

EXPERIMENTO DE HERTZ

Resumen:

Nuestro proyecto consiste en la reproducción del experimento que realizó Heinrich Hertz entre los años 1886 y 1891, en el que generó ondas electromagnéticas, las cuales son la base de la tecnología inalámbrica que tenemos hoy en día.

Para la realización del modelo, procuramos utilizar los mismos materiales y procedimientos que utilizó Hertz en su tiempo, por lo que el modelo que construimos se asemeja enormemente al original. El modelo consta de un embobinado primario de alambre calibre 18 de 20 vueltas sobre un tubo de PVC y un embobinado secundario sobre el anterior de aproximadamente 20,000 vueltas. Dentro del tubo de PVC se introdujo un núcleo de hierro dulce; la bobina está planeada para generar alrededor de 10,000 V.

Al tener la bobina terminada, la conectamos a dos esferas de cobre que, a su vez, están conectadas a dos barras de cobre que están separadas a un mínimo de distancia. Posteriormente construimos el receptor de las ondas que está formado por otro par de esferas de cobre, unidas por un anillo que permanece conectado a un medidor de ondas.

Finalmente, conectamos el embobinado primario a una fuente de 18 V. Después de encender la fuente, por el embobinado primario corre una corriente, que induce una corriente sobre el embobinado secundario, la cual comienza a almacenarse en las esferas de cobre para posteriormente descargarse en forma de chispa entre las barras de cobre. El anillo que une a las otras esferas, recibe la misma señal que se produce en el modelo, y el medidor de ondas que se tiene conectado al anillo, marca que estas ondas tienen una frecuencia de aproximadamente 100×10^6 ciclos por segundo, las cuales coinciden con las que generó Hertz en su experimento original.

A través de esta demostración del Experimento de Hertz, pudimos también demostrar de una manera práctica las Leyes de Inducción de Faraday, la Ley de Lenz, las Ecuaciones de Maxwell, la Ley de Gauss para el campo Magnético y la Ley de Ampere, teoría con la que sustentamos nuestro trabajo.

Planteamiento del Problema:

Buscamos reproducir el experimento que Heinrich Hertz realizara entre los años 1886 y 1891, por medio del cual descubrió las ondas electromagnéticas que son la base de las comunicaciones inalámbricas que simplifican nuestra vida diaria por las comodidades que suponen.

Objetivos

Reproducir el Experimento de Hertz, apegándonos lo más posible al experimento original, principalmente utilizando materiales iguales y en algunos casos similares para buscar una reproducción más fiel.

Producir y medir Ondas Hertzianas, iguales a las que Hertz produjo en el experimento original, del mismo modo que él lo hizo.

Comprobar que las ondas Hertzianas se transmiten entre dos sistemas sin que haya una conexión alámbrica entre ellos.

Marco Teórico

El científico inglés Michael Faraday intuyó que si la electricidad produce magnetismo, entonces el magnetismo genera electricidad, y en 1831 pudo generar una débil corriente eléctrica en una bobina sin conectarla a una batería; luego colocó dos bobinas juntas, le puso una batería y un interruptor a la primera, le conectó un galvanómetro a la segunda y cada vez que prendía o apagaba el interruptor, el instrumento indicaba que la segunda bobina circulaba una corriente eléctrica. A este fenómeno se le llama inducción. Comprobó que era necesario que el campo magnético estuviera formándose o desapareciendo para que la corriente circulara.

Ley de inducción de Faraday: La ley de inducción de Faraday dice que la fuerza electromotriz (f.e.m.) inducida en un circuito es igual al valor negativo de la rapidez con la que está cambiando el flujo que atraviesa el circuito. El signo negativo indica el sentido de la f.e.m. inducida. Si la bobina tiene N vueltas, aparece una fem en cada vuelta que se puede sumar; este es el caso de los tíroides y solenoides. La ley se puede enunciar de esta forma: "La fuerza electromotriz inducida en un circuito es proporcional a la rapidez con la que varía el flujo magnético que lo atraviesa, y directamente proporcional al número de espiras del inducido"

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$

Ley de Lenz: Una forma de escribir la ley de Lenz en términos de la contribución de la corriente inducida al campo magnético total es: el sentido de la corriente inducida es tal que su contribución al campo magnético total se opone a la variación del flujo de campo magnético que produce la corriente inducida. Esta ley que explica el sentido de las corrientes inducidas puede ser explicada por un principio más general, el principio de la conservación de la energía. La producción de una corriente eléctrica requiere un consumo de energía y la acción de una fuerza desplazando su punto de aplicación supone la realización de un trabajo.

En los fenómenos de inducción electromagnética es el trabajo realizado en contra de las fuerzas magnéticas que aparecen entre espira e imán el que suministra la energía necesaria para mantener la corriente inducida. Si no hay desplazamiento, el trabajo es nulo, no se transfiere energía al sistema y las corrientes inducidas no pueden aparecer. Análogamente, si estas no se opusieran a la acción magnética del imán, no habría trabajo exterior ni por tanto cesión de energía al sistema.

Podemos decir entonces que el fenómeno de inducción electromagnética se rige por dos leyes:

- Φ Ley de Lenz: cualitativa, da el sentido de la corriente inducida
- Φ Ley de Faraday-Henry: cuantitativa, que nos da el valor de la corriente inducida.

Ecuaciones de Maxwell

Ley de Gauss para el campo eléctrico: La primera ecuación de Maxwell nos dice que la divergencia del campo eléctrico, D , sobre una superficie cerrada es proporcional a la densidad de la carga, ρ , contenida dentro de la superficie. En otras palabras, el flujo de D a través de cualquier superficie cerrada es proporcional a la carga neta contenida dentro de la superficie.

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

Ley de Gauss para el campo magnético: La segunda ecuación nos dice que el campo magnético, B , tiene una divergencia igual a cero, esto es: no hay monopolos magnéticos.

El flujo de B a través de cualquier superficie cerrada es siempre cero, las líneas del flujo magnético son líneas cerradas.

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

Ley de Faraday: La tercera ecuación nos dice como la variación en un tiempo de un campo magnético induce a un campo eléctrico.

En otras palabras si en cierta región del espacio un campo magnético cambia con el tiempo este inducirá un campo eléctrico.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

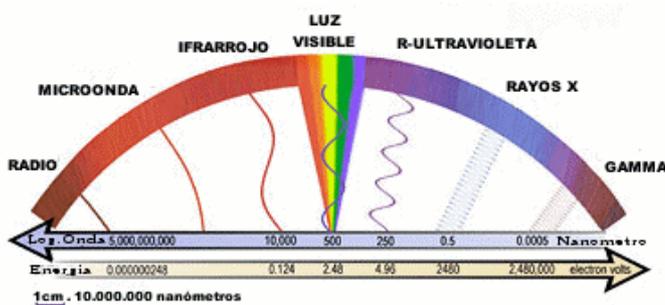
Ley de Ampere: Finalmente la cuarta ecuación nos dice que es posible inducir un campo magnético por medio de una corriente eléctrica, J , o por un campo eléctrico que varia con el tiempo.

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

Ondas de Hertz.

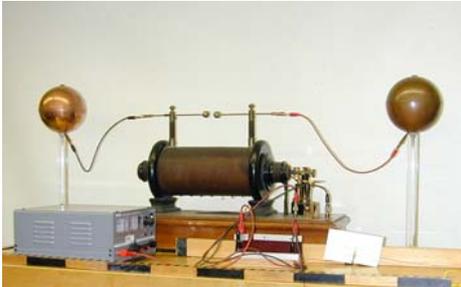
El Dr. Heinrich Hertz entre los años de 1886 y 1891, con una serie de experimentos basados en ciertos fenómenos previamente descubiertos por otros científicos, aportó una gran cantidad de conocimientos sobre las ondas magnéticas y sus efectos en cuerpos adyacentes, estos descubrimientos se pudieron poner en practica al realizar el telégrafo inalámbrico, entre muchas otras aplicaciones.

Estas ondas Hertzianas, no son tan rápidas comparadas con las ondas de calor (400 miles de millones de ondas por segundo), se ha descubierto que estas ondas tienen una frecuencia de alrededor de 230



millones por segundo.

El experimento con el que Hertz logro ver estas ondas es relativamente sencillo, consta de 2 hojas de Zinc de 16", montadas sobre una base de madera, en uno de los extremos de las hojas de Zinc se suelda una pequeña lámina, también de Zinc, en forma de L.



En los extremos de estas laminas en forma de L se colocan esferas de latón de una pulgada de diámetro. Posteriormente se alinean las hojas de Zinc para que las esferas de latón queden una enfrente de la otra a una separación de entre $\frac{1}{4}$ " y 1", luego las hojas se conectan con un cable de cobre aislado a una jarra de Leyden. Este "oscilador", como lo llamo el Dr. Hertz debe producir, al conectarse a la jarra de Leyden, la suficiente potencia para crear descargas entre las esferas.



Ahora, para probar estas ondas se debe construir un simple receptor conocido como resonador de Hertz, que consiste de $\frac{1}{4}$ " de barra de latón, de 5 ft. enrollado en un semi-circulo de 18" de diámetro. A las terminales del semi-círculo se le unen esferas de latón y además se colocan 2 rectángulos de cobre en los extremos del semi-circulo, uno de estos rectángulos debe estar haciendo tierra por medio de un cable de cobre. La base del semi-circulo debe ser de madera. Con este receptor de ondas se deben producir ondas de radio.



Carrete de Ruhmkorff

Esta bobina de inducción es el antecedente de los transformadores de corriente alterna. El carrete esta constituido de un núcleo de hilos de hierro dulce en el cual se enrolla el alambre primario, grueso y de pocas vueltas, después se aísla y se coloca el segundo enrollado de un cable mas delgado y de muchas vueltas. La corriente que se suministra por el enrollado primario, una pila, se convierte en intermitente por un interruptor que abre y cierra el circuito, este interruptor esta formado por una masa metálica, sostenida por una lamina de acero que forma un resorte oscilante desde un punto fijo.



Al cerrar el circuito primario nace una corriente inducida. Debido a la autoinducción, la corriente no alcanza su valor máximo y el interruptor se retrasa, y el campo magnético se anula, por lo que la corriente inducida al

secundario es mucho mas débil durante el cierre que al interrumpirse el circuito.

Desarrollo

Para la creación de nuestro modelo, reproducción del experimento de Heinrich Hertz, investigamos cómo había construido su modelo original, y buscamos seguir los mismos pasos y utilizar los mismos materiales o unos muy similares.



El modelo consta de una bobina, que a su vez, está formada de dos partes:

Un embobinado primario, con alambre de cobre calibre 18, de veinte vueltas, sobre un tubo de PVC de alrededor de 5 cm de diámetro; y un embobinado secundario, de aproximadamente 20,000 vueltas, con alambre de cobre muy delgado, sobre el embobinado primario. Dentro del tubo de PVC, introducimos varillas delgadas

de hierro dulce para que funcionaran como el núcleo de la bobina.

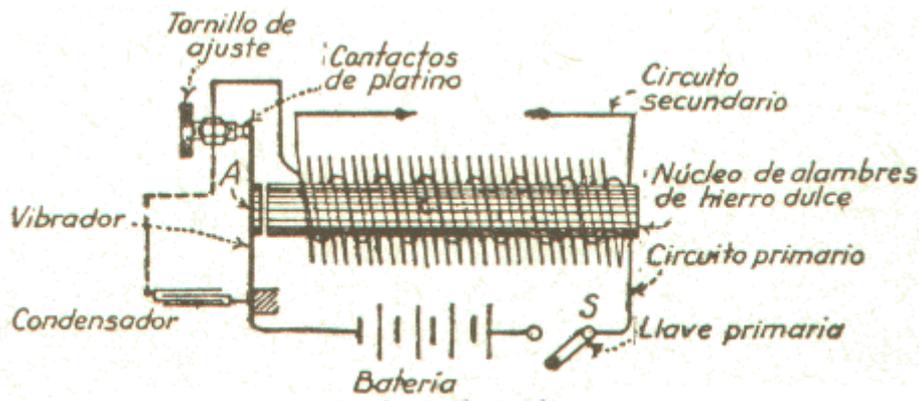
Para contar las vueltas del embobinado secundario, utilizamos un motor al cual le ajustamos el tubo de PVC con una banda y una serie de engranes para disminuir su velocidad. Medimos la frecuencia del motor con un estroboscópio, y con este resultado, hicimos un cálculo sencillo para saber cuánto tiempo debía estar el motor girando para llegar a las 20,000 vueltas del embobinado.



Al tener la bobina terminada, conectamos el enrollado secundario a un par de esferas de cobre con un tubo delgado, también de cobre, soldado a ellas, para lo cual adaptamos una base de madera de la cual disponíamos, para que los elementos quedaran fijos y fuera fácil la reproducción del experimento; para este fin, fijamos a la base de madera dos tubos de acrílico, los cuales perforamos para introducir las esferas de cobre.



También a la base, se le instaló una tira de hierro fijada fuertemente, para que funcionara como vibrador, la cual al encenderse la bobina, se pegue y desprege del núcleo de hierro para crear la corriente intermitente necesaria para el experimento.



Posteriormente, construimos el receptor de ondas, el cual consta de un par de esferas de latón pequeñas, unidas por un aro que deja las esferas a poca distancia una de la otra, sobre una base de madera y un par de rectángulos de cobre, uno de los cuales colocamos haciendo tierra por medio de un alambre de cobre. Este dispositivo, lo conectamos a un medidor de ondas (osciloscopio) para obtener la frecuencia de las ondas que producimos.

Finalmente, conectamos el enrollado primario a una fuente de 18 Volts de corriente directa.

Resultados:

Al encender la fuente, por el enrollado primario circuló una corriente, la cual se indujo en el embobinado secundario. Del embobinado secundario, pasó a las esferas de cobre, las cuales almacenaron la carga, para que al tener la carga suficiente, se creó una descarga eléctrica en forma de chispa entre los dos tubos. Esta misma descarga se generó también en el resonador de Hertz que construimos.

Por medio del medidor de ondas, encontramos la frecuencia de las mismas, la cual era de aproximadamente 100×10^6 ciclos por segundo, las cuales coinciden con las que Hertz obtuvo en el experimento original.

Análisis e interpretación de resultados

Las ondas electromagnéticas que producimos, fueron transmitidas por el aire al resonador de Hertz que se encontraba separado y desconectado del modelo. Estas ondas, son del orden de las ondas de radio, por lo cual son la base de las comunicaciones inalámbricas con las que contamos hoy en día y que disfrutamos diariamente por las comodidades que nos brindan. Este experimento nos muestra el funcionamiento básico de buena parte de la tecnología que vemos en la actualidad. Es importante hacer notar que la frecuencia de las ondas producidas están relacionadas con la capacitancia de las esferas de cobre y de la inductancia de la bobina a partir de la ecuación:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Que corresponde a la frecuencia de resonancia de un circuito LC

Conclusiones

A través de esta demostración del Experimento de Hertz, pudimos también demostrar de una manera práctica las Leyes de Inducción de Faraday, la Ley de Lenz, las Ecuaciones de Maxwell, la Ley de Gauss para el campo Magnético y la Ley de Ampere, teoría con la que sustentamos nuestro trabajo.

Referencias:

- Φ Resnick, D. y Halliday, R., Física (dos volúmenes). México, Cecsca, 2004.
- Φ Stofiberg,, R. y Fhll, F. F., Física, fundamentos y fronteras. México, Publicaciones Serie Cultural
- Φ Tippens, Paul, Física. Conceptos y aplicaciones. México, McGraw Hdl, 2005.
- Φ Wilson, J.D., Física con aplicaciones. México, McGraw Hdl, 2005.
- Φ Serway R. Física, Editorial Thomson , México 2005..
- Φ Carrete de Rhumkorff
http://www.ugr.es/~museojtg/instrumento69/ficha_fundamentos2.htm
- Φ Carrete de Rhumkorff
<http://www.feiradeciencias.com.br/listageral.asp>