

# Balanza de Corriente

Estudiante de Física

April 8, 2025

## 1 Objetivo

- Estudiar la **ley de Laplace** aplicada a la interacción entre corrientes eléctricas y campos magnéticos.
- Determinar experimentalmente el **módulo del campo magnético** generado por un imán permanente.
- Observar y analizar el **principio de acción y reacción** de Newton en un sistema magnético.

## 2 Materiales

- **Generador de corriente continua:** Para suministrar una corriente estable.
- **Balanza digital:** Medir variaciones de masa debido a fuerzas magnéticas.
- **Soporte y barra metálica:** Estructura para fijar componentes.
- **Set de circuitos impresos** (6 modelos): Diferentes longitudes de conductores para variar el parámetro  $L$ .
- **Unidad de sujeción:** Dispositivo para fijar los circuitos impresos cerca del imán.
- **Cables y amperímetro:** Conectar y medir la corriente en el circuito.
- **Imán permanente:** Fuente del campo magnético.

## 3 Fundamentos Teóricos

### 3.1 Ley de Laplace

Cuando un conductor de longitud  $L$ , por el que circula una corriente  $I$ , se coloca en un campo magnético  $\vec{B}$ , experimenta una fuerza magnética  $\vec{F}$ . Esta fuerza

es perpendicular al plano formado por  $\vec{B}$  y el vector longitud  $\vec{L}$ , y se expresa como:

$$\vec{F} = I \cdot (\vec{L} \times \vec{B}) \quad (1)$$

Donde:

- $\vec{L}$ : Vector con magnitud igual a la longitud del conductor y dirección igual al sentido de la corriente.
- $\vec{B}$ : Campo magnético del imán.

## 4 Procedimiento Experimental

### 4.1 Montaje Inicial

#### 1. Fijación de componentes:

- Unir la barra metálica a la base del soporte.
- Enroscar la unidad de sujeción en la barra.
- Acoplar el circuito impreso seleccionado en la parte frontal de la unidad de sujeción.

#### 2. Configuración eléctrica:

- Conectar el generador en **modo corriente continua**.
- Colocar el amperímetro en serie entre el generador y la unidad de sujeción.
- Asegurar que el circuito esté abierto hasta comenzar las mediciones.

### 4.2 Medición de la Masa del Imán

- Pesar el imán con la balanza y registrar su masa ( $m$ ) junto con la precisión del instrumento.

### 4.3 Colocación del Circuito Impreso

- Posicionar el circuito impreso entre los polos del imán **sin contacto físico** (Figura
- Asegurar que solo la sección horizontal del circuito esté expuesta al campo magnético.

### 4.4 Ejecución del Experimento

1. Encender el generador para establecer una corriente  $I$  en el circuito.
2. Registrar la **masa aparente** ( $m'$ ) mostrada por la balanza, que disminuirá debido a la fuerza de reacción magnética  $\vec{F}_r$ .

## 4.5 Análisis de Fuerzas

En equilibrio estático, las fuerzas sobre el imán cumplen:

$$\sum \vec{F}_i = \vec{F}_N + \vec{P} + \vec{F}_r = \vec{0} \quad (2)$$

Donde:

- $\vec{F}_N$ : Fuerza normal de la balanza.
- $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ : Peso del imán.
- $\vec{F}_r = I \cdot L \cdot |\vec{B}|$ : Fuerza de reacción (módulo igual a la fuerza magnética).

La relación entre la masa aparente y el campo magnético se obtiene de:

$$m' \cdot g = m \cdot g - I \cdot L \cdot |\vec{B}| \quad (6)$$

## 5 Tratamiento de datos

### 5.1 Intensidad constante

Teniendo en cuenta la anterior dependencia

$$F_N = m'g$$

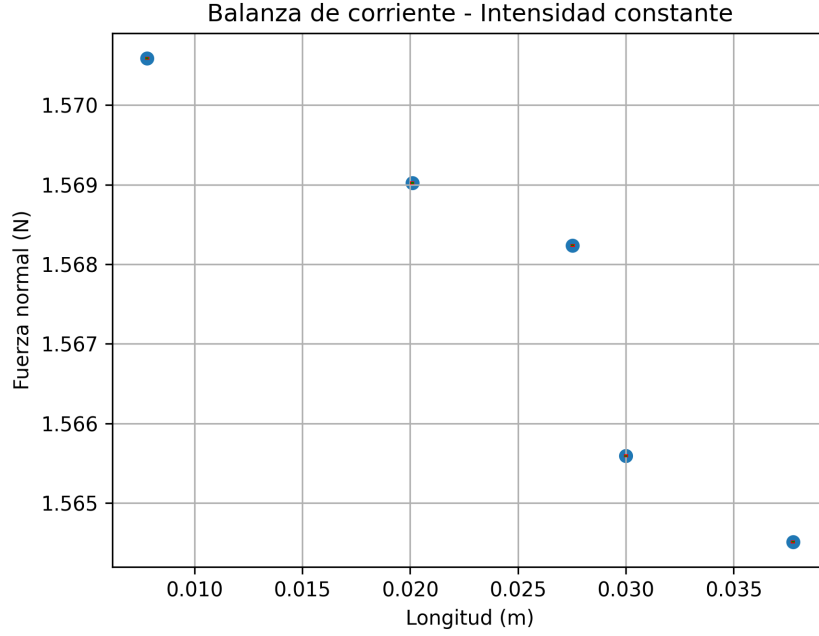
podemos desarrollar la propagación de errores

$$\Delta F_N = \left| \frac{\partial F_N}{\partial m'} \right| \Delta m' + \left| \frac{\partial F_N}{\partial g} \right| \Delta g = g \Delta m' + m' \Delta g$$

sabiendo que  $\Delta g = 10^{-7}$  y que  $\Delta m' = 10^{-6}$ , este error acaba siendo aproximadamente  $\Delta F_N = 10^{-4}$  (N). Además, la longitud de los circuitos  $L$  se midió con un pie de rey que tenía una precisión de  $\Delta L = 10^{-5}$ . Con esto tenemos los siguientes datos:

$I$ (A)	$m$ (kg)	$F_N$ (N)	$L$ (m)	Circuito
$1.5 \pm 0.01$	$(160.27 \pm 0.01)e-3$	$1.5706 \pm 0.0001$	$(7.80 \pm 0.01)e-3$	SF40
$1.5 \pm 0.01$	$(160.11 \pm 0.01)e-3$	$1.5690 \pm 0.0001$	$(20.10 \pm 0.01)e-3$	SF37
$1.5 \pm 0.01$	$(160.03 \pm 0.01)e-3$	$1.5682 \pm 0.0001$	$(27.52 \pm 0.01)e-3$	SF39
$1.5 \pm 0.01$	$(159.76 \pm 0.01)e-3$	$1.5655 \pm 0.0001$	$(30.00 \pm 0.01)e-3$	SF38
$1.5 \pm 0.01$	$(159.65 \pm 0.01)e-3$	$1.5645 \pm 0.0001$	$(37.75 \pm 0.01)e-3$	SF41
$1.5 \pm 0.01$	$(159.13 \pm 0.01)e-3$	$1.5594 \pm 0.0001$	$(40.00 \pm 0.01)e-3$	SF42

Si representamos  $F_N$  frente a  $L$ , obtenemos



Donde se puede observar una clara dependencia lineal. Para el ajuste lineal, vamos a obtener una recta de la forma

$$F_N = n + L \cdot m$$

donde  $n$  va a tener unidades de fuerza, y  $m$  va a tener unidades de fuerza por unidad de longitud. Concretamente, esta  $m$  será

$$m = IB$$

Realizando este ajuste, obtenemos que  $n = 1.572 \pm 0.001$  (N) y que  $m = -0.21 \pm 0.04$  ( $\frac{N}{m}$ ), además de un coeficiente de correlación  $r = -0.9390$ .

Para deducir el valor del campo magnético en base a la pendiente, obtenemos que:

$$B = \frac{m}{I} = -0.14 \text{ (T)}$$

Desarrollamos la propagación de errores:

$$\Delta B = \left| \frac{\partial B}{\partial m} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial B}{\partial I} \right| \Delta I = \frac{\Delta m}{I} + \frac{m}{I^2} \Delta I \approx 0.03$$

Finalmente, nuestro campo magnético es

$$B = -0.14 \pm 0.03 \text{ (T)}$$

Respecto a la masa del imán, sabemos que la ordenada en el origen  $n$  es

$$n = mg$$

por lo que podemos despejar para obtener

$$m = \frac{n}{g}$$

Desarrollando la propagación del error, obtenemos que

$$\Delta m = \left| \frac{\partial m}{\partial n} \right| \Delta n + \left| \frac{\partial m}{\partial g} \right| \Delta g = \frac{\Delta n}{g} + \frac{n}{g^2} \Delta g = \frac{0.001}{9.7996413} + \frac{1.572}{9.7996413^2} \cdot 0.0000001 \approx 0.0001$$

Por lo que la masa del imán es

$$m = 0.1604 \pm 0.0001$$

Si calculamos el error porcentual en comparación con la masa medida en el laboratorio ( $m = 0.16041$ ), nuestro error es

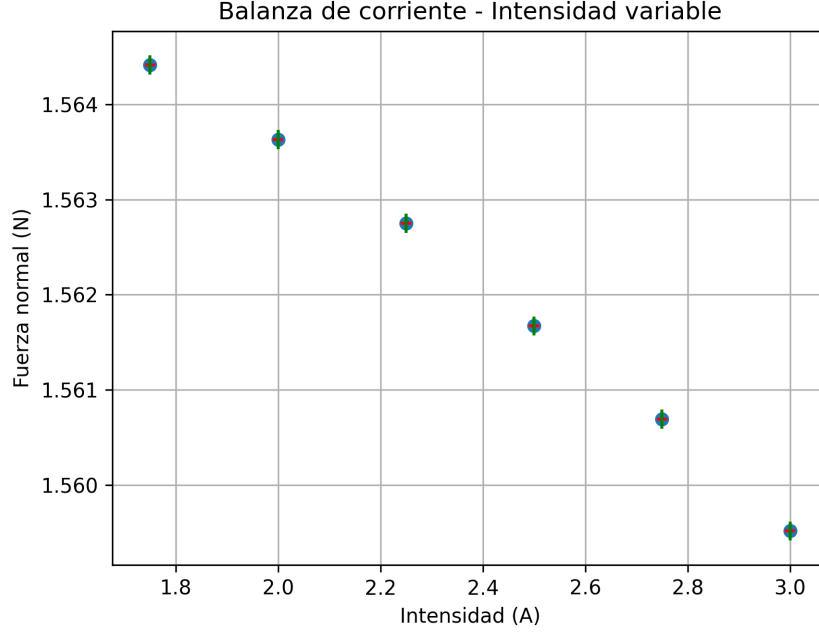
$$\varepsilon_P = \left| \frac{m - \tilde{m}}{m} \right| \cdot 100 \approx 0.006\%$$

## 5.2 Circuito constante

Cuando se fue variando la intensidad y se mantuvo el circuito constante, se obtuvieron los siguientes datos:

$I$ (A)	$m$ (kg)	$F_N$ (N)	$L$ (m)	Circuito
$1.75 \pm 0.01$	$(159.64 \pm 0.01)e-3$	$1.5644 \pm 0.0001$	$(30.00 \pm 0.01)e-3$	SF38
$2 \pm 0.01$	$(159.56 \pm 0.01)e-3$	$1.5636 \pm 0.0001$	$(30.00 \pm 0.01)e-3$	SF38
$2.25 \pm 0.01$	$(159.47 \pm 0.01)e-3$	$1.5627 \pm 0.0001$	$(30.00 \pm 0.01)e-3$	SF38
$2.5 \pm 0.01$	$(159.36 \pm 0.01)e-3$	$1.5616 \pm 0.0001$	$(30.00 \pm 0.01)e-3$	SF38
$2.75 \pm 0.01$	$(159.26 \pm 0.01)e-3$	$1.5606 \pm 0.0001$	$(30.00 \pm 0.01)e-3$	SF38
$3.00 \pm 0.01$	$(159.14 \pm 0.01)e-3$	$1.5595 \pm 0.0001$	$(30.00 \pm 0.01)e-3$	SF38

Lo que nos da la siguiente gráfica:



Donde la dependencia lineal es todavía más evidente. Realizando el ajuste de mínimos cuadrados, obtenemos una ordenada en el origen  $n = 1.5714 \pm 0.0003$  (N), y una pendiente  $m = -0.0039 \pm 0.0001$  ( $\frac{N}{A}$ ), además de un coeficiente de correlación  $r = -0.9979$ . De nuevo, tenemos una recta de la forma

$$F_N = n + I \cdot m$$

donde en este caso  $m = BL$ . Podemos despejar  $B$  para obtener

$$B = \frac{m}{L} = -0.13 \text{ (T)}$$

Desarrollando la propagación de errores, obtenemos

$$\Delta B = \left| \frac{\partial B}{\partial m} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial B}{\partial L} \right| \Delta L = \frac{\Delta m}{L} + \frac{m}{L^2} \Delta L = \frac{0.0001}{0.03} + \frac{0.0039}{0.03^2} \cdot 10^{-5} \approx 0.003 \text{ (T)}$$

por tanto, nuestro campo magnético es

$$B = -0.13 \pm 0.003 \text{ (T)}$$

Para calcular la masa del imán, tenemos que  $n = m'g$ , por lo que podemos despejar para obtener

$$m' = \frac{n}{g} = 0.16035$$

Calculamos el error:

$$\Delta m' = \left| \frac{\partial m'}{\partial n} \right| \Delta n + \left| \frac{\partial m'}{\partial g} \right| \Delta g = \frac{\Delta n}{g} + \frac{n}{g^2} \Delta g = \frac{0.0003}{9.7996413} + \frac{1.5714}{9.7996413^2} \cdot 0.0000001 \approx 0.00003$$

Por tanto, la masa es

$$m' = 0.16035 \pm 0.00003$$

Comparado con el resultado observado en el laboratorio, nuestro error porcentual es

$$\varepsilon_P = \left| \frac{m - \tilde{m}}{m} \right| \cdot 100 \approx 0.04\%$$