

Balanza de corriente

Alejandro Zubiri

2025-04-01

```
library("knitr")
library("readODS")
data = read_ods("./BalanzaCorriente.ods")
```

Balanza de Corriente

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.

Figura 1: Esquema de los componentes principales: generador, balanza, soporte, circuitos impresos e imán.

3. Fundamentos Teóricos

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:

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

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

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 (ver Figura 2).

2. Configuración eléctrica:

- Conectar el generador en **modo corriente continua**.
- Colocar el amperímetro en serie entre el generador y la unidad de sujeción (Figura 3).
- Asegurar que el circuito esté abierto hasta comenzar las mediciones.

Medición de la Masa del Imán

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

Colocación del Circuito Impreso

- Posicionar el circuito impreso entre los polos del imán **sin contacto físico** (Figura 4.a).
- Asegurar que solo la sección horizontal del circuito (dentro del contorno rojo en Figura 4.b) esté expuesta al campo magnético.

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 .

Análisis de Fuerzas

En equilibrio estático, las fuerzas sobre el imán cumplen:

$$\sum \vec{F}_i = \vec{F}_N + \vec{P} + \vec{F}_r = \vec{0}$$

- \vec{F}_N : Fuerza normal de la balanza.
- $\vec{P} = m \cdot g$: 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:

$$m' \cdot g = m \cdot g - I \cdot L \cdot |\vec{B}|$$

Figura 5: Diagrama de fuerzas sobre el imán en equilibrio. # Tratamiento de datos Los datos recogidos fueron los siguientes:

Table 1: Balanza de corriente, variando el circuito.

I(A)	m (kg)	F (N)	L (m)	Circuito
1.5	0.16027000000000002	1.5705885111510001	7.8000000000000005E-3	SF40
1.5	0.16011000000000003	1.5690205685430001	2.01E-2	SF37
1.5	0.16003000000000001	1.568236597239	2.7525000000000001E-2	SF39
1.5	0.15975999999999999	1.5655906940879998	0.03	SF38
1.5	0.15965000000000001	1.564512733545	3.774999999999999E-2	SF41
1.5	0.15912999999999999	1.5594169200689998	0.04	SF42

Sin embargo, antes de representar los datos, vamos a desarrollar la propagación de errores. Tenemos que:

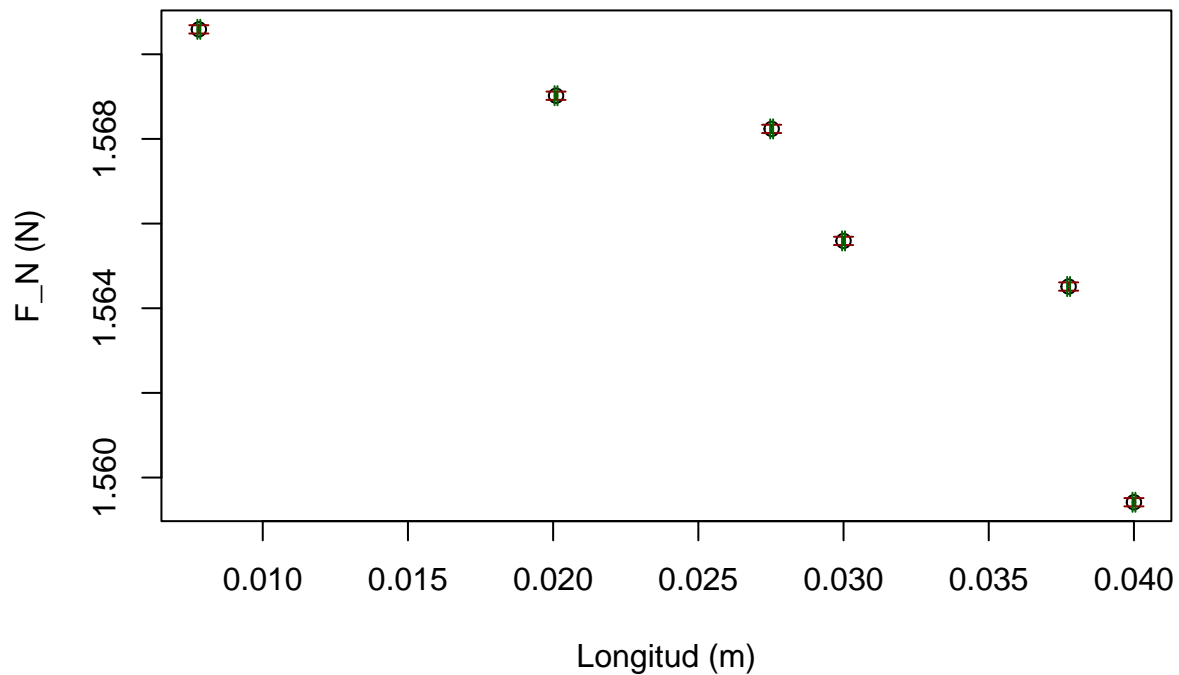
$$F_N = m'g$$

Por tanto, desarrollando, tenemos que:

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

Y, sabiendo que $\Delta m' = 0,00001$, y que $\Delta g = 0,0000001$, ya tenemos el error en la fuerza normal F_N . Por otro lado, el error en la longitud del circuito ΔL es $\Delta L = 0.00005$ (m). Ahora podemos representar los datos con los respectivos errores:

```
fn = as.numeric(t.data.frame(data[1:6, 3]))
long = as.numeric(t.data.frame(data[1:6,4]))
plot(long, fn, xlab="Longitud (m)", ylab="F_N (N)")
arrows(
  long,
  fn - as.numeric(t.data.frame(data[1:6,8])),
  long,
  fn + as.numeric(t.data.frame(data[1:6,8])),
  angle = 90,      # Ángulo de las líneas transversales
  code = 3,        # Barras en ambos extremos
  length = 0.05,   # Longitud de las líneas transversales
  col = "darkred"
)
arrows(
  long - 0.00005,
  fn,
  long+0.00005,
  fn,
  angle=90,
  code=3,
  length=0.05,
  col="darkgreen"
)
```



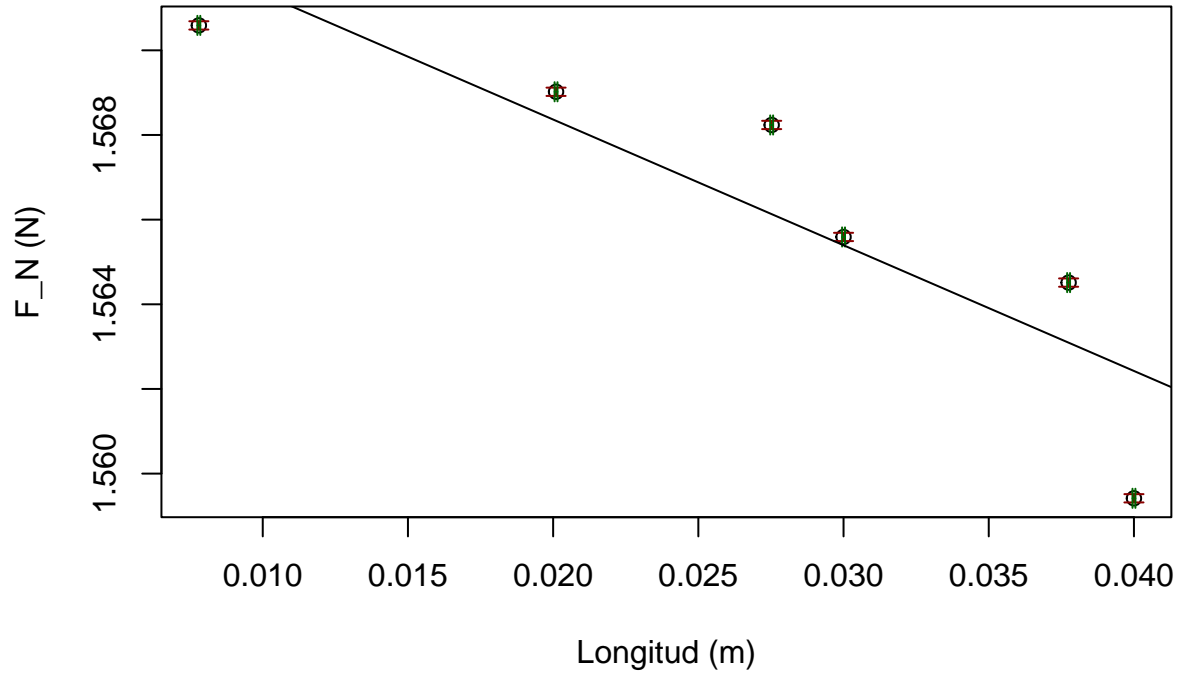
Como se puede observar, el error es minúsculo, por lo que los datos son muy representativos, por lo que podemos pasar a realizar el ajuste lineal. ## Ajuste lineal. Teniendo que

$$m'g = mg - ILB$$

deberíamos esperar una ordenada en el origen $n = mg$, y una pendiente $m = IB$, de donde podremos obtener el campo magnético generado. Si realizamos este ajuste, obtenemos:

```
m = lm(fn ~ as.numeric(long), data = data)
plot(long, fn, xlab="Longitud (m)", ylab="F_N (N)")
arrows(
  as.numeric(long),
  fn - as.numeric(t.data.frame(data[1:6,8])),
  as.numeric(long),
  fn + as.numeric(t.data.frame(data[1:6,8])),
  angle = 90,      # Ángulo de las líneas transversales
  code = 3,        # Barras en ambos extremos
  length = 0.05,   # Longitud de las líneas transversales
  col = "darkred"
)
arrows(
  long - 0.00005,
  fn,
  long+0.00005,
  fn,
  angle=90,
  code=3,
  length=0.05,
```

```
col="darkgreen",
)
abline(m)
```



Obteniendo una ordenada en el origen de $n = 1.57431$, y una pendiente de -0.297 , con un coeficiente de correlación $R^2 = 0.7213$, obteniendo un error porcentual $\varepsilon = (1 - R^2) \cdot 100 = 27.87\%$. En este caso, la ordenada en el origen representa el peso del objeto. Este peso, cuando se midió en el laboratorio con intensidad nula, resultó ser de $mg = 1.6041$ (N), o una masa $m = \frac{n}{g} = 0.160649758$. Comparándolo con este resultado, tenemos el error porcentual:

$$\varepsilon_P = \left| \frac{mg - n}{mg} \right| \cdot 100 = 1.85\%$$

Con esto, podemos pasar a medir el campo magnético. Con la ecuación

$$m = IB$$

Podemos despejar B para obtener

$$B = \frac{m}{I} = \frac{-0.297}{1.5} = -0.198 \text{ (T)}$$

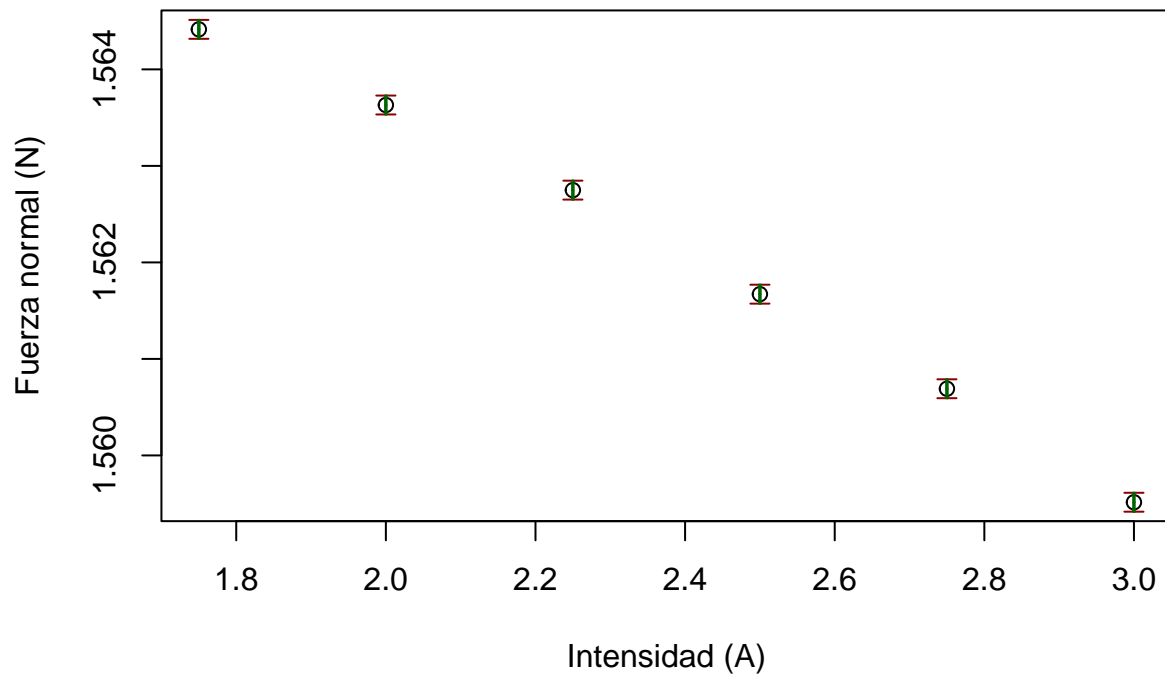
Que es el campo magnético deseado. Con esto vamos a pasar a analizar los datos de la balanza de corriente, manteniendo el circuito constante y variando la intensidad. Con esto, se obtuvieron los siguientes datos:

Table 2: Balanza de corriente, variando la intensidad.

I(A)	m (kg)	F (N)	L (m)	Circuito
I(A)	m (kg)	F (N)	L (m)	Circuito
1.75	0.15964	1.5644147371319999	0.03	SF38
2	0.15956000000000001	1.563630765828	0.03	SF38
2.25	0.15947	1.562748798111	0.03	SF38
2.5	0.15936	1.561670837568	0.03	SF38
2.75	0.15926000000000001	1.5606908734380001	0.03	SF38
3	0.15914	1.5595149164819999	0.03	SF38

Antes de representar tenemos que el amperímetro tiene una precisión $\Delta I = 10^{-3}$ (A), si representamos F_N frente a I , obtenemos:

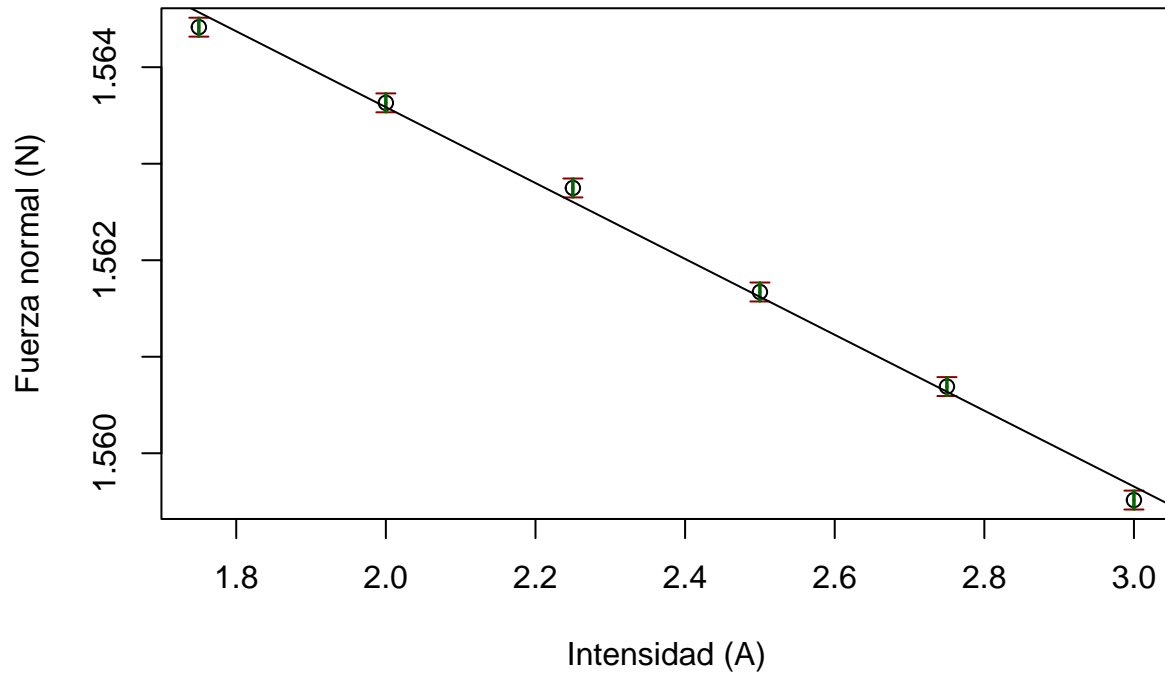
```
fn = as.numeric(t.data.frame(data[11:16, 3]))
intens = as.numeric(t.data.frame(data[11:16, 1]))
plot(intens, fn, xlab = "Intensidad (A)", ylab = "Fuerza normal (N)")
arrows(
  intens,
  fn - as.numeric(t.data.frame(data[11:16, 8])),
  intens,
  fn + as.numeric(t.data.frame(data[11:16, 8])),
  angle = 90,      # Ángulo de las líneas transversales
  code = 3,        # Barras en ambos extremos
  length = 0.05,   # Longitud de las líneas transversales
  col = "darkred"
)
arrows(
  intens - 0.001,
  fn,
  intens+0.001,
  fn,
  angle=90,
  code=3,
  length=0.05,
  col="darkgreen"
)
```



Donde se observa una clara dependencia lineal. Si ahora utilizamos el método de mínimos cuadrados, y representamos dicha recta, obtenemos:

```
fn = as.numeric(t.data.frame(data[11:16, 3]))
intens = as.numeric(t.data.frame(data[11:16, 1]))
plot(intens, fn, xlab = "Intensidad (A)", ylab = "Fuerza normal (N)")
arrows(
  intens,
  fn - as.numeric(t.data.frame(data[11:16, 8])),
  intens,
  fn + as.numeric(t.data.frame(data[11:16, 8])),
  angle = 90,      # Ángulo de las líneas transversales
  code = 3,        # Barras en ambos extremos
  length = 0.05,   # Longitud de las líneas transversales
  col = "darkred"
)
arrows(
  intens - 0.001,
  fn,
  intens+0.001,
  fn,
  angle=90,
  code=3,
  length=0.05,
  col="darkgreen"
)
m2 = lm(fn ~ intens, data = data)
```

```
abline(m2)
```



```
summary(m2)
```

```
##
## Call:
## lm(formula = fn ~ intens, data = data)
##
## Residuals:
##      1      2      3      4      5      6
## -0.0001540  0.0000448  0.0001456  0.0000504  0.0000532 -0.0001400
##
## Coefficients:
##              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
## (Intercept)  1.5714481  0.0003093  5080.33 9.01e-15 ***
## intens      -0.0039311  0.0001282  -30.67 6.74e-06 ***
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Residual standard error: 0.0001341 on 4 degrees of freedom
## Multiple R-squared:  0.9958, Adjusted R-squared:  0.9947
## F-statistic: 940.5 on 1 and 4 DF, p-value: 6.736e-06
```

Obteniendo una ordenada sobre el origen $n = 1.5714481$ (que coincide con la obtenida anteriormente) y una pendiente $m = -0.0039311$. Con esto, obtenemos un valor $R^2 = 0.9947$, teniendo así un error $(1 - R^2) \cdot 100 = 0.53\%$. De nuevo, obtenemos que la masa del imán es $m_{iman} = \frac{n}{g} = 0,160357716$.

Comparando con la masa obtenida en el laboratorio, obtenemos que el error porcentual es

$$\varepsilon_P = \left| \frac{p - \tilde{p}}{p} \right| \cdot 100 = 2.0355\%$$

y ahora el campo magnético es

$$LB = m \implies B = \frac{m}{L} = -0.13103 \text{ (T)}$$

Cuestiones - ¿Por qué no contribuye a la fuerza de reacción los segmentos verticales de los circuitos impresos? Estos no contribuyen ya que el campo magnético tiene como dirección el vector perpendicular entre la dirección de la corriente y el vector que une la corriente y el imán. Como estos son paralelos, el campo magnético es 0.