

31 de Mayo, 2024

Ciudad de Guatemala, Guatemala

# Medición del campo magnético terrestre con el uso de un magnetómetro tangencial

**CORDÓN SALGUERO, LUIS ALBERTO**

Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades.

Departamento de Física, Física Experimental

Instructor de laboratorio: Lic. Irene Aguilar

**ABSTRACT** El estudio del campo magnético terrestre ha sido de gran importancia en los últimos años debido a la presencia de tormentas solares que afectan a este y a las funciones que dependen de él. En este informe, se presenta un experimento en el cual, haciendo uso de una bobina, una brújula, una fuente de alimentación y una resistencia, se obtiene el campo magnético terrestre en la ubicación de la Universidad del Valle de Guatemala (Latitud: 14.6017° N, Longitud: -90.4878° O). Se determinó que el valor de este fue de  $35.4 \pm 0.9 \mu T$ , obteniendo así un porcentaje de error del 4.07 % al compararlo con el valor teórico. Las principales fuentes de error se debieron a las dimensiones de la bobina, el embobinado y la poca estabilidad del sistema, por lo que se recomienda el uso de una máquina enrolladora de bobinas y un condensador variable para obtener mejores resultados.

**INDEX TERMS** Ley de Biot-Savart, Circuito RL, Aguja magnética

## I. MARCO CONCEPTUAL

### I-A. INTRODUCCIÓN

El campo magnético terrestre ha sido objeto de estudio reciente, especialmente debido a las anómalas tormentas solares que han afectado nuestro planeta. Este campo magnético nos protege de dichas tormentas, por lo que no hay razón para alarmarse. Sin embargo, es importante destacar que su magnitud y dirección no son constantes, ya que pueden variar debido a las mismas tormentas solares. Por ello, su estudio en distintas áreas geográficas y en diferentes épocas del año es de gran interés para campos como las telecomunicaciones, la navegación y la física.

El campo magnético terrestre varía entre  $30 \mu T$  y  $70 \mu T$ . En este informe se propone un experimento práctico para medir el campo magnético terrestre utilizando una bobina, una brújula y equipos electrónicos sencillos. Los resultados obtenidos se compararon con los datos disponibles en la página [magneticdeclination.com](http://magneticdeclination.com) [2]. Este informe se inspiró en el trabajo realizado por Sosa et al. en la Universidad de Guanajuato [3].

### I-B. MODELO TEÓRICO

#### I-B1. Campo Magnético de una Bobina Circular

Se desea calcular la magnitud y dirección del campo magnético  $B$  en el eje de una bobina circular de radio  $R$  y

por la que pasa una corriente  $I$  [1].

Un elemento  $I dl$  de la corriente produce una inducción magnética  $dB$ . Por simetría, la inducción magnética será a través del eje y

$$dB_z = \frac{\mu_0 I dl}{4\pi r^2} \cos(\theta) \quad (1)$$

Entonces, al integrar, teniendo en cuenta que el largo va de 0 a  $R$ , se obtiene:

$$B_z = \frac{\mu_0 I 2\pi R}{4\pi r^2} \cos(\theta) \quad (2)$$

Se sabe por trigonometría que:

$$\cos(\theta) = \frac{R}{r} \quad (3)$$

Ya que

$$r = \sqrt{R^2 + z^2} \quad (4)$$

Entonces, al sustituir (3) y (4) en (2), se obtiene:

$$B_z = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (5)$$

Siendo  $N$  el número de vueltas y  $C$  el número de capas de la bobina, se puede determinar así el campo magnético de la bobina tal que:

$$B_z = \frac{\mu_0 C N I}{2} \frac{R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \quad (6)$$

## I-B2. Medición del Campo Magnético Terrestre

Una manera muy sencilla de medir el campo magnético terrestre  $B_t$  es usando una bobina y una aguja magnética. Sabiendo que una aguja magnética dentro de un campo magnético  $B_b$  se desviará en dirección del campo resultante, y calculando el ángulo  $\theta$  formado por la aguja y el campo magnético terrestre, cuya relación es:

$$\tan(\theta) = \frac{B_b}{B_t} \quad (7)$$

Dado que el valor del campo magnético se deriva de la función tangente, este dispositivo se conoce comúnmente como *magnetómetro tangente* o *magnetómetro tangencial*

### I-C. SUPUESTOS

- La permeabilidad magnética del MDF es la misma que la del vacío.
- Las capas de las bobinas están conectadas en serie.
- La adición de pegamento es mínima y no afecta la permeabilidad magnética ni las dimensiones de la bobina, así como la cinta aislante.

## II. OBJETIVOS - HIPÓTESIS

### II-A. OBJETIVOS

- Diseñar y construir una bobina que permita generar un campo magnético uniforme.
- Obtener la tangente del ángulo en que se desvía la aguja magnética y comparar con el campo magnético generado por la bobina.

### II-B. HIPÓTESIS

- La relación entre el campo magnético generado por la bobina y la tangente del ángulo del desvío de la aguja magnética debe ser lineal con respecto al aumento del voltaje suministrado.

## III. MATERIALES Y MÉTODOS

### III-A. MATERIALES

- 3 planchas MDF de 30x40cm.
- Varillas de madera de 30 cm. de largo
- 50 metros de alambre magnético calibre 28 AWG
- 50 mililitros de pegamento de madera
- Brocha
- Cinta aislante
- 1 Cables lagarto-lagarto
- 2 Cables lagarto-banana
- 1 Resistencia de potencia de 50 ohmios
- 1 Aguja magnética (Brújula)
- Lija
- Fuente de alimentación con capacidad de 0 a 38V BK Precision 1760A

### III-B. METODOLOGÍA

El montaje del experimento comienza cortando 12 anillos de MDF con un diámetro externo de 13.5 cm y un diámetro

interno de 9 cm, utilizando una cortadora láser. Posteriormente, los anillos se pegan uno sobre otro con pegamento de madera, aplicándolo con una brocha previamente humedecida para evitar que el pegamento se seque. Luego, se realiza el embobinado con sumo cuidado, asegurándose de que cada alambre esté bien alineado con el anterior. Pueden ser necesarias hasta dos capas de embobinado, cada una asegurada con cinta aislante. Es crucial dejar un alambre de 1 metro de largo en cada extremo de la bobina. Después, se lijan 5 centímetros en cada extremo para eliminar el esmalte y se coloca cinta aislante detrás del área lijada. A continuación, se monta la base cortando cuatro planchas de MDF con dimensiones específicas<sup>1</sup> y dividiendo seis varillas de madera en seis varillas de 12 cm y seis varillas de 18 cm, que se pegan con pegamento de madera para crear dos bases: una para la bobina y otra para la brújula, asegurando que la brújula quede centrada dentro de la bobina. Luego, se inserta la bobina en la base grande y la base pequeña dentro de esta, colocando la brújula encima de la base pequeña. Es fundamental que tanto la bobina como la brújula estén alineadas en la dirección norte-sur del campo magnético en la ubicación geográfica del experimento. Posteriormente, se conecta un extremo de la bobina a una resistencia usando cables lagarto y el otro extremo directamente a la fuente de alimentación (conexión a tierra). Se procede con las mediciones, comenzando con un voltaje de 1.5 voltios y aumentando en incrementos de 0.1 voltios hasta llegar a 2.5 voltios (esto puede variar según la corriente que la bobina permite). Durante cada medición, se registra el voltaje, la corriente y el ángulo de desviación de la aguja magnética. La corriente se puede medir con la fuente de alimentación, pero si esta no tiene un medidor de corriente, se puede usar un multímetro conectado entre la conexión a tierra y la fuente de alimentación. Es importante mantener la fuente de alimentación encendida durante todo el proceso y no desconectarla entre mediciones.

### III-C. DIAGRAMA

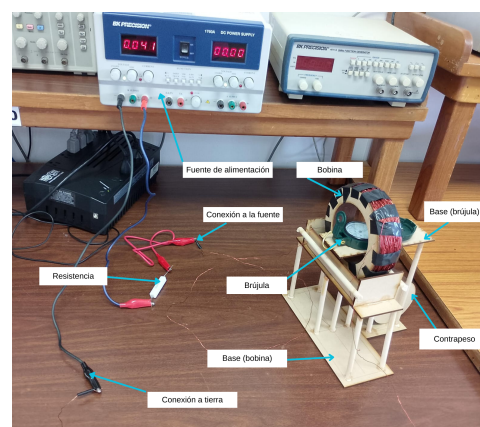


Figura 1: Sistema

<sup>1</sup> <https://drive.google.com/drive/folders/12ZuJ4J0rxn5OBgtGgTfIL6sGyhQp3mD0?usp=sharing>

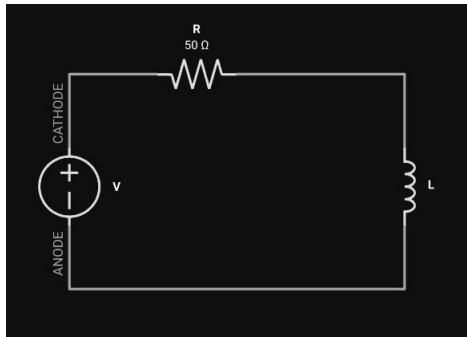


Figura 2: Circuito

### III-D. DATOS CONSTANTES

- Resistencia = 50 ohmios
- Permeabilidad magnética =  $4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}$
- Número de vueltas = 115
- Número de capas = 1.75
- Radio externo de la bobina = 6.75 cm.
- Radio interno de la bobina = 4.5 cm.
- Diámetro del alambre magnético = 0.321 mm.

## IV. RESULTADOS

Campo magnético (microteslas) frente a tangente del ángulo

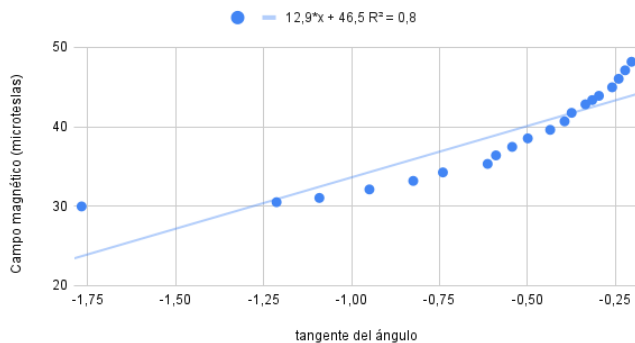


Figura 3:  $B_b$  vs.  $\tan(\theta)$  (20 datos)

Campo magnético (microteslas) frente a tangente del ángulo

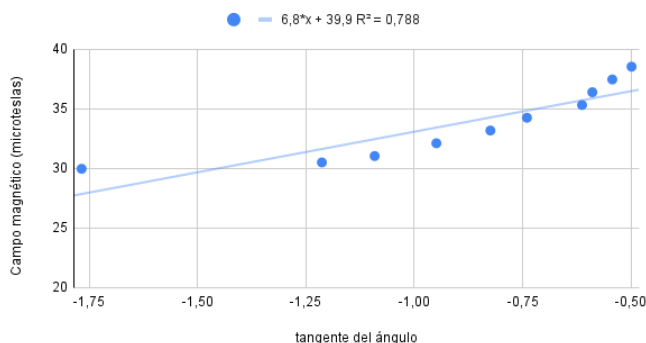


Figura 4:  $B_b$  vs.  $\tan(\theta)$  (Primeros 10 datos)

Campo magnético (microteslas) frente a tangente del ángulo

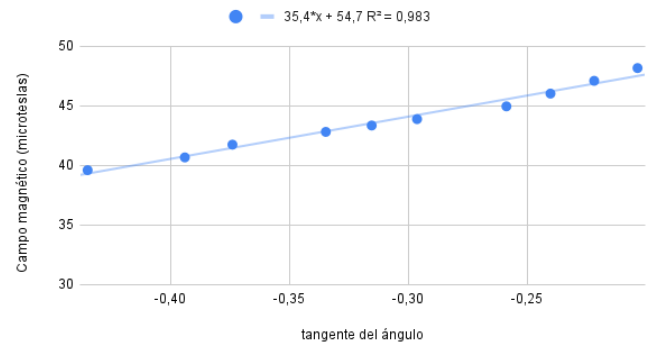


Figura 5:  $B_b$  vs.  $\tan(\theta)$  (Últimos 10 datos)

Voltaje (V)	Corriente (mA)	Ángulo (°)	$B_b(\mu T)$
1.50	27.0	244	28.90
1.55	28.0	241	29.97
1.60	28.5	231	30.51
1.65	29.0	228	31.04
1.70	30.0	224	32.11
1.75	31.0	220	33.18
1.80	32.0	217	34.25
1.85	33.0	212	35.32
1.90	34.0	211	36.39
1.95	35.0	209	37.46
2.00	36.0	207	38.53
2.05	37.0	204	39.61
2.10	38.0	202	40.68
2.15	39.0	201	41.75
2.20	40.0	199	42.82
2.25	40.5	198	43.35
2.30	41.0	197	43.89
2.35	42.0	195	44.96
2.40	43.0	194	46.03
2.45	44.0	193	47.10
2.50	45.0	192	48.17

Tabla 1: Resultados para la corriente, ángulo y campo magnético.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se realizaron tres pruebas para determinar el campo magnético terrestre. En la primera prueba, se varió el voltaje de 0.1V a 3V en incrementos de 0.1V, pero se realizó sin resistencia, lo que resultó en una corriente que osciló entre 50mA y 811mA. Esto generó una desviación cercana a los 180 grados en cada medición, con cambios casi imperceptibles. La gráfica resultante tuvo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.32.

En la segunda prueba, se utilizó una resistencia de 50 ohmios y 10 watts para reducir la corriente. Se varió el voltaje

entre 1.5V y 2.5V en incrementos de 0.1V, obteniendo una corriente que osciló entre 27mA y 45mA. Esta vez, el  $R^2$  fue de 0.746, indicando un rango de corriente adecuado.

En la tercera prueba, se repitió el procedimiento anterior variando el voltaje entre 0.05V y 0.05V, desde 1.55V hasta 2.5V. La corriente varió entre 28mA y 45mA. Se obtuvo un  $R^2$  de 0.8 en las 20 mediciones (figura 3). Sin embargo, al dividir las mediciones en dos grupos, las primeras 10 (1.55V-2V) obtuvieron un  $R^2$  de 0.788 (figura 4), mientras que las últimas 10 (2.05V-2.5V) alcanzaron un  $R^2$  de 0.983 (figura 5). Esto sugiere que el rango adecuado para medir el campo magnético se encuentra en el último intervalo.

La discrepancia entre los resultados de los primeros y últimos 10 datos se debe al tiempo que tarda la bobina en recibir la corriente al encenderse. Las primeras mediciones están más influenciadas por la resistencia, lo que se refleja en la curva inicial de la figura 3 antes de estabilizarse.

El campo magnético terrestre se determinó como la pendiente de la gráfica en la figura 5, siendo de  $35.4 \pm 0.9 \mu T$ . Al compararlo con el valor obtenido en *magneticdeclination.com* ( $36.9 \mu T$ ), se obtiene un error del 4.07 %.

A pesar de no lograr medir la uniformidad del campo magnético generado por la bobina, se cumplió con el objetivo de diseñar y construir una. Se comprobó su linealidad en el rango entre 2.05V y 2.5V, confirmando la hipótesis planteada.

Las fuentes de error principales fueron las dimensiones y el embobinado de la bobina. Se recomienda aumentar el diámetro de la bobina a más de 13.5 cm y utilizar una máquina enrolladora para mejorar la uniformidad del campo. Además, se sugiere cambiar el circuito RL por uno RLC, con un capacitor en serie, para estabilizar la carga y evitar mediciones influenciadas por la resistencia.

## VI. CONCLUSIONES

- El diseño de un circuito RLC con algún condensador variable o un varicap permitiría una mayor estabilidad al sistema, disminuyendo así la diferencia entre los resultados.
- Se observó una relación lineal entre el campo magnético generado por la bobina y la tangente del ángulo en el rango entre 2.05V y 2.5V, obteniendo así un campo magnético terrestre de  $35.4 \pm 0.9 \mu T$ .

## VII. AGRADECIMIENTOS

Agradezco de gran manera al apoyo suministrado por el D-Hive y el departamento de ingeniería electrónica de la Universidad del Valle de Guatemala por el suministro de material y herramientas para la realización de este experimento, así como a los físicos Irene Aguilar, Eduardo Álvarez y el ingeniero Estuardo Mancio, quienes me asesoraron y

apoyaron con la resolución de dudas y capacitación en todo momento. De la misma manera, agradezco a mi padre por su financiación a este proyecto y el de mis estudios, a mis hermanas por acompañarme a conseguir los materiales y realizar el embobinado, y a mi madre, quien en su lucha contra el cáncer nunca ha dejado de apoyarme y enseñarme los beneficios del esfuerzo.

## REFERENCIAS

- [1] Jean E Lorrain y Dale R Corson. *Magnetic fields*. W H Freeman & Co, 1982.
- [2] Magnetic-Declination.com. *What is Magnetic Declination?* <https://www.magnetic-declination.com/what-is-magnetic-declination.php>. Accessed: 2024-05-30. 2024.
- [3] M. Sosa. «A tangent magnetometer to measure the earth magnetic field». En: *Revista Mexicana de Física* 49.4 (ene. de 2003), págs. 379-.

...