

Laboratorio I

BOBINA HELMHOLTZ Y PERMEABILIDAD MAGNÉTICA

INFORME FINAL

Nombres: Bruno Bustos, Darío Ferrada, Camilo Jordán, Catalina
Zamorano

Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Físicas
y Matemáticas.

Resumen

En este informe se pretende utilizar una bobina de Helmholtz para medir la permeabilidad magnética del aire. Se realizará un análisis teórico del campo magnético generado por la bobina, y se compararán los resultados experimentales con los valores teóricos esperados analizando las posibles fuentes de error y su impacto en las mediciones.

Introducción

Generalmente en problemas de electromagnetismo se utilizan variadas formulas para calcular todo tipo de campos magnéticos, sin embargo es necesario conocer que es lo que contienen estas formulas, en específico nos interesaremos en la constante de permeabilidad magnética de algún material, la cual es una constante física que describe la capacidad del dicho material para permitir el paso de un campo magnético. Esta constante es fundamental en

la teoría del electromagnetismo y aparece en varias ecuaciones importantes, como la ley de Ampère y la ley de Faraday. En este informe se pretende medir la permeabilidad magnética del aire utilizando una bobina de Helmholtz y compararla con el valor teórico conocido.

Modelo Teórico

Partiremos con la ecuación que describe el campo magnético generado por una espira circular de radio R y corriente I en su centro [1]:

$$B(x) = \frac{\mu I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (1)$$

Consideraremos el punto medio entre las dos bobinas como el origen del sistema de coordenadas, por lo que cada bobina estará ubicada a una distancia $x_1 = R/2$ y $x_2 = -R/2$. Por lo tanto, el campo magnético en el centro de la bobina de Helmholtz será la suma de los campos magnéticos generados por cada bobina evaluados en el origen:

$$B_{total} = B_1(0) + B_2(0) \quad (2)$$

Como ambas son simétricas ambas producen el mismo campo magnético en el centro $B_{total} = 2B(x = R/2)$, evaluando tenemos que:

$$B\left(\frac{R}{2}\right) = \frac{\mu I R^2}{2(R^2 + (\frac{R}{2})^2)^{3/2}} \quad (3)$$

$$= \frac{\mu I R^2}{2(R^2 + \frac{R^2}{4})^{3/2}} \quad (4)$$

$$= \frac{\mu I R^2}{2(\frac{5R^2}{4})^{3/2}} \quad (5)$$

$$= \frac{1}{2} \frac{\mu I}{R} \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \quad (6)$$

Recordando que tenemos dos bobinas, el campo magnético total en el centro de la bobina de Helmholtz es:

$$B_{total} = 2B\left(\frac{R}{2}\right) = \mu \frac{NI}{R} \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \quad (7)$$

Llegando a la ecuación del campo magnético generado por una bobina de Helmholtz [2] cuando se encuentra en su centro:

$$B = \mu_a \frac{NI}{R} \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \quad (8)$$

Donde B es el campo magnético en el centro de la bobina, μ_a es la permeabilidad magnética del aire, N es el número de vueltas, I es la corriente que pasa por la bobina y R es el radio de la bobina.

Podemos encontrar una relación lineal entre la corriente I y el campo magnético B :

$$B = \alpha I, \quad \alpha = \mu_a \frac{N}{R} \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \quad (9)$$

También se utilizará la ley de Ohm para relacionar la corriente I con el voltaje V aplicado a la bobina:

$$I = \frac{V}{R_b} \quad (10)$$

Además de que la corriente I en paralelo se suma de la siguiente manera:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (11)$$

Materiales

- Bobina de Helmholtz
- Fuente de alimentación DC
- multímetro
- Sensor de campo magnético
- Cables de conexión
- Gaussómetro
- UNILAB Magnetic flux density unit

Montaje

Primero se realiza un boceto del montaje experimental, el cual se muestra en la figura.

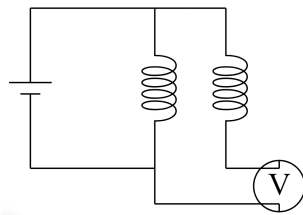


Figura 1: Montaje experimental

Se conectan dos bobinas de Helmholtz que tienen $N = 77$ vueltas cada una, además de una resistencia total de $R_t = 0,8\Omega$ ya que están en paralelo. Se conecta la fuente de alimentación DC a las bobinas y se utiliza un multímetro para medir el voltaje aplicado. En el centro de las bobinas a un radio de $R = 0,2[m]$ se coloca un sensor de campo magnético para medir el campo B generado por las bobinas al variar el voltaje aplicado. Mediante el uso del UNILAB Magnetic flux density unit se calibra el sensor de campo magnético para obtener mediciones precisas.

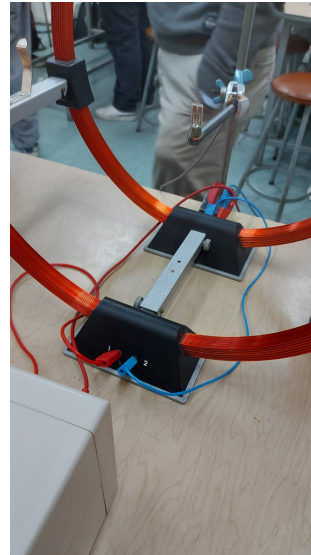


Figura 2: Bobina en configuración de Helmholtz

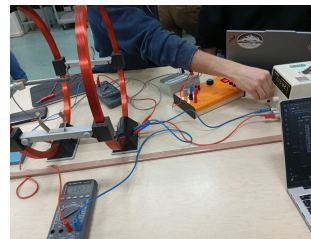


Figura 3: Circuito del montaje experimental

Resultados

A continuación se presentan los datos obtenidos durante el experimento, donde se midió el campo magnético B función de la corriente utilizando ley de Ohm para relacionar el voltaje aplicado y la corriente en la bobina.

V [V]	I [A]	B [mT]
0.115	0.144	0.0200
0.230	0.288	0.0450
0.340	0.425	0.0615
0.461	0.576	0.0750
0.569	0.711	0.1000
0.674	0.843	0.1150
0.787	0.984	0.1250
0.885	1.106	0.1500
1.008	1.260	0.1600
1.109	1.386	0.1800
1.222	1.527	0.1950
1.325	1.656	0.2150
1.435	1.794	0.2250
1.550	1.938	0.2500
1.659	2.074	0.2650
1.774	2.218	0.2850
1.864	2.330	0.3000
1.984	2.480	0.3150
2.097	2.621	0.3350
2.203	2.754	0.3500
2.320	2.900	0.3650
2.425	3.031	0.3850
2.558	3.198	0.4000
2.650	3.313	0.4150
2.750	3.438	0.4300
2.873	3.591	0.4500
2.990	3.738	0.4700
3.075	3.844	0.4850
3.210	4.013	0.5000
3.322	4.153	0.5250
3.659	4.574	0.5750
3.767	4.709	0.5850
3.880	4.850	0.6000

Cuadro 1: Voltaje, corriente y campo magnético.

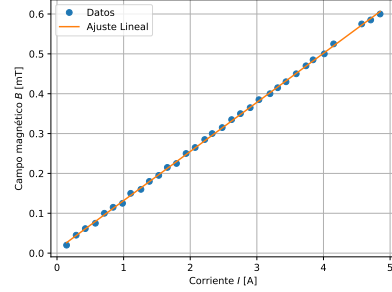


Figura 4: Gráfico de campo magnético B vs corriente I .

La pendiente, dado nuestro modelo lineal, será $\mu_0 \frac{N}{R} \frac{4^{3/4}}{5} = 0,193$. Todos estos valores son fijos, con $N = 77$ siendo el número de vueltas y $R = 20$ cm siendo el radio de las bobinas.

Considerando esos datos se puede trabajar algebraicamente:

$$\mu_0 \cdot \frac{77}{20} \cdot \frac{4^{3/4}}{5} = \alpha \quad (12)$$

$$\mu_0 \cdot \frac{77}{20} \cdot \frac{4^{3/4}}{5} = 1,232 \times 10^{-4} \quad (13)$$

$$\mu_0 \cdot 2,750 \cdot 0,846 = 1,232 \times 10^{-4} \quad (14)$$

$$\mu_0 = 4,472741 \times 10^{-7} \text{H/m} \quad (15)$$

Análisis

A partir de los datos obtenidos se realizara un grafico de B vs I para obtener la pendiente α y así calcular la permeabilidad magnética del aire.

Además, al modelo elegido se observó cuál es su residuo con respecto a los datos tomados para ver si existía algún error sistemático o si existe un modelo mejor que pueda representar nuestros datos.

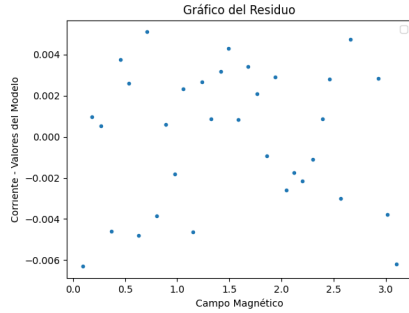


Figura 5: Residuos del Modelo.

Como se puede observar en 5 los puntos se mueven de manera aleatoria, por lo que nuestro modelo grafica decentemente nuestros datos.

Analizando además el error que nos entrega el modelo mismo elegido, nos queda que la desviación estándar de la pendiente y el coeficiente de posición son:

$$\sigma_{pos} = 0,002$$

$$\sigma_{pend} = 0,001$$

Predicción

Dado nuestro modelo y considerando los errores que este tiene, podemos realizar una predicción respecto a un campo magnético mucho más grande de los que trabajamos.

Referencias

- [1] D. J. Griffiths, *Introduction to Electrodynamics*, 3rd ed. (Prentice Hall, Madrid, 1999).
- [2] Wikipedia contributors, Helmholtz coil — Wikipedia, the free encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Helmholtz_coil (2025), [Online; accessed 13-November-2025].