

## **Péndulo para ilustrar la ley de Faraday: variación de la fuerza electromotriz y mecánica al cambiar el número de espiras en una bobina**

Ariadna Murguía, Gina Kuperstein, Ramón Trespalcios, Gabriel Barakat

Colegio Marymount

Asesor: Dr. Jaime de Urquijo. Instituto de Ciencias Físicas, UNAM, Campus Morelos.

### **Resumen**

Se construyó un péndulo para ilustrar la Ley de Faraday, con materiales asequibles. Se hicieron tres trapecios que funcionan como osciladores, cada uno con una bobina con distinto número de espiras. Se usó un soporte con tubos PVC, y una herradura que dejaba que los trapecios oscilaran y que contenía 3 imanes arriba y 3 abajo, los cuales creaban un campo magnético. Se midió, con un osciloscopio, el voltaje que generaba cada bobina al oscilar y se vio la relación que tenía el voltaje con el número de espiras. Resultó ser lineal como se esperaba de la teoría. También se midió la fuerza generadora poniendo peso (monedas). Se vio la relación entre esta fuerza con el número de espiras y también fue lineal.

### **Introducción**

La Ley de Faraday es una de las más importantes en el electromagnetismo. Brevemente, este fenómeno, relacionado con la inducción electromagnética ocurre cuando un conductor se mueve en el seno de un campo magnético [1]. Si un campo magnético, creado por un imán, se pone en movimiento sobre un circuito cerrado, que puede ser una simple espira metálica, se establecerá una fuerza electromotriz. Análogamente, si el circuito porta una corriente eléctrica y se encuentra en un campo magnético, se generará una fuerza perpendicular a la dirección del campo magnético externo. Al primer fenómeno se le llama la acción generadora, al segundo se le conoce como acción motriz. Esta ley puede comprobarse con instrumentos relativamente sencillos, experimentos fácilmente reproducibles, que además son muy ilustrativos y susceptibles de cuantificarse. Para tal propósito, se propuso construir un péndulo mecánico, inspirado en un péndulo mencionado en una revista [2], que porte una bobina que se mueva

dentro de un campo magnético estático, para evaluar las dos acciones, generadora y motriz. Se experimentó con tres bobinas, cada una con un número de espiras diferente.

## **Antecedentes**

Una corriente eléctrica en un metal es básicamente un flujo de electrones a través de éste [1]. Un campo magnético es la región en el espacio donde se encuentra una carga eléctrica en movimiento, sin que le afecte una fuerza gravitatoria o electrostática [3, pág. 663].

En 1831, Michael Faraday desarrolló un experimento para describir la relación entre la corriente eléctrica y el campo magnético. Para tal efecto, utilizó una bobina metálica a la cual se le sometía a través de un imán a un campo magnético, y con la ayuda de un amperímetro muy sensible (galvanómetro), se pudo observar que en esa bobina se generaba una corriente eléctrica. Análogamente, al hacer circular una corriente eléctrica por la bobina, se inducía un campo magnético en el imán. Así, se dio lugar a una ley basada en este experimento, llamada Ley de Inducción de Faraday [1]. Por cierto, la definición de fuerza magnética se asocia con este principio [3, pág. 775]. La ley de Faraday es una ley muy importante. Es parte de las ecuaciones de Maxwell, que se definen como una serie de leyes que rigen en el electromagnetismo. La ley de Faraday dice que la fuerza fem (fuerza electromotriz) inducida es igual al cambio del flujo magnético con respecto al tiempo [4].

La fuerza de Lorentz, otro concepto importante, es la fuerza creada por el campo electromagnético. Para el caso del campo magnético, la fuerza es perpendicular al campo [5].

## **Hipótesis**

A mayor número de espiras en una bobina, tanto la acción generadora como la acción motriz, aumentarán linealmente.

## **Objetivos**

General: La construcción de un péndulo para ilustrar la ley de Faraday.

Particulares:

- Construir un péndulo que permita observar la ley de Faraday.
- Variar el número de espiras en la bobina para observar los cambios en la fuerza electromotriz y la fuerza mecánica.

- Medir las variaciones en la fuerza electromotriz inducida (acción generadora) con un osciloscopio.

## Metodología

Para realizar el experimento se construyeron tres trapecios, que funcionaron como los objetos oscilantes y una base. Todo se armó con materiales asequibles como tubos PVC, agitadores de bebida, palos de paleta, una cuerda, alfileres, plumas *Bic*, *Kola Loka*, imanes de grabadora, encendedor, tijeras, “exacto” y alambre de cobre AWG 37.

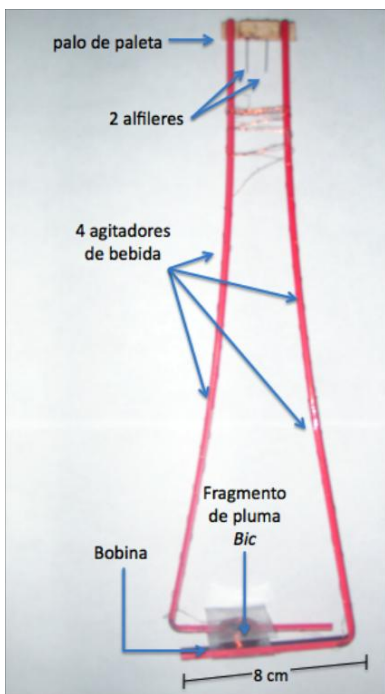


Figura 1. Trapecio con la bobina de 100 espiras.

Para construir cada trapecio se utilizaron cuatro agitadores de bebida de 19 cm, 2 alfileres, 1 palo de paleta; el cual se cortó en dos fragmentos, una pluma *Bic* de punto mediano; la cual se cortó en tubitos de 8 mm de largo y alambre AWG suficiente para hacer las bobinas.

Primero se pegaron los extremos de los agitadores en pares con *Kola Loka*, luego, con un encendedor se calentó el plástico a 8 cm de un extremo para doblarlo. Los agitadores se doblaron al mismo tiempo para que tuvieran ángulos iguales. A los fragmentos de paleta se les hicieron “hendiduras” del ancho del agitador para poder pegarlo ahí. También se pegaron 2 alfileres de forma ortogonal al palo apuntando hacia abajo. Para terminar el trapecio se

necesitaba hacer la bobina, la cual se construyó con el tubo, de 8 mm de largo, de pluma *Bic* y el alambre. A los extremos del tubito se colocaron dos cuadrados de plástico transparente para facilitar el manejo del tubito, sosteniéndolo mientras se giraba el alambre que formaba la bobina. Cada 50 vueltas se ponía una marca en un papel para no perder la cuenta. Se repitió este proceso dos veces más para crear las tres bobinas [ver Figura 1].

Ya que se tenían los tres trapecios se construyó la base con 13 fragmentos de tubo PVC: 3 de 30 cm, 1 de 20 cm, 1 de 17 cm, 3 de 15 cm, 2 de 14 cm y 3 de 5 cm. Los tubos se unieron con 9 codos y 3 t's de PVC, también utilizamos 6 imanes de bocinas de 2 cm de diámetro, *Plastiloka* y un abatelenguas.

Con los tres pedazos de 30 cm y los dos de 14 cm, se formó un cuadrado con cuatro codos como vértices, en el espacio que quedó entre los dos tubos de 14 cm se colocó una T con la parte perpendicular apuntando hacia arriba. A esta T se le unió un fragmento de 15 cm de largo y en el extremo otra T, con la parte ortogonal apuntando hacia el centro del cuadrado. En la parte superior de esa T se colocó un pedazo de 20 cm y arriba un codo también apuntando hacia el centro del cuadrado. Al cual se le unió el fragmento de 17 cm. A la T central se le agregó un fragmento de 5 cm el cual iba a funcionar como unión con otra estructura [ver Figura 2].

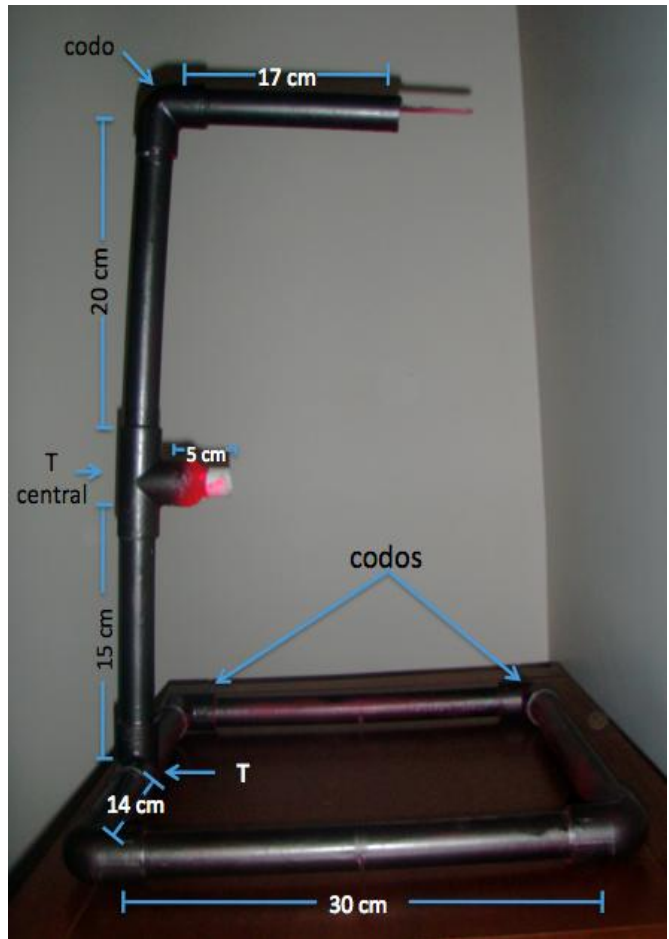


Figura 2. Primera parte de la base que se utilizó para realizar el experimento.

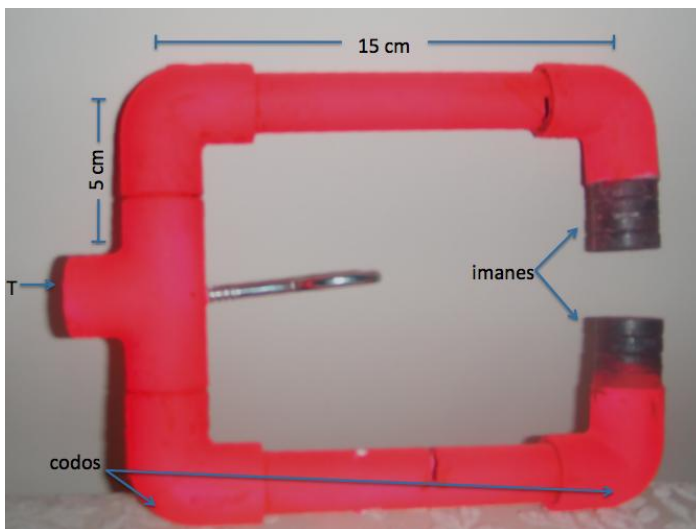


Figura 3. Estructura en forma de herradura que se anexó a la primera parte de la base.

La otra estructura que se construyó es una especie de herradura [ver Figura 3]. A una T se le unieron a cada lado dos fragmentos de 5 cm y en el extremo otros dos codos apuntando hacia el lado contrario de la parte perpendicular de la T. A cada uno de esos codos se les puso un pedazo de 15 cm de largo. Al extremo de esos tubos se les agregó un codo a cada uno, a

los cuales anteriormente se le habían pegado (con *Kola Loka*) 3 imanes, respectivamente. Con el fragmento de 5 cm se unieron ambas T's, uniendo la primera estructura con la 'herradura'. Para continuar con la base del péndulo, se pegó con *Plastiloka* un abatelenguas al tubo de 17 cm. Al abatelenguas se le hicieron dos hendiduras paralelas, con una distancia de 1 cm entre ambas; la misma distancia que hay entre los alfileres que ya estaban colocados en los trapecios. Aquí es donde se colocaron los trapecios para hacer las mediciones; el propósito era que los trapecios se mantuvieran en su lugar y reducir la fricción. Para finalizar la construcción se amarró una cuerda desde la parte superior de la herradura hasta la parte más alta de la estructura, esto se realizó para que se creara una tensión que mantuviera separados a los imanes.

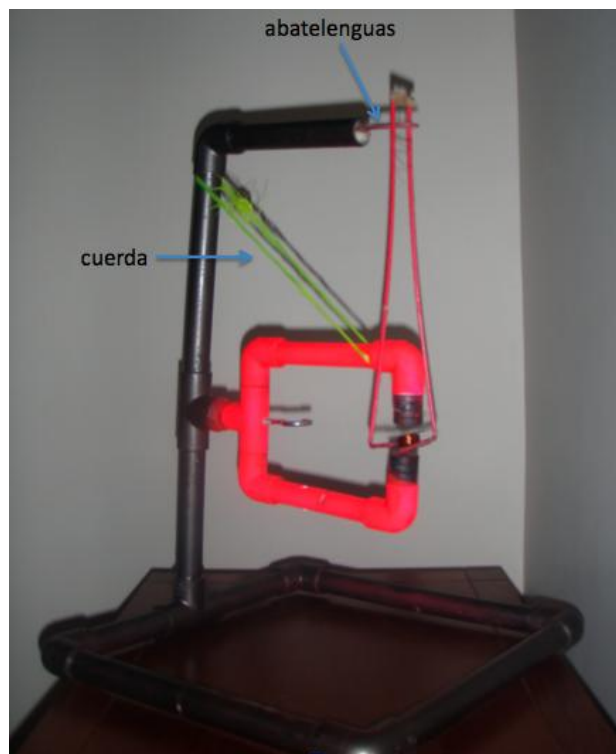


Figura 4. El péndulo construido.

Ya terminada la construcción [ver Figura 4], se realizó la medición de la acción generadora, conectando los extremos de la bobina a un osciloscopio. Se tomó como resultado lo que marcaba este aparato cuando se soltaba el trapecio de una distancia horizontal, con respecto al seno del campo magnético, de 10 cm. La distancia fue la misma para todos los trapecios y repeticiones.

Para la medición de la fuerza motriz, se ideó un método basado en la igualación de fuerzas. Se tuvieron que taladrar dos partes de la herradura. Primero la parte interna de la T, en donde se colocó una horquilla y luego el brazo inferior a la altura de donde finalizaba la horquilla. De esta forma se le amarraba un hilo a la

bobina del trapecio y se pasaba por la horquilla y dentro del orificio inferior. Al final del hilo, había una caja hecha de papel que pesa 5.8 mN. Ya que estaba todo listo se conectaban los extremos de la bobina a un generador de corriente (2 V) y se creaba una fuerza en la bobina, sacándola del campo magnético. Se fueron colocando de manera paulatina monedas de 10 centavos de peso mexicano en la caja hasta que la bobina regresara al centro de los imanes [ver Figura 5]. Cada moneda pesaba 21.5 mN. El peso del número de monedas necesarias era la fuerza generada por la bobina, ya que la fuerza se creaba de forma perpendicular al peso, por lo que se podían igualar las fuerzas. Ya que teníamos la masa total necesaria, la multiplicamos por la “constante gravitacional” para tener los resultados en Newtons.

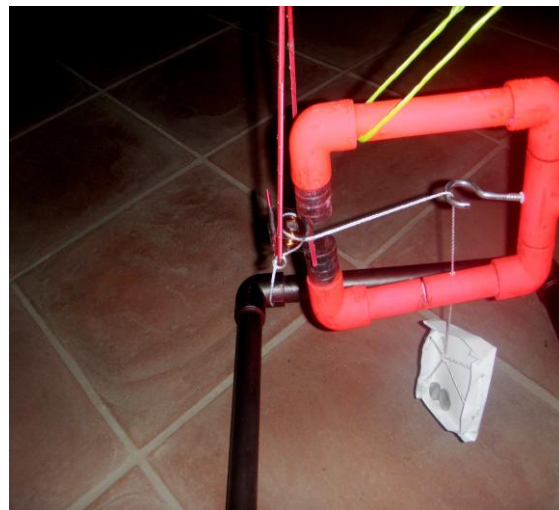
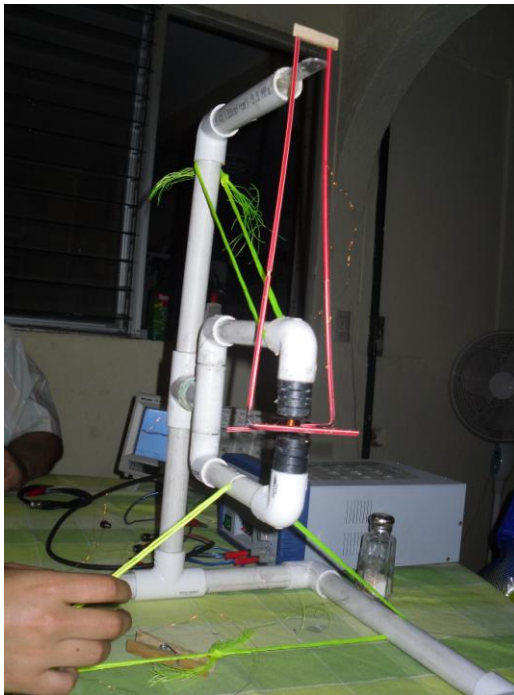


Figura 5. IZQUIERDA. Muestra la medición de la fuerza electromotriz. ARRIBA. Muestra la medición de la fuerza mecánica. DERECHA. Moneda de 10 centavos de peso mexicano.



Variables dependientes: Las variables que se van a medir es el voltaje inducido, así como la fuerza generadora.

Variable independiente: El número de espiras.

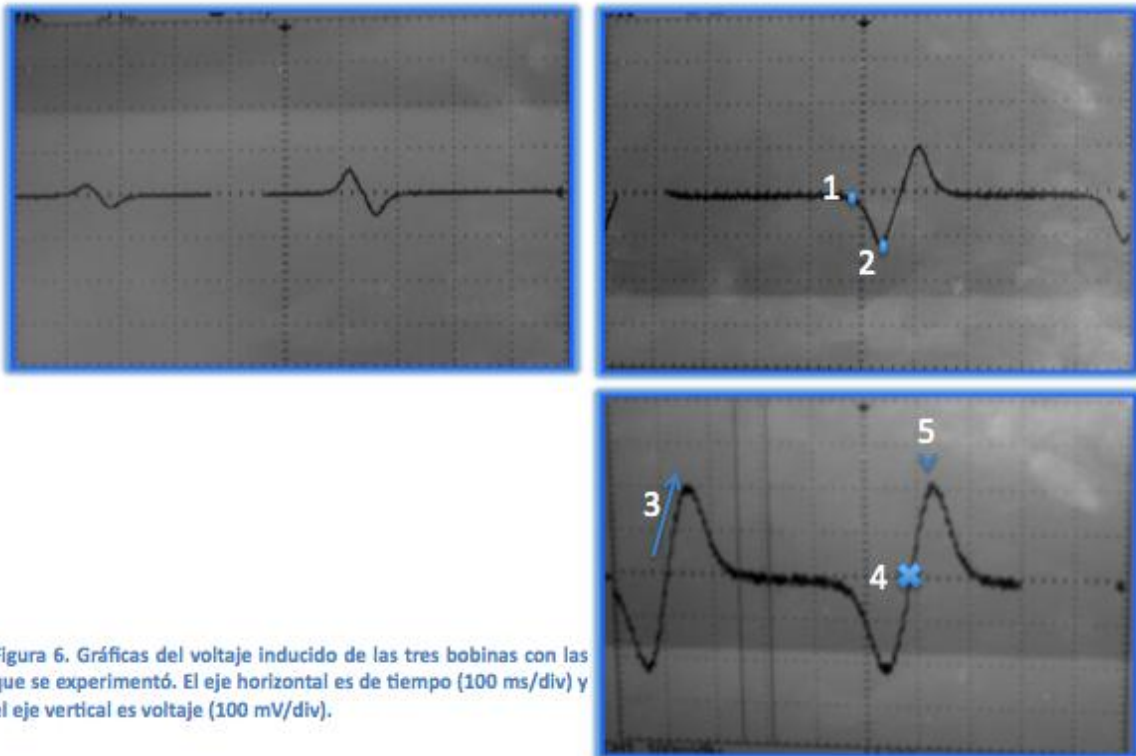
Condiciones: Se mantendrá constante tanto la altura a la que se suelta la bobina, como la corriente inducida para que la bobina se mueva.

Después de realizar las mediciones se tomaron los datos, se analizaron y se vieron las relaciones entre el voltaje y la fuerza motriz, con el número de espiras.

## Resultados:

### Fuerza electromotriz:

Al momento de medir, el osciloscopio mostraba lecturas como las que se muestran en la figura 6.



Estas gráficas se obtuvieron del osciloscopio al hacer oscilar las bobinas. Lo que se muestra en estas gráficas es que cuando la bobina comienza a entrar al seno del campo magnético (1), el área de la bobina que entró es menor a la que hay cuando ésta se encuentra justo en el centro del campo (2) y, como el voltaje es el cambio del flujo magnético con respecto al tiempo, el voltaje tiene menor magnitud cuando hay menor área de flujo. Aumenta el voltaje cuando el flujo se va haciendo mayor (3). Llega a su máximo cuando la bobina llega al centro de los imanes. Luego vuelve a disminuir porque la bobina va saliendo por el otro lado y el área de flujo vuelve a disminuir. Después, la bobina sale del campo (Voltaje=0) y regresa, pero como regresa hacia el lado contrario por el que entró, el voltaje cambia de signo (4), ya que como el flujo es un vector, sí importa el sentido. Cuando viene de regreso vuelve a alcanzar un máximo (5) y luego sale del campo de nuevo.

Para la medición de la acción generadora, se realizaron 5 repeticiones por cada bobina. Los detalles de los datos se presentan en el Anexo 1.

Se tomó el voltaje pico-pico y se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Voltaje generado de acuerdo al número de espiras.

Número de espiras en la bobina	1000	500	250
Promedio del voltaje pico-pico (mv)	206	103.4	52.4

En la figura 7 se graficaron estos datos para ver la relación que se tenía con el número de espiras:

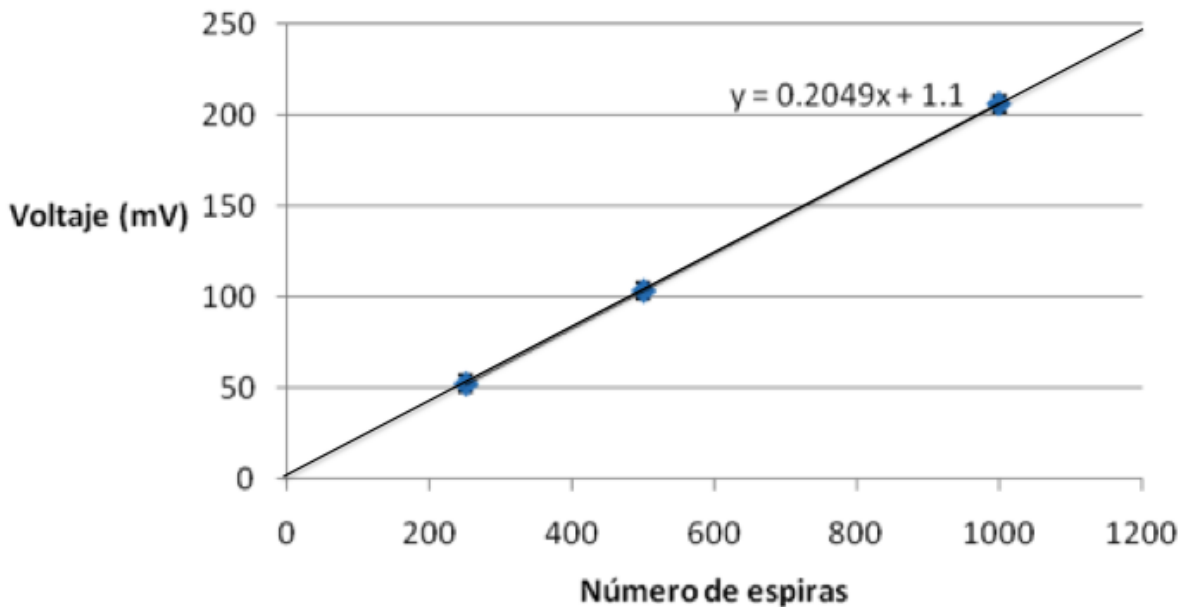


Figura 6. Relación entre el número de espiras y el voltaje generado al hacer oscilar la bobina.

El resultado, como se puede ver, es que la relación entre el voltaje y el número de espiras es lineal, como era de esperarse, tomando en cuenta la fórmula obtenida teóricamente:

$$// V_i = N (d \Phi / dt) //$$

En la ecuación  $\Phi$  es el flujo del campo magnético; N, el número de espiras; t, el tiempo, y  $V_i$ , el voltaje inducido [6]. La pendiente corresponde a  $(d\Phi/ dt)$ , un valor constante.

Fuerza mecánica:

Para medir la acción motriz, se ideó un sistema de igualación de fuerzas (véase la figura 5). Cada moneda de 10 centavos de peso mexicano, que fue lo que se usó para medir, tenía un peso de 21.5 mN y la caja de papel pesaba 5.8 mN. Los resultados que se obtuvieron al realizar el experimento como se explica en la metodología se incluyen en la Tabla 2.

Tabla 2. Variación de la fuerza de acuerdo al número de espiras.

Número de espiras en la bobina	1000	500	250
Peso en monedas	8 monedas + base	2 monedas + base	base
Fuerza (mN)	177	48	5

Debido a que las monedas tienen un peso constante, existe una imprecisión debido a la unidad de medida para cada fuerza de  $\pm 21.5$  mN, peso de la moneda. Por lo que a la hora de hacer la gráfica incluyendo la incertidumbre se puede observar lo que se muestra en la figura 8.

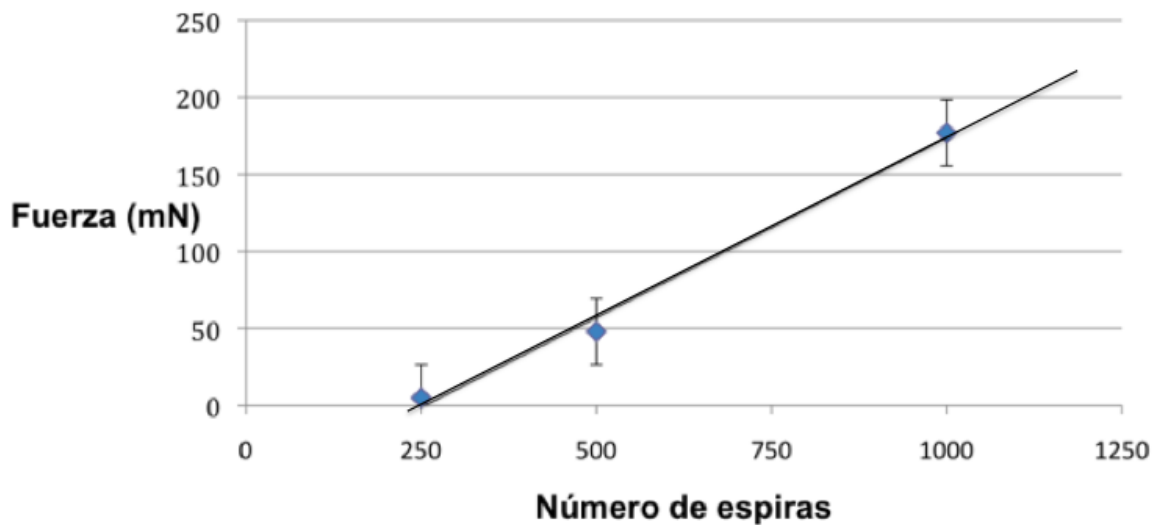


Figura 7. Relación entre el número de espiras y la fuerza mecánica generada al conectar el circuito a un generador de corriente.

El resultado muestra que también existe una relación lineal, tomando en cuenta las barras de error, entre la fuerza y el número de espiras en una bobina.

### **Conclusiones:**

Fue posible construir el péndulo que ilustró satisfactoriamente la ley de Faraday, además de que se pudo ver que el voltaje y el número de espiras tienen una relación lineal, como también la tienen la fuerza motriz y el número de espiras.

### **Agradecimientos:**

Agradecemos a nuestro asesor, el Dr. Jaime de Urquijo, por su apoyo incondicional. Agradecemos a nuestro profesor, el Dr. Enrique Galindo, por su apoyo y sus correcciones.

### **Referencias:**

- [1] Var Der Merwe, C.W. (1998) *Física general*, McGraw-Hill, México D.F., pag. 172 (ISBN 0 07 066952 x).
- [2] Wilkening, G., Hesse, J. (1981) Electrical pendulum for educational purpose, *American Journal of Physics* 49 (1): 90-91 (enero).
- [3] Resnick, R., Halliday, D., Krane, K. S. (2002) *Volumen 2, Física*, Grupo Editorial Patria (ISBN 970240326x).
- [4] Tipler P., Mosca G. (2008) *Volumen 2, Física para la ciencia y la tecnología*, Editorial Reverté, Barcelona, España, págs. 831-834 (ISBN 978-84-291-4412-3)
- [5] (Sin autor) *Fuerza de Lorentz*. [en línea] (2010). Consulta electrónica en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza\\_de\\_Lorentz](http://es.wikipedia.org/wiki/Fuerza_de_Lorentz) [Consultada el 9 de mayo, 2010].
- [6] (Sin autor) *Ley de Faraday*. [en línea] (2010). Consulta electrónica en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Ley\\_de\\_Faraday](http://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Faraday) [Consultada el 9 de mayo, 2010].

## Anexo 1

Aquí se muestran todos los resultados que se obtuvieron en las repeticiones para la medición del voltaje:

Bobina de 1000 espiras	Bobina de 500 espiras	Bobina de 250 espiras
Voltaje (mV)	Voltaje (mV)	Voltaje (mV)
206	95	52
212	106	50
208	104	54
200	108	53
204	104	53
Promedio: 206	103.4	52.4
Desviación estándar:4.47	4.97	1.51



## Péndulo para ilustrar la ley de Faraday: variación de la fuerza electromotriz y mecánica al cambiar el número de espiras en una bobina

Ariadna Murguía, Gina Kuperstein, Ramón Trespalacios, Gabriel Barakat

Asesor Dr. Jaime de Urquijo, ICF  
Profesor Dr. Enrique Galindo

### Introducción



La Ley de Faraday habla de un fenómeno, relacionado con la inducción electromagnética, que ocurre cuando un conductor se mueve en el seno de un campo magnético. Si el circuito se desplaza a lo largo de las líneas de campo, se establecerá una fuerza electromotriz entre sus terminales. Por otra parte, si el circuito porta una corriente eléctrica y se encuentra en el seno de campo magnético, se generará una fuerza perpendicular a la dirección del campo magnético externo [1].

### Objetivo

Construir un péndulo que, portando una bobina, al pasar por un campo magnético permita la medición del voltaje inducido, y también que, al hacer circular una corriente por la bobina, la acción del campo externo con la corriente genere en la bobina una fuerza de Lorentz.

### Materiales y Métodos<sup>[2]</sup>



Péndulo construido en casa, con materiales fácilmente asequibles, tales como tubos y acoplamientos de PVC, popotes, abatelenguas, alambre magneto AWG 37, UHU, alfileres e imanes de bocinas.



Se necesita un osciloscopio sencillo para medir el voltaje inducido y una fuente de alimentación de 0.5 V/0-500 mA para excitar la bobina.

### Conclusiones

1. Se construyó un péndulo con objetos sencillos.
2. Se encontró una relación entre el número de espiras y las fuerza electromotriz.
3. Se pudo notar que al cambiar el número de espiras la fuerza mecánica cambia.

### Resultados

#### Bobina con 250 espiras

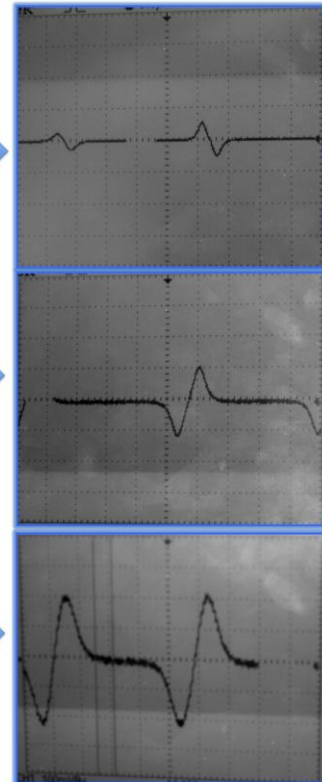
Amplitud pico	52.4 mV
Fuerza motriz	5.8 mN
Resistencia	6.2 Ω

#### Bobina con 500 espiras

Amplitud pico	103.4 mV
Fuerza motriz	49 mN
Resistencia	14.1 Ω

#### Bobina con 1000 espiras

Amplitud pico	206 mV
Fuerza motriz	178.5 mN
Resistencia	30.5 Ω



$$V_i = N (d\phi/dt)$$

Nota: El eje horizontal es de tiempo (100 ms/div, y el eje vertical es voltaje (100 mV/div)

### Bibliografía

- [1] Var Der Merwe, C.W. (1998) *Física general*, McGraw-Hill, México D.F., pág. 172 (ISBN 0 07 066952 x)  
[2] Wilkening, G., Hesse, J. (1981) Electrical pendulum for educational purpose, *American Journal of Physics* 49 (1): 90-91 (enero).