

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA GENERAR UN CAMPO MAGNÉTICO UNIFORME

Araujo Martínez Aurora Cecilia (1), Félix Valdez Julián (2)

1 Ingeniería Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato | araujoma2012@licifug.ugto.mx

2 Laboratorio de Partículas Elementales, Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato | felix@fisica.ugto.mx

Resumen

La generación de campos magnéticos a partir de cargas en movimiento ha sido ampliamente estudiada desde inicios del siglo XIX. Se han desarrollado diferentes métodos para generar campos magnéticos uniformes a partir de este principio, entre los cuales se encuentran las bobinas de Helmholtz, para ser usados en el estudio de las trayectorias de partículas elementales. En este artículo se presenta el diseño, construcción, uso y caracterización de un prototipo para producir un campo magnético uniforme. El dispositivo consiste de un par de bobinas circulares, con núcleo de Fierro de igual radio, colocadas una frente a la otra y separadas por una distancia igual al radio. Se caracterizaron usando una fuente de corriente y un sistema de adquisición de datos automático para medir el campo magnético. Se presentan detalles del diseño, de la construcción, de la operación y los resultados muy preliminares de las mediciones realizadas.

Abstract

The generation of magnetic fields from moving electric charges has been deeply studied since the beginning of the XIX century. Different methods to generate uniform magnetic fields from this principle have been developed, among them are the Helmholtz coils, to be used in the study of trajectories of elementary particles. In this paper, we present the design, construction, operation, and characterization of a prototype to produce a uniform magnetic field. The device is comprised of two circular coils with iron cores of equal radii, with separation distance same as the radio. They were characterized by using a current source, and an automatic data acquisition system to measure the magnetic field. We present details about the design, construction, operation, and the preliminary results of the measurements that have been done.

Palabras Clave

Corriente eléctrica; Biot-Savart; Inducción magnética; Bobinas de Helmholtz; Ferromagnetismo

INTRODUCCIÓN

En 1819 las observaciones de Oersted de cables que conduciendo corrientes eléctricas producían desviaciones de dipolos magnéticos permanentes, llevaron a la conclusión de que las corrientes eran fuentes de densidad de flujo magnético. En 1820 Biot y Savart y, más adelante, Ampere establecieron las bases experimentales de las leyes de inducción magnética [1]. En la ley de Biot-Savart se menciona que en los alrededores de un circuito eléctrico que conduce una corriente I existe un campo magnético \mathbf{B} . Empleando dicho principio, siendo el eje z el eje de la espira, se obtiene el campo magnético a una distancia z del centro de una espira circular de radio a que lleva una corriente I :

$$B(z) = \frac{\mu_0}{2} \frac{Ia^2}{(a^2+z^2)^{3/2}} \quad (1).$$

El campo magnético apunta en dirección del eje de la espira. La permeabilidad en el vacío μ_0 es igual a $4\pi \times 10^{-7}$ weber/ampere-metro [2].

Bobinas de Helmholtz

Este arreglo consiste en dos bobinas circulares de N espiras circulares de radio a , que conducen una corriente I y están separadas una distancia d , como se muestra en la Imagen 1. Son empleadas para producir campos magnéticos uniformes [3].

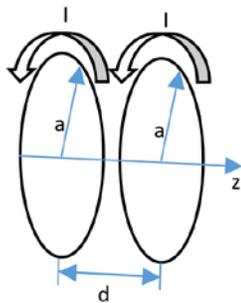


IMAGEN 1: Sistema de referencia para bobinas de Helmholtz.

El campo magnético es obtenido mediante el principio de Biot-Savart y el principio de superposición. A partir de la Ecuación 1, con el origen de coordenadas en el punto medio de la

distancia d , la expresión que describe el campo magnético de las bobinas se muestra enseguida.

$$B(z) = \frac{\mu_0 INa^2}{2} \left\{ \left(a^2 + \left(z + \frac{d}{2} \right)^2 \right)^{-\frac{3}{2}} + \left(a^2 + \left(z - \frac{d}{2} \right)^2 \right)^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (2)$$

El campo magnético resultante apunta en la dirección del eje z . Las condiciones de uniformidad son $\partial B/\partial z=0$, $\partial^2 B/\partial z^2=0$ en el plano $z=0$. La distancia $d=a$ cumple dichas condiciones. Por lo que la magnitud del campo magnético en el centro de las bobinas es $8 \mu_0 IN/5\sqrt{5} a$.

Materiales magnéticos

La característica principal de los materiales magnéticos es la polarización magnética, es decir, la alineación de los dipolos magnéticos de sus átomos cuando un campo magnético \mathbf{B}_a es aplicado. Esta alineación induce un campo magnético \mathbf{B}_i , por lo que el campo resultante es $\mathbf{B}=\mathbf{B}_a+\mathbf{B}_i$.

La densidad de campo magnético \mathbf{H} , se relaciona con el campo magnético \mathbf{B} , como sigue: $\mathbf{B}=\mu_0 \mu_r \mathbf{H} = \mu \mathbf{H}$. Donde μ_r es la permeabilidad relativa, μ es la permeabilidad del material. Para el hierro, siendo un material ferromagnético, μ_r es mayor que 1 [4].

En este artículo se presenta el diseño, construcción y caracterización de dispositivo tipo bobinas de Helmholtz con núcleos de hierro con la finalidad de obtener un campo magnético uniforme y aplicarlo en el estudio de trayectorias de partículas elementales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño

El dispositivo consiste en un par de bobinas con núcleos de hierro de 43 cm de diámetro, están unidas mediante tres placas de hierro, que además de servir como soporte, tienen la función de cerrar el circuito magnético, es decir, que el campo magnético exterior a las bobinas sea nulo. Lo anterior se muestra en la Imagen 2.

Los núcleos de las bobinas están formados por placas circulares de hierro de 1 mm de espesor, por lo que se diseñaron 5 perforaciones en cada bobina para mantener unidas las placas con tornillos. Las dimensiones de cada uno de los componentes del dispositivo se muestran en la Imagen 3.

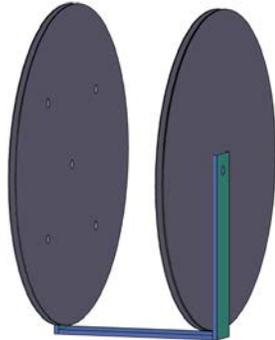


IMAGEN 2: Diseño del dispositivo para generar un campo magnético uniforme.

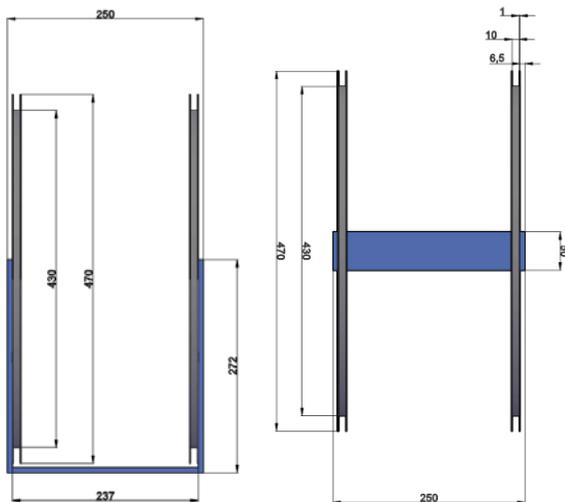


IMAGEN 3: Dimensiones de las bobinas. A la izquierda se muestra una vista lateral y a la derecha una vista superior. Nota: las unidades de los valores mostrados son los milímetros.

La expresión que describe el campo magnético producido por las bobinas del diseño, tomando el eje de las bobinas como el eje de coordenadas z y el origen en medio de ambas, es la siguiente:

$$B(z) = \frac{\mu_0(1 + \mu_r)INa^2}{2} \left\{ \left(a^2 + \left(z + \frac{d}{2} \right)^2 \right)^{-\frac{3}{2}} + \left(a^2 + \left(z - \frac{d}{2} \right)^2 \right)^{-\frac{3}{2}} \right\} \quad (3)$$

Construcción

Se realizaron las 5 perforaciones a todas las placas circulares de hierro. Para unir las placas de hierro de los núcleos se utilizó pegamento epóxico en las orillas. Se empleó el mismo adhesivo para pegar las placas de 47 cm de diámetro a cada extremo de los núcleos, se ajustaron los tornillos en cada núcleo y se dejó secar por un día. El resultado se muestra en la Imagen 4.

Las placas rectangulares de hierro también se pegaron con epóxico en las orillas, posteriormente se realizó una perforación en las dos placas de mayor diámetro.



IMAGEN 4: Núcleos de las bobinas.

El siguiente paso fue realizar el embobinado, para ello se empleó alambre de cobre de 1 mm de diámetro, se colocó en forma vertical el núcleo de la bobina y se sujetó el tornillo central usando una prensa, esto se muestra en la Imagen 5. El número de espiras enrolladas en cada bobina fue 210.



IMAGEN 5: A la izquierda se muestra el arreglo empleado para realizar el embobinado. A la derecha se muestra el resultado final del embobinado.

Posteriormente, para evitar que el embobinado se desenrollara y para protegerlo se utilizó silicón negro en las orillas de cada bobina. El resultado se muestra en la Imagen 6.



IMAGEN 6: Bobinas terminadas con recubrimiento de silicón.

Pruebas

Se retiró el recubrimiento de los extremos del alambre de cobre de cada bobina y se midió la resistencia. Para la Bobina 1 la resistencia $R_1 = 8.0 \Omega$; para la Bobina 2 la resistencia $R_2 = 7.8 \Omega$.

Se colocaron las barras de hierro en las bobinas, de manera que las bobinas quedaron separadas por una distancia igual a 0.215 m. Enseguida se conectaron las bobinas en serie a la fuente de voltaje, como se muestra en la Imagen 7, la resistencia del sistema fue $R = 16.0 \Omega$.

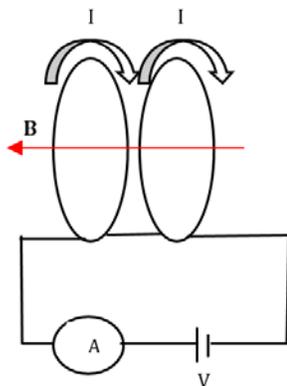


IMAGEN 7: Circuito para medir el campo magnético generado por las bobinas.

Se instaló el sistema de adquisición de datos para el campo magnético. Este consistía en un sensor de campo magnético que se colocó en el centro de

las bobinas y se conectó al sistema Vernier LabPro, que a su vez estaba acoplado a una computadora. El programa para visualizar las mediciones fue Logger Pro. El sistema montado se muestra en la Imagen 8.



IMAGEN 8: Sistema experimental para medir el campo magnético.

Se calibró el sistema de medición y se tomaron los valores del campo magnético en incrementos de corriente igual a 0.2 A. Además, se realizó una grabación de 10 minutos aplicando una corriente de 1.85 A. Finalmente, se realizaron mediciones aleatorias del campo magnético en diferentes puntos dentro y fuera de las bobinas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las mediciones del campo magnético con incrementos de corriente se muestran en la Imagen 9.

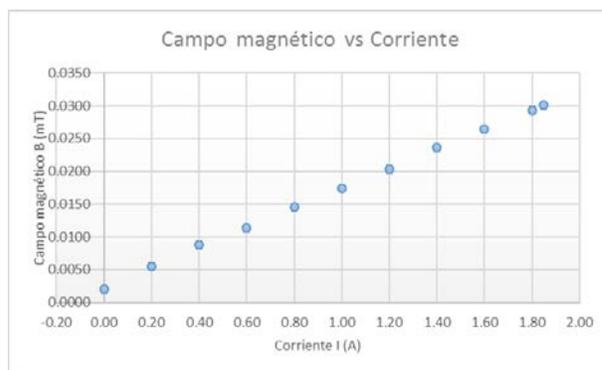


IMAGEN 9: Gráfica de la magnitud del campo magnético en función de la corriente.

La gráfica de los datos obtenidos en la grabación de 10 min se muestra en la Imagen 10. El valor promedio del campo magnético de dicha muestra

es 0.0263 mT, con una desviación estándar de 0.0011 mT.

$$B = 0.0263 \pm 0.0011 \text{ mT}$$

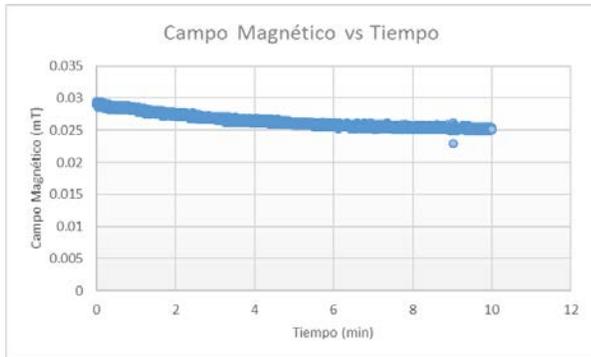


IMAGEN 10: Gráfica de la Magnitud del Campo Magnético vs Tiempo en grabación de 10 min con $I = 1.85 \text{ A}$.

Para obtener el valor de la predicción del campo magnético producido por las bobinas, se graficó la expresión de la Ecuación 3, con el valor de la corriente medida $I = 1.85 \text{ A}$, el radio $a = 0.215 \text{ m}$, número de espiras $N = 210$ y $\mu_r = 0$, la curva se muestra en la Imagen 11.

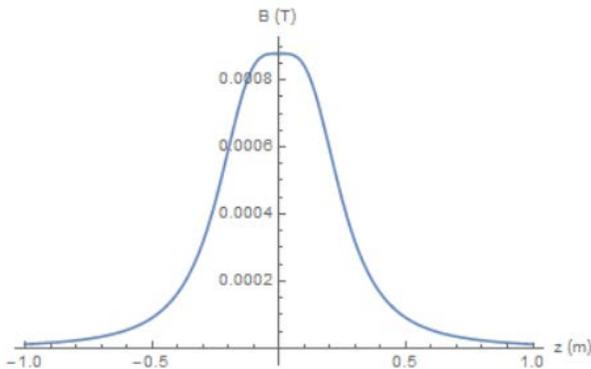


IMAGEN 11: Predicción del campo magnético producido por las bobinas en función de la distancia z .

El valor máximo predicho del campo magnético es $B_t = 0.8782 \text{ mT}$. Usando el valor medido del campo magnético $B_m = 0.0263 \text{ mT}$ se midió la permeabilidad relativa μ_r como parámetro de ajuste.

$$B_m = (1 + \mu_r) B_t$$

$$\mu_r = B_m / B_t - 1$$

$$\mu_r = -0.97$$

La Imagen 12 muestra la gráfica de la predicción del campo magnético con el valor de μ_r como ajuste. El porcentaje de desviación del campo en el centro de las bobinas y sobre las bobinas es 5.41%.

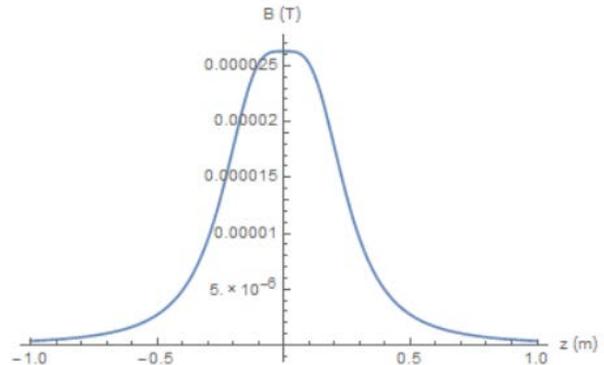


IMAGEN 12: Estimación de primeros principios del campo magnético producido por las bobinas en función de la distancia z con μ_r como parámetro de ajuste.

En las mediciones del campo magnético en diferentes puntos se observó que el campo magnético era uniforme en la región interna a las bobinas, mientras que en los extremos de las bobinas el campo era nulo.

CONCLUSIONES

El campo magnético producido por las bobinas construidas cumple la condición de uniformidad planeada, con un 5.41% de desviación.

El valor del parámetro μ_r no coincide con el valor reportado por otros autores. Se desconoce la composición exacta del material del que fueron hechas las bobinas.

El prototipo desarrollado es útil para medir la permeabilidad magnética relativa de materiales.

AGRADECIMIENTOS

Para la Universidad de Guanajuato que hizo posible la realización del presente proyecto.

REFERENCIAS

[1] Jackson, J. D. (1999). Classical Electrodynamics (3rd ed.) United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

- [2] Lorrain, P., Corson, D. R. & Lorrain, F (1996). Electromagnetic Fields and Waves (3rd ed.) New York: W. H. Freeman and Company.
- [3] Griffiths, D. J. (1999). Introduction to Electrodynamics (3rd ed.) New Jersey: Prentice Hall.
- [4] Skitek, G. G. & Marshall, S. V. (1982). Electromagnetic Concepts and Applications. New Jersey: Prentice Hall, Inc.