

# PRÁCTICA NÚMERO 7: Anillo de Thomson

## Integrantes

Atayde Aranda Aldo

Basile Álvarez Tomás Ricardo

Gallegos Salgado Jessica Andrea

Velázquez Martínez Jonathan Israel

## Resumen

En este experimento se mostrará que las leyes físicas relacionadas con el electromagnetismo se cumplen experimentalmente; se verá que la relación físico-matemática da una muy buena intuición y aproximación de los resultados. Tal es el caso de la Ley de Biot-Savart, la cual nos relaciona al campo magnético, la intensidad de corriente y la dirección de estos.

Pero, el principal objetivo del trabajo se centró en el estudio de la fuerza de Lorentz que siente un anillo conductor en presencia de un campo magnético, esto es llamado el Anillo de Thomson. Este experimento está compuesto por un solenoide con un núcleo y un anillo de un metal conductor. Con él, se intenta analizar el efecto que produce que una corriente eléctrica fluya a través del solenoide y la interacción que este efecto tiene sobre diferentes anillos conductores (con geometría distinta o diferentes materiales).

## Introducción

- GENERADORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA

El generador de corriente alterna es un dispositivo que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. El generador más simple consta de una espira rectangular que gira en un campo magnético uniforme.

Cuando la espira gira, el flujo del campo magnético a través de la espira cambia con el tiempo. Se produce una fem. Los extremos de la espira se conectan a dos anillos que giran con la espira. Las conexiones al circuito externo se hacen mediante escobillas estacionarias en contacto con los anillos.

Hay tres formas de variar con el tiempo el flujo de un campo magnético a través de una espira,  $F = B \cdot S$ , con B el vector campo y S el vector superficie. **[1]**

1. Cuando el campo cambia con el tiempo.
2. Cuando el área de la espira cambia con el tiempo.
3. Cuando el ángulo entre B y S cambia con el tiempo.

- LEY DE BIOT Y SAVART

Poco después de que en 1819 Oersted descubriera que la aguja de una brújula se desvía por la presencia de un conductor que lleva corriente, Jean-Baptiste Biot y Félix Savart realizaron experimentos cuantitativos en relación con la fuerza ejercida por una corriente eléctrica sobre un imán cercano. De sus resultados experimentales, Biot y Savart llegaron a una expresión matemática que da el valor del campo magnético en algún punto del espacio, en función de la corriente que dicho campo produce. Esta expresión se basa en las siguientes observaciones experimentales para el campo magnético  $dB$  en un punto P asociado con un elemento de longitud  $ds$  de un alambre por el que pasa una corriente estable  $I$ .

1. El vector  $dB$  es perpendicular tanto a  $ds$  (que apunta en la dirección de la corriente) como al vector unitario  $\hat{r}$ , dirigido desde  $ds$  hacia P.
2. La magnitud de  $dB$  es inversamente proporcional a  $r^2$  donde  $r$  es la distancia de  $ds$  a P.
3. La magnitud de  $dB$  es proporcional a la corriente y a la magnitud  $ds$  del elemento de longitud  $ds$ .
4. La magnitud de  $dB$  es proporcional a  $\sin u$ , donde  $u$  es el ángulo entre los vectores  $ds$  y  $\hat{r}$ .

Estas observaciones se resumen en la expresión matemática conocida hoy en día como la ley de Biot-Savart.

$$dB = \frac{\mu_0 I ds \times \hat{r}}{4\pi r^2}$$

Donde  $\mu_0$  es una constante llamada permeabilidad del espacio libre:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} \quad [2]$$

Esta ley también podemos verla en una bobina (solenoides). El valor del campo magnético en los extremos de un solenoide, creado por una corriente eléctrica se obtiene por medio de la siguiente expresión:

$$B = \frac{\mu NI}{2L}$$

Donde  $B$  es el valor del campo magnético,  $\mu$  es la permeabilidad magnética,  $I$  es la intensidad de corriente que circula,  $N$  el número de espiras del solenoide y  $L$  es la longitud total del solenoide.

En la bobina se genera un campo magnético proporcional a la intensidad de la corriente que circula por ella. En el interior de la bobina el campo magnético generado es principalmente paralelo al eje z, mientras que en el exterior tiene también una componente radial, donde las líneas de campo divergen. Este campo magnético atraviesa el anillo, por lo que el flujo magnético a través del anillo será proporcional a la intensidad que circula por la bobina. Independientemente de cual sea el sentido de la intensidad de la corriente eléctrica, las líneas de campo saldrán por un extremo de la bobina y entrarán por la otra. **[3]**

- INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o tensión) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático no uniforme, o la variación de las líneas de campo que atraviesan dicha superficie mediante un giro. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. **[4]**

El principio fundamental de la inducción electromagnética es la ley de Faraday, que relaciona la fem inducida con el flujo magnético variable en cualquier espira, incluido un circuito cerrado. Así como la ley de Lenz, que ayuda a predecir el sentido de las fem y las corrientes inducidas.

- LEY DE FARADAY

Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday en 1831, quien lo expresó indicando que la magnitud de la tensión inducida es proporcional a la variación del flujo magnético. **[5]**

Es decir, relaciona la razón de cambio de flujo magnético que pasa a través de una espira (o lazo) con la magnitud de la fuerza electromotriz  $\varepsilon$  inducida en la espira. La relación es:

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$$

La fuerza electromotriz, o FEM, se refiere a la diferencia de potencial a través de la espira descargada (es decir, cuando la resistencia en el circuito es alta). En la práctica es a menudo suficiente pensar la FEM como un voltaje, pues tanto el voltaje como la FEM se miden con la misma unidad, el volt. **[6]**

- LEY DE LENZ.

La ley de Lenz, también llamada ley de Lenz-Faraday, es utilizada en el ámbito del electromagnetismo y permite determinar el sentido de la corriente inducida. Puede enunciarse como sigue: un cambio de estado de un sistema electromagnético provoca un fenómeno cuyos efectos tienden a oponerse a este cambio.

La ley relaciona cambios producidos en el campo eléctrico por un conductor con la propiedad de variar el flujo magnético, y afirma que las tensiones o voltajes aplicadas a un conductor generan una fuerza electro motriz (fem) cuyo campo magnético se opone a toda variación de la corriente original que lo produjo.

Se expresa matemáticamente como:

$$\varepsilon = - N \frac{d\Phi}{dt}$$

Donde  $\varepsilon$  es el voltaje inducido,  $\frac{d\Phi}{dt}$  es la tasa de variación temporal del flujo magnético  $\Phi$  y N es el número de espiras del conductor. El signo menos es la dirección del voltaje inducido y es negativo debido a la oposición al cambio de flujo magnético. [7]

- EFECTO JOULE

Si por un conductor circula corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido al choque que sufren los electrones con las moléculas del conductor por el que circulan elevando la temperatura del mismo.

Este efecto fue definido de la siguiente manera: "La cantidad de energía calorífica producida por una corriente eléctrica, depende directamente del cuadrado de la intensidad de la corriente, del tiempo que ésta circula por el conductor y de la resistencia que opone el mismo al paso de la corriente".

Matemáticamente se expresa como:

$$Q = I^2 R t$$

Donde Q es la energía calorífica producida por la corriente expresada en Joule, I es la intensidad de la corriente que circula, R es la resistencia eléctrica del conductor y t el tiempo. [8]

## **Hipótesis**

- El anillo se mantendrá lo más concéntrico posible respecto al cilindro de la bobina debido al campo magnético producido por la corriente que circula en la bobina. El campo magnético del cilindro será vertical y radial hacia afuera (debido a la geometría del cilindro).
- El anillo levitará debido a la intensidad del campo magnético, que es directamente proporcional a la intensidad de corriente por la bobina. Como el anillo es un conductor, se generará en él una corriente eléctrica que a su vez genera un campo magnético y es la razón de la levitación, esto no sucederá en el anillo no cerrado porque no generará la corriente eléctrica.
- El anillo se calentará debido al flujo de electrones por él según el efecto Joule.

## **Objetivos**

Observar el cambio del campo magnético y eléctrico inducidos respecto al tiempo. Verificar el efecto Joule y la ley de Biot-Savart, así como la inducción electromagnética.

## **Materiales**

- Bobina.
- Núcleo de hierro.
- Anillos conductores.
- Variac.
- Anillo no cerrado.
- Foco con un cable embobinado conectado en su base

## **Procedimiento experimental**

- 1.- Conecta uno de los extremos del Variac a una fuente de poder y la otra a la bobina.
- 2.- Coloca un anillo conductor sobre la bobina.
- 3.- Enciende el Variac y la bobina para cerrar el circuito.
- 4.- Empieza a variar el voltaje proporcionado por el Variac y anota tus observaciones.
- 5.- Repite el paso 3 y 4, pero ahora con un anillo no cerrado. Anota tus observaciones.
- 6.- Coloca el foco sobre la bobina y ahora enciende el Variac, observa cómo cambia la intensidad de la luz del foco al cambiar su ángulo con respecto a la bobina.
- 7.- Colocar un alambre embobinado encima de la bobina original y observar qué sucede al cerrar el alambre.

## **Resultados y análisis**

### **➤ Levitación de los anillos**

Al colocar cada anillo en el núcleo de hierro y aumentar la corriente por la bobina, notamos que el anillo empieza a levitar. Esto debido a que la corriente alterna de la bobina genera un campo magnético en la dirección vertical, y este campo cambia con el tiempo de la misma forma en que lo hace la corriente eléctrica en la bobina.

Este campo magnético cambiante con el tiempo hace que el flujo magnético por el anillo también cambie con el tiempo. Por lo tanto, por la ley de Faraday, se crea una emf en el anillo cuyo valor es igual a la derivada del flujo magnético.



**Imagen 1.** Anillo levitando

Como el anillo es un conductor, esta emf genera una corriente eléctrica. Pero esta corriente del anillo a su vez genera un campo magnético. La dirección de este campo magnético inducido viene dada por la ley de Lenz que dice que el campo magnético inducido será opuesto al campo magnético que lo está causando en primer lugar. Entonces, los campos magnéticos de la bobina y del anillo se repelerán lo cual hará que levite el anillo.

En el experimento se observa que los tres anillos (cobre, latón y aluminio) levitan, sin embargo, no levitan a la misma altura. El cobre y aluminio alcanzaron aproximadamente la misma altura, mientras que el latón levita a una altura menor.

Además, cuando se aumenta el voltaje muy súbitamente, el anillo salta muy alto inmediatamente, esto debido a que por la ley de Faraday, la emf inducida no es proporcional al campo magnético externo, sino a su derivada con el tiempo. Entonces un campo que cambia muy rápidamente creará una emf muy grande en el anillo.

Finalmente, para el anillo que está abierto, vemos que este no levita en absoluto. Esto debido a que como no está cerrado, no se generará una corriente eléctrica y entonces no se desarrollará el efecto descrito.

#### ➤ Foco

Colocamos un foco (con un cable embobinado en su base) encima de la bobina. Cuando se enciende una corriente por la bobina, observamos que el foco se enciende. Esto debido a que el flujo magnético de la bobina original crea una corriente sobre la bobina conectada al foco. Y así, esta corriente eléctrica inducida pasa por el filamento del foco y lo enciende. Finalmente, se ve que al cambiar el ángulo entre el foco y la bobina, la intensidad del foco disminuye.



**Imagen 2.** Foco encendido

#### ➤ Alambre embobinado

Se coloca un alambre embobinado encima de la bobina original, el circuito del alambre embobinado puede cerrarse con un interruptor. Al cerrar el alambre, se observa que se genera una chispa, esto debido a que se produjo una emf en el alambre, nuevamente debido a la ley de Faraday. Y al acercar las puntas del alambre, esta diferencia de potencial generará una chispa.



**Imagen 3.** Bobina

#### ➤ Efecto Joule

Por último, durante la realización del experimento, se observa que los anillos aumentan su temperatura considerablemente. Esto se debe al efecto Joule, tal como se menciona en el marco teórico.

## **Observaciones y conclusiones**

Se observa que la altura a la que se levantan los anillos es diferente para cada material. Esto se puede deber a dos motivos. En primer lugar, según la ley de Faraday, si el experimento se realiza de la misma manera en cada caso, la emf producida deberá de ser la misma.

Sin embargo, esto no significa que la corriente inducida (y por tanto el campo magnético del anillo) sea el mismo en cada caso, ya que esto dependerá de la conductividad del material. Por lo tanto, por sus propiedades conductoras, el cobre tendrá la mayor corriente inducida. Además, dependerá de la masa del anillo, ya que un anillo con mucha masa no levitará tanto mientras que uno poco masivo podrá levitar más.

También se puede observar que efectivamente la bobina está creando un campo magnético. Esto porque al acercar un imán a la bobina, se siente una fuerza sobre éste. Además, según la ley de Biot Savart, la intensidad de este campo magnético dependerá de la intensidad de corriente que pase por la bobina.

Por otro lado al acercar el foco, se ve que la intensidad de su luz depende del ángulo que hace con la bobina. Esto debido a que según la ley de Faraday, la intensidad de la corriente inducida es proporcional al flujo magnético por el embobinado del foco. Sin embargo, si se inclina el foco, el flujo magnético disminuirá ya que el campo magnético tiene dirección vertical. Por lo tanto, la corriente eléctrica por el foco disminuirá.

Como conclusión, notamos que este experimento une algunos de los conceptos más importantes del electromagnetismo. Ya que se estudia la ley de Biot Savart al calcular el campo magnético producido por una corriente eléctrica, se estudia la ley de Faraday al observar la corriente inducida en los anillos debido al flujo magnético y finalmente se estudia la ley de Lenz al examinar la dirección de la corriente eléctrica inducida en el anillo.

## **Bibliografía**

[1] Generador de corriente eléctrico. (s.f.). Recuperado 1 mayo, 2020, de <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/inducccion/generador/generador.htm>

[2] Serway, R. & Jewett, J. (2009). *Física para ciencias e ingeniería con Física moderna*, Vol. 2 (7° ed.). México: Cengage Learning.



**[3]** Solenoide. (s.f.). Recuperado 1 mayo, 2020, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Solenoide>

**[4]** Inducción electromagnético. (s.f.). Recuperado 1 mayo de [https://es.wikipedia.org/wiki/Inducci%C3%B3n\\_electromagn%C3%A9tica](https://es.wikipedia.org/wiki/Inducci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica)

**[5]** Zemansky S, Freedman Y. (2009). *Física universitaria con Física moderna*, Vol.2 (12° ed.). México: Addison-Wesley.

**[6]** ¿Qué es la ley de Faraday? (s.f.). Recuperado 2 mayo de <https://es.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-faradays-law>

**[7]** Ley de Lenz (s.f.). Recuperado 2 mayo de [https://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Lenz](https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Lenz)

**[8]** Efecto Joule (s.f.). Recuperado 2 mayo de [https://www.ecured.cu/Efecto\\_Joule](https://www.ecured.cu/Efecto_Joule)