



La Ley de Faraday



**Pedro F. González Medina, Orlando A. Márquez Rivera, Jan N. Nieves Soto, Jennifer B. Zayas
Ramírez**

Laboratorio de Física General 3174– Sección 081

Instructor: Alexis Aguirre Narváez

Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez

24 de marzo de 2021

Los objetivos del proceso experimental eran describir la inducción de voltajes en una bobina y determinar el cambio en flujo magnético a través de una bobina. Se utilizó la simulación *Faraday Electromagnetic Lab* [2] y *Faraday's Law* [3] para entender conceptos sobre la Ley de Faraday y corriente inducida. Se vio cómo cambia el flujo magnético a través de una bobina. Se pudo mostrar como el flujo de corriente en un imán produce un campo magnético en el espacio y como las líneas de este campo magnético dependen de la dirección en que el imán se encuentra. La parte norte del imán provoca que, al acercarla a la bobina, la misma aumenta su flujo, por tanto, provoca una corriente de inducción, minimizando el flujo dentro de la bobina para mantener su estado original. Así mismo, si la parte sur del imán se introduce a una bobina ocurre completamente lo opuesto. También, se demuestra que la relación que existe entra el voltaje dentro de una bobina y la dirección de la corriente de esta. Finalmente, se pudo ver que el signo del cambio de flujo magnético es positivo, entonces el voltaje de este es positivo por lo mencionado anteriormente. De igual forma, se pudo ver cuando el signo del cambio del flujo magnético es negativo, ocurriría lo opuesto.

I) Introducción

“La inducción electromagnética es el proceso por el cual se puede inducir una corriente por medio de un cambio en el campo magnético.” Existen dos leyes fundamentales que describen la inducción electromagnética, una de ella siendo la ley de Faraday. Esta ley fue descubierta por Michael Faraday en el siglo XIX, la cual relaciona la razón de cambio de flujo magnético que pasa a través de un lazo con la magnitud de la fuerza electromotriz. Esta relación resulta en una ecuación:

$$\mathcal{E} = \frac{d\Phi}{dt}$$

Otra ley que describe la inducción electromagnética es la ley de Lenz, la cual establece que la polaridad del voltaje inducido en la bobina es tal que crea una corriente cuyo campo magnético se opone al cambio en el flujo magnético a través de esta. Esta ley fue descubierta por Heinrich Lenz en el 1833. Estas dos leyes están relacionadas, ya que la ley del Faraday nos dice la magnitud de la fuerza electromotriz, mientras que la ley de Lenz nos dice su dirección. Lenz establece que la dirección siempre es tal que se opone al cambio de flujo que se produce. Estas dos leyes se pueden combinar para formar una ecuación:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

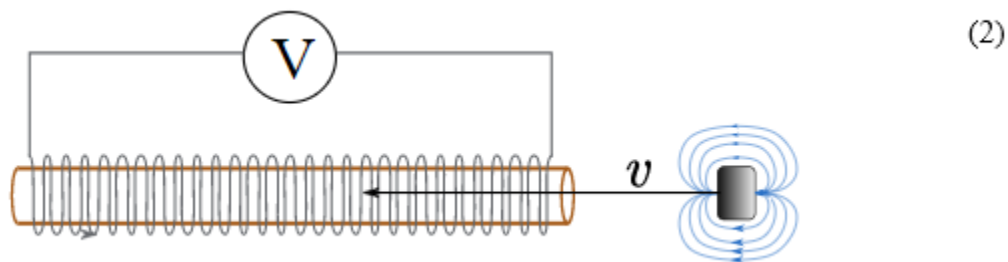


Figura 1: Experimento de Faraday

La Figura 1 representa el sencillo experimento de Faraday que lo ayudó a establecer su ley. Este experimento consiste en un imán que pasa a través de bobina. Faraday conectó un voltímetro para registrar la fuerza electromotriz. El científico tuvo varias observaciones: no se observó voltaje en el imán dentro o cerca de la bobina, se registró algo de voltaje en el imán entrando en la bobina y un cambio de signo en el voltaje al pasar por el centro de la bobina. Estas observaciones son consistentes con la ley de Faraday.

II) Datos y Cómputos

Para este laboratorio, se utilizó las simulaciones *Faraday Electromagnetic Lab* [2] y *Faraday's Law* [3] visualizar como el voltaje de una bobina cambiaba al introducir y sacar el polo norte de un imán con la ayuda del voltímetro. Finalmente, con las gráficas presentas en las **Figuras 6, 7, 8**, se pudo anotar el área bajo la curva al introducir y al sacar el polo norte de la bobina en las **Tablas 1,2**. Luego, de la misma manera, se podía obtener el flujo magnético para estas situaciones con la ayuda de la **ecuación (2)**.

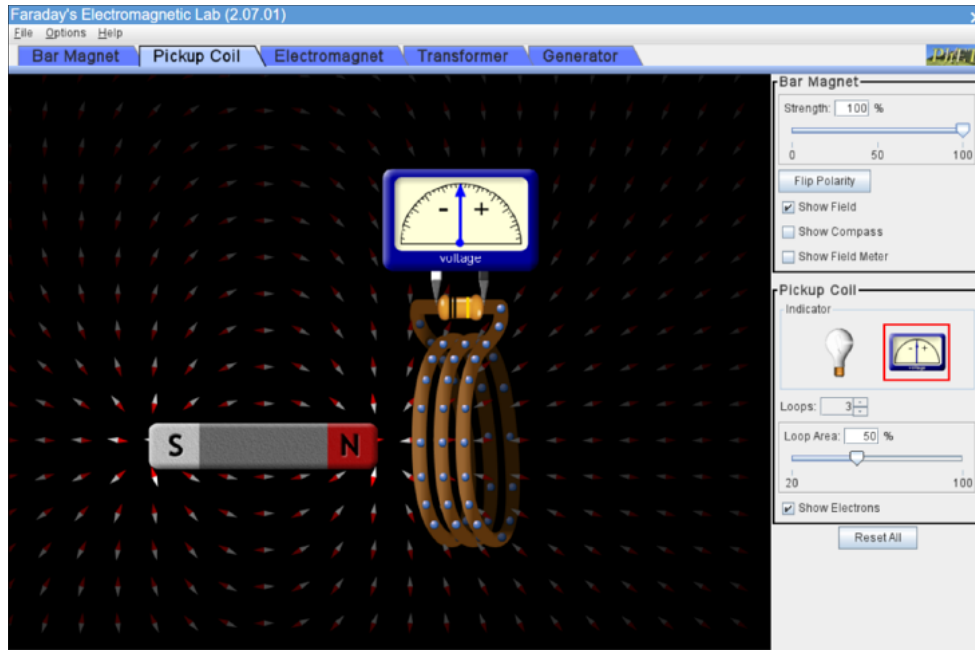


Figura 2: Simulación [2] de la interacción del polo Norte de un imán junto a una bobina.

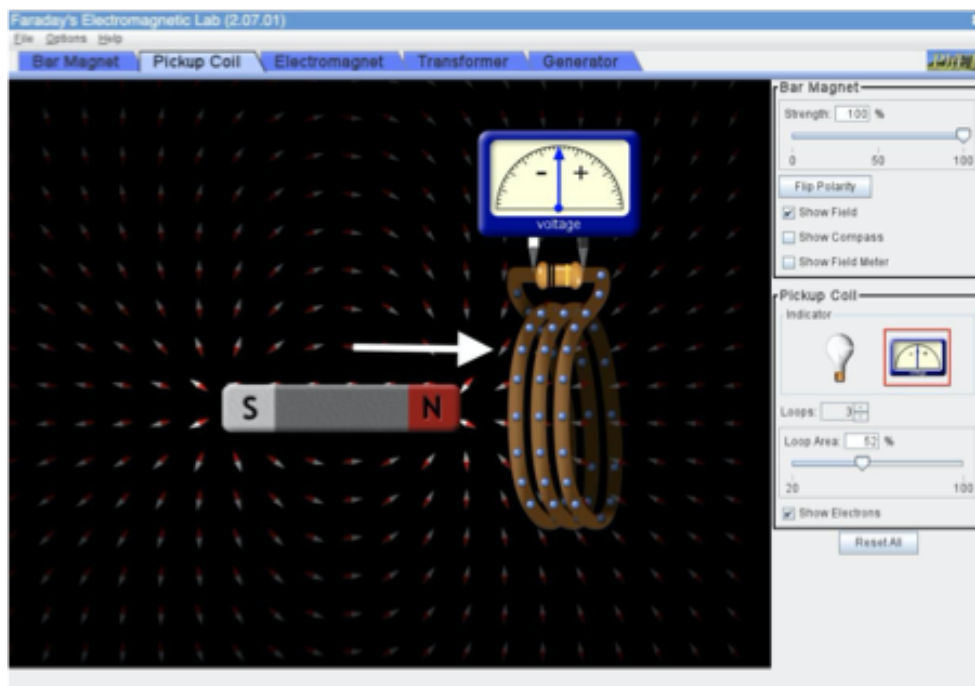


Figura 3: Introduciendo el polo Norte del imán dentro del solenoide.

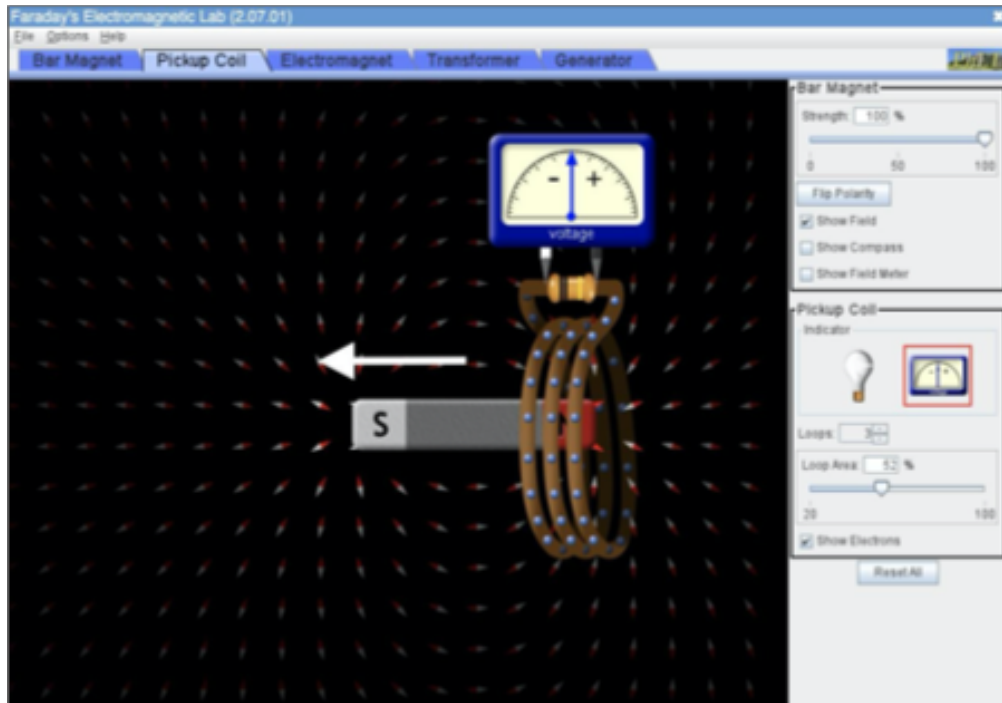


Figura 4: Sacando el imán desde el centro del solenoide.

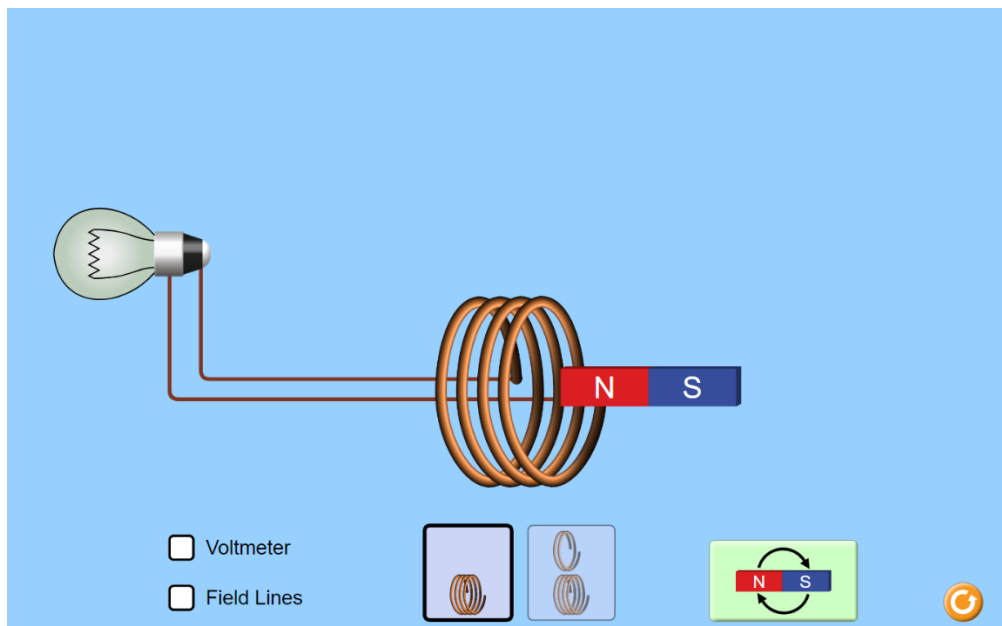


Figura 5: Simulador de la Ley de Faraday. [3]

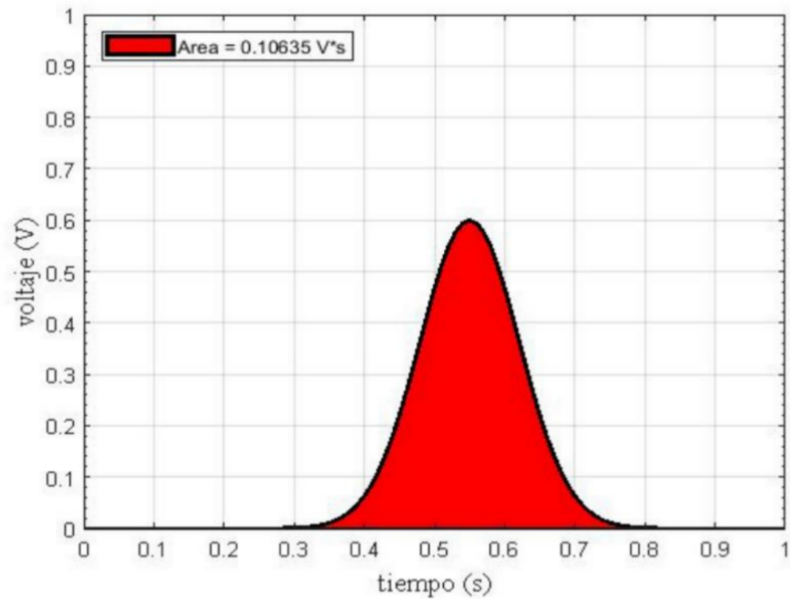


Figura 6: Área debajo de la curva al remover el polo Norte del imán en el solenoide.

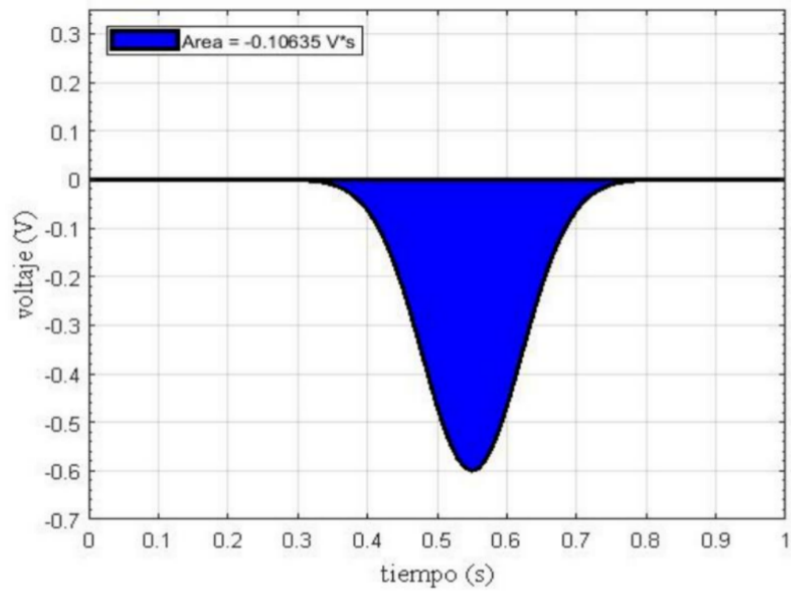


Figura 7: Área debajo de la curva al introducir el polo Norte del imán en el solenoide.

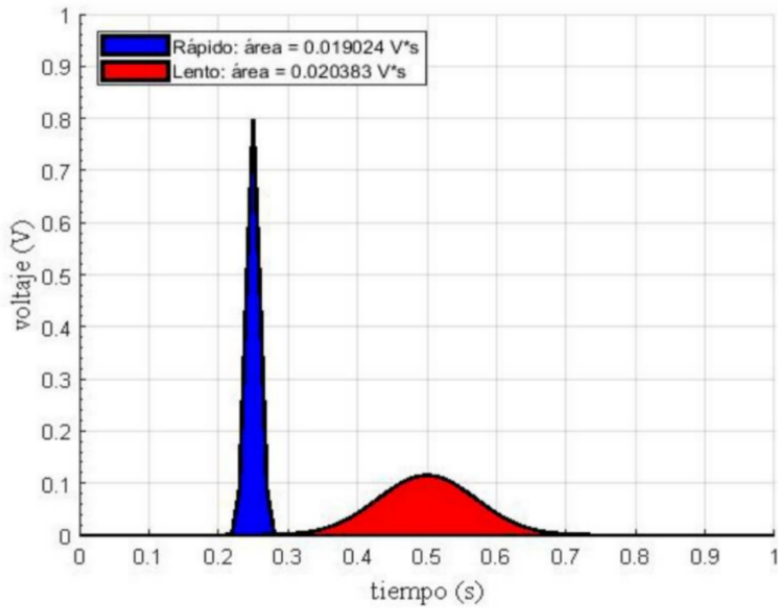


Figura 8: Área bajo la curva al sacar el polo Norte del imán del solenoide.

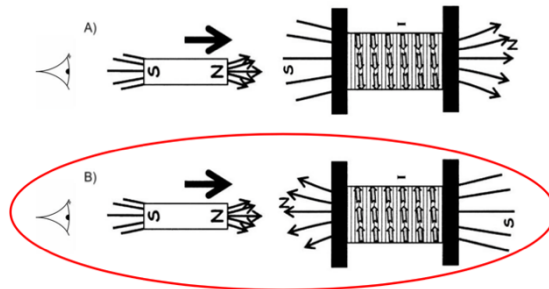


Figura 9: Polaridad del campo magnético inducido por la corriente al introducir (b) y remover polo norte del imán (a)

Casos	Área ($V \cdot s$)	$\Delta\phi_B (V \cdot s)$
Introducir el polo N del imán	-0.10635	0.10635
Remover el polo N del imán	0.10635	-0.10635

Tabla 1: Valores de área y cambio del flujo magnético introduciendo y removiendo el imán del solenoide.

Se sacó el imán de la bobina:	Área ($V \cdot s$)	$\Delta\phi_B (V \cdot s)$
Rápido	0.019024	-0.019024

Lento	0.020383	-0.020383
-------	----------	-----------

Tabla 2: Valores de área y cambio del flujo magnético retirando el imán del solenoide.

III) Análisis de Resultados

El proceso experimental La ley de Faraday pretendía estudiar profundamente las consecuencias de la ley de inducción de Faraday mediante la utilización de una simulación [2]. Con el fin de describir y explorar las causas de la inducción de voltajes en una bobina la primera parte del experimento permitió llevar a cabo un análisis cualitativo mediante observación. A partir de este (**Figura 1**) se pudo notar que al insertar un imán hacia la bobina el voltímetro se movía, es decir, se inducía un voltaje. No obstante, se pudo también notar que si el imán no se movía en ninguna dirección no se generaba voltaje en el medidor. Por lo que entonces este comportamiento sugería que para que hubiese un voltaje inducido el flujo magnético a través de la bobina debía a su vez cambiar. Esto a su vez sugería lo establecido en la ley de Faraday donde el voltaje inducido en un circuito es directamente proporcional a la razón de cambio del flujo magnético respecto al tiempo [1].

Base al comportamiento sugerido mediante la observación del flujo de voltaje en la bobina se estudió entonces el flujo magnético con el fin de determinar el cambio en el flujo a través de una bobina. De acuerdo con la ecuación (1) existían tres formas en el que este podía cambiar, dos de esas tres formas fueron estudiadas en esta segunda parte del proceso experimental. En primer lugar, se estudió el cambio de flujo introduciendo el polo norte de un imán a la bobina, esto producía un voltaje inducido negativo (**Figura 3**). Esto a su vez produce un campo magnético con el polo norte hacia la izquierda en dirección CMR donde la polaridad del campo creado por la bobina al inducir el imán apuntaba en dirección opuesta a las líneas de campo del imán (**Figura 9**). Por lo que se sugería que al introducir el polo norte del imán al solenoide ambas líneas de flujo de campo magnético tendrían tendencia de cancelarse entre sí con el fin de cancelar el exceso de flujo creado al mover el imán. Por lo tanto, si el polo norte del imán se acercaba a la bobina, entonces el polo del campo producido en la bobina sería también norte.

No obstante, para el segundo caso, al remover el polo norte del imán se produjo un voltaje inducido de signo positivo cuya corriente iba en dirección FMR (**Figura 3**). Donde también se pudo notar que

la polaridad del campo magnético producido por la corriente en la bobina (Figura 9) generaba una corriente cuya dirección actuaba concorde a la presencia del imán. Este caso producía líneas en dirección al polo sur y se sumaban a las del imán. Dicho comportamiento sugería que al retirar el imán y disminuir la cantidad de flujo magnético a través de la bobina este buscaría producir un campo magnético que trata de restaurar el flujo original. Para hacer esto debía entonces compensar la falta de flujo al mover el imán. Por lo tanto, si el polo norte del imán se aleja de la bobina, entonces el polo del campo producido en la bobina es sur. De esta manera los campos se sumarían y se restablecería el flujo de campo magnético original.

Mediante las observaciones al introducir y retirar el imán se pudo notar que se verificaba el principio de *Ley de Lenz* [1]. Base a estas observaciones y el análisis de las gráficas (**Figuras 6 y 7**) junto a la **ecuación 2** fue posible entonces determinar matemáticamente el área bajo la curva y el cambio de flujo magnético para los dos casos estudiados (**Tabla 1**). Se pudo notar base a los datos recopilados que tanto para el cambio de flujo como para el área bajo la curva los valores numéricos eran equivalentes. No obstante, poseían signos contrarios por lo que sugería que se verificaba el comportamiento observado para la bobina y el imán en ambos casos. Donde se sugería que cuando el signo del cambio en flujo magnético ϕB era positivo se debía a que se contrarrestaba la falta de corriente inducida al introducir el imán, donde aumentaba el flujo magnético con el fin de equivaler el flujo creado por el imán y oponerse al cambio. Esto también sugería que el signo positivo, cuyo valor se debía al cambio en el flujo, era equivalente al signo negativo del área bajo la curva presentada en la **Figura 7**. Contrario a esto, el signo negativo para el cálculo del cambio en flujo magnético sugería que se contrarrestaba el aumento de corriente que se producía en la bobina al retirar el imán con el fin de oponerse al cambio de disminución en flujo magnético inducido al retirarlo. Esto a su vez podía ser representado con un área bajo la curva de signo positivo (**Figura 6**) que verificaba el comportamiento observado de aumento de flujo en la bobina al retirar el imán.

Finalmente, con el fin de determinar cómo comparaban los valores del cambio de flujo magnético al retirar el imán a distintas velocidades se estudió y analizó una velocidad rápida y una lenta de remover el imán. Base a un análisis cuantitativo (**Tabla 2**) se pudo notar que, aunque para ambos casos los valores del cambio en flujo eran similares, el valor para el cambio a una velocidad lenta era menor. No obstante, al analizar cualitativamente la gráfica para los valores del área bajo la curva se pudo notar que ambas curvas eran muy distintas (**Figura 8**). Estas distinciones en la curva sugerían que al sacar

el imán rápidamente y reducir el intervalo del tiempo el voltaje permanecería "grande", pero que una vez se aumentaba ese intervalo de tiempo el voltaje tendría oportunidad de disminuir resultando entonces en una curva más pequeña. Sugiriendo entonces una relación de proporcionalidad inversa entre el tiempo en función del voltaje, donde si aumenta el intervalo de tiempo en remover el imán disminuirá aún más el voltaje inducido.

IV) Conclusiones

Para completar los objetivos de este laboratorio, se utilizó la simulación *Faraday Electromagnetic Lab* [2]. En la primera parte, se pudo observar que al colocar un imán cerca de la bobina se inducía un voltaje. A su vez, se pudo analizar que, si el imán se mantenía en reposo, no se generaba una fuente de voltaje, lo que señala a que el flujo magnético debe variar para que se induzca un voltaje. Se halló una relación directamente proporcional entre el voltaje inducido y la razón de cambio del flujo magnético. Para la segunda parte, se evaluaron dos formas de cambiar el flujo a través de una bobina. En la primera forma se halló que, si el polo norte del imán se acercaba a la bobina, el campo producido en la bobina se apuntaría en la misma dirección. Sin embargo, en la segunda forma se vio el comportamiento opuesto, ya que al imán ser removido o alejado de la bobina, surgía una reacción restauradora y el campo producido en la bobina apuntaba al sur. Estos comportamientos validan la *Ley de Lenz* [1]. Al estudiar las **Figuras 6 y 7** se pudo observar la inversión de las áreas de la curva, que representa un comportamiento equivalente pero opuesto en términos del flujo magnético provocado por el imán. Finalmente, utilizando los datos presentados en la **Tabla 2** y al estudiar la **Figura 8**, se halló una relación inversamente proporcional entre el tiempo y el voltaje, ya que al aumentar el intervalo de tiempo en el cual el imán es removido, el voltaje inducido disminuye y viceversa.

V) Referencias

[1] J. R. López, P. J. Marrero, E. A. Roura. (2008). Manual de Experimentos de Física II, Massachusetts, Wiley, páginas 95 - 103.

[2] PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Retrieved from: <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/faraday/latest/faraday.html?simulation=faraday>.

[3] PhET Interactive Simulations. University of Colorado Boulder. Retrieved from:
https://phet.colorado.edu/sims/html/faradays-law/latest/faradays-law_en.html