

Práctica 8

Medida del campo magnético terrestre

8.1 Objetivo

El objetivo de esta práctica es medir el valor del campo magnético terrestre. Para ello se emplea un campo magnético de magnitud y dirección conocidas, que se superpone al campo terrestre (desconocido). La práctica permite variar la intensidad del campo prueba para obtener la intensidad de la componente horizontal del campo magnético terrestre. La componente vertical es también calculada.

8.2 Material

La Fig. 8.1 muestra el dispositivo experimental, que consta de los siguientes elementos:

- Un par de bobinas de Helmholtz, con radio 20cm y 154 espiras cada una.
- Una fuente de tensión continua.
- Un polímetro digital.
- Un reóstato o resistencia variable.
- Una brújula.
- Una sonda Hall axial.
- Un teslametro, que permite medir campos magnéticos.

Las bobinas de Helmholtz están conectadas en serie entre sí, y a una fuente de tensión continua, a través de un reóstato. En el circuito conectaremos también un polímetro en serie (en modo amperímetro).

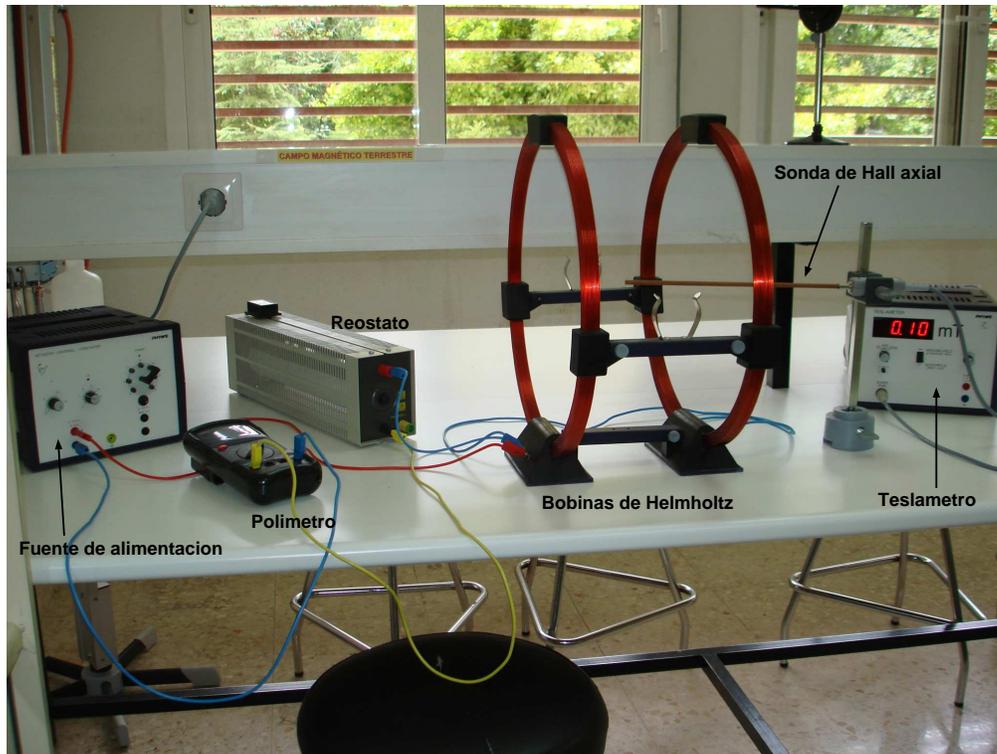


Figura 8.1

8.3 Fundamento e introducción

8.3.1 Bobinas de Helmholtz

Un par de bobinas de Helmholtz es un dispositivo formado por dos bobinas circulares idénticas situadas a lo largo de un mismo eje (el eje de simetría de éstas), por las que circula la misma intensidad de corriente eléctrica. Usando la ley de Biot y Savart, puede demostrarse que el campo magnético (\vec{B}_H) generado por un par de bobinas de Helmholtz a lo largo del eje de las bobinas viene dado por:

$$\vec{B}_H = (B_H)_z \vec{k} = \frac{N\mu_0 R^2 I_H}{2} \times \left(\frac{1}{\left(\left(\frac{d}{2} + z\right)^2 + R^2\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left(\left(\frac{d}{2} - z\right)^2 + R^2\right)^{3/2}} \right) \vec{k} \quad (8.1)$$

donde N y R son el número de espiras y radio de las bobinas respectivamente, d la separación entre las bobinas, I_H la intensidad de corriente eléctrica que circula por las éstas, μ_0 es la constante de permeabilidad del vacío, z es la distancia sobre el eje de las bobinas tomando como origen el centro de las mismas (ver Fig. 8.2), y \vec{k} un vector unitario en el eje z . En particular, en el punto medio de las bobinas ($z=0$), el campo magnético generado viene dado por:

$$\vec{B}_H = (B_H)_z \vec{k} = \frac{N\mu_0 R^2}{\left(\left(\frac{d}{2}\right)^2 + R^2\right)^{3/2}} \times I_H \vec{k} = K \times I_H \vec{k} \quad (8.2)$$

donde K es una constante. En cualquier caso, las ecuaciones anteriores muestran que en un punto fijo del eje de las bobinas, el campo magnético generado es proporcional a la intensidad de corriente que circula por las bobinas. La constante de proporcionalidad K (Ec. 8.2) dependerá sólo de las características de las bobinas y de la distancia entre éstas.

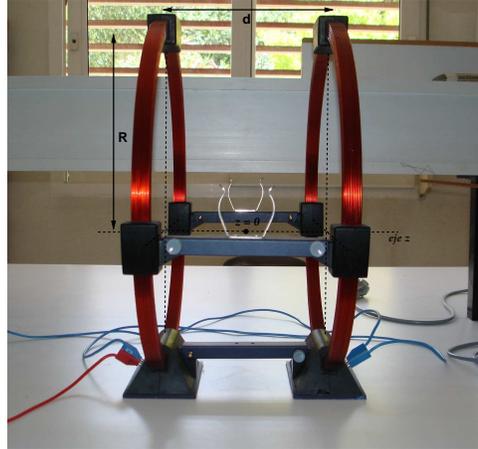


Figura 8.2. Bobinas de Helmholtz

8.3.2 Campo magnético terrestre

El campo magnético terrestre (desde la superficie de la Tierra y hasta distancia de unos 5 veces el radio de la Tierra) corresponde aproximadamente al campo que generaría un dipolo magnético situado en el centro de la Tierra. La Fig. 8.3 muestra un diagrama simplificado del campo magnético terrestre.

Como puede apreciarse en la Fig. 8.3b, para una latitud geográfica (λ) determinada, el vector campo magnético puede descomponerse en su componente tangente a la superficie (o componente horizontal, $(B_T)_h$), que apunta siempre al Norte, y su componente vertical, $(B_T)_v$, que en el hemisferio norte está dirigida hacia el centro de la Tierra, y a la inversa en el sur. El ángulo que forma la dirección del vector campo magnético con la horizontal de un lugar, se denomina *ángulo de inclinación*.

8.4 Realización

1. Campo magnético de las bobinas de Helmholtz en el punto central.

En la primera parte de la práctica, vamos a comprobar que el campo magnético en el punto central de las bobinas Helmholtz ($z = 0$ en el eje de simetría de las bobinas) viene dado por la Ec. 8.2 y calcularemos el valor de la constante K . Para ello mediremos el campo magnético generado (B_H) para un rango de valores de intensidad de corriente (I_H) que haremos circular por las bobinas.

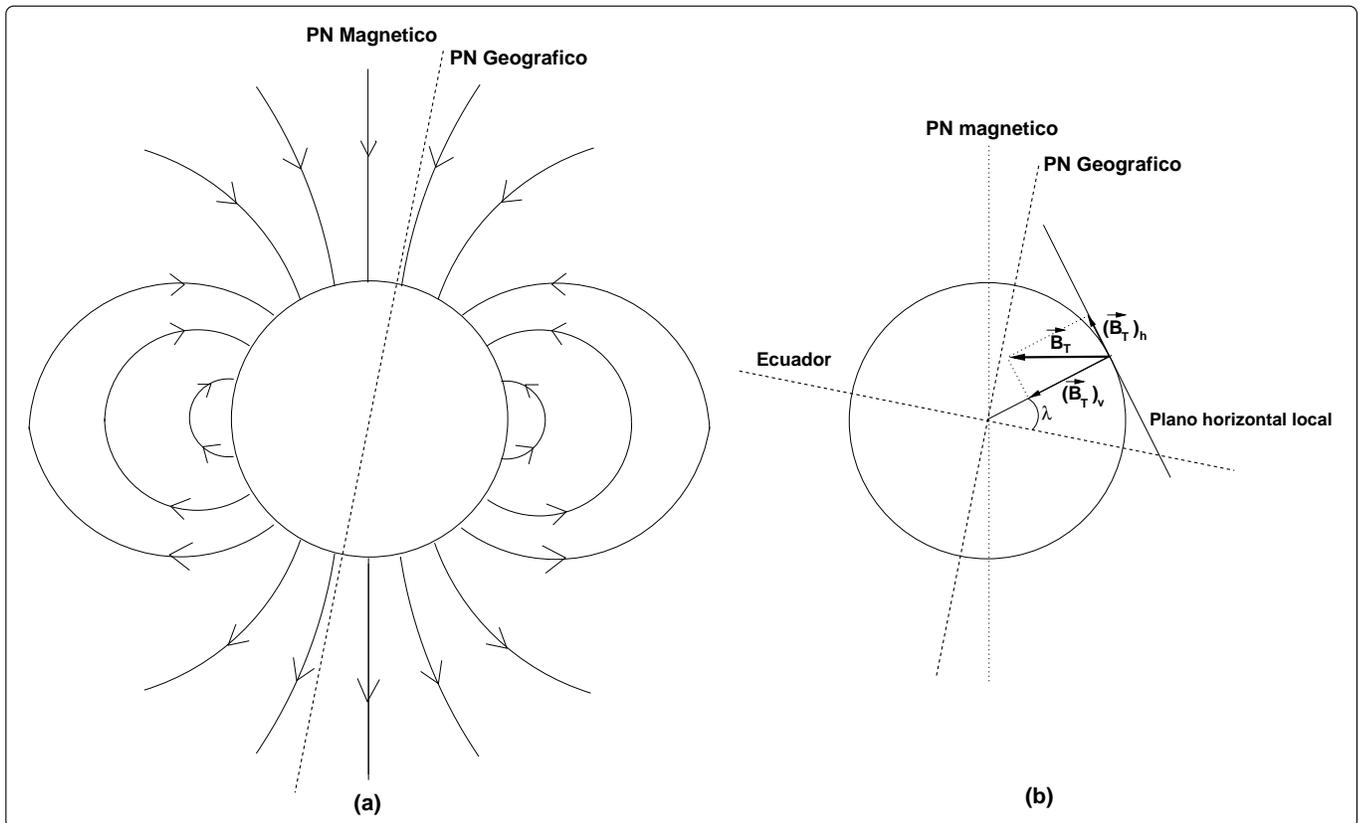


Figura 8.3. (a) Esquema simplificado del campo magnético terrestre. (b) descomposición del campo magnético terrestre en un lugar de latitud λ , en sus componentes horizontal, $(B_T)_h$, y vertical, $(B_T)_v$.

- Pasos previos a la obtención de las medidas:
 - (a) Encender el teslametro (interruptor en su parte trasera) y asegurarse de que ha estado encendido durante al menos ~ 10 minutos antes de comenzar las medidas o el ajuste del punto cero (descrito abajo).
 - (b) Asegurar que la fuente de alimentación está limitada a máx. 1.5 A. Para ello mover si fuese necesario la rueda de la derecha, etiquetada con 'A'
 - (c) Poner el voltaje de la fuente de alimentación (rueda de la izquierda, etiquetada con 'V') al máximo.
 - (d) Poner el reóstato a la máxima resistencia. Para ello alejar el mando superior de las clavijas de conexión.
- Colocar la punta de la sonda Hall en el centro de las bobinas. La sonda Hall axial mide componentes de campos magnéticos orientados en dirección paralela al soporte de la sonda. Por ello, haciendo uso de los soportes disponibles, hay que colocar la sonda de modo que la punta esté situada en el punto $z = 0$ (Fig. 8.2), y de modo que la sonda sea paralela al eje de simetría de las bobinas (ver Fig. 8.1).
- Poner polímetro en modo amperímetro: colocar una clavija de los cables de conexión en el terminal etiquetado *COM*, y la otra en el etiquetado con *10 A*, para proteger

Para realizar las medidas:

- Apagar la fuente de alimentación para asegurar que no circula corriente por las bobinas (y asegurar por tanto que $B_H=0$).
- Colocar la brújula en la zona central de las bobinas, de modo que el centro de la brújula esté aproximadamente situado en el centro de las bobinas (hacer uso del tornillo del soporte para regular la altura de la brújula si fuese necesario).
- Girar la brújula, de modo que la dirección N-S que indica la aguja de la brújula coincida con la dirección 0-90° en la escala graduada. Desplazar ligeramente la aguja de su posición de equilibrio un par de veces para asegurar que la dirección N-S se ha determinado correctamente.
- Medir el ángulo ϕ . ϕ es el ángulo entre la dirección N-S y el eje del par de bobinas de Helmholtz, y corresponde al máximo ángulo de deflexión de la aguja. Encender la fuente de alimentación y aumentar la intensidad que circula por las bobinas (mediante control del reóstato) hasta que el ángulo de deflexión alcance su valor máximo. Anotarlo junto con su error correspondiente.
- Poner el voltaje en 1V y la intensidad a 0.5A en la fuente de alimentación. Actuando sobre el reóstato, ir aumentando la intensidad que circula por las bobinas desde cero hasta aproximadamente 0.1A. Para cada valor de la intensidad, medir el ángulo de deflexión α . Anotar las medidas en una tabla, y calcular $(B_H)_z$ y $\sin(\phi - \alpha)/\sin \alpha$ y sus correspondientes errores.

$I_H \pm \Delta I_H$ (A)	$\alpha \pm \Delta \alpha$ (°)	$(B_H)_z \pm \Delta(B_H)_z$ (mT)	$\frac{\sin \alpha}{\sin(\phi - \alpha)} \pm \Delta\left(\frac{\sin \alpha}{\sin(\phi - \alpha)}\right)$

- Representar $(B_H)_z$ (eje y) frente a $\sin \alpha/\sin(\phi - \alpha)$ (eje x) con sus correspondientes barras de error. Haciendo uso de la Ec. 8.4, calcular a partir de la representación gráfica la componente horizontal del campo magnético $(B_T)_h$ en Granada.

3. Medida de la componente vertical del campo magnético.

La Fig. 8.4 muestra las componentes vertical, $(B_T)_v$, y horizontal, $(B_T)_h$, del campo magnético terrestre. Podemos apreciar, que usando trigonometría básica, la componente vertical puede obtenerse a partir de la horizontal una vez conocido el ángulo θ o ángulo de inclinación del campo magnético.

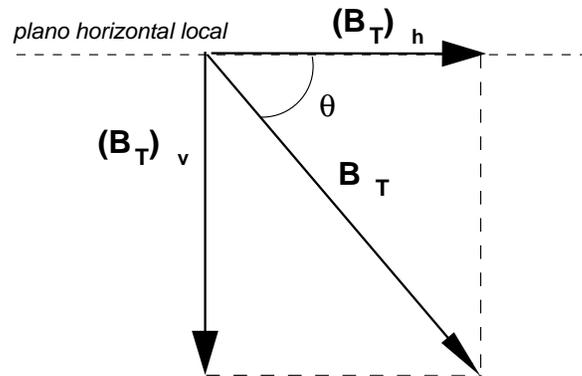


Figura 8.4

$$(B_T)_v = (B_T)_h \tan \theta \quad (8.5)$$

- Apagar la fuente de alimentación.
- Girar la brújula en su soporte, de modo que el plano de ésta sea ahora perpendicular al plano horizontal, con el eje de la brújula perpendicular a la dirección N-S.
- La aguja indicará ahora la dirección del vector campo magnético terrestre (\vec{B}_T). Anotar el ángulo θ o ángulo de inclinación que forma la aguja de la brújula con la horizontal.
- Usando la Ec. 8.5, calcular el valor de la componente vertical del campo magnético terrestre y el campo total en Granada con sus respectivos errores.
- Comparar los resultados obtenidos con el valor del campo magnético en Granada (ver <http://www.ngdc.noaa.gov/geomagmodels/IGRFWMM.jsp>). Comentar los resultados y las causas de posibles diferencias. La coordenadas de Granada son: Lat.: 37° 10' 41" N, Long.: 3° 36' 3" O.