

Desafío STEM: Determinación de la Magnitud del Campo Magnético Terrestre en mi Localidad usando una Espira Circular

Objetivos

- Medir experimentalmente la intensidad del campo magnético terrestre en la localidad mediante el uso de una espira circular con corriente.
- Aplicar principios físicos (Ley de Biot-Savart y superposición de campos) para justificar el procedimiento de medición.
- Usar técnicas de linealización y análisis gráfico para validar las relaciones teóricas involucradas.

Conexiones STEM

- **Ciencia:** Aplicación de la Ley de Biot-Savart para estudiar campos magnéticos reales.
- **Tecnología:** Uso de instrumentos como fuentes, brújulas y transportadores.
- **Ingeniería:** Relevancia del control de campos magnéticos en sensores y motores.
- **Matemáticas:** Linealización, funciones trigonométricas y modelado experimental.

Preparación previa del estudiante

Antes del laboratorio, cada grupo debe entregar una síntesis (1 página) sobre:

- Ley de Biot-Savart: expresión, significado físico y aplicaciones.
- Campo magnético en el eje de una espira circular con corriente: derivación y dirección.
- Campo magnético terrestre: componentes, variabilidad y forma de medición.
- Uso de la brújula y transportador para medir θ , el ángulo entre campos.

Resumen teórico guiado

La Ley de Biot-Savart permite calcular el campo magnético generado por una corriente en movimiento. Para un elemento de corriente $d\vec{l}$, que transporta una corriente I , el campo magnético diferencial en un punto a una distancia r viene dado por:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \hat{r}}{r^2}$$

Este campo apunta perpendicular al plano formado por \vec{dl} y el vector de posición \vec{r} , según la regla de la mano derecha.

Cuando se aplica esta ley a una espira circular de radio R , se puede demostrar que el campo magnético total sobre su eje (a una distancia x del centro de la espira) es axial, y su magnitud está dada por:

$$B(x) = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}}$$

Esto implica que el campo disminuye rápidamente al alejarse del centro de la espira, y siempre apunta a lo largo del eje.

En presencia del campo magnético terrestre \vec{B}_T , el campo resultante \vec{B}_R es la suma vectorial de ambos. Si B y B_T son perpendiculares, se cumple:

$$\tan \theta = \frac{B}{B_T} \Rightarrow B = B_T \tan \theta$$

Esto permite determinar B a partir de θ , medido con un transportador o brújula.

Sin embargo, como B depende de x , conviene usar una versión linealizada de la ecuación anterior. Al elevar al cuadrado la inversa de la tangente, y reordenar términos, se llega a:

$$(R^2 + x^2) = \left(\frac{\mu_0 I R^2}{2 B_T} \right)^{2/3} \cot^{2/3} \theta$$

Esto sugiere que una gráfica de $(R^2 + x^2)$ contra $\cot^{2/3} \theta$ debe ser lineal, y su pendiente m permite despejar el valor de B_T :

$$B_T = \frac{\mu_0 I R^2}{2 m^{3/2}}$$

De esta manera, el experimento permite determinar la magnitud del campo magnético terrestre utilizando principios de electromagnetismo clásico, sin necesidad de sensores digitales.

Materiales

- Fuente de corriente DC (hasta 5 A)
- Espira circular de radio 15 cm
- Brújula
- Transportador
- Regla milimetrada

Desarrollo experimental

1. Determine la dirección de \vec{B}_T con la brújula (sin corriente).
2. Oriente la espira de modo que el campo que genere sea perpendicular a \vec{B}_T . Para ello, sitúe la espira en posición vertical (de manera que su plano sea vertical) y gírela lentamente hasta que su eje (la línea perpendicular al plano de la espira) apunte exactamente hacia el este u oeste magnético. Así, el campo generado por la espira apuntará hacia el norte o sur magnético, formando un ángulo cercano a 90° con el campo magnético terrestre, que generalmente se

orienta hacia el norte geográfico con una inclinación hacia abajo. Para ello, sitúe la espira en posición vertical (plano de la espira vertical) y gírela lentamente hasta que su eje (la línea perpendicular al plano de la espira) apunte exactamente hacia el este u oeste magnético, de modo que el campo generado apunte aproximadamente en dirección norte-sur. Esto asegura que sea perpendicular al campo magnético terrestre local, que apunta en dirección norte inclinada hacia abajo \vec{B}_T .

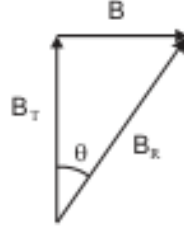


Figura 1: Superposición de campos magnéticos: B_T es campo magnético terrestre, B es campo magnético producido por la espira de corriente o el segmento rectilíneo de corriente, y B_R es campo magnético resultante.

3. Aplique corriente I y mida el ángulo θ entre \vec{B}_T y \vec{B}_R .
4. Varíe la distancia x a lo largo del eje de la espira y repita las mediciones.
5. Construya una tabla con: x , θ , $\cot^{2/3} \theta$, y $R^2 + x^2$.

Análisis de resultados

- Grafique $R^2 + x^2$ vs. $\cot^{2/3} \theta$.
- Determine la pendiente m y calcule B_T con:

$$B_T = \frac{\mu_0 I R^2}{2m^{3/2}}$$

- Compare su valor de B_T con el valor teórico para la ciudad.

Errores comunes y recomendaciones

- Asegúrese de que la espira esté perfectamente orientada: el eje debe estar perpendicular a \vec{B}_T .
- Revise que la corriente permanezca constante durante todas las mediciones.
- Tenga cuidado al medir θ : use siempre el mismo sistema de referencia.

Preguntas orientadoras

- **Conceptual:** ¿Por qué el campo disminuye al alejarse de la espira?
- **Matemática:** ¿Por qué usamos $\cot^{2/3} \theta$ y no simplemente θ ?
- **Experimental:** ¿Cuáles fuentes de error afectan más la precisión del experimento?

Rúbrica de Evaluación del Informe (2.5 puntos)

Criterio de evaluación	Descripción	Puntaje Máximo
Presentación y organización general	Claridad en la estructura: portada, objetivos, introducción, desarrollo, conclusiones y referencias.	0.3
Descripción del montaje experimental	Explicación clara del experimento, apoyo con esquemas o figuras bien etiquetadas.	0.4
Desarrollo del modelo físico y matemático	Formulación adecuada del modelo utilizado (campo magnético de una espira, principio de superposición).	0.6
Análisis de resultados y discusión	Interpretación de resultados, coherencia con el modelo teórico, tratamiento de datos.	0.7
Conclusiones y reflexión final	Relevancia de las conclusiones frente a los objetivos planteados, limitaciones y propuestas.	0.5
Total		2.5

Rúbrica de Evaluación de la Exposición Oral (2.5 puntos)

Criterio de evaluación	Descripción	Puntaje Máximo
Claridad en la exposición	Fluidez verbal, uso adecuado del vocabulario técnico y comunicación efectiva con el público.	0.4
Dominio del tema	Conocimiento profundo del fenómeno físico, incluyendo el modelo de superposición de campos.	0.5
Explicación del modelo utilizado	Capacidad para describir con propiedad el modelo físico/matemático aplicado y sus implicaciones.	0.6
Análisis e interpretación de resultados	Relación entre la teoría y los resultados experimentales presentados.	0.5
Trabajo en equipo y manejo del tiempo	Participación equilibrada del grupo, cumplimiento del tiempo asignado.	0.5
Total		2.5

Nota final = promedio entre la nota del informe escrito y la de la mini-exposición.