



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Laboratorio de Electromagnetismo

**Análisis cualitativo y comprobación experimental
de la ley de Ampère en un alambre y una bobina.**

Integrantes del equipo:

- 1) Alonso Barradas Luis Gustavo
- 2) Fragoso Alvarado Daniel
- 3) Rios Fematt Mildred Stephany
- 4) Robledo Ibarra Emiliano



Profesora: Fís. Maris Sofía Flores Cruz.
Ayudante: Miguel Ángel Amaya Reyes.
Fecha de entrega: Lunes 11 de Mayo, 2020

1. Objetivos

1. Observar y describir cualitativamente el campo magnético alrededor de un conductor recto y sobre una bobina.
2. Medir el campo magnético alrededor de un conductor recto y graficar el valor de B en función de la distancia de separación $-r-$ a la que se mide.
3. Medir el campo magnético que se produce por encima de la bobina, es decir cómo varía sobre el eje axial y graficar el valor B en función de z.

2. Materiales

- Fuente de poder de CD (0 a 18)V
- Resistencias de $2\ \Omega$
- Gaussímetro
- Cable de calibre 12
- Bobina
- Multímetro
- Cinta para medir
- 2 Pedazos de cartón de al menos 400cm^2 de área
- Soporte para colocar la lámina de cartón
- Limadura de hierro
- Cables conductores

3. Introducción

André Marie Ampère comenzó a investigar el efecto que generaba la corriente de un conductor sobre objetos magnetizados, para ello ideó un método conveniente para determinar la dirección del campo magnético que rodea a un conductor por el cual circula una corriente. Ampère colocó brújulas magnéticas alrededor del alambre por el que circula corriente observando que las agujas de la brújula se alineaban de manera circular alrededor del alambre por lo que concluyó que el campo magnético es circular y que está dirigido en el sentido del giro de las manecillas del reloj. Ampère le dio el nombre de *regla del pulgar de la mano derecha*, el cual dice que si el alambre se toma con la mano derecha de modo que el pulgar apunte en la dirección de la corriente convencional, los demás dedos que sujetan el conductor indicarán la dirección del campo magnético (Resnick et al., 2002, p. 771).

Después de experimentar con este fenómeno, Ampère concluyó que: “En un campo magnético, la circulación del vector inducción a lo largo de la curva cerrada S es igual a μ_o veces la intensidad de corriente que corta el área de dicha curva” (Resnick et al., 2002, p. 772).

$$\oint_S \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc} \quad (1)$$

Donde μ es la permeabilidad magnética del medio que rodea al conductor, que para nuestros fines será la del vacío; por lo que $\mu = \mu_0$. En analogía a la ley de Gauss, recordemos que para simplificar ésta, se recurría a una superficie simétrica llamada *superficie gaussiana*. En el caso de la ley de Ampère construimos una curva cerrada imaginaria, llamada *anillo amperiano* (Resnick, 1988, p. 234).

Con el resultado obtenido por Ampère es posible analizar el campo magnético que generan distintas configuraciones de conductores por lo cuales se les puede hacer pasar una corriente eléctrica estacionaria.

Existen 3 construcciones comúnmente utilizadas donde se puede aplicar dicha ley: un conductor recto, un solenoide y un toroide. Para fines de esta practica sólo se analizarán los primeros dos.

Alambre conductor recto. Para el caso más sencillo, donde tenemos un alambre largo y recto de área transversal con radio R , por el cual hacemos pasar una corriente constante, la ecuación de Ampère nos dice que si $r > R$ (Finn et al., 1999, p. 617):

$$B = \frac{\mu_o I}{2\pi r} \quad (2)$$

Por otra parte, si $r < R$ la corriente que circula por el alambre será menor según del área transversal de radio r que tomemos, por lo tanto:

$$B = \frac{\mu_o I r}{2\pi} \quad (3)$$

Visualmente el campo magnético generado por un alambre al cual se le induce una corriente se puede observar en la **Figura 1** y la **Figura 2**, estas corresponden a la representación teórica y la experimental (mostrando su efecto sobre limadura de hierro) respectivamente.

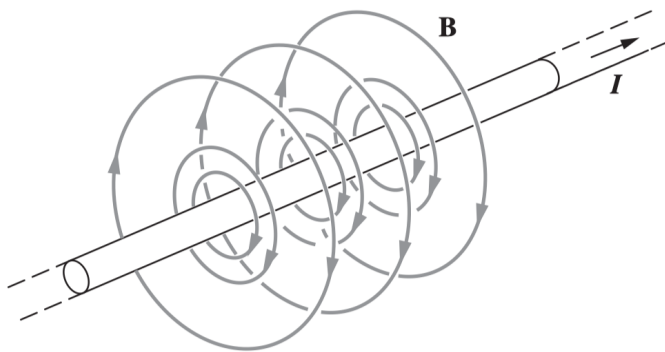


Figura 1: Campo magnético de un alambre visualización teórica. (Purcell et al., 1988, p. 287.)



Figura 2: Visualización del efecto que genera el campo magnético en un cable sobre limadura de hierro (Melloch., 29 de mayo 2018)

Bobina. Una bobina es un componente eléctrico pasivo de dos terminales, típicamente consiste en un alambre largo enrollado en un núcleo y se enrolla en forma de hélice, se caracteriza porque la longitud del enrollado es menor que el diámetro de ésta. Suele utilizarse para crear un campo magnético uniforme, al igual que un capacitor de placas paralelas crea un campo eléctrico uniforme. La bobina almacena energía en forma de campo magnético.

El campo magnético de una bobina que tiene N vueltas de cable, un radio R y por el cual circula una corriente I , a una distancia z del eje axial, el campo magnético está dado por (Purcell, 1988, p. 236):

$$B = \frac{\mu_o I}{2} \frac{R^2 N}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (4)$$

Observemos que este será máximo en el centro de la bobina, es decir cuando $z=0$

$$B = \frac{\mu_o I N}{2R} \quad (5)$$

En la **Figura 3** se muestra la representación gráfica teórica de los campos que genera la bobina al hacerle pasar corriente y la **Figura 4** corresponden a la representación experimental del mismo efecto.

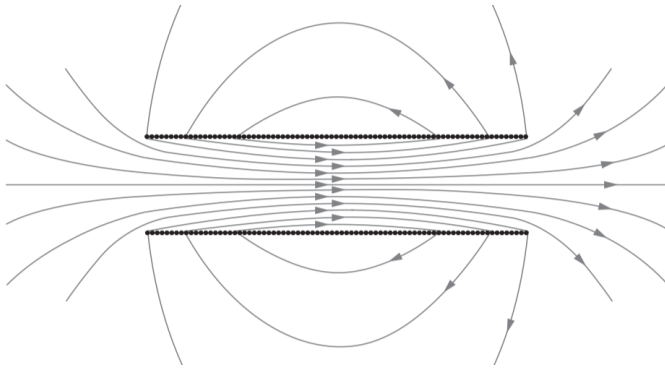


Figura 3: Visualización teórica del campo magnético de una bobina [plano frontal] (Purcell et al., 1988, p. 301).



Figura 4: Visualización del efecto que genera el campo magnético en una bobina sobre limadura de hierro (Melloch., 14 de agosto 2017).

4. Actividades a realizar

Construcción del circuito del cable conductor Con el fin de observar el efecto magnético que genera la corriente eléctrica se construirá como primer circuito un conductor recto. Para ello se realizará el siguiente proceso:

1. Se comenzará tomando el pedazo de cartón y se atravesará con el cable de calibre 12, de forma que sobre una cara del cartón podamos esparcir la limadura de hierro
2. Será colocada la lámina de cartón sobre el soporte de tal forma que el cable conductor quede en posición vertical. En seguida y sin encender la fuente de poder, conecten la terminal negativa de la fuente de poder al extremo superior del alambre.
3. Por medio de cables conductores, conecten el polo positivo de la fuente de poder a la resistencia, esto para mayor seguridad y poder controlar el paso de corriente a través del circuito, a su vez ésta se conectará a una punta del multímetro (en medición de amperaje). Una vez montado, se esparcirá la limadura de hierro sobre el cartón y se procederá a encender la fuente de poder, cuya configuración deberá ser de corriente continua. Por seguridad se recomienda trabajar con menos de 1 ampere.
4. Por último, conecten la punta restante del multímetro al extremo inferior del alambre conductor.

El esquema del circuito final se observa en la **Figura 5**. Y como nota final de este circuito, cuando se mida se deberá aplicar un voltaje tal que la corriente medida sea de 0.6 Ampere o menor.

Construcción del circuito con bobina

1. Coloquen la lámina de cartón de manera que quede arriba de la bobina, suspendida de una base, traten de que quede lo más pegado a la bobina que se pueda. (La base puede ser creada por ustedes, por ejemplo colocando libros a los lados).

2. Previo a encender la fuente de poder, conecten la terminal negativa a un extremo de la bobina.
3. Repitan el paso 3 del circuito anterior y conecten la punta restante del multímetro al extremo restante de la bobina.

En la **Figura 6** se observa una representación gráfica de este segundo circuito. Y como nota final de este circuito, cuando se mida se deberá aplicar un voltaje tal que la corriente medida sea de 0.6 Ampere o menor.

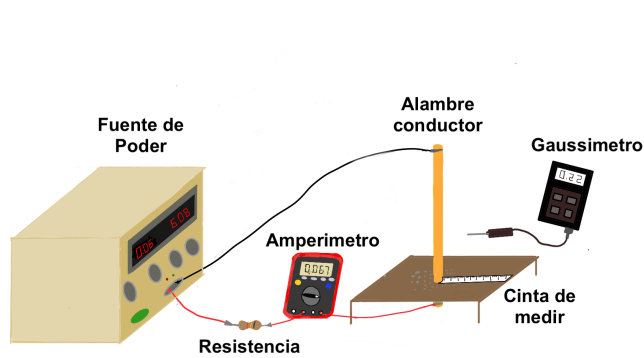


Figura 5: Diagrama gráfico del arreglo experimental para el alambre recto conductor.

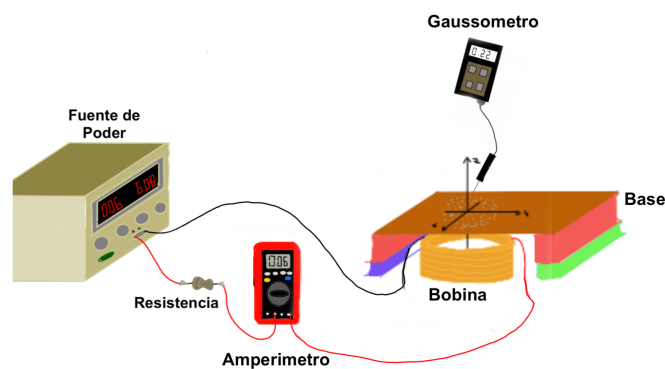


Figura 6: Diagrama gráfico del arreglo experimental para la bobina.

4.1. Toma de mediciones

En el caso del cable conductor se deberá analizar de la siguiente manera:

- Una vez construido el primer circuito, se esparcirá la limadura de hierro sobre la cara de la lámina de cartón. Luego, se asignarán valores de voltaje y corriente a la fuente de poder, trabajen con un voltaje para el cual consigan un amperaje menor a 1 y mayor a 0.5. Observen los efectos que la corriente genera, tomen fotografías y discutan su comportamiento.
- Con ayuda de la cinta métrica realicen al menos 10 mediciones en dirección radial sobre la superficie de cartón con separaciones de un centímetro y con ayuda de la punta transversal del gaussímetro registren las variaciones en la magnitud del campo magnético, tanto en función de la separación del cable como direccionalmente alrededor del cable conductor, para ello se realizarán 10 mediciones en separación radial para al menos 4 direcciones radiales distintas. Posteriormente, con los datos recopilados, grafiquen la magnitud del campo magnético \vec{B} en función del radio r .

Una vez construido el segundo circuito se realizarán las siguientes mediciones:

- Se esparcirá limadura sobre la cara superior de la lámina de cartón. Véase **Figura 7**. Al igual que en el caso anterior, observen el fenómeno presentado y tomen fotografías para el análisis. Discutan lo ocurrido.
- Para el análisis cuantitativo se elegirá un sistema de coordenadas (x,y,z) (véase **Figura 7**), de manera que el eje axial quede sobre el eje z . Con ayuda de la punta axial del gaussímetro midan el campo en tales puntos. Se medirán las diferentes magnitudes del campo magnético a lo largo del eje z , es decir para puntos de la forma $(0,0,z)$. Grafiquen los datos recopilados, como la magnitud del campo B en función de la distancia z .

- Ahora como análisis cualitativo, se procederá a responder qué es lo que ocurre en el exterior de la bobina. Para esto se recomienda voltear la bobina con mucho cuidado, nuevamente colocando la lámina de cartón apoyada sobre una base. Esparzan limadura de hierro en la superficie de cartón y tomen fotografías para observar lo ocurrido, la forma que adopta. Discutan este comportamiento.

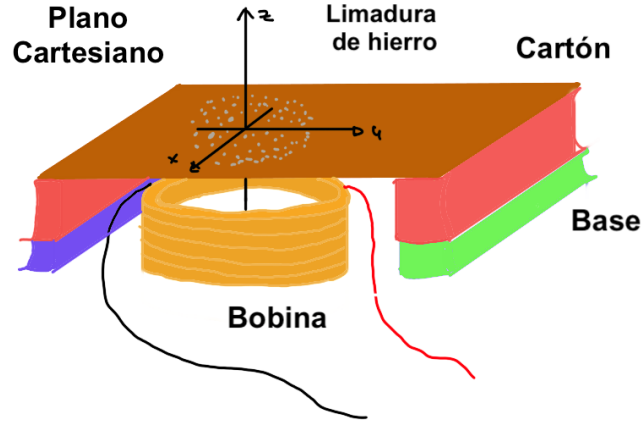


Figura 7: Sistema coordenada para la toma de datos en el 2do arreglo experimental

5. Observaciones para el análisis de resultados

Análisis cualitativo del campo magnético de un conductor recto. Para el primer circuito, al encender la fuente de poder se espera poder observar una configuración por parte de la limadura de hierro. La formación constituida tendrá que tener una apariencia circular concéntrica al conductor, de forma que si se analizase por radios se esperará observar en las fotografías varias circunferencias con mayor concentración en áreas cercanas al cable. De tales observaciones se deberá discutir que existe un efecto magnético producido al hacer pasar corriente sobre el conductor y cómo es que actúa sobre el espacio en magnitud será radial, mientras que en dirección será angular. Se deberá realizar un esquema del suceso y deberá ser similar al que se observa en la **Figura 2**. Incluyan las fotos del resultado obtenido en su reporte.

Análisis del campo magnético que produce el cable conductor. Una vez recopilados los datos, teniendo así 4 conjuntos de datos, uno por cada dirección radial distinta. Se esperaría que estos estuvieran sobrepuestos y que además al momento de hacer el cambio de variable $X = \frac{1}{r}$ la pendiente de los 4 conjuntos de datos debería ser la misma $m = \frac{\mu_0 I}{2\pi}$. Lo que nos hablaría del comportamiento en forma radial alrededor del cable conductor por el que se hace pasar corriente. Se deberá concluir que es independiente a la dirección.

Análisis cualitativo del campo magnético de una bobina. Después de haber encendido la fuente de poder, se espera que sobre el plano superior de la bobina, en la limadura de hierro se llegue a notar la presencia de levitación sobre algunos pedazos de ésta. Se discutirá el por qué ocurre esto y si coincide con la teoría, mientras que para el exterior de la bobina, se esperaría encontrar formaciones semicirculares muy parecidas a las que se muestran en la **Figura 4**.

Análisis del campo magnético sobre la bobina. Para este caso se espera que se recopilen los datos de forma que se aproveche la formación mostrada anteriormente (observaciones cualitativas), es decir que,

si se encontró levitación sobre las limaduras de hierro, el campo debe variar respecto al eje z. Entre más nos alejemos de la bobina, este campo va a decrecer; mientras que al acerquemos más, la intensidad será mayor, encontrando un máximo justo en el centro de la bobina. Respecto al comportamiento de B en función de z, observemos que ya dijimos en $z=0$ encontraríamos un máximo, mientras que al avanzar sobre el eje z este valor de B iría disminuyendo; por lo tanto se esperaría una función que se comportara de manera "Gaussiana" (para visualizarse mejor), en realidad su comportamiento es de la forma $\frac{1}{(a^2+z^2)^{\frac{3}{2}}}$.

Como resultado final se puede incluir cómo la configuración del alambre por el cual se hace pasar corriente puede generar diversas propiedades como la que se observa en la bobina.

Referencias

- Alonso, M., Finn, E. J., Heras, C. A., y Araujo, J. A. B. (1999). *Física vol.2: Campos y ondas* (2.^a ed.). Pachuca, México: Fondo Educativo Interamericano.
- Melloch, M. (2017, Agosto 14). *Magnetic field of a coil*. [archivo de video]. Recuperado el 11 de mayo, 2020 de url <https://www.youtube.com/watch?v=bq6IhapfucE>.
- Melloch, M. (2018, Mayo 29). *Magnetic field of a wire*. [archivo de video]. Recuperado el 11 de mayo, 2020 de url <https://www.youtube.com/watch?v=caHXwJbkbQU>.
- Purcell, E. M. (1988). *Electricidad y magnetismo* (2.^a ed.). Ciudad de México, México: Reverté.
- Resnick, R., Halliday, D., Krane, K. S., y Miguel, E. A. (2002). *Física. vol. 2* (5.^a ed.). D.F., México: CECSA.