

Análisis de sistemas electromagnéticos en ciencias

Entregable Final - Reto

**Diseño de cargador inalámbrico
con inducción de Faraday**

Dr. Sergio Rodriguez
Miércoles 12 de junio del 2024:

Autores:

Ari Emilio Núñez Menéndez
A01752718

Carlos Cuéllar Solís
A01571619

Carlos Viramontes Espinosa
A01612614

Diego González Zavala
A01785986

Luis Javier Jacobo Morimoto
A01571679

Rafael Eduardo Blanco Rivera

1 Introducción

En la era actual de rápidos avances tecnológicos, los cargadores inalámbricos se han convertido en una solución cada vez más popular y eficaz para recargar dispositivos móviles. Estos dispositivos operan bajo el principio de inducción electromagnética, mediante el cual la energía se transfiere desde la base del cargador hacia un dispositivo receptor, como un teléfono celular. Este proceso se fundamenta en la generación de campos electromagnéticos mediante corriente alterna en la bobina del cargador, induciendo a su vez corriente en la bobina receptora del dispositivo móvil.

Este informe se centra en el diseño y la simulación computacional de un cargador inalámbrico, con el propósito de explorar la generación y evolución de la corriente inducida a lo largo del tiempo. Se utilizarán herramientas de modelado electromagnético para visualizar y analizar variables físicas relevantes, como el campo magnético generado, la corriente inducida en la bobina receptora y la eficiencia de transferencia de energía. Este análisis proporcionará perspectivas fundamentales para mejorar el diseño del cargador inalámbrico y evaluar su capacidad para cargar dispositivos móviles de manera eficiente.

2 Marco teórico general

Una bobina es un componente en un circuito eléctrico que almacena energía como campo eléctrico. Se ve como un alambre de cobre enrollado sobre un núcleo el cual almacena la energía. Algunas aplicaciones son: Motor eléctrico y/o generador, freno eléctrico, timbre, etc.

Una espira es un alambre enrollado en una sola vuelta y se le pasa corriente. Cuando es sometida a un campo magnético externo, se produce un movimiento angular. Tanto las espiras cuadradas como las circulares con corriente crean un campo magnético en su centro. Cuando se encuentran en un campo magnético externo, experimentan torques que buscan alinear su momento magnético con la dirección del campo. Aunque la geometría de las espiras influye en cómo se distribuye el campo magnético que generan y en la magnitud de su momento magnético, su comportamiento en presencia de un campo externo es generalmente similar.

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left| \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^2} \right| = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{ds \cdot a}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a}{\left(\frac{a^2}{4} + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a}{\left(\frac{a^2}{2}\right)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a}{\frac{a^3}{2\sqrt{2}}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{2\sqrt{2}}{a^2}$$

Por lo tanto, el campo magnético generado por un lado de la espira cuadrada es:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a\sqrt{2}}$$

Como estamos considerando los cuatro lados de la espira, multiplicamos:

$$B = 4 \cdot \frac{\mu_0 I}{2\pi a\sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}\mu_0 I}{\pi a}$$

Campo Magnético en el Centro de una Espira Circular, donde a es el radio del círculo, x es la distancia del punto al centro de la espira

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \left| \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^2} \right| = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{ds}{(a^2 + x^2)}$$

$$dB_x = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{ds}{(a^2 + x^2)} \cos(\theta)$$

$$\cos(\theta) = \frac{a}{(a^2 + x^2)^{1/2}}, \quad \text{por lo tanto} \quad B_x = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{ds}{(a^2 + x^2)} \left[\frac{a}{(a^2 + x^2)^{1/2}} \right]$$

$$|B_x| = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a}{(a^2 + x^2)^{3/2}} \int ds = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{a}{(a^2 + x^2)^{3/2}} (2\pi a)$$

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + x^2)^{3/2}}$$

Como es en el centro de la espira, entonces $x = 0$, por lo tanto:

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I}{2a}$$

Momento Magnético de una Espira con Corriente

El momento magnético es un vector cuya magnitud indica la intensidad de una fuente de campo magnético, que en este caso sería la corriente que recorre la espira. La dirección del vector indica la dirección del dipolo magnético resultante de la espira.

Solenoide vs Bobina

Un solenoide y una bobina son muy similares ya que ambas tienen un gran número de espiras a las que se les pasa corriente envueltas alrededor de un núcleo, pero la principal diferencia que hay entre los dos es que el solenoide tiene sus espiras envueltas alrededor de un núcleo magnético, mientras que la bobina tiene un núcleo no magnético. El número de vueltas en una bobina puede afectar varias características, como la resistencia, la magnitud del campo magnético y la inductancia. La densidad de vueltas es el número de vueltas por unidad de longitud.

Permeabilidad Magnética

La permeabilidad magnética es un valor que describe la capacidad de un material para conducir líneas de flujo magnético, así que describe cómo un campo magnético pasa por cierto material. En el caso del vacío, describe cómo pasa el campo magnético en un vacío clásico. En un electroimán se utilizan espiras de alambre para producir un campo magnético, el cual pasa a través de un núcleo magnético. De esta forma, la permeabilidad magnética del material afecta qué tan potente será el electroimán resultante.

Flujo Magnético

De acuerdo con Vega Pérez, J. Vega Pérez, S. (2015), el número de líneas de inducción que atraviesan una superficie se determina mediante el flujo magnético. Este se calcula como el producto escalar entre el vector de inducción magnética B y el vector área A , donde este último siempre es perpendicular a la superficie. Matemáticamente, se expresa como:

$$\Phi_B = B \cdot A$$

$$\Phi_B = BA \cos(\theta)$$

Cuando consideramos un diferencial de área, el flujo magnético se representa como:

$$\Phi_\beta = \int \beta \cdot dA$$

El vector diferencial de área dA es perpendicular a la superficie y tiene una magnitud igual al área. Dado que el flujo magnético es el resultado de un producto escalar, es una cantidad escalar. Su unidad es el weber (Wb) y se determina mediante las unidades del sistema internacional de inducción magnética y área.

$$\Phi_\beta = \left(\frac{\text{Wb}}{\text{m}^2} \right) (\text{m}^2) = \text{Wb}$$

El flujo magnético alcanza su máximo cuando las líneas de inducción son perpendiculares al área y se anula cuando son paralelas al plano.

(Vega Pérez, J. & Vega Pérez, S., 2015)

Inducción Magnética

De acuerdo con Vega Pérez, J. Vega Pérez, S. (2015), antes de explorar el concepto de inducción magnética, es esencial comprender qué es un campo magnético.

Un campo magnético se define como una región del espacio que rodea a un imán o a un conductor que lleva corriente eléctrica, siendo una cantidad vectorial.

La inducción magnética, representada por la letra β , también conocida como densidad de flujo magnético o campo magnético, cuantifica la magnitud, dirección y sentido del campo magnético en cualquier punto dentro de la región de campo.

La cuantificación del campo magnético cerca de una masa magnética o imán se denomina densidad de flujo de campo magnético; sin embargo, cuando el campo magnético es generado por una corriente a través de un conductor, se le llama inducción magnética. Ambos conceptos son sinónimos y se definen como la fuerza F experimentada por una masa magnética positiva de prueba M_0 colocada en un punto del espacio dentro del campo magnético.

La siguiente ecuación representa matemáticamente la inducción magnética:

$$\beta = \frac{F}{M_0}$$

Donde F es la fuerza expresada en newtons (N), M_0 es la masa magnética de prueba expresada en amperios metro (Am), y β es la densidad de flujo de campo o inducción magnética expresada en newtons por amperios metro (N/Am).

Por consiguiente, según la definición:

$$\frac{(\text{Newton})}{(\text{Ampere})(\text{metro})} = \text{Tesla} = T$$

$$T = \frac{N}{am} = \frac{\text{Weber}}{\text{metro}^2} = \frac{\text{Wb}}{m^2}$$

$$\text{Weber} = \frac{(\text{Newton})(\text{metro})}{\text{Ampere}}$$

$$\text{Wb} = \frac{Nm}{A}$$

Corriente Inducida

De acuerdo con Vega Pérez, J. y Vega Pérez, S. (2015), cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, este genera un campo magnético a su alrededor, como lo demostró Hans Christian Oersted. Sin embargo, ocurre un fenómeno opuesto cuando un conductor se desplaza dentro de un campo magnético.

Michael Faraday, un científico británico, y Joseph Henry, un estadounidense, independientemente confirmaron mediante experimentación y cálculos que un campo magnético en movimiento puede inducir una corriente eléctrica en un conductor cercano. A este fenómeno lo denominaron fuerza electromotriz inducida.

Faraday descubrió que cuando un conductor corta las líneas de flujo de un campo magnético, se genera una fuerza electromotriz en los extremos del conductor, induciendo simultáneamente una corriente eléctrica en él mientras se mueve. Utilizó un galvanómetro para medir la magnitud de esta corriente. Además, observó que a mayor velocidad del movimiento del conductor, mayor era la corriente inducida, lo que se reflejaba en una mayor deflexión de la aguja del galvanómetro.

También notó que al cambiar la dirección del movimiento del conductor, el sentido de la corriente inducida también cambiaba, como lo indicaba la deflexión de la aguja del galvanómetro en la dirección opuesta.

Cuando se emplea una bobina en lugar de un conductor y esta se mueve dentro del campo magnético, la corriente inducida aumenta y su valor es proporcional al número de espiras y a la velocidad del movimiento.

La corriente eléctrica inducida surge del movimiento relativo entre la bobina y el campo magnético, lo que significa que el campo magnético generado por un imán puede moverse mientras la bobina permanece quieta, o viceversa, y aún así se produce el mismo efecto de inducción.

Faraday concluyó estos principios fundamentales:

1. La fem se induce en la bobina o conductor debido al movimiento relativo entre ambos y el campo magnético.
2. La dirección de la fem inducida depende de la dirección del movimiento relativo entre el conductor y el campo magnético.
3. La magnitud de la fem inducida es directamente proporcional a la velocidad con la que las líneas de campo magnético se cortan por el conductor.

Voltaje Inducido

De acuerdo con Vega Pérez, J. Vega Pérez, S. (2015), “cuando se tiene un conductor eléctrico formando un circuito magnético cerrado, y colocado dentro de un campo magnético uniforme, el movimiento de una sección del conductor corta las líneas de flujo magnético con determinada velocidad, entonces se induce en el conductor una fem, generándose a su vez una corriente eléctrica que circula en el circuito cerrado del propio conductor.

Vamos a considerar un conductor de cierta longitud L vertical que está en movimiento con determinada velocidad v sobre un conductor estacionario en forma de U, el cual se encuentra en una región de campo magnético uniforme cuyo sentido está entrando al plano.

Con el movimiento del conductor el flujo magnético que corta la espira se incrementa y también el área de la espira, por tanto se induce una fem en el alambre en movimiento, circulando una corriente eléctrica a través de la espira.

La fuerza de origen magnético que actúa sobre los electrones de valencia del material que constituye al conductor propicia que los electrones ganen energía e inicien el movimiento sobre el propio conducto generándose así una fem inducida.

Ahora, utilizando la ecuación de la ley de Faraday se deduce la ecuación para determinar la fem inducida en el conductor en movimiento.

$$\epsilon = N \frac{d\Phi_\beta}{dt} \quad (2.1)$$

Para un solo conductor $N = 1$:

$$\epsilon = \frac{d\Phi_\beta}{dt} \quad (2.2)$$

De la ecuación general del flujo magnético:

$$\Phi_\beta = \beta A \quad (2.3)$$

En este experimento el área está cambiando de magnitud, por tanto la variación del flujo se expresa como sigue:

$$d\Phi_\beta = \beta dA \quad (2.4)$$

Al sustituir la variación de flujo magnético en la ecuación de la fem, es decir, sustituyendo la ecuación (4) en la ecuación (2) se obtiene:

$$\epsilon = \beta \frac{dA}{dt} \quad (2.5)$$

Pero considerando un incremento de área:

$$dA = L dx \quad (2.6)$$

Al sustituir en la ecuación anterior se obtiene:

$$\epsilon = \beta L \frac{dx}{dt} \quad (2.7)$$

Pero la velocidad está determinada por:

$$dx/dt = v \quad (2.8)$$

Al relacionar las dos últimas ecuaciones se obtiene:

$$\epsilon = \beta L \sin \theta \quad (2.9)$$

La magnitud de la fem inducida depende también de la posición del conductor y de la dirección de la velocidad del movimiento con respecto a las líneas de inducción del campo magnético, utilizando un factor determinado por el producto vectorial entre los vectores de inducción magnética y la velocidad v , dado por el seno del ángulo entre el campo y el conductor, y expresado por la siguiente ecuación.

$$\epsilon = \beta L \sin \theta \quad (2.10)$$

3 Descripción del prototipo y esquema detallado.

Diseño Inicial del Prototipo

El diseño inicial del prototipo incluía una bobina primaria circular con un radio de 0.025 metros, formada por 60 vueltas de alambre magneto de calibre 26. Esta bobina primaria tendría tres conexiones: dos en los extremos y una en el centro. Una de las conexiones extremas estaría conectada al colector de un transistor 2N2222A, mientras que la otra

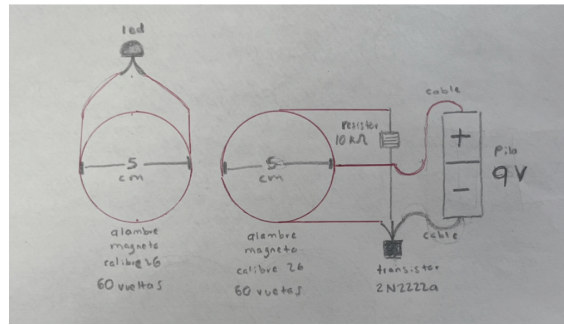


Figura 1: Diseño del prototipo inicial

<i>Materiales/Equipo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Especificaciones</i>
Alambre Magneto	1	Calibre: 26 Longitud: 20 metros (m)
Transistor 2N2222a	1	
Resistencia	1	Resistencia: 10,000 Ohm (Ω)
Cable de Cobre	2	Longitud: 0.20 metros (m)
Pila	1	Voltaje: 9 Voltios (V)
Led	1	

Figura 2: Tabla de Materiales Necesarios

se conectaría a una resistencia de 10,000 Ω , la cual se conectaría a su vez a la base del transistor 2N2222A. La conexión central estaría conectada a un cable de cobre que se conectaría al polo positivo de una pila de 9 V. Además, el polo negativo de la pila de 9 V estaría conectado a otro cable.

Asimismo, el diseño incluía una bobina secundaria circular con un radio de 0.025 metros, también formada por 60 vueltas de alambre magneto de calibre 26. A diferencia de la bobina primaria, esta bobina secundaria tendría solo dos conexiones en los extremos, las cuales estarían conectadas a un LED.

Materiales Necesarios para la Construcción del Prototipo

Alambre magneto calibre 26

Uso: Para la construcción de las bobinas primaria y secundaria.

Justificación: El alambre magneto calibre 26 ofrece un balance óptimo entre resistencia eléctrica y capacidad de manejo de corriente. Es lo suficientemente delgado para permitir 60 vueltas en un espacio reducido, pero lo suficientemente grueso para manejar la corriente sin sobrecalentarse.

Bobina primaria circular (radio 0.025 metros, 60 vueltas)

Uso: Funcionará como el transmisor de energía inalámbrica.

Justificación: El tamaño y el número de vueltas están diseñados para generar un campo

magnético lo suficientemente fuerte para la transferencia de energía. Un radio de 0.025 metros es ideal para mantener el diseño compacto, y las 60 vueltas aseguran una inductancia efectiva para la transmisión.

Bobina secundaria circular (radio 0.025 metros, 60 vueltas)

Uso: Funcionará como el receptor de energía inalámbrica.

Justificación: Mantiene las mismas especificaciones que la bobina primaria para maximizar la eficiencia del acoplamiento magnético y la transferencia de energía. La uniformidad en el diseño (mismo radio y número de vueltas) facilita la resonancia entre las bobinas.

Transistor 2N2222A

Uso: Para conmutación y amplificación de la corriente en el circuito.

Justificación: El 2N2222A es un transistor NPN de baja potencia conocido por su alta ganancia y rápida capacidad de conmutación. Esto es esencial para generar las oscilaciones necesarias para la transferencia de energía inalámbrica.

Resistencia de 10,000

Uso: Para controlar la corriente que fluye a la base del transistor.

Justificación: Una resistencia de 10,000 asegura que la corriente en la base del transistor esté bien regulada, evitando la sobrecarga y garantizando un funcionamiento estable del transistor en modo de conmutación.

Cables de cobre

Uso: Para las conexiones eléctricas entre los componentes.

Justificación: El cobre es un excelente conductor de electricidad, lo que minimiza las pérdidas de energía y asegura una transmisión eficiente de la corriente. Es crucial para las conexiones principales, como entre la bobina primaria y la pila de 9V.

Pila de 9V

Uso: Para alimentar el circuito.

Justificación: Una pila de 9V proporciona una fuente de energía portátil y suficiente para alimentar el circuito del transmisor. Su voltaje es adecuado para operar el transistor y generar un campo magnético fuerte en la bobina primaria.

LED

Uso: Como indicador visual de la transferencia de energía.

Justificación: El LED en la bobina secundaria actúa como un indicador práctico de que la energía está siendo recibida y convertida efectivamente. Es una manera simple y efectiva de demostrar la funcionalidad del cargador inalámbrico.

Plan de realización

Prototipo

<i>Fecha</i>	<i>Horario</i>	<i>Duración</i>	<i>Especificaciones</i>
del Miércoles 29 de mayo de 2024 al Miércoles 5 de junio de 2024	No Aplica	No Aplica	Compra de Materiales Necesarios para la Construcción del Prototipo
Miércoles 5 de junio de 2024	Inicio 13:00 p.m. Final 19:00 p.m.	6 horas	Construcción del Prototipo
Jueves 6 de junio de 2024	Inicio 13:00 p.m. Final 17:00 p.m.	4 horas	Toma de Datos
del Jueves 6 de junio de 2024 al Lunes 10 de junio de 2024	No Aplica	No Aplica	Entregable Final

Figura 3: Tabla de fechas para el desarrollo experimental

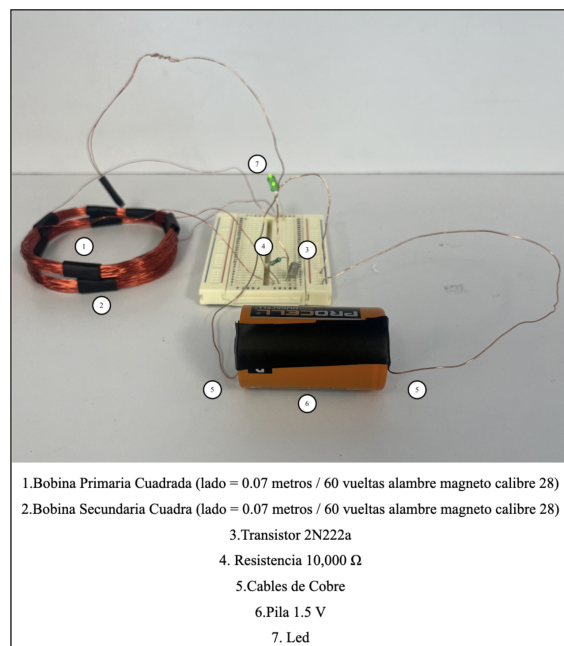


Figura 4: Prototipo

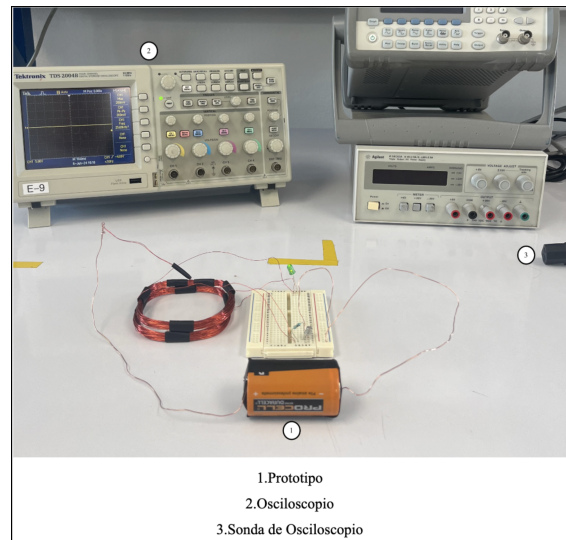


Figura 5: Desarrollo

Descripción Prototipo

El prototipo incluye una bobina primaria cuadrada con lados de 0.07 metros, formada por 60 vueltas de alambre magneto de calibre 28. Esta bobina primaria tiene tres conexiones: dos en los extremos y una en el centro. Una de las conexiones extremas está conectada al colector de un transistor 2N2222A, mientras que la otra se conecta a una resistencia de 10,000 Ω , la cual se conecta a su vez a la base del transistor 2N2222A. La conexión central está conectada a un cable de cobre que se conecta al polo positivo de una pila de 1.5 V. Además, el polo negativo de la pila de 1.5 V está conectado a otro cable de cobre, que a su vez se conecta al emisor del transistor 2N2222A.

Asimismo, el diseño incluye una bobina secundaria cuadrada con lados de 0.07 metros, también formada por 60 vueltas de alambre magneto de calibre 28. A diferencia de la bobina primaria, esta bobina secundaria tiene solo dos conexiones en los extremos, las cuales están conectadas a un LED.

Cabe destacar que hemos hecho uso de una protoboard como herramienta para la construcción del prototipo.

Desarrollo experimental.

En primer lugar, conectamos la sonda de osciloscopio al canal 1 del osciloscopio. En segundo lugar, conectamos ambas terminales de la sonda del osciloscopio a las terminales del circuito primario. En tercer lugar, el osciloscopio arroja gráfica de Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del circuito primario. En cuarto lugar, ajustamos la gráfica Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del circuito primario, arrojada por el osciloscopio. En quinto lugar, ya habiendo obtenido la gráfica Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del circuito primario, desconectamos ambas terminales de la sonda del osciloscopio de las terminales del circuito primario. En sexto lugar, conectamos ambas terminales de la sonda del osciloscopio a las terminales del circuito secundario. En séptimo lugar, el osciloscopio arroja gráfica de Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del circuito secundario. En octavo lugar, ajustamos la gráfica Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del circuito secundario, arrojada por el osciloscopio.

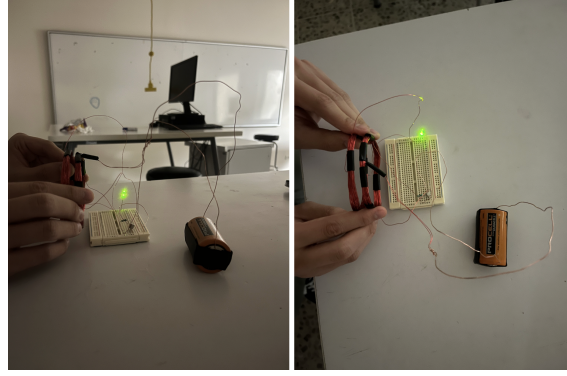


Figura 6: Resultado

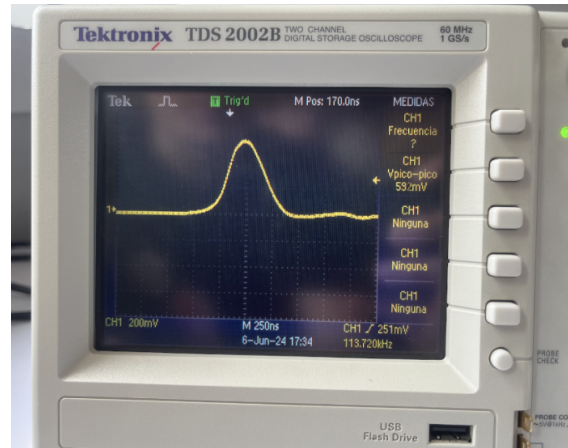


Figura 7: Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Primario

Preguntas

¿Consiguieron generar corriente inducida en el circuito secundario?.

Sí, sí conseguimos generar corriente inducida en el circuito secundario.

Video: <https://drive.google.com/file/d/1FhyDc5y6vmV4z8odXzhJ7X-VMRE8ZkCr/view?usp=sharing>

¿Consiguieron generar corriente inducida en el circuito secundario?. Sí, sí conseguimos generar corriente inducida en el circuito secundario. ¿Qué pudieron medir cuantitativamente tanto del circuito primario como del secundario? Circuito Secundario

Explicación física y matemática del modelo y de los resultados obtenidos.

Fórmula FEM (ϵ) inducida

$$\epsilon = -N_2 \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (3.1)$$

Fórmula Flujo Magnético (Φ_B) en Bobina Secundaria

$$\Phi_B = \int B \cdot dA \quad (3.2)$$

$$\Phi_B = B_1 A_2 \quad (3.3)$$

Fórmula Campo Magnético de la Bobina Primaria (B_1)

$$B_1 = \mu_0 \frac{N_1}{l_1} I(t) \quad (3.4)$$

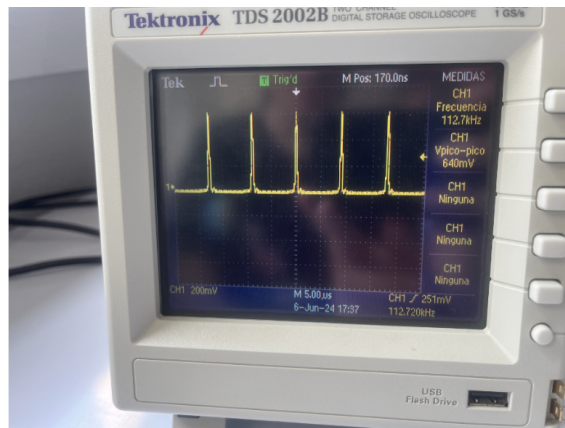


Figura 8: Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Primario

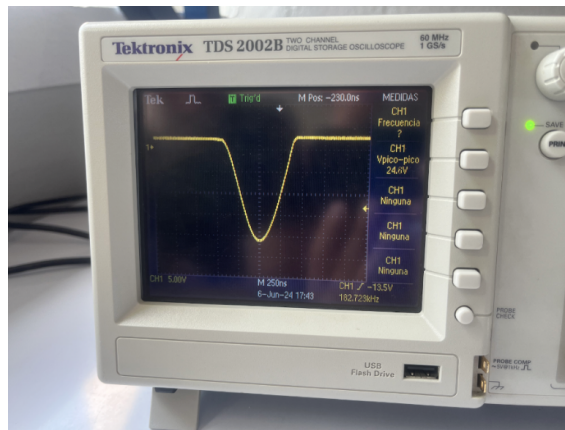


Figura 9: Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Secundario

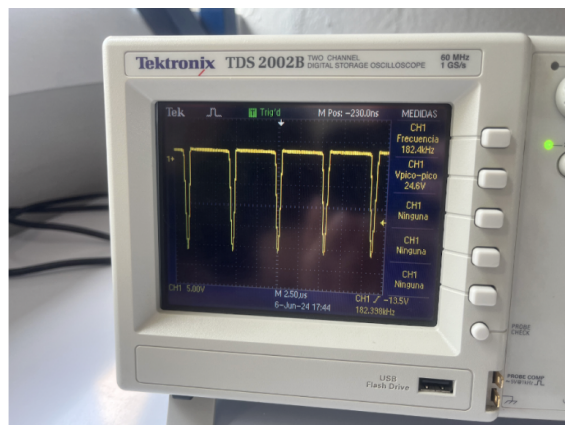


Figura 10: Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Secundario

Fórmula Área de la Bobina Secundaria (A_2)

$$A_2 = \pi r_2^2 \quad (3.5)$$

Sustituimos Fórmula Campo Magnético de la Bobina Primaria (B_1) y Fórmula Área de la Bobina Secundaria (A_2)

$$\Phi_B = \left(\mu_0 \frac{N_1}{l_1} I(t) \right) (\pi r_2^2) \quad (3.6)$$

Sustituimos Fórmula Flujo Magnético (Φ_B) en Bobina Secundaria

$$\epsilon = -N_2 \frac{d \left(\left(\mu_0 \frac{N_1}{l_1} I(t) \right) (\pi r_2^2) \right)}{dt} \quad (3.7)$$

Fórmula FEM (ϵ) inducida

$$\epsilon = - \left(\mu_0 \frac{N_2 N_1}{l_1} (\pi r_2^2) \right) \frac{dI(t)}{dt} \quad (3.8)$$

Ecuación del Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Primario

Basándonos en la gráfica Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Primario arrojada por el osciloscopio, tenemos la siguiente ecuación:

$$V(t) = 0.592e^{-(4,450,000t)^2}$$

article amsmath

Dividimos Ecuación del Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Primario entre la Resistencia (R) del Circuito Primario para obtener la Ecuación de la Corriente (I) respecto al Tiempo (s) del Circuito Primario.

$$R_1 = 10,000\Omega$$

$$V(t) = 0.592e^{-(4,450,000t)^2}$$

$$I(t) = \frac{0.592e^{-(4,450,000t)^2}}{10,000}$$

Derivamos Ecuación de la Corriente (I) respecto al Tiempo (s) del Circuito Primario

$$\begin{aligned} \frac{d(I(t))}{dt} &= \frac{d}{dt} \left(\frac{0.592e^{-(4,450,000t)^2}}{10,000} \right) \\ &= -2,344,616,000te^{-19,802,500,000,000t^2} \end{aligned}$$

Sustituimos valores para resolver para FEM (ϵ) inducida

$$\epsilon = -\mu_0 N_1 N_2 \left(\pi r_2^2 \frac{d(I(t))}{dt} \right)$$

$$\epsilon = - \left(4\pi \times 10^{-7} \right) (60) (60) (0.0065) \left(\pi (0.035)^2 \right) \left(-2,344,616,000te^{-19,802,500,000,000t^2} \right)$$

$$\epsilon = 6,279,957.345te^{-19,802,500,000,000t^2}$$

Fórmula Corriente (I) inducida

$$I = \frac{|\epsilon|}{R}$$

Sustituimos valores para resolver para Corriente (I) inducida

$$I = \frac{6,279,957.345te^{-19,802,500,000,000t^2}}{0.5}$$

$$I = 12,559,914.69te^{-19,802,500,000,000t^2}$$

Bobina Cuadrada

Usando la ecuación para calcular el campo magnético en un cable con corriente podemos calcular el flujo computacionalmente usando MATLAB.

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi a} (\sin(\theta_1) - \sin(\theta_2))$$

Podemos dividir nuestra espira cuadrada en 4 secciones, solo tenemos que encontrar los ángulos para cada uno.

$$a = \sqrt{(0.04 + y)^2 + z^2}$$

$$\sin(\theta_1) = \frac{0.04 - x}{\sqrt{(0.04 + y)^2 + 10^{-6}} \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 - x)^2}{(0.04 + y)^2 + 10^{-6}}\right)}}$$

$$\sin(\theta_2) = \frac{0.04 + x}{\sqrt{(0.04 + y)^2 + 10^{-6}} \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 + x)^2}{(0.04 + y)^2 + 10^{-6}}\right)}}$$

$$f_1(x, y) = \frac{0.04 - x}{((0.04 + y)^2 + 10^{-6}) \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 - x)^2}{(0.04 + y)^2 + 10^{-6}}\right)}} - \frac{0.04 + x}{((0.04 + y)^2 + 10^{-6}) \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 + x)^2}{(0.04 + y)^2 + 10^{-6}}\right)}}$$

$$f_2(x, y) = -\frac{0.04 - x}{((0.04 - y)^2 + 10^{-6}) \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 - x)^2}{(0.04 - y)^2 + 10^{-6}}\right)}} + \frac{0.04 + x}{((0.04 - y)^2 + 10^{-6}) \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 + x)^2}{(0.04 - y)^2 + 10^{-6}}\right)}}$$

$$f_3(x, y) = \frac{0.04 - y}{((0.04 - x)^2 + 10^{-6}) \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 - y)^2}{(0.04 - x)^2 + 10^{-6}}\right)}} - \frac{0.04 + y}{((0.04 - x)^2 + 10^{-6}) \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 + y)^2}{(0.04 - x)^2 + 10^{-6}}\right)}}$$

$$f_4(x, y) = -\frac{0.04 - y}{((0.04 + x)^2 + 10^{-6}) \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 - y)^2}{(0.04 + x)^2 + 10^{-6}}\right)}} + \frac{0.04 + y}{((0.04 + x)^2 + 10^{-6}) \sqrt{1 + \left(\frac{(0.04 + y)^2}{(0.04 + x)^2 + 10^{-6}}\right)}}$$

Tamaño de paso de 0.001

$$\sum_{i=-0.08}^{0.08} \left[\sum_{j=-0.08}^{0.08} (f_1(i, j) + f_2(i, j) + f_3(i, j) + f_4(i, j)) \right] (6 \times 10^{-12}) = -1.8117 \times 10^{-5}$$

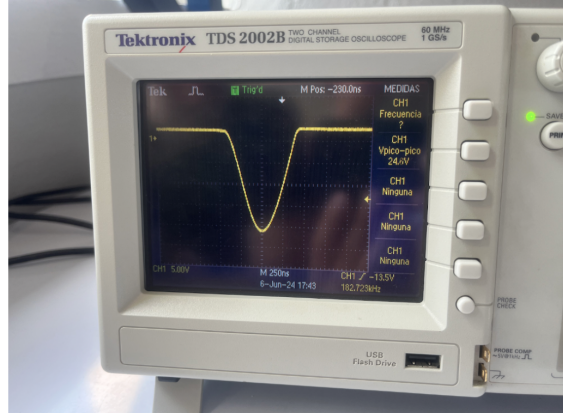


Figura 11: Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Secundario

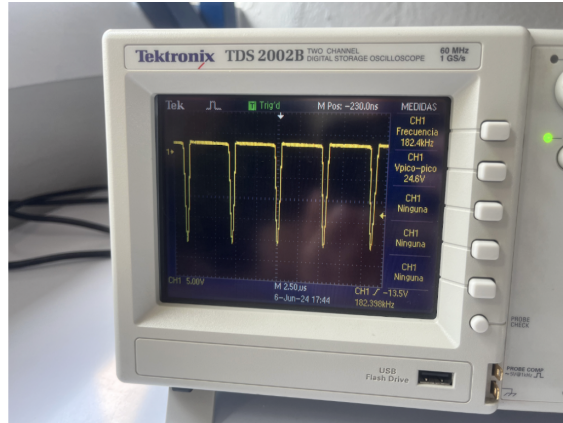


Figura 12: Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Secundario

Según este método obtenemos un distinto valor para el flujo en la bobina, por lo cual cambia el cálculo de la Fem inducida. Multiplicando esto por nuestra función de corriente y derivando al igual que ya lo hicimos antes obtenemos nuestra segunda estimación.

$$\epsilon = -2,344,616,000te^{-19,802,500,000,000t^2} * -1.8117 * 10^{-5} \quad (3.9)$$

$$I = \frac{-2,344,616,000te^{-19,802,500,000,000t^2} * -1.8117 * 10^{-5}}{0.5} \quad (3.10)$$

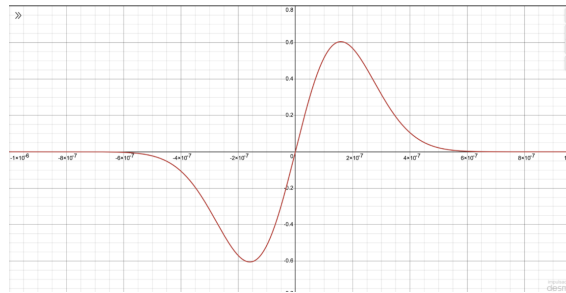


Figura 13: Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Secundario

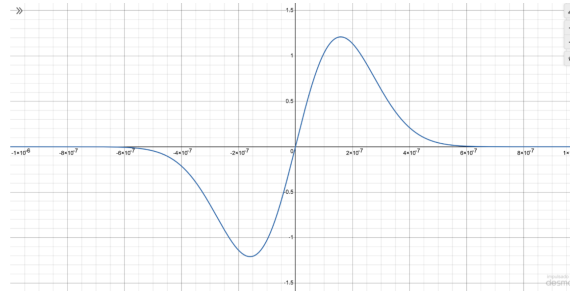


Figura 14: Corriente (I) respecto al Tiempo (s) del Circuito Secundario

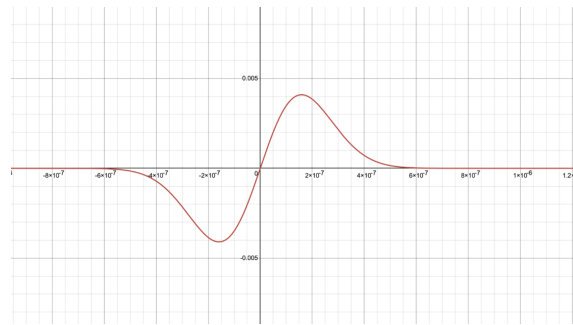


Figura 15: Voltaje (V) respecto al Tiempo (s) del Circuito Secundario

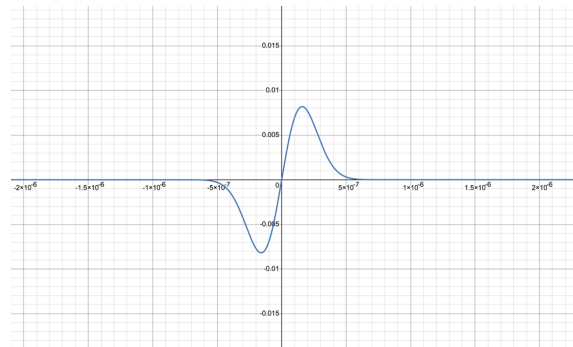


Figura 16: Corriente (I) respecto al Tiempo (s) del Circuito Secundario

4 A01752718 - Ari Emilio Núñez Menéndez

Nuestro experimento y el análisis que se dio en la creación y simulación del cargador inalámbrico fue exitoso y de mismo modo enriquecedor. Por medio de una bobina se logró una transferencia de energía eficiente a través de inducción electromagnética, validada por mediciones precisas de voltaje y modelos teóricos. La simulación computacional complementó nuestros esfuerzos, proporcionando una comprensión más profunda del comportamiento del campo magnético y la eficiencia de la transferencia de energía.

5 A01571619 - Carlos Cuéllar Solís

Basado en los experimentos y análisis llevados a cabo en la creación y simulación del cargador inalámbrico, se puede inferir lo siguiente:

El diseño del cargador, que empleó bobinas primaria y secundaria cuadradas hechas de alambre magneto calibre 28, con lados de 0.07 metros y 60 vueltas, ha probado ser efectivo en la transferencia de energía mediante inducción electromagnética. Se confirmó la generación de corriente inducida en el circuito secundario mediante mediciones de voltaje en ambos circuitos, las cuales concordaron con los modelos teóricos esperados, validando así la eficacia del diseño propuesto.

La simulación computacional ha servido como una herramienta valiosa para predecir y comprender el comportamiento del campo magnético generado, la corriente inducida y la eficiencia de transferencia de energía. Además, los resultados experimentales han corroborado los principios de la inducción electromagnética según la ley de Faraday y las ecuaciones relevantes.

En términos prácticos, el prototipo construido no solo satisface los criterios de diseño para cargar dispositivos móviles de manera eficiente, sino que también abre nuevas posibilidades para futuras mejoras en cuanto a la optimización del diseño y la eficiencia energética.

6 A01612614 - Carlos Viramontes Espinosa

A través de métodos experimentales pudimos verificar el funcionamiento de las leyes de Maxwell, específicamente la ley de inducción de Faraday. Uno de los puntos más importantes para el correcto funcionamiento de la bobina de inducción es que tenga suficiente área para que de esta manera pueda generar el cambio de flujo suficiente para prender un LED o cualquier otra aplicación para la que se necesite una corriente eléctrica.

El objetivo original del proyecto era lograr la carga de un celular de manera inalámbrica, sin embargo, a pesar de que esto es en principio posible, debido a las limitaciones de material y conocimientos que tuvimos al realizar el proyecto, no fue realizable en el plazo de tiempo que teníamos. Sin embargo el aprendizaje fue extenso, ya que utilizamos herramientas como osciloscopios, y aprendimos a hacer un circuito rudimentario.

En general considero que el proyecto fue un éxito, ya que superé todas mis expectativas de aprendizaje y lo considero una experiencia invaluable para futuros proyectos con un enfoque experimental.

7 A01785986 - Diego González Zavala

Se cumplió el resultado deseado inicialmente, aunque queda cierta incertidumbre en el resultado calculado de manera teórica debido a que varían los resultados obtenidos de

manera práctica, más sin embargo se llegó al resultado esperado de manera efectiva, pues se logró encender de manera efectiva el LED en el segundo prototipo ya que faltaba que fuese más grande el solenoide o mejor dicho las bobinas que usamos para conseguir que la corriente inducida necesaria para encender el LED. Finalmente se pudo demostrar los principios de electromagnetismo de manera práctica a través del sistema creado en este reto.

8 A01571679 - Luis Javier Jacobo Morimoto

A través de la aplicación y entendimiento de la Ley de Faraday logramos exitosamente construir un circuito eléctrico con corriente inducida. En general, logramos llegar a la meta que nos propusimos al principio. Aunque hubo algunos obstáculos en el camino, ya que tuvimos que modificar el circuito y específicamente las dimensiones de las bobinas para poder crear suficiente flujo magnético. Este experimento profundizó nuestra comprensión sobre la aplicación de la Ley de Faraday en circuitos prácticos y reales. Ahora conocemos más sobre los requerimientos que existen para que un circuito de este tipo funcione.

9 A00839066 - Rafael Eduardo Blanco Rivera

Mediante métodos experimentales se logró demostrar la creación de una FEM inducida al aplicar los principios fundamentales de la ley de Faraday, además de que se logró ver la importancia de cada uno de los componentes de las bobinas y cómo una diferencia de pocos centímetros realmente afecta mucho el resultado experimental, esto se notó al comprobar que en los primeros prototipos se lograba inducir una FEM, había un campo magnético y hasta se detectaba una pequeña corriente, pero esta no era la suficiente como para prender el LED, que era el objetivo del prototipo y, después de muchos cambios en el diseño, nos dimos cuenta que el diseño no era el problema, ni los componentes, si no que el radio de ambas bobinas debía de ser solo un poco más grande para lograr inducir una FEM lo suficientemente grande como para que el LED lograra encenderse.

El objetivo del prototipo fue completado (el LED logró encenderse) después de haber hecho ese pequeño cambio de dimensiones en las bobinas, además de que hubo un completo desarrollo y aplicación de campo de la ley de inducción magnética de Faraday (la más aplicada) y del funcionamiento y propósito de los componentes utilizados pues, como se mencionó, se realizaron varios cambios de diseño en el primer día de trabajo en el laboratorio (el cual duró aproximadamente 6 horas) al considerarse un error en el mismo o en los componentes del circuito, pero para determinar eso se debía conocer de manera específica el cómo funcionaba cada uno de ellos y de qué leyes físicas afectaban nuestro experimento.

Finalmente, hubo un aprendizaje de equipo de laboratorio pues se aprendió a utilizar un osciloscopio mediante prueba y error, además de para qué sirven las partes básicas de sus partes y qué es lo que este analiza al evaluar y comprender qué sucedía al efectuar pequeños cambios en la herramienta, el análisis de la gráfica arrojada por el mismo para cada una de las bobinas.

10 Referencias Bibliográficas

EMN (s.f.) Aplicaciones de las bobinas electromagnéticas.

<<https://www.elementosmagneticos.com/Aplicaciones-de-las-bobinas>>

EM (s.f.) ¿Qué es la permeabilidad magnética?

<<https://www.electricity-magnetism.org/es/que-es-la-permeabilidad-magnetica/>>

Martín Blas, T. Serrano Fernández, A. (s.f.) Magnetismo.

<<https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/espira.html#:~:text=una%20espira%20en%20un%20campo,funcionamiento%20de%20los%20motores%20el%C3%A9ctricos.>>

M Olmo, R. Nave (s.f.) Solenoíde.

<<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/magnetic/solenoid.html#:~:text=En%20la%20expresi%C3%B3n%20anterior%2C%20n,magn%C3%A9tico%20de%20un%20solenoid%20largo.>>

Polaridad.es (s.f.) ¿Cuál es la relación entre las vueltas de una bobina y su funcionamiento? <<https://polaridad.es/entre-mas-vueltas-tiene-una-bobina/>>

Válvulas Mineras (s.f.) ¿Cuál es la diferencia entre una bobina y un solenoíde? <<https://www.valvulasmineras.top/cual-es-la-diferencia-entre-una-bobina-y-un-solenoid/#:~:text=En%20t%C3%A9rminos%20simples%2C%20la%20principal,fuerte%20que%20una%20bobina%20normal.>>

Vega Pérez, J. Vega Pérez, S. (2015). Electromagnetismo: (ed.). Grupo Editorial Patria. <<https://0-elibro-net.biblioteca-ils.tec.mx/es/ereader/consorcioitesm/39439?page=1>>