

Experimento 9

MAGNETISMO

Objetivo

Medir el valor de la permeabilidad del vacío μ_0

Teoría

Estamos familiarizados con las fuerzas de atracción y rechazo que sufren los imanes entre sí. La mayoría hemos visto cómo la brújula se orienta paralelamente a la dirección norte-sur. Sabemos que nuestro planeta es un imán de gran magnitud. Hubo un tiempo, al comienzo del estudio de los fenómenos electromagnéticos, en que la electricidad y el magnetismo fueron considerados fenómenos independientes uno del otro. Sin embargo, en el siglo XIX, un físico danés llamado Hans Christian Oersted (1777–1851) observó la desviación de una brújula cuando la acercaba a un alambre por donde circulaba una corriente eléctrica, y descubrió que ambos fenómenos están íntimamente relacionados. Gracias a esto hemos podido desarrollar múltiples inventos, tales como los motores y generadores eléctricos, que son tan útiles en nuestra vida diaria

La fuerza magnética entre partículas puntiformes cargadas se pone de manifiesto solamente cuando ambas están en movimiento. Esta fuerza depende de las posiciones relativas de las cargas y sus velocidades. Recordemos que cuando hablamos de la fuerza eléctrica entre cargas puntiformes, al principio del curso, nos referimos al campo eléctrico como el medio a través del cual interactúan las cargas sin estar en contacto físico directo. Asimismo, definiremos el campo magnético como el medio que permite que las cargas eléctricas interactúen magnéticamente sin estar en contacto físico. Las cargas eléctricas sufren fuerzas magnéticas no sólo provenientes de otras cargas en movimiento, sino también de campos magnéticos estáticos, y variables. Para encontrar la magnitud y dirección del campo magnético en cualquier punto del espacio necesitamos una carga eléctrica puntiforme de prueba q . Disparamos la carga en la región del espacio donde deseamos medir el campo magnético, con una velocidad \mathbf{v} , cuya magnitud y dirección conocemos, y observamos cualquier cambio en su dirección original de movimiento. En cada caso medimos la fuerza sobre la carga. Si repetimos este experimento un número suficiente de veces manteniendo la magnitud de la velocidad v , constante pero cambiando su dirección descubriremos que la magnitud de la fuerza F , cambiará desde cero hasta un valor máximo F_{\max} . La magnitud del campo magnético B , en esa región del espacio será $B = F_{\max}/qv$. Cuando la fuerza resulta ser cero, los vectores de campo magnético y velocidad serán paralelos. Cuando la fuerza es máxima, estas direcciones serán perpendiculares. Las características hasta aquí descritas se pueden comprender a través de una ecuación matemática que existe entre las variables \mathbf{F} , q , \mathbf{v} y \mathbf{B} , la cual se expresa como,

$$\mathbf{F} = q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$$

1

Notamos que la ecuación 1 expresa un producto vectorial entre los vectores \mathbf{v} y \mathbf{B} , y que en tal caso, la dirección de \mathbf{F} es perpendicular al plano formado por ellos, mientras que su magnitud está dada por,

$$F = qvB \sin\theta \quad 2$$

La dirección de la fuerza se encuentra mediante la regla de la mano derecha, aplicada al producto vectorial de la ecuación 1. Debemos enfatizar que la fuerza magnética es centrípeta, es decir, solamente cambia la dirección de la velocidad sin alterar su magnitud. La unidad de campo magnético en el Sistema Internacional (SI) es el tesla, abreviado T. Expresado en unidades fundamentales $1 \text{ T} = 1 \text{ N}/(\text{C m/s})$. Al igual que el faradio, el tesla es una unidad demasiado grande para los campos magnéticos producidos por las bobinas o inductores comunes, así que es más frecuente usar una unidad más pequeña que no pertenece al SI, llamada gauss. Un gauss es igual a 10^{-4} T . En la tabla 1 aparecen los valores de algunos campos magnéticos comunes

Tabla 1. Valores típicos de campos magnéticos

En un laboratorio de investigación	10^3 T	10^7 gauss
En una mancha solar	$\cong 0.3 \text{ T}$	$\cong 3,000 \text{ gauss}$
En la proximidad de un polo de un imán de cerámica	$\cong 2 \times 10^{-2} \text{ T}$	$\cong 2 \times 10^2 \text{ gauss}$
En la superficie de la Tierra	$\cong 5 \times 10^{-5} \text{ T}$	$\cong 5 \times 10^{-1} \text{ gauss}$

En el caso de los imanes, y recordando que la carga positiva es la fuente de campo eléctrico, asumimos que el polo norte es la fuente, o emisor de campo magnético, y el polo sur, el sitio donde termina. La figura 1 muestra las líneas de campo magnético alrededor de un imán, y en el espacio entre dos imanes con sus polaridades opuestas

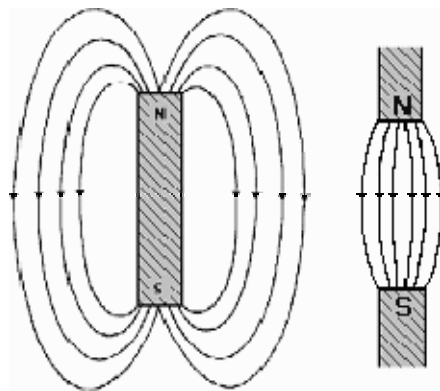


Figura1 Las líneas de campo magnético de un imán de barra, y en la región entre dos imanes

Una bobina, solenoide o inductor es un carrete de alambre conductor por donde circula una corriente eléctrica. Ver la figura 2. Tiene la propiedad de generar un campo magnético que desaparece cuando la corriente deja de fluir. Observe en la figura 2 que la dirección en la que fluye la corriente determina cuál de los dos extremos del inductor será el polo norte. Para identificar este polo se usa la regla de la mano derecha en una de sus variantes. Tomamos el inductor con la mano derecha en

forma tal que los dedos apunten en la dirección de flujo de la corriente. El pulgar indicará el norte

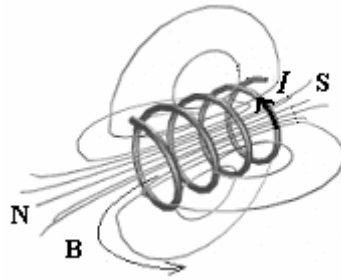


Figura 2 Identificación de los polos de un solenoide por donde circula una corriente eléctrica

En el caso de una bobina circular, plana, cuyo radio R , es mucho mayor que su longitud, el campo magnético B , en su centro tiene una magnitud dada por,

$$B = \frac{N\mu_0 I}{2R} \quad 3$$

Donde N es el número de vueltas de la bobina, I , la corriente que circula por ella, y μ_0 , la permeabilidad del vacío, cuyo valor es exactamente $4\pi \times 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$. Ver la figura 3



Figura 3 Una bobina cuyo radio es mucho mayor que su longitud

Debemos aclarar que en realidad no haremos este experimento con la bobina al vacío, sino en el laboratorio, en condiciones normales de presión y temperatura. La diferencia entre el valor de la permeabilidad del vacío y la del aire es tan pequeña que podemos ignorarla y decir que ambas son prácticamente iguales

Ejemplo 1

Tenemos una bobina como la de la figura 3, similar a la que usaremos en este experimento. La bobina tiene 200 vueltas y un radio de 10.5 cm. Calcule el valor del campo magnético en el centro de la bobina cuando circula por ella una corriente de 1.0 A

Solución: Este es un problema de simple substitución. En este tipo de problemas se pide el valor de una variable para la cual existe una fórmula con

la cual calcularlo. La formula es la ecuación 3, en donde conocemos los valores de N , μ_0 , R e I , entonces,

$$B = \frac{N\mu_0 I}{2R} = \frac{200 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1.0}{2 \times 10.5 \times 10^{-2}} = 0.0012 \text{ T} = 12 \text{ gauss}$$

Equipo y Materiales

Bobina como la de la figura 3, con su base

Dos cables con conectores tipo banana-banana para conectar la salida del generador de la interfaz a la bobina

Sensor de campo magnético montado en una barra metálica

Sensor de corriente

Sistema computarizado con interfaz y programa *DataStudio*

Procedimiento

1. Encienda la interfaz
2. Encienda la computadora y el monitor
3. Cree el experimento y conecte el sensor de campo magnético en el canal A de la interfaz real. En una de sus caras, el sensor de campo magnético tiene tres botones. El primero de ellos debe estar en la posición *axial*. El segundo, llamado *Tare* debe oprimirse una vez antes de cada medición, y el tercero debe estar en la posición 100X
4. Haga también la conexión del sensor de campo magnético en el puerto A de la interfaz virtual
5. Conecte el sensor de corriente en el canal B de la interfaz real
6. Haga también la conexión del sensor de corriente en el puerto B de la interfaz virtual
7. Ajuste la señal de salida del generador con una rampa ascendente positiva de 5 V y frecuencia de 0.5 Hz
8. Escoja el *Gráfico* en la ventanilla de *Pantallas*. Elija como fuente de datos el campo magnético del canal A. Pulse la tecla de *Aceptar*
9. Cambio del eje horizontal. Observe la ventanilla de *Datos* y seleccione con el apuntador del ratón la línea Corriente-canal B (A). Pulse una vez el botón izquierdo del ratón y manténgalo hundido mientras arrastra el apuntador hasta el eje horizontal de la gráfica. Suelte el botón cuando aparezca el eje horizontal enmarcado con una línea entrecortada. Vemos que, a partir de ahora, el eje vertical de la gráfica permanece asignado al campo magnético mientras el eje horizontal corresponde a la corriente en amperios (A). Note que con este procedimiento hemos cambiado el eje horizontal que estaba asignado al tiempo, y lo hemos reasignado a la corriente.
10. Arme el circuito como muestra la figura 4

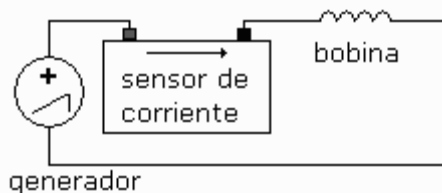


Figura 4 Circuito para medir la permeabilidad del vacío

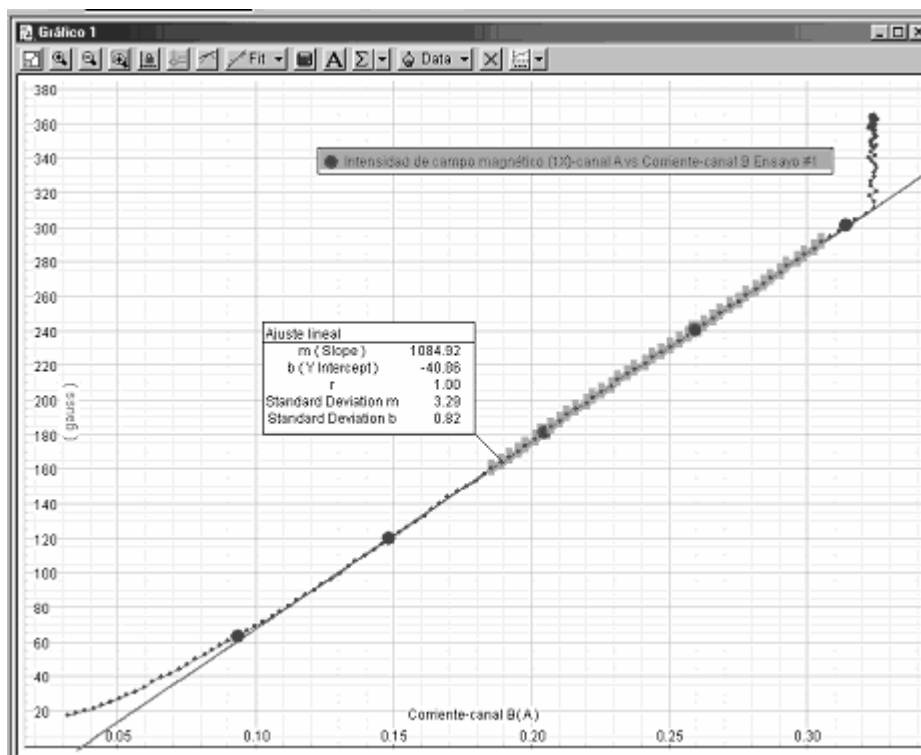


Figura 5 Gráfica de intensidad de campo magnético B vs. Corriente, I

11. Sujete el sensor de campo magnético frente a la bobina apoyándolo en el extremo de la ranura que tiene la base donde está montada la bobina. La punta del sensor debe quedar justo en el centro de la bobina. Procure no mover el sensor mientras se produzca la gráfica. Recuerde hundir el botón *tare* antes de empezar a medir
12. Pulsamos el botón de *Inicio* y vemos una línea dibujándose en la gráfica. Permitimos que el voltaje alcance los 5.0 V y entonces pulsamos el botón *Detener*. Este proceso dura 2.0 s ya que la frecuencia de la señal de rampa positiva es de 0.5 Hz
13. Seleccionamos una parte de la recta. Ver la sección amarilla de la figura 5
14. Pulsamos *Ajustar* y seleccionamos *Ajuste lineal*. Como resultado aparece un cuadro con la pendiente (m) y el intercepto (b), cada uno con su incertidumbre respectiva. También aparece el factor de correlación (r)
15. Imprimimos la gráfica obtenida
16. Llene la hoja de informe, anexe la gráfica, desconecte el experimento, limpie y organice su mesa de trabajo y apague la computadora y la interfaz

17. Entregue su informe al instructor antes de abandonar el laboratorio

Preguntas

Conteste correctamente antes de hacer el experimento

1. Los campos magnéticos se originan:
 - a. En los átomos de hierro
 - b. En los imanes permanentes
 - c. En las cargas eléctricas estacionarias
 - d. Debido al movimiento de las cargas eléctricas
 - e. En los monopolos magnéticos

2. Los campos magnéticos no interactúan con:
 - a. La corriente eléctrica
 - b. El hierro
 - c. Cargas eléctricas estacionarias
 - d. Los imanes
 - e. Los materiales ferromagnéticos

3. Las líneas de fuerza de un campo magnético permiten identificar:
 - a. Solamente la dirección del campo
 - b. Solamente la intensidad del campo
 - c. Tanto la dirección como la intensidad del campo
 - d. La fuente del campo
 - e. La dirección en la que se movería una carga eléctrica debido a la fuerza magnética

4. ¿Cuál(es) de los siguientes enunciados es (son) falso(s)?
 - a. La trayectoria seguida por una partícula de hierro, de masa despreciable, liberada cerca de un imán, corresponde a una línea de fuerza
 - b. La trayectoria que sigue una carga eléctrica liberada cerca de un imán corresponde a una línea de fuerza
 - c. La aguja de una brújula en un campo magnético se alinea paralelamente con las líneas de campo
 - d. Los enunciados (a) y (b)
 - e. Las líneas de campo magnético empiezan en el polo norte de los imanes y terminan en su polo sur

5. Los imanes:
 - a. Atraen a todos los metales
 - b. Atraen a los materiales ferromagnéticos
 - c. Rechazan a las cargas negativas
 - d. Pueden tener solamente un polo
 - e. Atraen a las cargas positivas

6. En un electroimán
- Se usa una corriente eléctrica y un pedazo de hierro para producir un campo magnético
 - Se usa un campo magnético para producir una corriente eléctrica
 - Las cargas eléctricas se generan moviendo un imán
 - Se requiere corriente alterna para que funcione
 - La magnetización del hierro desaparece por completo al momento de reducir la corriente a cero
7. La fuerza que hace funcionar un motor eléctrico es:
- Eléctrica
 - Magnética
 - Una combinación de fuerzas eléctricas y magnéticas
 - Desconocida
 - El resultado de fenómenos aún no explicados
8. Un generador:
- Crea carga eléctrica
 - Libera electrones
 - Crea magnetismo
 - Es un motor
 - Entrega corriente eléctrica
9. El valor aproximado del campo magnético en la superficie de la Tierra es de:
- 1.2×10^{-8} T
 - 0.5×10^{-4} T
 - 1.6×10^{-19} T
 - 6.02×10^{-23} T
 - Su valor es aún desconocido
10. ¿Cuál es el valor del campo magnético en el centro de una bobina de 24 vueltas y 10 cm de diámetro, por la que circula una corriente de 5 A?
- 3.0×10^{-3} T
 - 7.3×10^{-4} T
 - 1.5×10^{-3} T
 - 6.3×10^{-4} T
 - 0.5×10^{-4} T
11. Las líneas de fuerza de un campo magnético permiten identificar:
- Solamente la dirección del campo
 - Solamente la intensidad del campo
 - Tanto la dirección como la intensidad del campo
 - La fuente del campo
 - La dirección en la que se movería una carga eléctrica debido a la fuerza magnética

12. El valor aproximado del campo magnético en la superficie de la Tierra es de:

- a. 1.2×10^{-8} T
- b. 0.5×10^{-4} T
- c. 1.6×10^{-19} T
- d. 6.02×10^{-23} T
- e. Su valor es aún desconocido

13. ¿Cuál es el valor del campo magnético en el centro de una bobina de 24 vueltas y 10 cm de diámetro, por la que circula una corriente de 5 A?

- a. 3.0×10^{-3} T
- b. 7.3×10^{-4} T
- c. 1.5×10^{-3} T
- d. 6.3×10^{-4} T
- e. 0.5×10^{-4} T

Informe del Experimento 9. Magnetismo

Sección _____ Mesa _____

Fecha: _____

Estudiantes:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

1. Una vez obtenga la gráfica de B vs. I , con su pendiente respectiva, recuerde que la expresión de la intensidad de campo magnético B , en función de I está dada por la ecuación 3, que en seguida vamos a presentar en una forma ligeramente diferente, con el propósito de simplificar nuestros cálculos,

$$B = \left(\frac{\mu_0 N}{2R} \right) I = mI$$

Donde $m \equiv \frac{\mu_0 N}{2R}$ es la pendiente de la gráfica obtenida. A partir de esta última expresión, y sabiendo que en esta bobina $N = 200$ vueltas y $R = 10.5$ cm, despejamos la permeabilidad del vacío, y sustituimos los valores de m , R y N para encontrar μ_0

$$\mu_0 = \frac{2mR}{N} =$$

Tenga presente que debe convertir los gauss a tesla, multiplicando la pendiente por 10^{-4} , los centímetros de la medida del radio a metros, y dividir la pendiente entre 100 ya que las medidas de la intensidad del campo magnético están amplificadas 100 veces

2. Compare el valor medido de μ_0 con el que ofrece la literatura,

$$\Delta\% = \frac{|\mu_{0,\text{aceptado}} - \mu_{0,\text{medido}}|}{\mu_{0,\text{aceptado}}} \times 100 =$$

Conclusiones