

Generador de Faraday de una sola pieza

Autores

Frigerio, Paz
mapaz@vlb.com.ar
Laboratorio de Física 2 – Universidad Favaloro-Buenos Aires Octubre 2001

La Bruna, Gimena
labrugi@yahoo.com

Larreguy, María
merigl@yahoo.com

Romani, Julieta
julietaromani@hotmail.com

Resumen

En el generador convencional de Faraday, un disco conductor rota en un campo magnético axial. Si reemplazamos el disco por un imán permanente circular que proporciona su propio campo magnético, el efecto resulta idéntico. Cualquier imán en movimiento genera una *fem* inducida debida a la presencia de su propio campo magnético.

Introducción

La fuerza magnética \vec{F}_M de una carga q que se mueve con velocidad \vec{v} a través de un campo magnético $\mathbf{B} = \vec{B}$ es⁽¹⁾:

$$\vec{F}_M = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

Se dice que existe un campo eléctrico en un punto si actúa una fuerza de origen eléctrico sobre una carga situada en dicho punto. Se define el campo eléctrico \mathbf{E} como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q} \quad (2)$$

cuya dirección es la de la fuerza eléctrica \mathbf{F}_E . Se deduce que:

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E} \quad (3)$$

El *generador convencional de Faraday* consiste de un disco circular conductor que rota alrededor de su eje de simetría en presencia de un campo magnético externo, cuya dirección también está en la dirección axial. Si reemplazamos el disco conductor por un imán conductor, que proporciona su propio campo magnético paralelo al eje, es decir un imán permanente del tipo ilustrado en la figura 1, entonces ya no requerirá un campo magnético externo. Este dispositivo se conoce como el *generador de Faraday de una sola pieza*.²

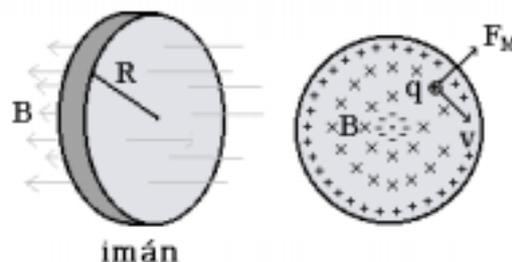


Figura 1. Imán circular de radio R que tiene un campo magnético \mathbf{B} que atraviesa su superficie.

Cuando se hace rotar el imán, si se observa una carga q del mismo, ésta se mueve con una velocidad v como se ilustra en la figura 1. Entonces, según la ecuación (1), se genera una fuerza magnética F_M perpendicular a la velocidad de la carga. Si el campo magnético B es entrante al imán, las cargas positivas se van concentrando en el borde del imán y las cargas negativas, en cambio, se concentran en el centro del mismo debido a las fuerzas magnéticas. En el momento en que se equilibran las fuerzas magnética y eléctrica, se puede ver que aparecerá un campo eléctrico E dado por (ver apéndice A):

$$\vec{E} = -\vec{v} \times \vec{B}. \quad (4)$$

En el caso del disco rotante, tanto la velocidad tangencial v como el campo inducido variará con la distancia al centro dada por r . El campo eléctrico varía a lo largo de un diámetro del cilindro (en dirección radial) de la misma forma que la velocidad tangencial, por lo tanto:

$$E(r) = B\omega r \quad (5)$$

donde r es la distancia desde el centro del imán al punto en cuestión y ω la velocidad angular del disco. De este modo, la fem (fuerza electromotriz) inducida \mathcal{E} desde el centro del imán hasta el borde del mismo es:

$$\mathcal{E} = \int_0^R E(r) dr = B\omega \int_0^R r dr = \frac{1}{2} B\omega R^2 \quad (6)$$

Experimento

Para la realización de este experimento, sujetamos el imán por medio de un dispositivo plástico a un taladro de velocidades regulables. Haciendo presión contra el imán colocamos dos carbones, uno en el centro del imán y otro al costado, como se muestra en las figuras 2 y 3.



Figura 2. Fotografía del dispositivo utilizado para el experimento.

A medida que variábamos las velocidades del taladro, medíamos la fem inducida a partir de los carbones con un sistema de adquisición de datos conectado a una PC.

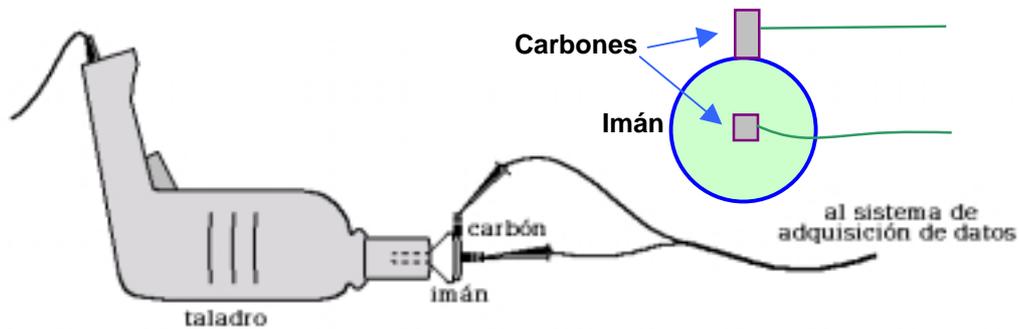


Figura 3. Diagrama del dispositivo utilizado para el experimento, en la parte derecha superior, vemos una vista de frente del imán y los contactos (carbones).

En principio es posible medir la tensión directamente con un voltímetro, pero debido a las fluctuaciones provenientes de las vibraciones e inestabilidad de los contactos, se generan fluctuaciones. Debido a estas fluctuaciones es conveniente utilizar un sistema de adquisición de datos conectado a una PC, ya que así podemos medir tanto el valor medio y su desviación estándar. También se realizó la medición del campo magnético del imán y su variación a lo largo del eje del imán (eje z) con una punta Hall. Esta medición se detalla en el apéndice B. Asimismo realizamos una medición de frecuencias a las que funcionaba el taladro para cada posición de velocidad. Esto puede consultarse en el apéndice B.

Resultados

Con los datos obtenidos en la PC para la fem inducida por nuestro generador de una sola pieza, calculamos la fem promedio que se inducía para cada velocidad del taladro (ya que éste contaba con 3 velocidades regulables y velocidades intermedias). Realizamos un gráfico que reúne estos datos que se ilustra en la figura 4.

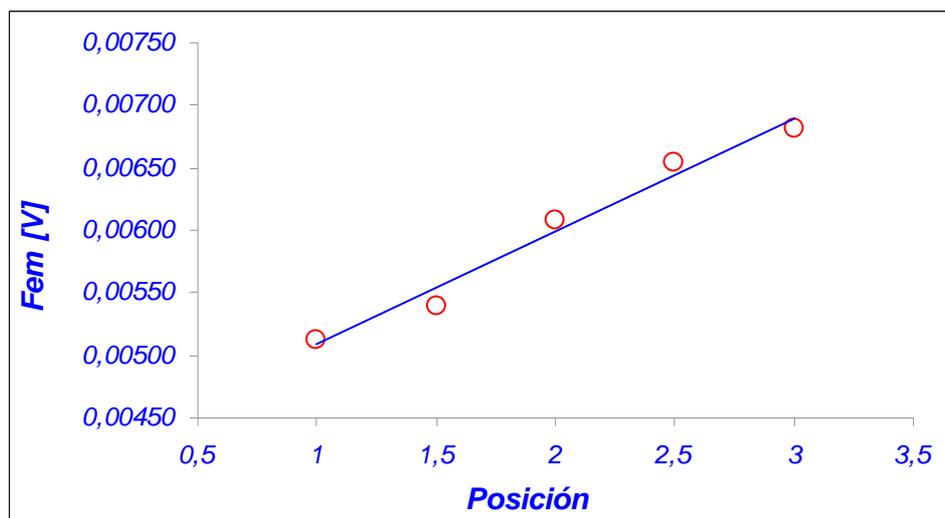


Figura 4. Gráfico de la fem inducida por el generador en función de la posición de velocidad del taladro.

Una vez que obtuvimos las frecuencias con las que funcionaba cada posición del taladro (ver apéndice B), realizamos el gráfico (figura 5) de la fem inducida en función de las mismas.

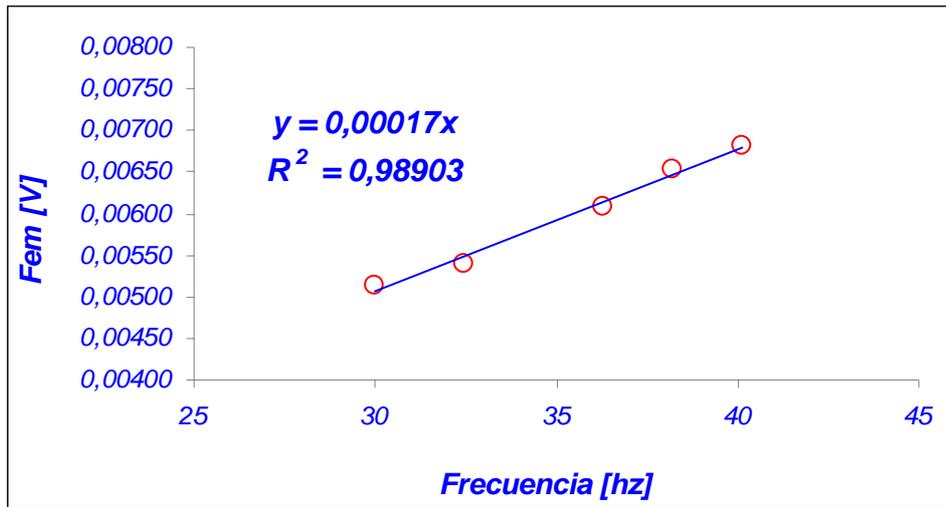


Figura 5. Gráfico de la fem inducida por el generador en función de la frecuencia de giro del taladro.

Guiándonos por la ecuación (6), pudimos despejar el valor del campo magnético **B** en la superficie del imán:

$$B = \frac{m}{\pi R^2} \quad (7)$$

donde **m** es la pendiente de la recta obtenida en la figura 5 de 0,00017 V/Hz con coeficiente de correlación de 0,98903 para 5 datos experimentales.

El valor de **B** resultó ser de $(0,49 \pm 0,03)$ T, o sea $B=(4,900 \pm 30)$ Gauss ($\varepsilon_B=6\%$).

Conclusión

El generador de una sola pieza lleva a una aparente paradoja en el caso del movimiento traslacional, debido a que implica la posibilidad de que un observador en un marco inercial pueda medir su velocidad absoluta, es decir, parecería violar la teoría de la relatividad. Por ello muchos físicos e ingenieros, cuando se encuentran con este artefacto, sospechan que el mismo no funcionará. Sin embargo, nosotros pudimos demostrar experimentalmente su veracidad. Además como se sugiere en el Apéndice A, su funcionamiento es una consecuencia de las transformaciones de Lorentz, que es uno de los resultados más importantes de la teoría de la relatividad.

En definitiva, en este trabajo pudimos comprobar la ecuación (6) a partir de la figura 4, donde se muestra que la fem inducida por el generador es directamente proporcional a la velocidad de giro ω del taladro. Además, de la figura 5 pudimos obtener el valor del campo magnético en la superficie del imán. El resultado obtenido fue de 0,49 T con un error absoluto de 0,03 T ($\varepsilon_B=6\%$).

Apéndice A

En este apéndice tratamos brevemente la forma como el campo magnético de un imán permanente se transforma al observar al mismo desde un sistema de referencia que se mueve respecto del imán⁴.

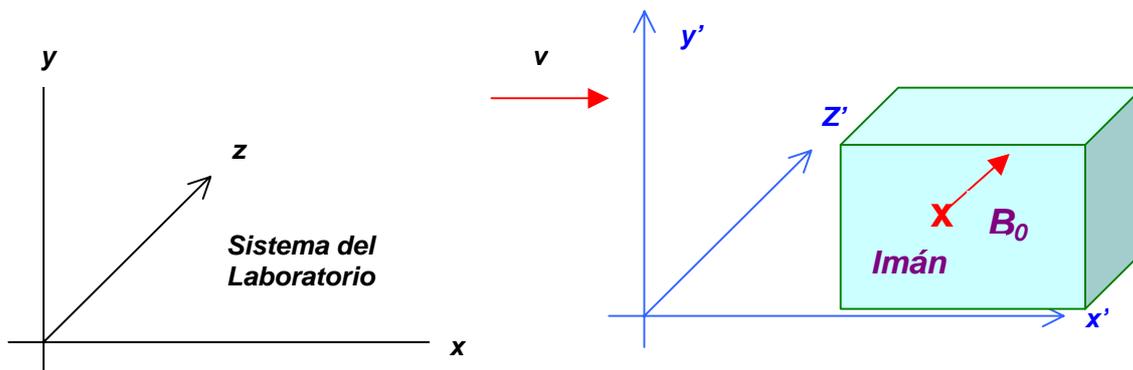


Figura A1. Transformación del campo magnético de un imán permanente de campo magnético propio ($B_0 \hat{z}$) orientado en la dirección z , el imán se mueva a lo largo del eje x con velocidad v respecto del sistema de referencia fijo al laboratorio (x, y, z).

Según las transformación de Lorentz, los campos magnético y eléctrico en el sistema del laboratorio será:

$$B_z = \gamma \cdot B_0 \quad (A1)$$

$$B_x = B_y = 0 \quad (A2)$$

$$E_y = -\gamma \cdot v \cdot B_0 \approx -v \cdot B_0 \quad (A3)$$

$$E_z = E_x = 0 \quad (A4)$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \approx 1. \quad (A5)$$

Aquí c ($=3 \cdot 10^8$ m/s) representa la velocidad de la luz en el vacío. Dado que las velocidades involucradas en este experimento son tales que $v \ll c$, tenemos que $\gamma \cong 1$. Así vemos que según la teoría especial de la relatividad, transformaciones de Lorentz, el campo eléctrico que aparece en el sistema del laboratorio (A3) coincide con el adelantado en el texto, ecuación (4). Por lo tanto, la fem inducida en el imán en rotación es una consecuencia de la relatividad, por lo tanto no solo no la contradice sino que la verifica en primer orden.

Apéndice B

Fue necesario para el experimento, determinar las frecuencias con las que gira el taladro para cada posición de velocidad. Para ello, construimos una bobina de 100 vueltas y utilizamos el

mismo imán con su dispositivo plástico al que le adherimos otro imán más pequeño en el borde del primero.

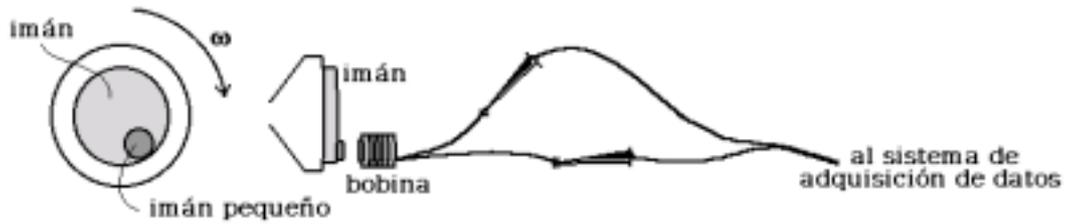


Figura B1. Dispositivo utilizado para obtener las frecuencias de giro del taladro para cada posición de velocidad.

Manteniendo la bobina paralela al imán en el borde según se ilustra en la figura B1, medimos la variación de tensión que le provocaba el cambio de flujo del imán más pequeño a la bobina.

La tensión se hacía máxima cuando el imán pequeño atravesaba a la bobina. Esto nos permitió, mediante una aproximación de una función senoidal a los picos de tensión, determinar la frecuencia de giro del taladro para las distintas posiciones de velocidad.

Un ejemplo de la aproximación que realizamos se ilustra en la figura B2. En este caso particular la posición del taladro era 2 y la frecuencia resultante fue de $(36,0 \pm 0,2)$ hz.

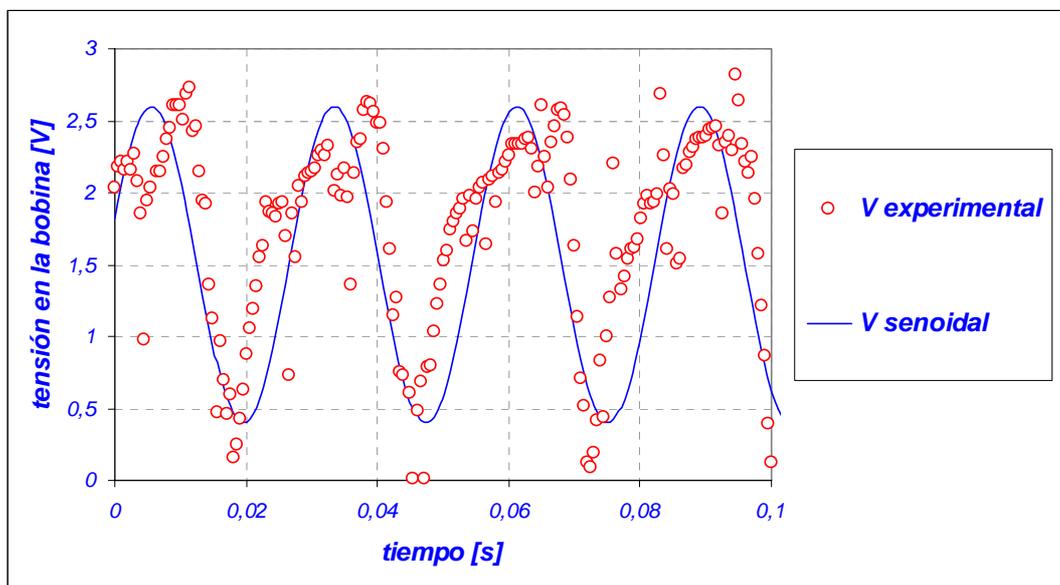


Figura B2. Gráfico de la tensión en la bobina en función del tiempo para la determinación de la frecuencia de giro mediante la aproximación teórica senoidal.

Para medir el campo magnético del imán, nos presentamos en el edificio del Tandar en la C.N.E.A. (Comisión Nacional de Energía Atómica-Buenos Aires) donde nos proporcionaron una punta Hall. Con la punta Hall se puede medir el campo magnético en cualquier punto.

Las líneas de campo magnético de un imán tienen la forma que se ilustra en la figura A3. Con la punta Hall medimos, posicionándonos siempre en el centro, la variación del campo magnético en el eje z.

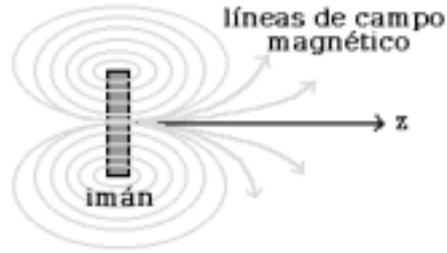


Figura B3. Campo magnético en un imán permanente.

De las mediciones hechas realizamos el gráfico de la figura B4, al que le agregamos una aproximación teórica a los datos experimentales según la ecuación para el campo magnético de un imán en dirección de su eje z:

$$B(z) = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{iR}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (B1)$$

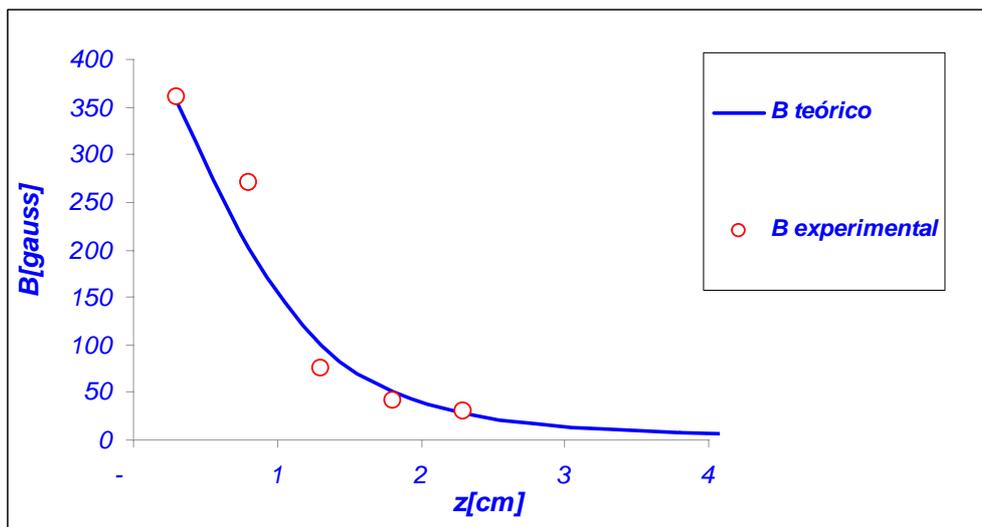


Figura B4. Gráfico de la variación del campo magnético del imán en dirección z.

La corriente i equivalente que circularía por el imán según la ecuación (B1) obtenida de la figura B4 es de (440 ± 10) kA.

Bibliografía

1. *Física Universitaria*, F. W. Sears, M. W. Zemansky y H. D. Young, 6ta. Ed., Editorial Fondo Educativo Interamericano, México (1986), p.735.
2. M.J.Crooks, D.B.Litvin, P.W.Matthews, R.Macaulay y J.Shaw, *One-piece Faraday generator*, Am.J. Phys. **46**, 729 (1978)
3. D.R. Corson, Am. J. Phys. **24**, 126 (1956)
4. R.P. Feynman, R. B. Leighton and M.Sand *The Feynman Lecture on Physics*, Vol. II . Addison Wesley, Reading MA 1964.