



- Campo Magnético Terrestre
- Campo Magnético creado por las Bobinas de Helmholtz
- Superposición de Campos Magnéticos

::INTRODUCCIÓN [11.1]

La existencia del campo magnético terrestre es conocida desde hace siglos por la humanidad debido a la tendencia de orientar trozos de magnetita naturales, es decir, que la Tierra posee un campo magnético. Éste ha cambiado de dirección varias veces en el último millón de años y su valor estimado para un punto dado depende del lugar donde se mida y de la composición del terreno. Se supone que el origen de éste campo es el movimiento de la masa fluida conductora que constituye la parte externa del núcleo de la Tierra asociado a las corrientes de circulación en las diferentes capas líquidas de su interior y no a una imantación constante de rocas; el fluido conductor al estar en movimiento e interactuar con el mismo campo magnético permite que **el núcleo** se comporte como si fuera una **dinamo de Faraday**. El polo sur magnético queda en un lugar en el norte del Canadá y no coincide con el norte geográfico de la Tierra. Allí las líneas de campo magnético son perpendiculares y en el Ecuador son paralelas a la superficie terrestre.

La intensidad del campo magnético principal tiene un valor que oscila alrededor de 30.000 nanoteslas en el Ecuador.

Recopilaciones históricas informan que en el año 1.530, Robert Norman, constructor de brújulas magnéticas, descubrió que una aguja imanada adherida a un corcho y puesta sobre la superficie del agua se inclinaba un determinado ángulo con respecto a la horizontal, formando el ángulo de **inclinación magnética**. De otra parte, se le atribuye a Cristóbal Colón el descubrimiento del **ángulo de declinación**, el cual consiste en la ausencia de coincidencia entre el polo norte geográfico y el sur magnético, además de que su valor varía con la latitud. El 13 de septiembre de 1.492 Colón reportó una línea sin declinación (raya agónica) localizada a los dos y medio grados al este de la isla de Corvo en las Azores.

Una descripción de los vectores geomagnéticos terrestres se observa en la figura 12.1, donde se definen y reconocen los ángulos de inclinación y declinación, además la magnitud de la intensidad del campo magnético terrestre está representada por el vector B_T en el sistema tridimensional de ejes X, Y, Z y cuyas direcciones, con las componentes de dicho vector, coinciden con sus orientaciones así:

- El eje $-X$, con el meridiano local.
- El eje Y , con el paralelo geográfico local.
- El eje $-Z$, con la componente vertical descendente, del campo magnético.

El ángulo α formado entre el **meridiano local** y la componente horizontal del campo magnético terrestre B_{TH} se denomina **ángulo de declinación** y el ángulo Φ que resulta entre el plano horizontal y el campo terrestre B_T se define como **ángulo de inclinación**.

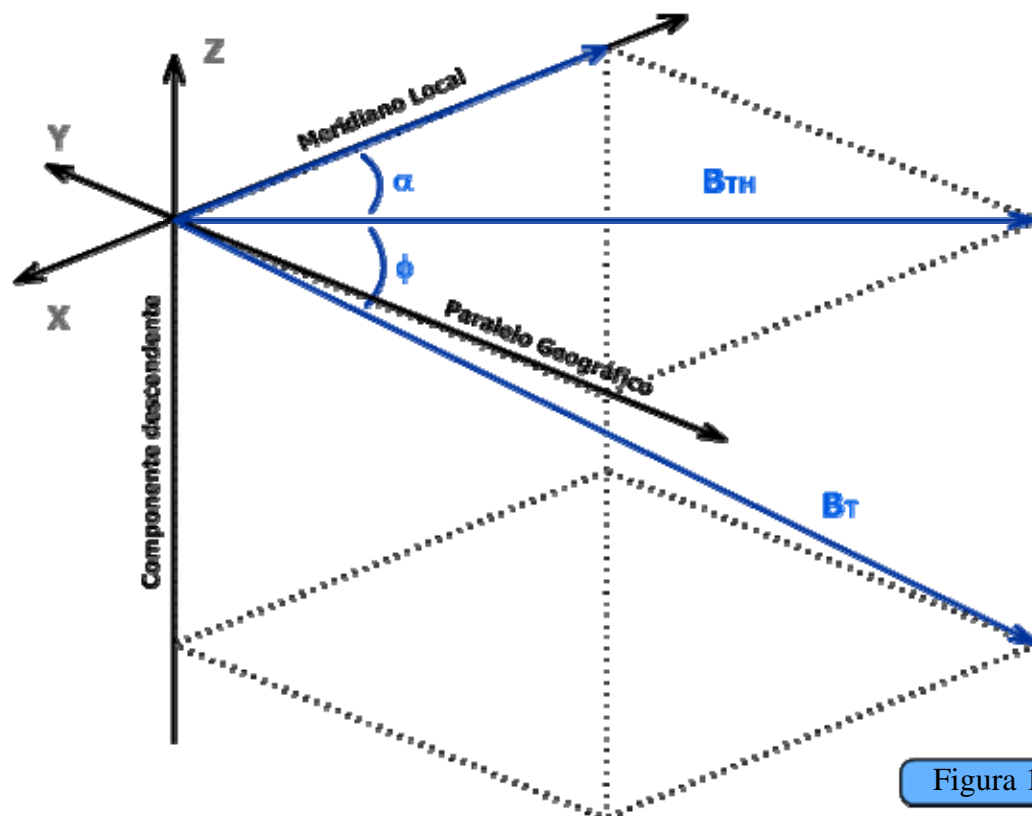


Figura 11.1

Sistema tridimensional con los respectivos meridianos, campos magnéticos y ángulos de inclinación y declinación.

:: OBJETIVOS [11.2]

- Medir la magnitud del campo magnético terrestre en la Universidad Tecnológica de Pereira B_T .
- Medir el ángulo de inclinación Φ del campo magnético terrestre con respecto al plano horizontal.
- Identificar y diferenciar campos magnéticos permanentes, de aquellos generados por la circulación de una corriente eléctrica a través de una bobina.

- Cálculo de la componente horizontal del campo magnético terrestre B_{TH} .
- Cálculo del campo magnético creado con las bobinas de Helmholtz B_B .

:: PREINFORME [11.3]

- A partir de la ley de Biot-Savart determine la expresión para calcular el campo magnético a una distancia X sobre el eje de una espira circular de radio R , por donde circula una corriente I .
- De la expresión anterior calcule el campo magnético en el punto medio (sobre el eje) de dos bobinas de N vueltas cada una, separadas entre sí una distancia R .
- ¿Cuál es un valor promedio del campo magnético terrestre?. Cite su fuente de información.

:: EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS [11.4]

- Brújula de tangentes.
- Brújula con escala en grados.
- Bobinas de Helmholtz.
- Fuente de corriente continua (batería de 6.0 voltios).
- Amperímetro análogo Leybold.
- Reóstato variable de $10\text{ k}\Omega$.
- Cables de conexión.

:: FUNDAMENTO TEÓRICO [11.5]

Dos bobinas iguales ubicadas paralelamente y separadas una distancia igual al radio medio de cada bobina, producen un campo magnético uniforme B_B en pequeñas regiones del espacio próximas a su centro sobre el eje que las une, y son conocidas como las **bobinas de Helmholtz** (en honor a Hermann Von Helmholtz) y la magnitud del campo magnético creado por las bobinas se calcula con la ecuación:

$$B_B = \frac{8NI\mu_0}{5R\sqrt{5}} \quad (11.1)$$

donde: N = número de vueltas ó espiras de cada bobina.

I = intensidad de corriente que circula a través de las bobinas.

R = radio medio de las bobinas.

μ_0 = permeabilidad magnética, su valor es $4\pi \times 10^{-7}\text{ m kg C}^{-2}$

Para el cálculo del campo magnético de la tierra \mathbf{B}_T , se usa el principio de superposición, es decir, el campo magnético resultante en cierta localidad es la suma vectorial de los campos existentes en dicha región. En este caso se genera un campo con las bobinas de Helmholtz (\mathbf{B}_B) perpendicular a la orientación natural de la brújula \mathbf{B}_{TH} , de tal manera que la aguja se deflexará un ángulo Θ , dependiendo de la magnitud de \mathbf{B}_B . Así tan Θ será la razón de \mathbf{B}_B y \mathbf{B}_{TH} . (Ver figura 11.2).

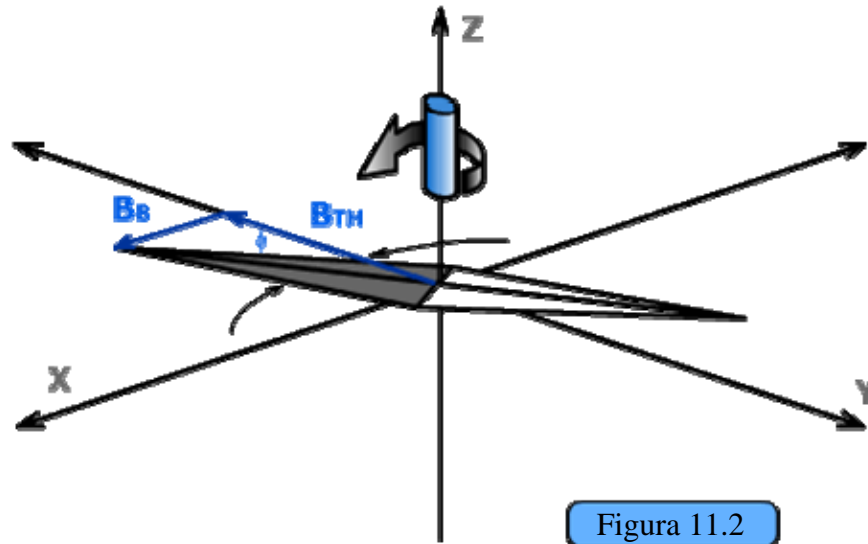


Figura 11.2

Deflexión de la brújula un ángulo Θ por la presencia de un campo magnético de las bobinas

Desde la Universidad Tecnológica de Pereira, inicialmente la brújula se orienta en forma natural en la dirección del eje $-Y$ y dirige su norte hacia el cerro del Nudo, se reorienta por la presencia del campo magnético generado por las bobinas, rotando sobre el eje Z . El sentido de rotación puede ser horario o antihorario y depende de la dirección de circulación de la corriente eléctrica, a través de las bobinas.

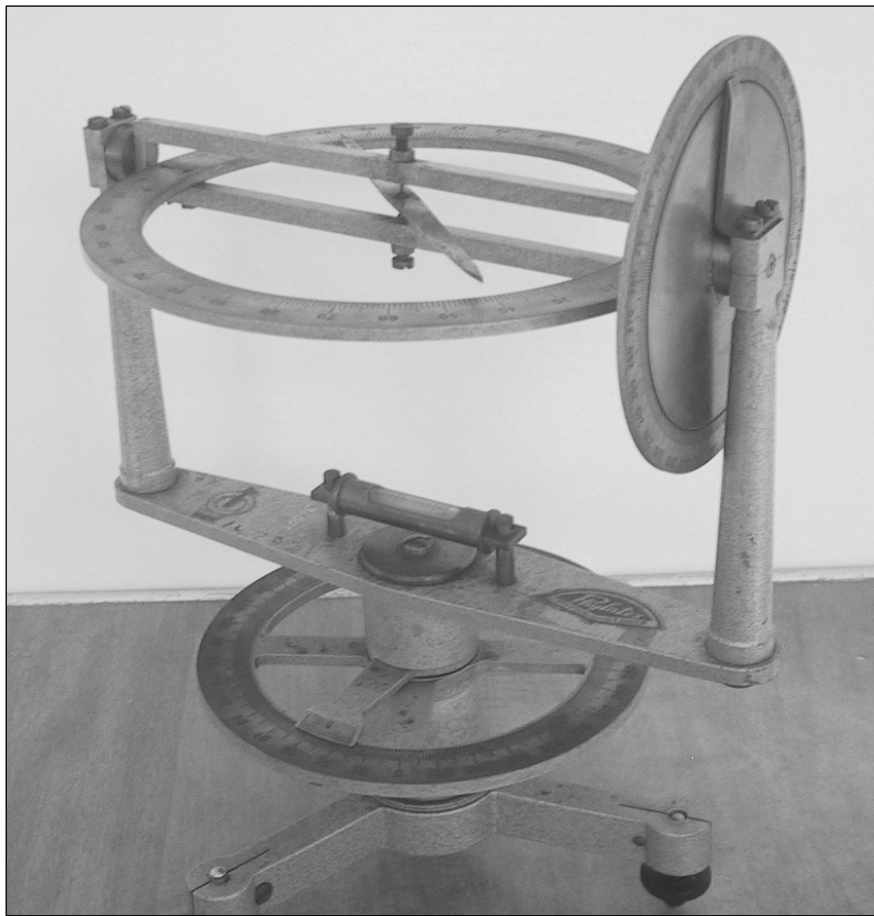
:: PROCEDIMIENTO [11.6]

- Con la Brújula de tangentes ubique cuidadosamente, como se ilustra en la Figura 11.3 el sur magnético de la Tierra. Tenga el cuidado de nivelar previamente la brújula. Ahora gire su plano horizontal 90° con respecto al eje norte-sur, e identifique el **ángulo de inclinación** Φ_1 que marca la aguja de la brújula en el plano vertical; consigne su dato en la tabla 11.1. Regrese la brújula a la posición original y gire éste plano 90° en sentido contrario para hallar Φ' y registre su valor en la tabla.
- Repita el proceso anterior para dos lugares adicionales diferentes dentro y/o fuera del laboratorio sugeridos por el profesor y complete la tabla 11.1.

$\Phi_1 =$	$\Phi_2 =$	$\Phi_3 =$
$\Phi'_1 =$	$\Phi'_2 =$	$\Phi'_3 =$

Tabla 11.1

Con los datos de la tabla calcule el **ángulo de inclinación** promedio del campo magnético terrestre $\Phi' =$ _____



Brújula de Tangentes

Figura 11.3

¿De las anteriores medidas, cual es el valor que mejor representa el ángulo de inclinación del campo magnético Φ en Pereira?

- c. Tome la brújula con escala en grados de tal forma que el sur o norte coincida con la marca 90° del disco ó plano móvil de la brújula.
- d. Sitúe la brújula cuidadosamente en el centro de las bobinas de Helmholtz como se ilustra en la figura 12.4, de manera que el eje norte-sur de la brújula forme un ángulo de 90° con el campo generado por las bobinas.

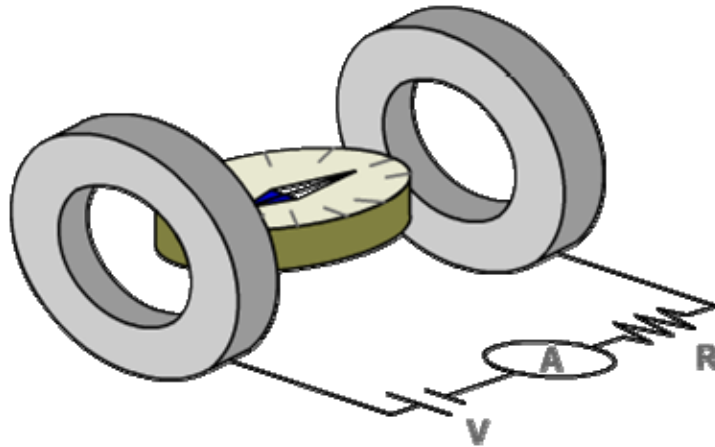
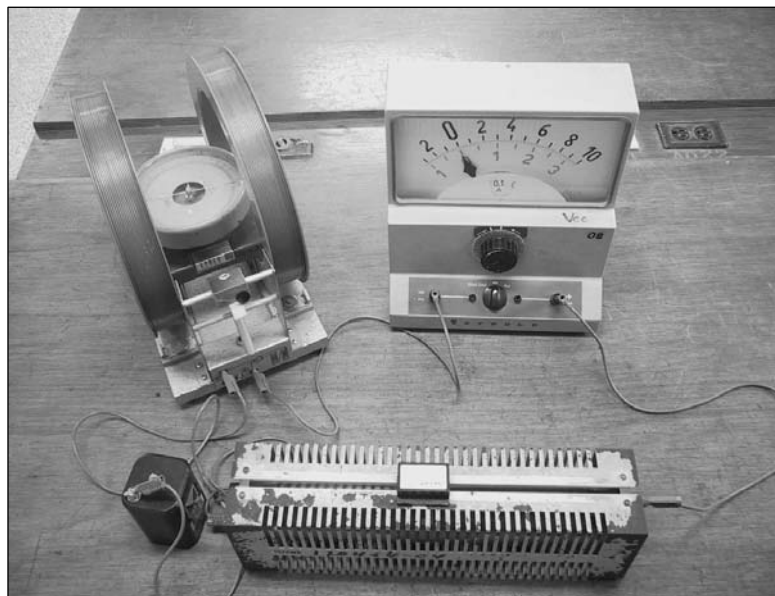


Figura 11.4

- e. Conecte en serie el reóstato variable de $10\text{ k}\Omega$, el amperímetro Leybold, las bobinas de Helmholtz y la fuente de corriente continua (ver figura 11.4).

Nota: El reóstato se conecta inicialmente con el cursor en la posición correspondiente a su máximo valor de resistencia. **Solicite el visto bueno de su profesor ó el monitor.**



Montaje del circuito con las bobinas de Helmholtz.

Figura 11.5

- f. Energice el circuito y varíe lentamente la corriente en las bobinas con el cursor del reóstato, desde un valor cercano de 10 mA hasta un máximo de 120 mA , tome 10

valores distintos de corriente y sus respectivos ángulos de deflección, consigne su información en la tabla 11.2 y lleve el amperímetro a cero.

La aguja de la brújula vista por encima puede girar con sentido horario o antihorario.

- g. Invierta la polaridad de la fuente (la dirección de la corriente eléctrica); repita el paso anterior para completar la tabla 11.2 (consulte si tiene dudas).
- h. Determine el valor del error en: la medición de la corriente I , la medición del ángulo Θ y el cálculo del campo magnético de la bobina B_B .

I (mA)		B_B (T)		Θ		$Tan \Theta$	
Deflección		Deflección		Deflección		Deflección	
Horario	Antihora	Horario	Antihora	Horario	Antihora	Horario	Antihora

Tabla 11.2

- i. Lea la información que aparece en la chapa de características de las bobinas y consigne los siguientes valores:

Número de espiras por bobina N = _____
 Radio interno de la bobina R_{int} = _____

Radio externo de la bobina R_{ext} = _____
 Radio medio de la bobina R = _____

Al concluir la practica de laboratorio, desconecte todos los cables y apague los equipos usados, coloque escalas altas o de protección en los aparatos de medida.

:: ANÁLISIS, GRÁFICAS Y PREGUNTAS [11.7]

- a. Con cada valor de intensidad de corriente obtenida calcule el campo magnético de la bobina; emplee la ecuación 11.1 y llene la tabla 11.2.
- b. Grafique $\tan \Theta$ vs. B_B en papel milimetrado. ¿ Si las variables son directamente proporcionales calcule la pendiente de la grafica construida y exprese su significado.
- c. Con la información del literal anterior deduzca el valor del campo magnético terrestre B_T , compárelo con el reportado en el preinforme, explique las diferencias ó similitudes.
- d. Construya un sistema tridimensional $X Y Z$ y en él represente los vectores B_T , B_B , B_{TH} y sus planos correspondientes.
- e. Con la información del literal h del procedimiento, ¿Calcule el error total en el calculo del campo magnético de la Tierra?
- f. Exprese sus conclusiones y aplicaciones.