

Generación de campo magnético por efecto de la corriente eléctrica

Temas de interés.

1. Electromagnetismo.
2. Circuitos eléctricos.
3. Ley de Biot-Savart.
4. Ley de Ampère.

Palabras clave.

Campo magnético. Intensidad de corriente eléctrica. Electromagnetismo.

Importancia en la química.

En el área de la química, la adecuada caracterización de los materiales es un quehacer cotidiano en el que el químico emplea sus conocimientos en diversos campos de la ciencia, como por ejemplo la física. En este sentido es conocido que muchos materiales poseen una respuesta cuando son sometidos a un campo magnético, por lo que resulta relevante comprender cómo se generan los campos magnéticos por efecto de la intensidad de corriente eléctrica así como la dependencia que este tiene con la geometría del dispositivo por el que fluye dicha corriente eléctrica.

Objetivos.

- Determinar experimentalmente la relación entre el campo magnético y la intensidad de corriente eléctrica.
- Comprender la relevancia de la configuración espacial que adquiere el alambre por la que fluye la intensidad de corriente eléctrica y su relación con el campo magnético.

Introducción.

En la física referente al campo magnético, la permeabilidad magnética se puede definir como la capacidad que tiene el medio para permitir la existencia del campo magnético a través de él. En el caso de que el material sea el vacío o el aire, el cual se considera como un medio homogéneo e isotrópico, la permeabilidad magnética, la cual se refiere con el símbolo μ_0 , tiene un valor de $4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A en unidades del sistema internacional.

Uno de los primeros modelos que permite determinar el valor de la permeabilidad del aire mediante la medición experimental del campo magnético, en un punto en el espacio, que es generado por una intensidad de corriente eléctrica que fluye por un elemento resistivo, es la ley de Biot-Savart, la cual puede escribirse de la siguiente forma:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi |\vec{r}|^3} d\vec{l} \times \vec{r}$$

En donde $d\vec{B}$ representa el diferencial del campo magnético en un punto del espacio, \vec{r} , respecto a la posición del diferencial de longitud del elemento, $d\vec{l}$, por el que fluye la intensidad de corriente eléctrica, I .

Para resolver la ecuación proveniente de la ley de Biot-Savart es necesario conocer la geometría del elemento por el que fluirá la intensidad de corriente eléctrica.

Consideremos un segmento de alambre recto de longitud L , situado en el eje coordenado x , por el que fluye una intensidad de corriente eléctrica, I , con un desplazamiento $dx \hat{i}$, figura 1. En esta configuración podemos cuantificar el vector campo magnético en un punto situado a una distancia D del alambre, sobre el bisector al alambre en el eje coordenado y .

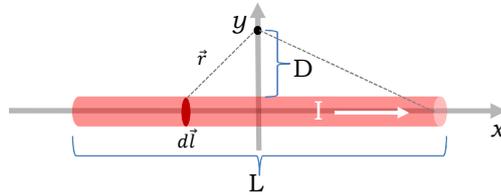


Figura 1. Alambre recto por el que fluye una intensidad de corriente eléctrica, I , generando un campo magnético en un punto distanciado una longitud D sobre el bisector.

Dada la geometría del problema planteado, la ecuación de Biot-Savart nos permite establecer que la magnitud del campo magnético en el punto de interés será:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I L}{2\pi D \sqrt{L^2 + 4D^2}}$$

Para la dirección del vector campo magnético, bastará aplicar la regla de la mano derecha para percatarse que el vector campo magnético apunta hacia afuera del plano en el que está esquematizado el ejercicio, es decir, apuntará en dirección del vector unitario \hat{k} .

En el caso particular de que las dimensiones del alambre, L , sean mucho más grandes que la distancia D en la que se está cuantificando el campo magnético, situación conocida como alambre infinito, en el denominador el término $L^2 + 4D^2$ se puede aproximar a L^2 , con lo que la ecuación anterior se reduce a:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi D}$$

Consideremos ahora que el alambre se configura de forma tal que se describe una espira circular de radio R y que ésta se sitúa en el plano xy de un sistema coordenado en donde el centro de la espira coincide con el origen del sistema de referencia, figura 2. En esta situación podemos cuantificar el vector campo magnético en un punto situado a una distancia D sobre el eje que atraviesa el centro de la espira y que se mantiene perpendicular al área de la misma, es decir, sobre el eje coordenado z .

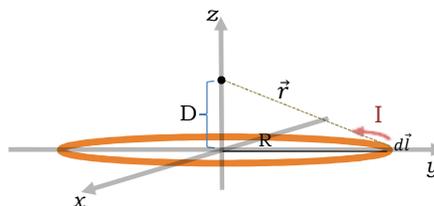


Figura 2. Espira circular por la que fluye una intensidad de corriente eléctrica, I , generando un campo magnético en un punto distanciado una longitud D sobre el eje perpendicular que cruza el centro de la espira.

Dada la geometría del problema planteado, la ecuación de Biot-Savart nos permite establecer que la magnitud del campo magnético en el punto de interés será:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I R^2}{2[D^2 + R^2]^{3/2}}$$

Para la dirección del vector campo magnético, bastará aplicar la regla de la mano derecha para percatarse que el vector campo magnético apunta en la dirección del vector unitario \hat{k} .

En el caso particular de que se cuantifique el campo magnético en el centro de la espira, entonces el valor de la distancia sería cero metros, $D = 0$ m, con lo que la ecuación anterior se reduce a:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

Finalmente consideremos que el alambre se configura de forma tal que se describe un solenoide circular de radio R y longitud L , figura 3, en donde nos interesa cuantificar el vector campo magnético en un punto, situado sobre el eje principal del solenoide, a una distancia d de su centro.

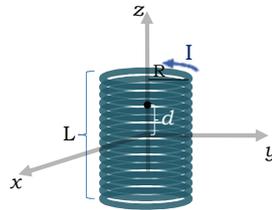


Figura 3. Solenoide por el que fluye una intensidad de corriente eléctrica, I , generando un campo magnético en un punto situado, sobre su eje principal, a una distancia d de su centro. El origen del sistema de referencia coincide con el centro del solenoide.

Previo a la resolución mediante la ley de Biot-Savart, es necesario tomar en cuenta el número de vueltas, N , que se tienen por unidad de longitud, L , lo que se denomina densidad lineal de devanado, $n = N/L$, ya que esto definirá la intensidad de corriente eléctrica que producirá el campo magnético.

Dada la geometría del problema planteado, la ecuación de Biot-Savart nos permite establecer que la magnitud del campo magnético en el punto de interés será:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 n I}{2} \left[\frac{L - 2d}{\sqrt{(L - 2d)^2 + (2R)^2}} + \frac{L + 2d}{\sqrt{(L + 2d)^2 + (2R)^2}} \right]$$

Para la dirección del vector campo magnético, bastará aplicar la regla de la mano derecha para percatarse que el vector campo magnético apunta en la dirección del vector unitario \hat{k} .

En el caso de que se cuantifique en el centro del solenoide; es decir, cuando $d = 0$ m, la ecuación anterior se reduce a:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 n I L}{\sqrt{L^2 + 4R^2}}$$

Finalmente, si se considera un solenoide ideal, es decir, que la longitud del solenoide es mucho mayor que el radio del devanado, entonces, $L^2 + 4R^2 \sim L^2$, la ecuación quedaría:

$$|\vec{B}| = \mu_0 n I$$

Procedimiento experimental.

Normas de seguridad.

Recuerda que es importante hacer caso al reglamento interno de higiene y seguridad.

Antes de realizar cualquier medición es necesario identificar las especificaciones y características de cada instrumento. Estas deben buscarse en el manual correspondiente.

Antes de encender la fuente de alimentación, es requerida la autorización de tu profesor.

Material y equipo.

Alambre magneto.

Calibrador digital.

Fuente de alimentación de corriente eléctrica directa.

Cables banana – banana.

Conectores caimán.

Multimedidor digital.

Sensor de campo magnético.

Procedimiento.

En todas las etapas deberán tenerse las siguientes consideraciones generales:

- El caso de la fuente de alimentación de corriente directa, asegurar que ésta no se encuentra encendida al momento de realizar la conexión. Este instrumento sólo deberá de encenderse hasta el momento de iniciar las mediciones requeridas.
- En el caso del multimedidor, asegurar que las terminales están conectadas adecuadamente y que el indicador del multimedidor está en el valor más grande de la escala elegida para evitar el daño del instrumento.

Etapa 1. Campo magnético generado por un alambre recto.

Cortar un segmento de alambre magneto y estirarlo para que se encuentre completamente recto. Este segmento será considerado el resistor.

Conectar el alambre (resistor), la fuente de alimentación de corriente directa y un multimedidor, en modo de corriente eléctrica directa, tal y como se muestra en la figura 4.

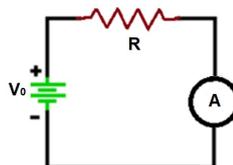


Figura 4. Diagrama de conexión de la fuente de alimentación y el multimedidor para medir la corriente eléctrica a través del segmento de alambre magneto (resistor).

Colocar el sensor de campo magnético en el bisector del alambre magneto, de forma que la distancia de separación sea pequeña en comparación con la longitud del alambre.

Encender el multimedidor, la fuente de alimentación de corriente directa y aplicar una intensidad de corriente eléctrica. Colectar el valor de la intensidad de corriente eléctrica que marca el multimedidor así como el campo magnético que marca el sensor de campo magnético.

Repetir el paso anterior suministrando diferentes valores de intensidad de corriente eléctrica.

† Una alternativa a este experimento puede ser la siguiente.

Encender el multimedidor, la fuente de alimentación de corriente directa y aplicar una intensidad de corriente eléctrica que se mantendrá fija. Colectar el valor de la intensidad de corriente eléctrica que marca el multimedidor así como el campo magnético que marca el sensor de campo magnético.

Medir el campo magnético cambiando la distancia de separación respecto a un punto del alambre.

Etapa 2. Campo magnético generado por una espira.

Cortar un segmento de alambre magneto y formar una espira de radio constante. Esta espira circular será considerada el resistor. Es importante medir el diámetro de la espira.

Conectar la espira (resistor), la fuente de alimentación de corriente directa y un multimedidor, en modo de corriente eléctrica directa, tal y como se muestra en la figura 5.

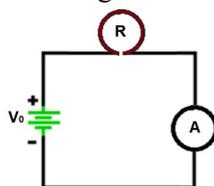


Figura 5. Diagrama de conexión de la fuente de alimentación y el multimedidor para medir la corriente eléctrica a través de la espira (resistor).

Colocar el sensor de campo magnético en el centro de la espira.

Encender el multimedidor, la fuente de alimentación de corriente directa y aplicar una intensidad de corriente eléctrica. Colectar el valor de la intensidad de corriente eléctrica que marca el multimedidor así como el campo magnético que marca el sensor de campo magnético.

Repetir el paso anterior suministrando diferentes valores de intensidad de corriente eléctrica.

† Una alternativa a este experimento puede ser la siguiente.

Encender el multimedidor, la fuente de alimentación de corriente directa y aplicar una diferencia de potencial eléctrico que se mantendrá fija. Colectar el valor de la intensidad de corriente eléctrica que marca el multimedidor así como el campo magnético que marca el sensor de campo magnético.

Medir el campo magnético cambiando la distancia de separación entre el sensor de campo magnético y el centro de la espira, manteniendo al sensor en el eje principal de la espira.

Etapa 3. Campo magnético generado por un solenoide.

Cortar un segmento de alambre magneto y formar un solenoide de radio constante. Este solenoide será considerado el resistor. Es importante contar el número de vueltas que conforman el solenoide así como medir sus dimensiones (diámetro y longitud).

Conectar el solenoide (resistor), la fuente de alimentación de corriente directa y un multimedidor, en modo de corriente eléctrica directa, tal y como se muestra en la figura 6.

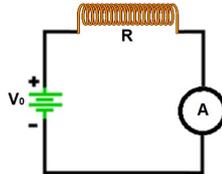


Figura 6. Diagrama de conexión de la fuente de alimentación y el multimedidor para medir la corriente eléctrica a través del solenoide (resistor).

Colocar el sensor de campo magnético en el centro del solenoide.

Encender el multimedidor, la fuente de alimentación de corriente directa y aplicar una intensidad de corriente eléctrica. Colectar el valor de la intensidad de corriente eléctrica que marca el multimedidor así como el campo magnético que marca el sensor de campo magnético.

Repetir el paso anterior suministrando diferentes valores de intensidad de corriente eléctrica.

Tratamiento de datos.

Para cada etapa, realizar un gráfico de la magnitud del campo magnético como función de la intensidad de corriente eléctrica que fluye por el circuito. En el caso de las etapas 1 y 2, adicionalmente puede realizarse un gráfico de la magnitud del campo magnético como función de la distancia de separación entre el elemento de corriente eléctrica y la punta del sensor de campo magnético.

Con los gráficos previamente referidos, proponer un cambio de variable para obtener una tendencia lineal entre los datos experimentales, la cual se puede ajustar mediante el método de mínimos cuadrados para obtener la permeabilidad magnética del aire.

Cuestionario.

- En el caso de un alambre recto, ¿cómo se modificaría el valor experimental de la magnitud de campo magnético si el sensor no se sitúa en el bisector?
- En el caso de la espira, si ésta está en el plano horizontal ¿la dirección del vector campo magnético sería la misma si se mide por arriba o por debajo de la espira? ¿Por qué?
- En el caso de un solenoide ideal, si el sensor no se encuentra en el eje principal pero si dentro del solenoide, ¿se modificaría el valor experimental del campo magnético?

Bibliografía.

- Resnick, R.; Halliday, D.; Krane, K. S. *Física*. Grupo Editorial Patria, México, 2008.
- Gil, S.; *Experimentos de Física, usando las TIC y elementos de bajo costo*. Alfaomega. México, 2014.