

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LABORATORIO DE FÍSICA BÁSICA III  
INFORME No. 8

CAMPOS MAGNÉTICOS ESTACIONARIOS

**Integrantes:**

Bastos Lizondo Rosemary.  
Blanco Alconz John Brandon.  
Caballero Burgoa Carlos Eduardo.  
Villena Gutiérrez Ismael Cristian.

**Docente:**

Ing. Flores Flores, Freddy.

**Grupo:** G3.

**Fecha de entrega:** 10 de Junio del 2021.

## 1. Evaluación previa

### 1. ¿Cómo se producen campos magnéticos estacionarios?

Los campos magnéticos estacionarios se generan mediante un imán o mediante cargas que se mueven como un flujo constante.

### 2. ¿A partir de la ley de *Ampère*, calcular el campo magnético producido por un conductor rectilíneo infinito?

La dirección del campo en un punto  $P$ , es perpendicular al plano determinado por la corriente y el punto.

Se escoge como camino cerrado una circunferencia de radio  $r$ , centrada en la corriente rectilínea y situada en un plano perpendicular a la misma.

El campo magnético  $B$  es tangente a la circunferencia de radio  $r$ , paralelo al vector  $d\vec{l}$ .

El módulo del campo magnético  $B$  tiene el mismo valor en todos los puntos de dicha circunferencia.

La circulación (el primer miembro de la ley de *Ampère*) vale:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B \cdot dl \cos(0) = B \oint dl = B \cdot 2\pi R$$

La corriente rectilínea  $i$  atraviesa la circunferencia de radio  $r$ .

Se despeja el módulo del campo magnético  $B$ .

$$B2\pi R = \mu_0 i$$

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi R}$$

### 3. ¿Cómo se puede generar un campo magnético uniforme?

Se puede crear un campo magnético uniforme haciendo una bobina cilíndrica relativamente larga. Una vez que la corriente fluye a través de la bobina, existirá un campo magnético uniforme a lo largo del interior de la bobina. Esto no es cierto en los extremos de la bobina.

Las bobinas de *Helmholtz* pueden proporcionar un campo magnético uniforme.

### 4. ¿Con qué instrumento se mide el campo magnético?

Los medidores de campo magnético o gaussímetros son instrumentos para medir la influencia magnética de las corrientes eléctricas y los campos magnéticos producidos. Las unidades de medida utilizadas comúnmente para los medidores de campo magnético son los tesla o los *Gauss*.

### 5. ¿Qué es una bobina?

Las bobinas son un elemento pasivo de dos terminales capaz de generar un flujo magnético cuando se hace circular una corriente eléctrica.

Las bobinas están conformadas por un alambre o hilo de cobre esmaltado enrollado en un núcleo, estos núcleos pueden tener diferente composición ya sea al aire o en un material ferroso como por ejemplo acero magnético para intensificar su capacidad de magnetismo.

**6. Calcular el campo magnético en la región central de una bobina.**

Para calcular el campo magnético en la región central de una bobina se utiliza la ecuación de *Biot-Savart* la cual sirve para calcular el campo magnético generado por cualquier elemento de corriente  $d\vec{s}$ .

Resultando ser:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I r^2}{2(r^2 + d^2)^{3/2}} \hat{i}$$

Donde:

$\mu_0$ , es la permeabilidad magnética del vacío.

$I$ , es la corriente eléctrica circulante.

$r$ , es el radio de la espira.

$d$ , es la distancia desde el centro de la espira.

**7. ¿Cómo se determina la polaridad del campo magnético producido por una bobina?**

Cuando se conoce la dirección en que circula la corriente, la polaridad del campo magnético se puede determinar mediante la regla de la mano izquierda para bobinas. Si se toma la bobina con la mano izquierda y los dedos que la envuelven señalan la dirección del flujo de corriente, el pulgar apunta hacia el polo norte.

**2. Objetivos**

- Determinar la relación funcional entre la magnitud de campo magnético  $B$  y la distancia  $r$  del centro de la espira sobre el eje del mismo.
- Encontrar el valor de la permeabilidad magnética del vacío  $\mu_0$  multiplicado por la corriente eléctrica  $I$ .

**3. Fundamento teórico**

El campo magnético  $B$  es un campo vectorial, y a diferencia de las líneas de campo eléctrico, las líneas de campo magnético son cerradas, y los vectores  $B$  son tangentes a dichas líneas.

En la **Figura 1** se observa una línea de campo magnético producida por un conductor rectilíneo infinito, por el cual circula una corriente eléctrica constante  $I$ . La dirección del campo magnético está dada por la regla de la mano derecha, y su valor puede ser calculado a partir de la ley de *Ampère*:

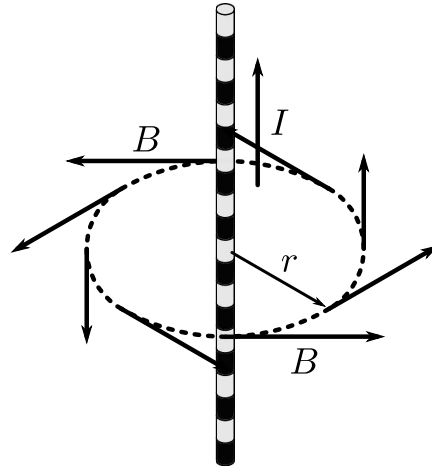
$$\oint B \cdot dr = \mu_0 I \quad (1)$$

Donde:

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [N/A^2]$ , es la permeabilidad magnética del vacío.

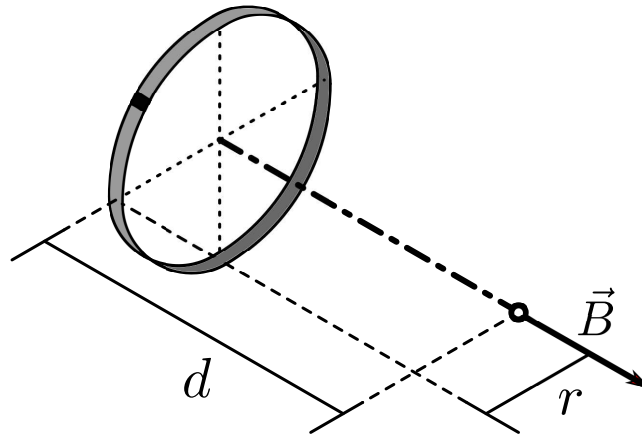
El módulo de un campo magnético estacionario a una distancia  $r$  es:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (2)$$



**Figura 1:** Línea de campo magnético.

### 3.1. Campo magnético creado una espira circular



**Figura 2:** Espira que genera un campo magnético.

Para el cálculo del campo magnético de un alambre circular o espira como el presentado en la **Figura 2**, se usa la ecuación de *Biot-Savart*:

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

Cuyo resultado es:

$$B = \frac{\mu_0 I r^2}{2(r^2 + d^2)^{3/2}} \quad (3)$$

Donde:

$\mu_0$ , es la permeabilidad magnética del vacío.

$I$ , es la corriente eléctrica circulante.

$r$ , es el radio de la espira.

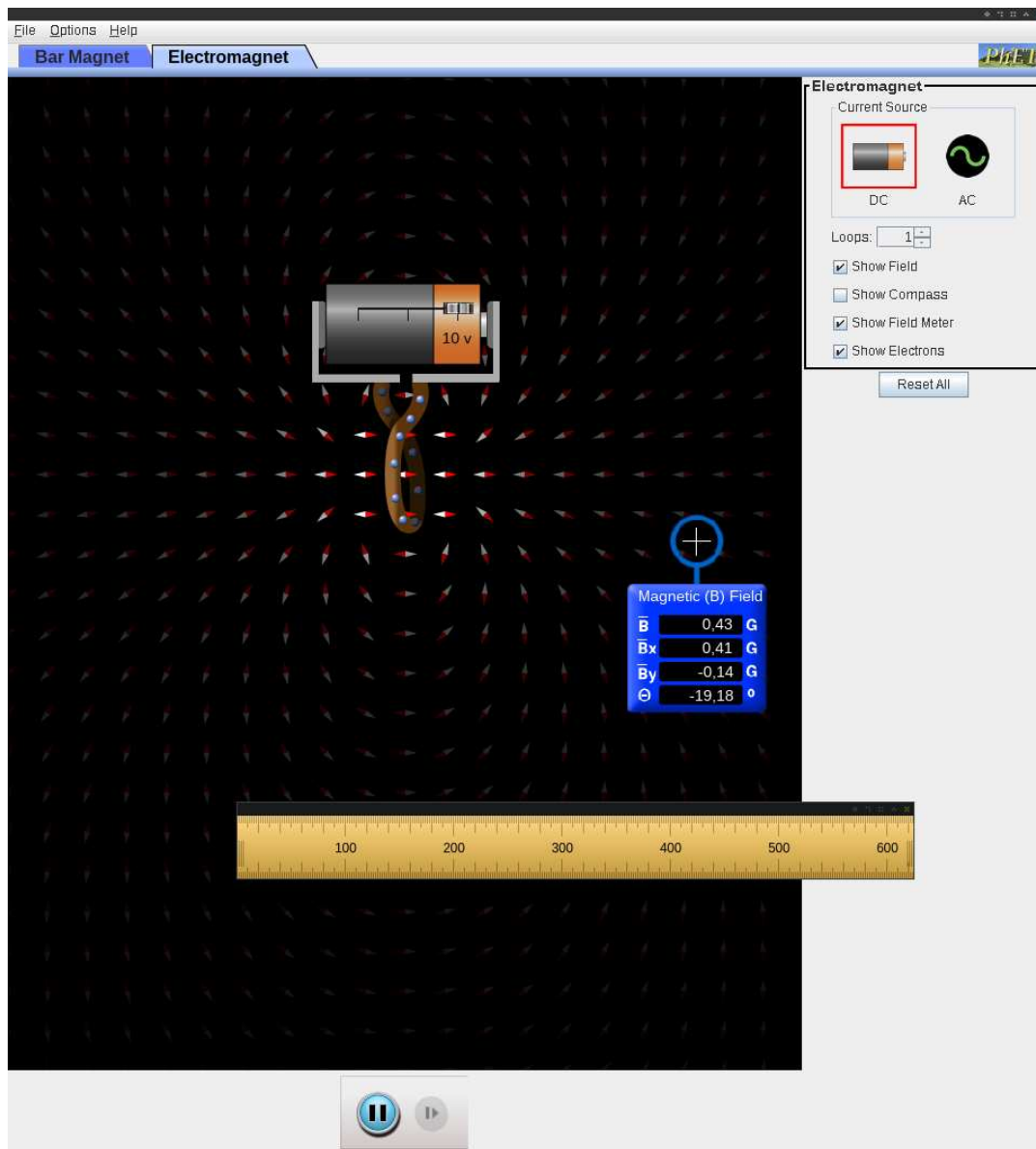
$d$ , es la distancia desde el centro de la espira.

#### 4. Materiales

- Simulador «PhET Interactive Simulations» Magnets and Electromagnets (2.07.01).

#### 5. Procedimiento experimental

A continuación se describe el procedimiento experimental que se llevará a cabo.



**Figura 3:** Simulador de imanes y electroimanes.

1. Ir al simulador ubicado en la dirección web: ( <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/faraday/latest/faraday.html?simulation=magnets-and-electromagnets> ), tal como se muestra en la **Figura 3**.
2. Establecer el valor de voltaje de la batería.
3. Con ayuda de una regla registrar el valor del campo magnético para diferentes distancias sobre el eje central de la espira.
4. Registrar las mediciones tomadas, elaborar las gráficas e interpretar los resultados.

## 6. Resultados

Voltaje de la batería:

$$V = 10.0[V]$$

Radio de la espira:

$$r = 19[u]$$

En el **Cuadro 1** se presentan los valores del campo magnético ( $B$ ) y las distancias ( $d$ ).

| $i$ | $d_i[u]$ | $B_i[G]$ | $i$ | $d_i[u]$ | $B_i[G]$ | $i$ | $d_i[u]$ | $B_i[G]$ |
|-----|----------|----------|-----|----------|----------|-----|----------|----------|
| 1   | 50       | 63.77    | 11  | 150      | 2.63     | 21  | 250      | 0.57     |
| 2   | 60       | 39.27    | 12  | 160      | 2.17     | 22  | 260      | 0.51     |
| 3   | 70       | 24.89    | 13  | 170      | 1.81     | 23  | 270      | 0.46     |
| 4   | 80       | 16.75    | 14  | 180      | 1.54     | 24  | 280      | 0.41     |
| 5   | 90       | 12.17    | 15  | 190      | 1.31     | 25  | 290      | 0.37     |
| 6   | 100      | 8.87     | 16  | 200      | 1.11     | 26  | 300      | 0.33     |
| 7   | 110      | 6.67     | 17  | 210      | 0.97     | 27  | 310      | 0.31     |
| 8   | 120      | 5.13     | 18  | 220      | 0.84     | 28  | 320      | 0.28     |
| 9   | 130      | 4.04     | 19  | 230      | 0.74     | 29  | 330      | 0.25     |
| 10  | 140      | 3.23     | 20  | 240      | 0.65     |     |          |          |

**Cuadro 1:** Mediciones de campo magnético y distancia del centro de la espira.

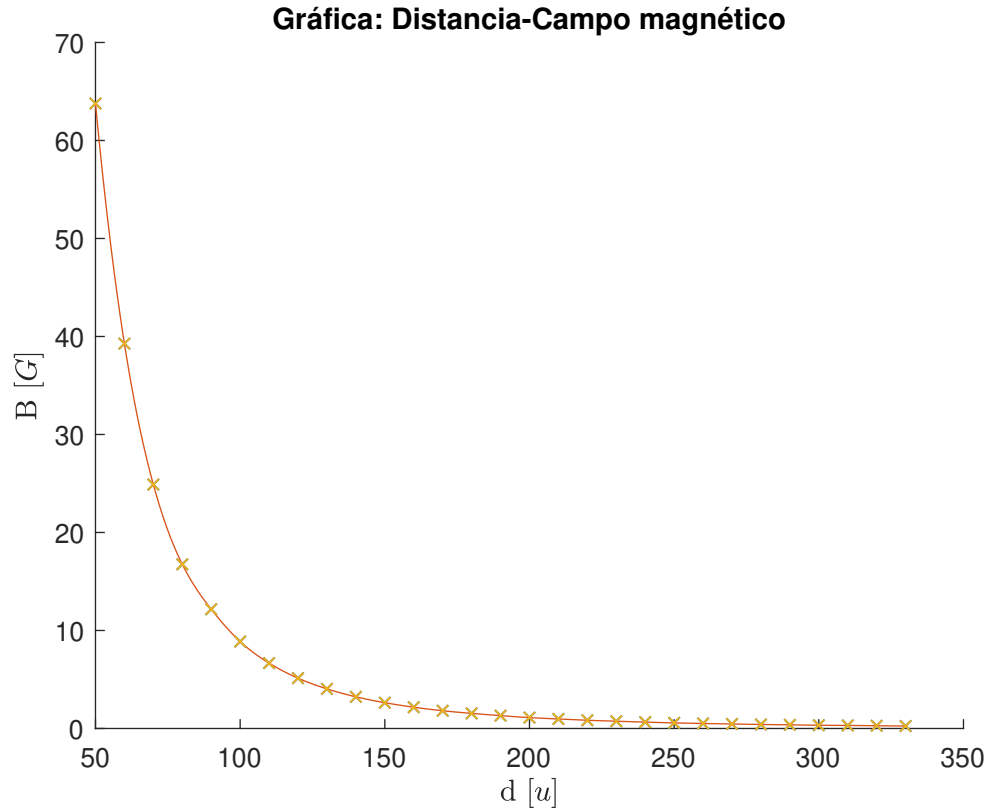
A partir de los datos del **Cuadro 1**, se obtiene la gráfica presentada en la **Figura 4**. Por la forma de la **Figura 4** y considerando la **Ecuación 3**:

$$B(d) = ad^b$$

Aplicando logaritmos a ambos lados de la ecuación obtenemos:

$$\log B = \log a + b \log d$$

Haciendo los siguientes cambios de variables:



**Figura 4:** Campo magnético en función de la distancia sobre el eje.

$$B' = \log B$$

$$A = \log a$$

$$B = b$$

$$d' = \log(r^2 + d^2)$$

Se obtiene:

$$B' = A + Bd'$$

En el **Cuadro 2** pueden apreciarse los valores de la función aplicando los cambios de variable respectivos, tales datos generan la gráfica presentada en la **Figura 5**.

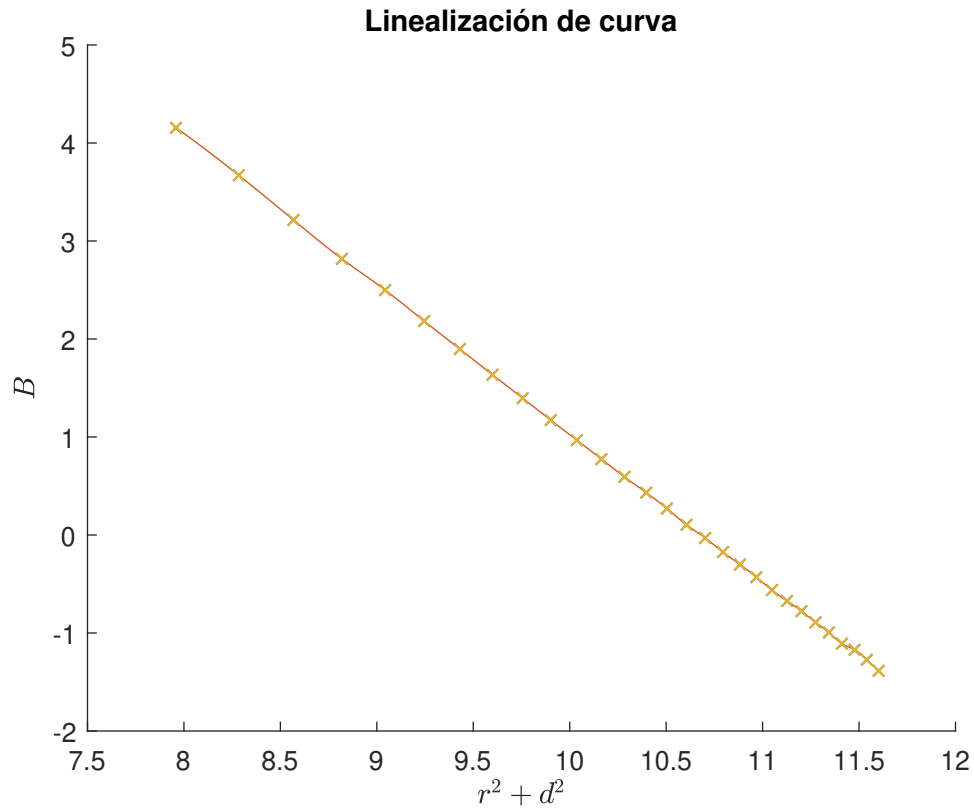
Se calcularon los parámetros de la recta por el método de los mínimos cuadrados, con la ayuda de los datos presentados en el **Cuadro 3**.

$$n = 29$$

$$\sum d'_i = 297.9722$$

$$\sum B'_i = 18.0093$$

| $i$ | $d'_i$ | $B'_i$ | $i$ | $d'_i$  | $B'_i$  | $i$ | $d'_i$  | $B'_i$  |
|-----|--------|--------|-----|---------|---------|-----|---------|---------|
| 1   | 7.9589 | 4.1553 | 11  | 10.0372 | 0.9670  | 21  | 11.0487 | -0.5621 |
| 2   | 8.2843 | 3.6705 | 12  | 10.1644 | 0.7747  | 22  | 11.1267 | -0.6733 |
| 3   | 8.5681 | 3.2145 | 13  | 10.2840 | 0.5933  | 23  | 11.2018 | -0.7765 |
| 4   | 8.8189 | 2.8184 | 14  | 10.3970 | 0.4318  | 24  | 11.2742 | -0.8916 |
| 5   | 9.0432 | 2.4990 | 15  | 10.5040 | 0.2700  | 25  | 11.3440 | -0.9943 |
| 6   | 9.2458 | 2.1827 | 16  | 10.6056 | 0.1044  | 26  | 11.4116 | -1.1087 |
| 7   | 9.4304 | 1.8976 | 17  | 10.7024 | -0.0305 | 27  | 11.4769 | -1.1712 |
| 8   | 9.5997 | 1.6351 | 18  | 10.7947 | -0.1744 | 28  | 11.5402 | -1.2730 |
| 9   | 9.7562 | 1.3962 | 19  | 10.8830 | -0.3011 | 29  | 11.6015 | -1.3863 |
| 10  | 9.9015 | 1.1725 | 20  | 10.9675 | -0.4308 |     |         |         |

**Cuadro 2:** Valores después del cambio de variable.**Figura 5:** Gráfica de la función linealizada.

$$\sum d_i'^2 = 3.0921 \times 10^3$$

$$\sum B_i'^2 = 81.3865$$



| $i$ | $d'_i B'_i$ | $d_i'^2$ | $B_i'^2$ | $Y$     | $d_i$   | $d_i^2(10^{-5})$ |
|-----|-------------|----------|----------|---------|---------|------------------|
| 1   | 63.3445     | 17.2664  | 33.0716  | 4.1355  | 0.0198  | 0.0004           |
| 2   | 68.6288     | 13.4723  | 30.4070  | 3.6418  | 0.0286  | 0.0008           |
| 3   | 73.4119     | 10.3328  | 27.5418  | 3.2111  | 0.0033  | 0.0000           |
| 4   | 77.7735     | 7.9434   | 24.8552  | 2.8305  | -0.0121 | 0.0001           |
| 5   | 81.7799     | 6.2449   | 22.5988  | 2.4901  | 0.0089  | 0.0001           |
| 6   | 85.4849     | 4.7641   | 20.1806  | 2.1827  | 0.0000  | 0.0000           |
| 7   | 88.9317     | 3.6010   | 17.8952  | 1.9026  | -0.0050 | 0.0000           |
| 8   | 92.1551     | 2.6736   | 15.6966  | 1.6456  | -0.0105 | 0.0001           |
| 9   | 95.1835     | 1.9495   | 13.6220  | 1.4081  | -0.0119 | 0.0001           |
| 10  | 98.0404     | 1.3747   | 11.6094  | 1.1876  | -0.0151 | 0.0002           |
| 11  | 100.7451    | 0.9351   | 9.7058   | 0.9817  | -0.0148 | 0.0002           |
| 12  | 103.3140    | 0.6002   | 7.8746   | 0.7888  | -0.0140 | 0.0002           |
| 13  | 105.7609    | 0.3520   | 6.1018   | 0.6072  | -0.0139 | 0.0002           |
| 14  | 108.0975    | 0.1864   | 4.4892   | 0.4357  | -0.0040 | 0.0000           |
| 15  | 110.3340    | 0.0729   | 2.8364   | 0.2734  | -0.0033 | 0.0000           |
| 16  | 112.4792    | 0.0109   | 1.1068   | 0.1192  | -0.0148 | 0.0002           |
| 17  | 114.5407    | 0.0009   | -0.3260  | -0.0277 | -0.0028 | 0.0000           |
| 18  | 116.5252    | 0.0304   | -1.8821  | -0.1678 | -0.0066 | 0.0000           |
| 19  | 118.4388    | 0.0907   | -3.2769  | -0.3017 | 0.0006  | 0.0000           |
| 20  | 120.2866    | 0.1856   | -4.7246  | -0.4300 | -0.0007 | 0.0000           |
| 21  | 122.0734    | 0.3160   | -6.2107  | -0.5532 | -0.0089 | 0.0001           |
| 22  | 123.8032    | 0.4534   | -7.4921  | -0.6716 | -0.0018 | 0.0000           |
| 23  | 125.4800    | 0.6030   | -8.6985  | -0.7855 | 0.0090  | 0.0001           |
| 24  | 127.1070    | 0.7949   | -10.0520 | -0.8954 | 0.0038  | 0.0000           |
| 25  | 128.6874    | 0.9885   | -11.2788 | -1.0014 | 0.0072  | 0.0001           |
| 26  | 130.2239    | 1.2291   | -12.6516 | -1.1039 | -0.0048 | 0.0000           |
| 27  | 131.7191    | 1.3717   | -13.4415 | -1.2030 | 0.0318  | 0.0010           |
| 28  | 133.1753    | 1.6204   | -14.6902 | -1.2990 | 0.0260  | 0.0007           |
| 29  | 134.5947    | 1.9218   | -16.0831 | -1.3921 | 0.0058  | 0.0000           |

**Cuadro 3:** Valores para el método de mínimos cuadrados.

$$\sum d'_i B'_i = 138.7846$$

$$\Delta_1 = n \sum d_i'^2 - \left( \sum d'_i \right)^2 = 884.0252$$

$$\Delta_2 = n \sum B_i'^2 - \left( \sum B'_i \right)^2 = 2.0359 \times 10^3$$

$$A = \frac{\sum B'_i \sum d_i'^2 - \sum d'_i B'_i \sum d'_i}{\Delta_1} = 16.2132$$

$$B = \frac{n \sum d'_i B'_i - \sum d'_i \sum B'_i}{\Delta_1} = -1.5175$$

$$\sum d'^2 = 0.0048$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum d_i'^2}{n-2} = 1.7902 \times 10^{-4}$$

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{\sigma^2 \sum d_i'^2}{\Delta_1}} = 0.0250$$

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\sigma^2 n}{\Delta_1}} = 0.0024$$

$$A = (16.21 \pm 0.02)[u]; 0.15 \%$$

$$B = (-1.517 \pm 0.002)[u]; 0.16 \%$$

Siendo el coeficiente de correlación:

$$r = \frac{n \sum d'_i B'_i - (\sum d'_i)(\sum B'_i)}{\sqrt{\Delta_1 \Delta_2}} = -1.0000$$

A partir de los parámetros de recta  $A$  y  $B$ , calculamos los parámetros  $a$  y  $b$  de la curva original y sus errores por el método de propagación de errores:

$$a = e^A = e^{16.21} = 1.0997 \times 10^7$$

$$b = B = -1.5$$

$$e_a = e^A e_A = e^{(16.21)} 0.0250 = 2.7519 \times 10^5$$

$$e_b = e_B = 0.0024$$

Obteniendo finalmente los valores de la curva:

$$a = (1.0997 \times 10^7 \pm 2.7519 \times 10^5)[\text{Wb} - u]; 2.50 \%$$

$$b = (-1.517 \pm 0.002)[u]; 0.16 \%$$

Por tanto, se comprueba la relación entre el campo magnético y la distancia en una espira descrito por la **Ecuación 3**.

| Resultado                                  |
|--|
| $B(d) \propto \frac{1}{(r^2 + d^2)^{3/2}}$ |

Se determinará el valor de  $\mu_0 I$ , a partir de la **Ecuación 3**:

$$a = \frac{\mu_0 I r^2}{2}$$
$$\mu_0 I = \frac{2a}{r^2} = 6.0927 \times 10^4 [\text{Wb/u}]$$

La derivada parcial es:

$$\frac{\partial(\mu_0 I)}{\partial a} = \frac{2}{r^2}$$

Siendo el error de la medición:

$$e_{\mu_0 I} = \left| \frac{2}{r^2} e_a \right| = 1.5246 \times 10^3$$

Por tanto el valor de  $\mu_0 I$  es:

| Resultado   |
|---|
| $\mu_0 I = (60927 \pm 1525) [\text{Wb/u}]; 2.50 \%$ |

Lamentablemente el simulador carece de los datos suficientes para el calculo de la corriente circulante, dato con el cual se podría calcular el valor de  $\mu_0$ .