

Mapeo de campos magnéticos.

Galarza Jorge A., Sardelli Gastón, Scalise Guido, Valli Mauricio.
Universidad Favaloro
Estudiantes del Bachillerato Universitario en Ciencias de la
Ingeniería.
E-mail: jagal41@hotmail.com o mauriciolaplata@sinectis.com.ar

Resumen

Este trabajo es un estudio de la variación del campo magnético en las cercanías de distintos elementos como espiras de N vueltas y bobinas de Helmholtz.

Introducción

Nos propusimos medir el campo magnético que generan diversas espiras de N vueltas con el objeto de conocer como varía el mismo al cambiar la distancia. Utilizando solo elementos que se pueden encontrar en cualquier laboratorio, por ejemplo una computadora, un generador de señales, un potenciómetro, etc. Debido a ello este es un experimento de un bajo costo y muy útil ya que nos permite al mismo tiempo verificar la ley de Biot-Savart.

Desarrollo

Como primer paso construimos y calibramos el dispositivo mostrado en la figura 1, el mismo consiste en un soporte de madera graduado en un costado con una varilla que se desplaza horizontalmente, en la que se fija a uno de sus extremos una bobina sensora mediante la cual se mide el campo magnético generado por una espira de N vueltas ubicada a una cierta distancia y centrada a lo largo del eje de desplazamiento de la varilla.

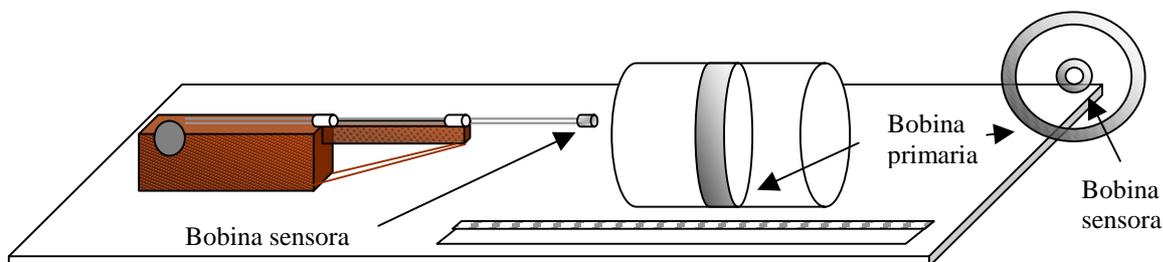


Figura 1: Dispositivo de medición para una espira de N vueltas.

Este aparato desplazaba la varilla variando a su vez una resistencia, en nuestro caso un potenciómetro multivoltas, conectada a una pila con el fin de traducir distancia en valores de tensión que pudieran ser adquiridos por medio de la computadora. Al mismo tiempo la bobina primaria se encontraba conectada a un generador de señales, como se muestra en la figura 2, operando a una frecuencia de $f = 15,5$ khz. La figura 3 muestra el gráfico obtenido en la calibración del sistema potenciómetro-pila.

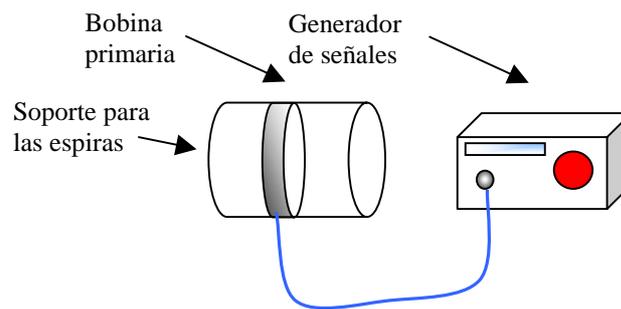


Figura 2: Conexión del generador con la bobina primaria.

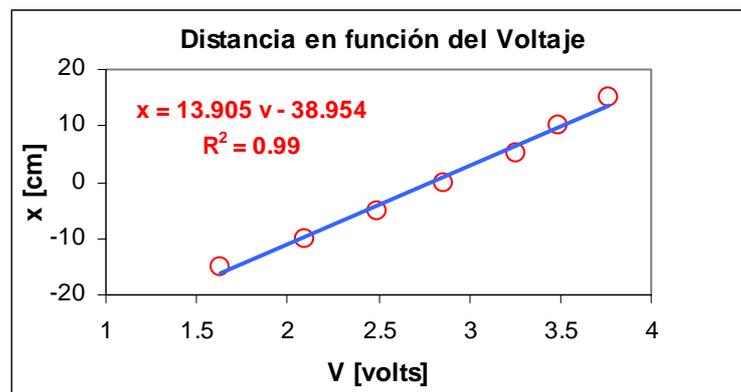


Figura 3: Gráfico de calibración del sistema de medición de distancia - posición.

En el caso de la tensión inducida en la bobina sensora ésta fue amplificada, rectificada y luego tomada por la placa de adquisición de datos, estos pasos son explicados con más detalle en el apéndice. Entonces, realizamos las conexiones como se muestra en la figura 4.

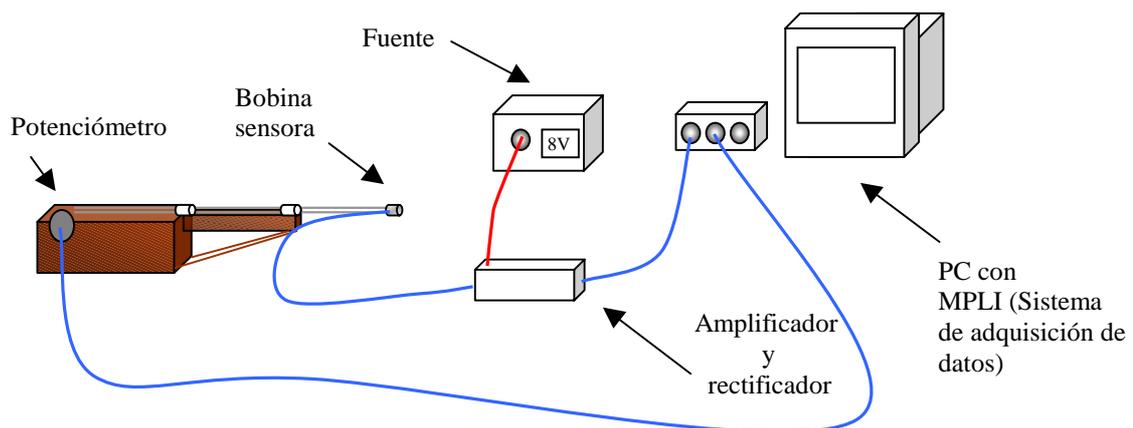


Figura 4: Conexiones del dispositivo de medición utilizado en el experimento

Una vez hecho esto posicionamos la bobina sensora lejos del plano central de la espira circular y procedimos a variar su posición en pasos de aproximadamente 1 cm, en cada uno de los cuales adquirimos el valor de tensión presente en el sistema potenciómetro-distancia y en la bobina sensora.

En segundo lugar nuestro objetivo fue hacer un análisis similar al anterior pero en este caso con una bobina de Helmholtz (dos espiras idénticas, separadas una distancia igual a su radio), y una vez logrado medir el campo en la bobina de Helmholtz variamos la distancia entre las espiras llevándola a $0.8R$ y $1.2R$, y volvimos a realizar las mediciones como se explicó anteriormente.

Resultados:

Lo primero que hicimos antes de realizar las mediciones fue plantear las ecuaciones de los campos magnéticos utilizando la Ley de Biot-Savart para los distintos elementos con el fin de calcular mediante ellas los valores teóricos del campo, para luego realizar los gráficos correspondientes y compararlos con los datos obtenidos experimentalmente.

$$B_x(x) = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2} \cdot \frac{R^2}{(R^2 + x^2)^{3/2}} \quad (1)$$

$$B_x(x) = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot I}{2} \cdot \left[\frac{R^2}{\left(R^2 + \left(\frac{Z_0}{2} - x\right)^2\right)^{3/2}} + \frac{R^2}{\left(R^2 + \left(\frac{Z_0}{2} + x\right)^2\right)^{3/2}} \right] \quad (2)$$

La ecuación 1 es para una espira de N vueltas, donde R es el radio de la espira, X es la distancia de la espira a la que se quiere saber el valor del campo, e I es la corriente que circula por la espira.

La ecuación 2, es para dos espiras, donde Z_0 es la distancia entre las espiras, en el caso de la bobina de Helmholtz es $Z_0 = R$, en el segundo caso es $0.8R$ y en el tercero es $1.2R$.

Otra cosa que hay que tener en cuenta es que el dato obtenido era la tensión en la bobina sensora, y este es proporcional al campo, por lo que graficamos $B(x)/B(0)$ que es igual a graficar $V(x)/V(0)$. dando como resultado los siguientes gráficos:

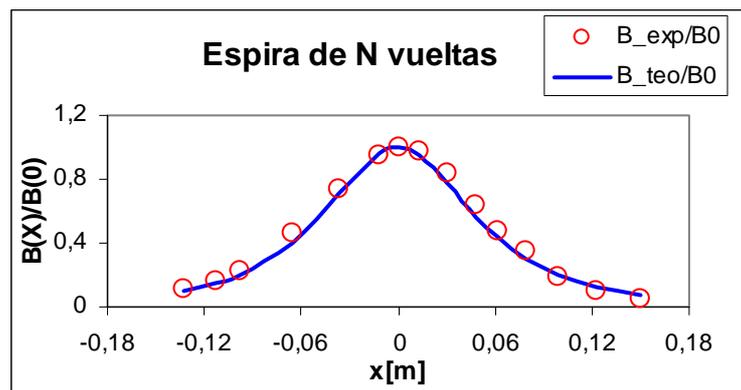


Figura 5: Mapeo del campo magnético para una espira de N vueltas.

El campo generado por una sola espira (figura 5), en el cual la curva continua resulta de aplicar la ecuación 1, dibuja un gráfico muy puntiagudo con un máximo en $B(0)$, lo cual indica que es muy poco uniforme.

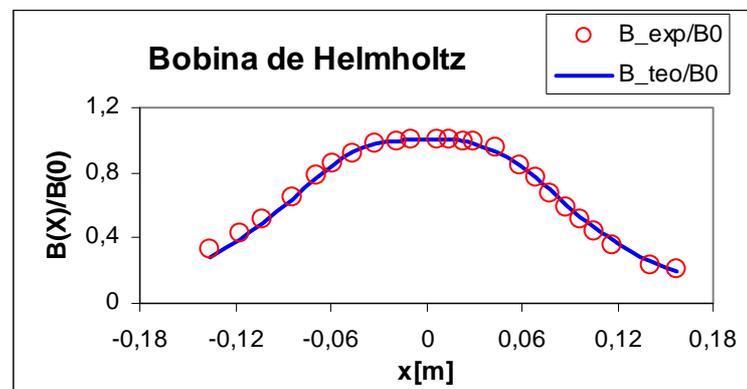


Figura 6: Mapeo del campo magnético para una bobina de Helmholtz, ($Z_0 = R$).

El campo generado por la bobina de Helmholtz (figura 6), donde la curva continua resulta de aplicar la ecuación 2, presenta una uniformidad entre las dos espiras, debido a la superposición de campos, esta es la condición por la cual a estas dos espiras se las llama bobina.

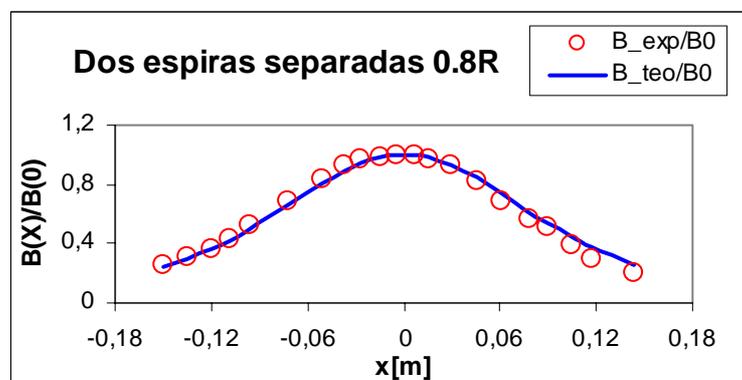


Figura 7: Mapeo del campo magnético para dos espiras de N vueltas separadas $0.8R$, ($Z_0 = 0.8R$).

El gráfico de las dos espiras separadas $0.8R$ (figura 7), se parece más al de una espira con un máximo en $B(0)$ que al de una bobina con un campo uniforme, esto sucede porque los campos se superponen demasiado uno con el otro.

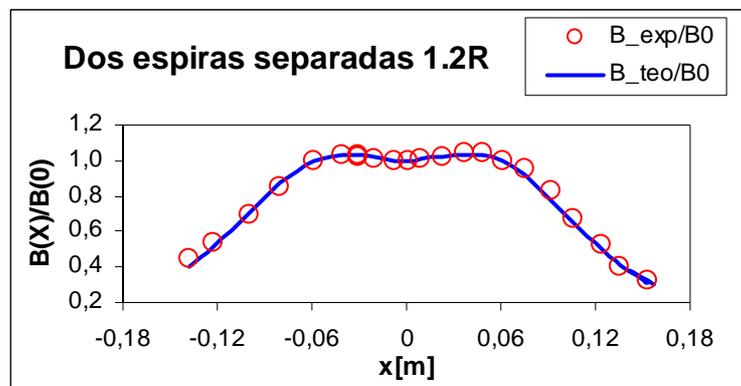


Figura 8: Mapeo del campo magnético para dos espiras de N vueltas separadas $1.2R$, ($Z_0 = 1.2R$).

Y por último tenemos el gráfico de las dos espiras separadas $1.2R$ (figura 8), en el cual se puede apreciar que los dos campos no logran superponerse completamente, lo cual genera un mínimo en $B(0)$, con dos máximos iguales en el lugar donde se encuentran las espiras.

Como se puede apreciar los datos ajustan bastante bien a las curvas teóricas plateadas con la Ley de Biot-Savart, con esto queda verificada la validez de esta ley.

Apéndice

Diagrama Circuital

En la figura 9, se puede ver un diagrama del circuito utilizado para acondicionar la señal adquirida de la bobina sensora. La tensión inducida en ésta tenía una amplitud muy pequeña y muy por debajo de la necesaria para ser adquirida a través de una placa de adquisición de datos. Por este motivo fue necesario amplificarla, y para ello construimos un amplificador el cual contaba con una ganancia de 100 veces. Además el mismo estaba compuesto también por un filtro pasabanda con una buena selectividad cuya frecuencia de trabajo era la misma que se inyectaba en la bobina primaria ($f = 15,5$ KHz), con lo que evitábamos que la señal a medir contenga ruido eléctrico.

Una vez amplificada y filtrada la señal era rectificada mediante un circuito pasivo formado por un capacitor, un diodo y una resistencia como se puede ver en el circuito de al figura. La constante de tiempo τ del circuito de filtrado (capacitor - resistencia) fue calculada con cuidado de manera que la descarga del capacitor fuera lo suficientemente lenta como para que la señal en la salida no varíe significativamente, y a su vez el tiempo de carga debe ser lo suficientemente corto como para permitir copiar la señal alterna. Para ello utilizamos la siguiente expresión: $\tau \approx R \cdot C > 10/f$, donde R y C son los valores de la resistencia y del capacitor respectivamente y f es la frecuencia de trabajo (en nuestro caso $f = 15,5 \text{ KHz}$).

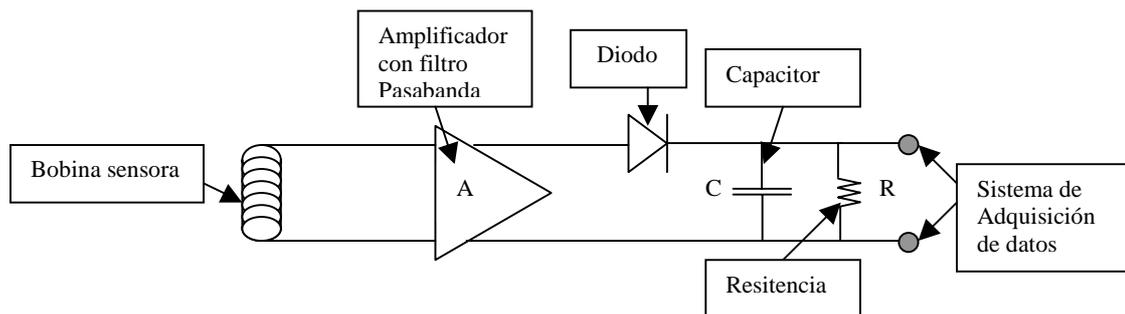


Figura 9: Diagrama circuital del sistema de acondicionamiento de la señal a medir.

Finalmente la señal obtenida a la salida del circuito en cuestión era lo suficientemente buena para ser adquirida por el sistema de adquisición de datos.

Conclusión

- 1) Pudimos construir un dispositivo capaz de medir el campo magnético de un sistema y la posición simultáneamente.
- 2) Las expresiones de campo obtenidas a partir de la ley de Biot-Savart (1) y (2) concuerdan bien con los valores medidos.
- 3) El campo magnético dentro de una bobina de Helmholtz es extremadamente constante en una región de dimensiones $R/2$ (R : radio de las espiras y distancia entre ellas).

Bibliografía

- 1- Física re-Creativa, S.Gil y E.Rodríguez, Prentice Hall, Bs. As. 2001.
- 2- Física Universitaria, Sears y Zemansky, Addison Wesley, México 1998.
- 3- Lawrence B.Golden, *An introductory low-cost magnetic field experiment*, Am. J. Phys. **56**, 846-848. Septiembre 1988.
- 4- Eric R. Dietz, *Inexpensive magnetic field mapping probe*, The Physics Teacher. **35**, 112-115. Febrero 1997.