia de campo.
- Presentan una curva característica de B en función de H , $B(H)$, llamada *CICLO DE HISTERESIS*, la “huella digital” de los materiales ferromagnéticos.

5. Capacidades de calibración

Magnitud	Tipo de instrumento	Método de medición	Alcance o punto de medición	Incertidumbre expandida
Densidad de flujo magnético, en c. c.	Magnetómetro con sensor de flujo axial o transversal	Comparación directa / Bobina de Helmholtz	10 μ T a 2 mT	3 mT/T
Densidad de flujo magnético, en c. c.	Magnetómetro con sensor de flujo axial o transversal	Comparación por sustitución / Bobina de Helmholtz	100 μ T a 2 mT	10 mT/T
Densidad de flujo magnético, en c. c.	Magnetómetro con sensor de flujo transversal	Comparación por sustitución / Mag. de RMN - Electroimán	100 mT a 300 mT	3 mT/T
Densidad de flujo magnético, en c. c.	Magnetómetro con sensor de flujo transversal	Comparación directa / imán patrón	100 mT y 250 mT	4 mT/T
Densidad de flujo magnético, en c. c.	Magnetómetro con sensor de flujo axial	Comparación directa / imán patrón	100 mT	4 mT/T

6. Capacidades de medición

Servicio de medición		Intervalo de medición	Incertidumbre expandida (k=2)	Patrón	Trazabilidad
Descripción	Método				
Magnetismo residual	Directo	50 nT a 2 mT	20 mT/T a 200 mT/T	Magnetómetro fluxgate	Patrón de B del NPL
Campo magnético B, ambiental	Directo	50 nT a 2 mT	14 mT/T	Magnetómetro fluxgate	Patrón de B del NPL
Campo magnético B, de imanes.	Directo	100 mT a 300 mT	5 mT/T	Magnetómetro de efecto Hall	Patrón de B del CENAM

7. Conclusiones

- En diversos sectores industriales de nuestro país , que requieren cumplir con normas nacionales e internacionales, para poder vender y exportar sus productos, detectamos
 - Necesidades de calibración de medidores y generadores de campo magnético B.
 - Necesidades de medición de propiedades magnéticas de materiales
 - Necesidades de capacitación en metrología magnética.
 - La necesidad de asegurar su sistema de calidad., con base en mediciones confiables.
- En el CENAM, hemos desarrollado algunas capacidades de medición y calibración, para atender algunas de estas necesidades metrológicas.
- En el CENAM seguimos trabajando para ampliar y mejoran nuestras capacidades de medición y calibración, para apoyar la competitividad de la industria nacional.
- Tenemos el compromiso de acercarnos más a la industria, para conocer sus necesidades metrológicas y poder apoyarlos en el aseguramiento de calidad de sus productos, que les permita cumplir con requerimientos normativos y ofrecer en el mercado productos confiables..

8. 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.

Gracias por su atención !