

EXPERIMENTO 16

Campo magnético terrestre y permeabilidad magnética

Objetivos

- * Estudiar el campo magnético producido por un solenoide.
- * Medir la constante de permeabilidad magnética del vacío, μ_0 .
- * Usar el principio de superposición vectorial en campos magnéticos para obtener la magnitud de la dirección Norte del campo magnético terrestre.

Introducción

El movimiento de cargas eléctricas, ya sea por corrientes (como en el alambre de una inductancia) o por movimiento de electrones en orbitales atómicos (como en un imán permanente), genera fuerzas que se describen mediante campos magnéticos. Como ejemplo, tenemos que el movimiento de aleaciones de hierro fundido al interior de la tierra genera un campo magnético conocido como campo geomagnético. Recordemos que como campo vectorial, este tiene una magnitud y dirección asociadas en cada punto del espacio. La interacción entre este y un material imantado permitirá el funcionamiento de una brújula cuya dirección se alinea a la del campo magnético terrestre. Un sensor de campo magnético nos permite medir la magnitud del mismo en un punto en el espacio; en nuestro caso, haremos uso de un sensor de campo magnético de tres ejes que nos permite reconstruir los vectores que lo conforman. Con esto en mente, en la presente práctica usaremos este sensor para: 1) medir la constante de permeabilidad magnética del vacío, 2) medir la componente Norte del campo magnético terrestre.

Materiales

- * Inductancia de 2mH
- * Sensor de campo magnético Vernier
- * Sensor de energía Vernier
- * Fuente de corriente DC limitada a 1A

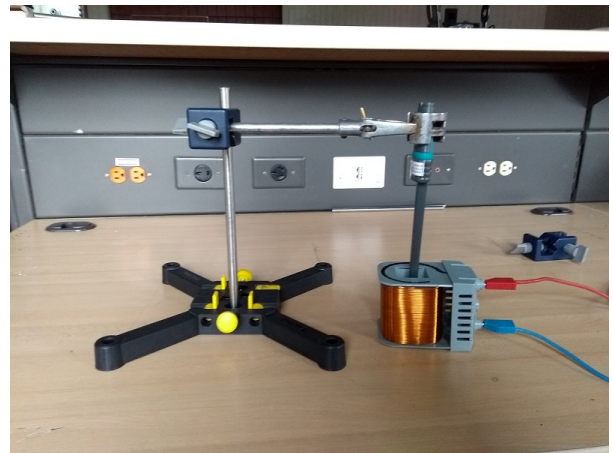


Figura 16.1: Montaje para medir campo magnético de un solenoide



Figura 16.2: Montaje para medir campo magnético terrestre.

- * Aro con cable enrollado
- * Brújula
- * Calibrador
- * Computador con LoggerPro y Vernier Graphical Analysis
- * Interfaz LabQuest Stream
- * Cables de conexión
- * Dos soportes universales con pinzas
- * Fusible

Teoría

Usando la ley de Biot-Savart se puede obtener el campo magnético, generado por una corriente que viaja por un cable, en un punto del espacio a partir de conocer la dirección y la magnitud de la corriente, I . Realizando los cálculos se puede demostrar que para un solenoide de N espiras, la intensidad del campo magnético B_s producido en el centro está dado por

$$B_{sol} = \frac{N\mu_0 I}{L}, \quad (16.1)$$

donde L es la longitud del solenoide, y μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, la cual indica la capacidad de pasar un campo magnético en la ausencia de materia. El valor teórico de la permeabilidad magnética es $\mu_0^{teo} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$.

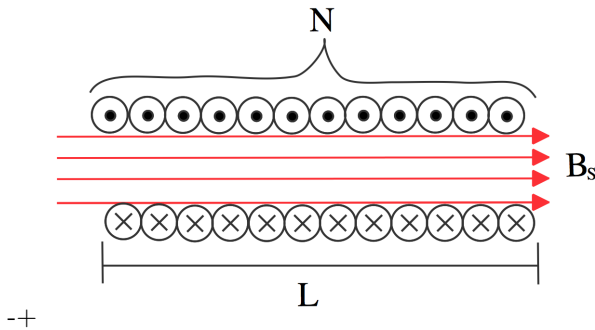


Figura 16.3: Campo magnético, B_{sol} , generado por un solenoide de N espiras y longitud L .

Por otro lado, para obtener experimentalmente la magnitud del campo magnético terrestre, haremos uso del principio de superposición vectorial. El campo magnético neto, B_N , está dado por

$$\vec{B}_N = \sum_i \vec{B}_i. \quad (16.2)$$

En particular, para nuestro experimento solo vamos a tener en consideración dos campos: el primero generado por la tierra, B_T , y el segundo es el campo de prueba, B_a . Realizando la configuración de modo que los dos campos se

encuentren perpendicularmente en un punto en el espacio se obtiene

$$\vec{B}_N = B_T \hat{x} + B_a \hat{y}, \quad (16.3)$$

donde \hat{x} apunta en dirección norte del campo magnético terrestre y \hat{y} es ortogonal a \hat{x} . Ambos campos permanecen sobre el plano horizontal.

Realizando la descomposición del campo magnético neto en los ejes cartesianos del sistema, como se muestra en la figura. 16.4, dos nuevas ecuaciones son obtenidas

$$B_T = B_N \cos(\phi), \quad (16.4)$$

$$B_a = B_N \sin(\phi), \quad (16.5)$$

donde ϕ es el ángulo formado entre los campos neto, B_N , y terrestre, B_T . Como resultado, podemos encontrar la dependencia del campo magnético de prueba en función del ángulo ϕ y el campo magnético terrestre, B_T ,

$$B_a = B_T \tan(\phi). \quad (16.6)$$

En particular, para nuestro experimento el campo magnético de prueba B_a estará dado por el campo producido por un aro donde se enrolla N veces un cable, es decir, $B_a = B_{aro}$, con

$$B_{aro} = N \frac{\mu_0 I}{2R}, \quad (16.7)$$

donde R es el radio del aro e I la corriente que pasa por él.

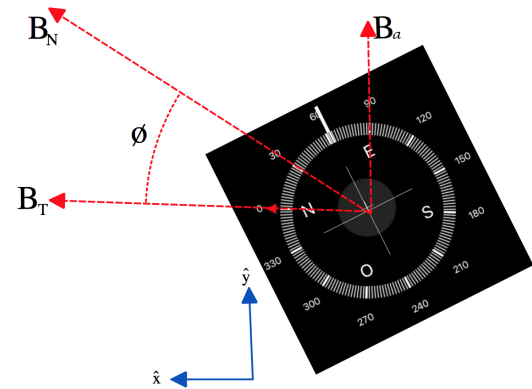


Figura 16.4: El norte de la brújula apunta en la dirección del campo magnético neto B_N . Durante el experimento se cambiará la magnitud de B_a y así el ángulo ϕ .

Precauciones


⚠ Advertencia: Nunca supere una corriente de 1 A en la fuente mientras use el sensor de energía.

⚠ Advertencia: Manipule los cables de la fuente cuando esté apagada.

Nota: Para este experimento se usará inicialmente el software ‘Vernier Graphical Analysis’. Para que éste reconozca los sensores NO puede tener abierto el software ‘LoggerPro’. Del mismo modo, para que ‘LoggerPro’ reconozca los sensores, antes de iniciar el software debe haber cerrado previamente ‘Graphical Analysis’.

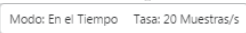
Procedimiento

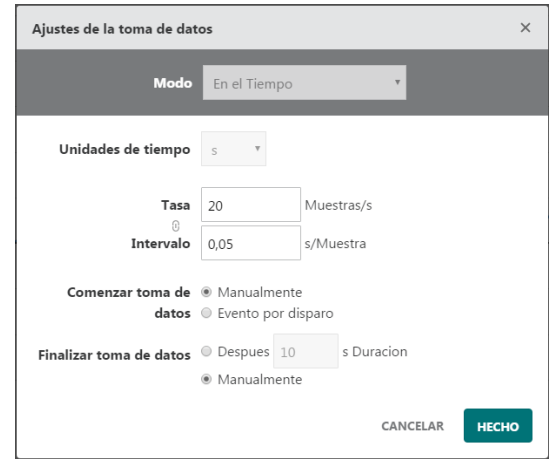
1. Campo magnético de un solenoide y permeabilidad magnética μ_0

- * Localice la punta del sensor de modo que los pequeños agujeros marcados Y, Z estén en el centro del solenoide, como se ilustra en la figura 16.1. Para ello manipule las nueces del soporte universal que tiene el sensor.
- * Abra Vernier Graphical Analysis. Verifique que el sensor de campo magnético esté conectado y el software lo esté reconociendo.
- * En la parte inferior derecha de la pantalla, ubique el botón  y oprímalo. Se abrirá una ventana con los sensores conectados a la interfaz. Seleccione **CANALES DE SENSOR** y seleccione solo el eje X del sensor de campo magnético. Presione el botón **HECHO** en la parte inferior cuando finalice.

Dispositivos conectados


-  GDX-3MG 011002Z2 ⓘ
- ▼ **CANALES DE SENSOR** X magnetic field 130mT
- ☐ X magnetic field
 - ☐ Y magnetic field
 - ☐ Z magnetic field
 - ☒ X magnetic field 130mT
 - ☐ Y magnetic field 130mT
 - ☐ Z magnetic field 130mT

- * Usando el botón en la parte inferior izquierda de la interfaz que dice **Modo** , puede configurar el modo de adquisición de datos: por tiempo o por evento. Escoja hacerlo por tiempo.



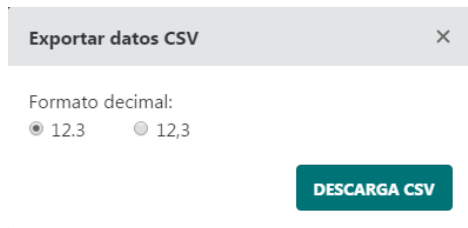
- * Ahora debe calibrar el cero del sensor de campo magnético. Para esto, aleje hasta donde sea posible cualquier dispositivo electrónico del sensor. Oprima el botón que dice **Campo magnético X 130mT** en la parte inferior derecha de la pantalla y oprima **Cero**. Vuelva a oprimir ese botón y cambie las unidades de *mT* (miliTeslas), de modo que se puedan apreciar mejor los cambios en el campo.



- * En la parte superior derecha oprima el botón  y escoja **1 gráfica**. Verifique que el eje vertical de la gráfica corresponda al campo magnético en X.
- * Ya está listo para tomar datos. Encienda la fuente. El botón del display configurarlo en **Amps**. Manteniendo la perilla de corriente en lo mínimo, gire la perilla de voltaje en sentido de las manecillas del reloj hasta el final. Lentamente gire la perilla de la corriente sin excederse de 0.8 A.
- * En la parte superior presione el botón **TOMAR DATOS**. Cuando finalice oprima el botón **PARAR**.
- * Para exportar los datos, oprima el botón de la esquina superior izquierda, y del desplegable que aparece escoja la opción **Exportar**.



Seleccione luego la opción de guardar csv con un punto como separador decimal (12.3), para facilitar la labor de importar en el software 'LoggerPro'.




Nota: el software 'Graphical Analysis' exporta todas las tomas de datos que haya realizado en la sesión, dejando la última toma como la última columna. Si desea que solo exporte 1 toma de datos, cierre y abra el software, configure su software, haga solo 1 toma, y exporte.



- * Cierre 'Graphical Analysis'. Abra LoggerPro, importe los datos y proceda con la primera parte de análisis cuantitativo.

2. Medición de la magnitud del campo magnético terrestre


- * Abra LoggerPro. Verifique que el sensor de energía esté conectado y el software lo esté reconociendo.
- * Ubique la brújula en la mitad del aro como se muestra en la figura 16.2.

Orienté el aro tal que la aguja magnética de la brújula (norte-sur) quede sobre el plano del aro.

- * Cuente el número de vueltas que el cable rodea el aro. Registre el número en su respectivo cuadro de texto, N_{aro} . Además, mida el radio del aro y regístrelo en el cuadro de texto L_{aro} .
- * Para iniciar la adquisición de datos, primero configuramos los sensores oprimiendo el botón , en modo **Eventos con entrada** e introducimos como parámetro de entrada el ángulo variable, ϕ . De este modo el ángulo se ingresa manualmente en cada medición y automáticamente LoggerPro almacena la corriente.

- * Para iniciar la adquisición de los datos, oprima el botón **Tomar datos**, . Luego comience subiendo la corriente hasta que observe que la brújula ha girado 5° desde su posición anterior. Oprima el botón  **conservar** y registre el valor de ángulo θ . Repita el proceso de aumentar la corriente a medida que va aumentando el valor del ángulo en pasos de 5° . Finalice la medición cuando la corriente alcance un valor de 800 mA.

⚠ Advertencia: Es importante que la corriente no supere en ningún instante el valor de 1 A.

- * Termine la toma de datos con el botón .
- * Al finalizar disminuya las dos perillas al mínimo y apague la fuente.

Análisis cualitativo

- * Si se desea construir un dispositivo que cancele el campo magnético externo usando solenoides, ¿cuántos solenoides son necesarios para cancelar el campo magnético externo? ¿Qué aplicaciones tiene el poder cancelar el campo magnético externo?
- * ¿Cómo es el comportamiento de la brújula al aumentar la corriente en el alambre? Explique.
- * En el procedimiento experimental se pide ubicar la brújula en el centro del aro, ¿por qué es esto conveniente?
- * ¿Qué efecto tendría aumentar el número de vueltas del aro? ¿Cómo cambiaría la gráfica B_a vs. I ?
- * ¿Qué efecto tendría intercambiar los cables conectados a la fuente en el campo magnético producido por el aro?
- * ¿Qué efecto tendría en el experimento que el campo del aro no se genere de forma perpendicular al campo magnético terrestre?

Análisis cuantitativo

1. Campo magnético de un solenoide y permeabilidad magnética μ_0

- * Realizar una gráfica de campo magnético del solenoide contra corriente.
- * Realizar la regresión que mejor se ajuste al comportamiento.
- * El número de vueltas del solenoide está reportado debajo de las terminales para los cables. El número está expresado en Wdg; 1Wdg=1vuelta.

- * Mida la longitud del solenoide y regístrela en el cuadro de texto `L_solen`.
- * De los parámetros experimentales obtenidos de la regresión, calcule la permeabilidad magnética, μ_0 .
- * Compare el valor obtenido de la permeabilidad magnética con el valor teórico $\mu_0^{teo} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}$.

2. Medición de la magnitud del campo magnético terrestre

- * Introduzca una columna calculada donde calcule el valor del campo magnético, `B_a`, producido por el aro según la ecuación (16.7).
- * Realice la gráfica de `B_a` contra la tangente del ángulo ϕ . (¿Por qué?)
- * De la gráfica y basado en la teoría, realice una regresión lineal.
- * De los datos obtenidos de la regresión, obtener el valor experimental del campo magnético terrestre junto con su incertidumbre.
- * Compare el intervalo obtenido con el valor teórico, $B_T = 27\mu\text{T}$ y determine si obtuvo precisión y/o exactitud en sus medidas.