

## PRÁCTICA 7

### LEY DE BIOT SAVART: CAMPO MAGNÉTICO EN UN SOLENOIDE

#### Objetivos

- ☒ Medir la intensidad del campo magnético en diferentes solenoides
- ☒ Investigar la dependencia del campo magnético con el radio y el número de vueltas.

#### Teoría

Considere una espira delgada con corriente  $I$ , como se muestra en Figura 1. Para encontrar el campo magnético en el punto P sobre el eje de la espira se usa la ley de Biot y Savart (Ecuación 1).

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \int \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{r^2} \quad (1)$$

La magnitud del campo producido por dicho anillo viene dada por la expresión (2)<sup>1</sup>

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2(x^2 + a^2)^{3/2}} \quad (2)$$

donde  $a$  corresponde al radio de la espira,  $I$  es la corriente que pasa por ella,  $x$  es la distancia a la cual se está midiendo el campo producido por la espira circular y  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del espacio libre.

Ahora, un solenoide es un alambre enrollado de manera helicoidal sobre un cilindro, generalmente con sección transversal circular (Figura 2). Cada una de las vueltas se considera un anillo o espira circular. El campo magnético del solenoide en un

---

<sup>1</sup> Sears y Zemansky. Física Universitaria con Física Moderna, Vol 2, 13ª ed, Ed Pearson, 2013, pág. 933.

punto sobre el eje del mismo es la suma vectorial de los campos generados por las espiras individuales. Si el solenoide es muy largo en comparación con el diámetro de su sección transversal y si la separación de las espiras es muy pequeña, el campo dentro del solenoide, cerca del eje, puede considerarse uniforme y paralelo al eje y el campo externo cerca del punto medio es muy pequeño [1]. Los solenoides son un medio simple para generar un campo magnético fuerte y pueden además utilizarse para transformar corriente eléctrica en movimiento mecánico.

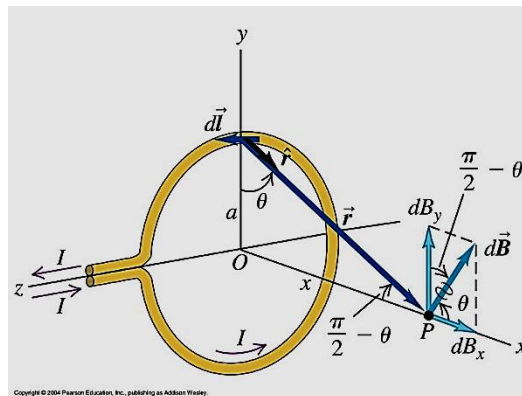


Figura 1. Campo magnético en el eje de una espira circular [1]

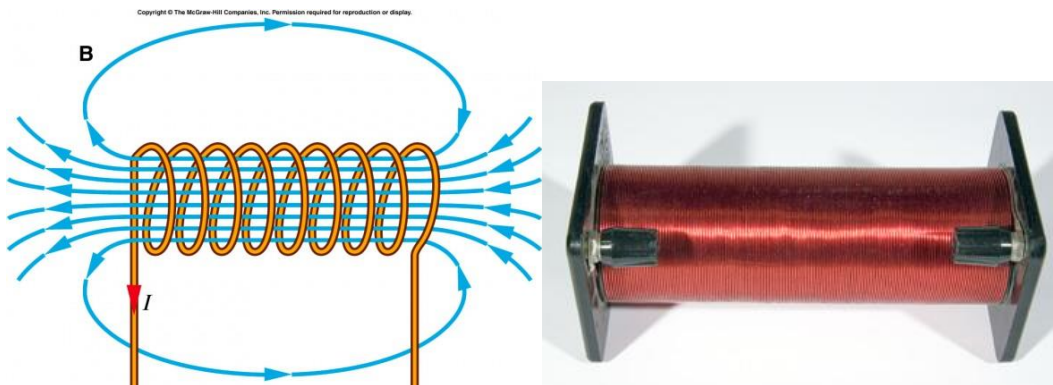


Figura 2. Esquema de un solenoide y sus líneas de campo magnético [2]

Para calcular el campo magnético a lo largo del eje del solenoide (dentro o fuera del mismo), puede calcularse primero el campo magnético producido por una espira de

corriente en el punto P (Ecuación 2) y posteriormente integrar o sumar las contribuciones de todas las espiras del solenoide (Figura 3).

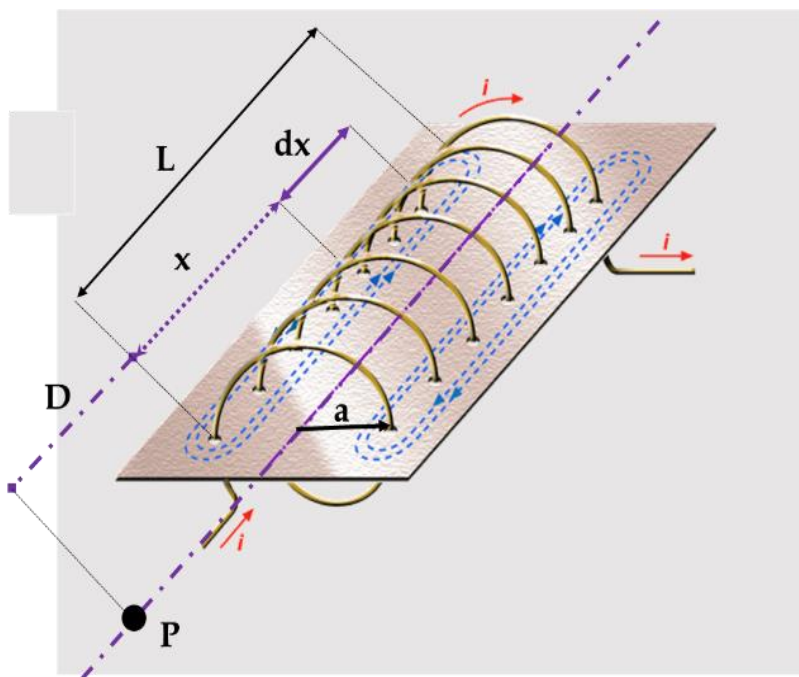


Figura 3. Campo magnético de un solenoide a lo largo de su eje en un punto externo (adaptado de <http://magnetismonaweb.blogspot.com.co>)

La Figura 3 muestra un solenoide de longitud  $L$ , formado por  $N$  espiras iguales de radio  $a$ . El número de espiras que hay en el intervalo comprendido entre  $x$  y  $x+dx$  es  $dn=Ndx/L$ . El campo magnético que estas espiras producen en el punto P es el producto del campo producido por una sola espira multiplicado por el número  $dn$  (Ecuación 3):

$$dB_x = \frac{\mu_0 I a^2}{2((D+x)^2 + a^2)^{3/2}} \frac{N}{L} dx \quad (3)$$

El campo magnético neto del solenoide se obtiene entonces sumando las contribuciones de todas las espiras, es decir, integrando la Ecuación (3) a lo largo de la longitud  $L$  del solenoide:

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2 N}{2L} \int_{x=0}^{x=L} \frac{dx}{((D+x)^2 + a^2)^{3/2}} \quad (4)$$

Ahora, si el punto P se ubica en el eje y dentro del solenoide, como muestra la Figura 4, la Ecuación (4) se reescribe como se muestra en la Ecuación (5).

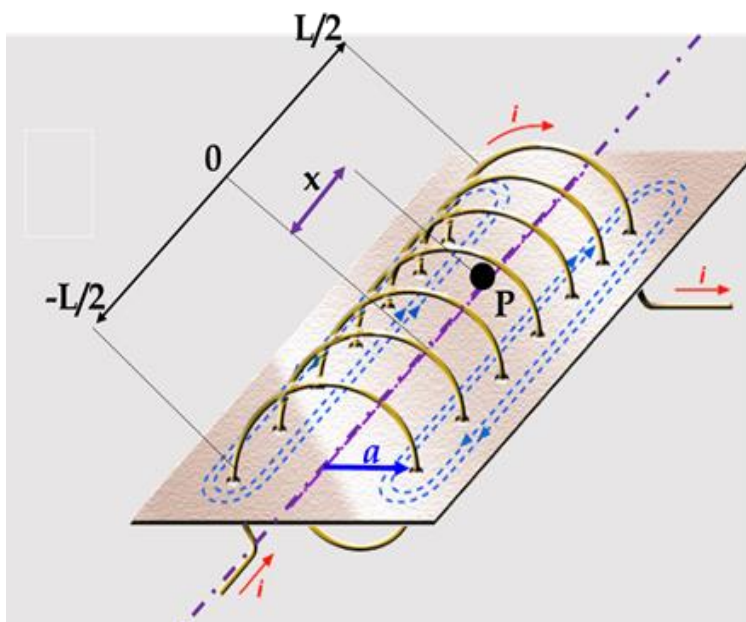


Figura 4. Campo magnético de un solenoide a lo largo de su eje en un punto interno (adaptado de <http://magnetismonaweb.blogspot.com.co>)

$$B_x = \frac{\mu_0 I a^2 N}{2L} \int_{-L/2-x}^{L/2-x} \frac{dx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 I a^2 N}{2L} \cdot \frac{1}{a^2} \left( \frac{x}{(x^2 + a^2)^{1/2}} \right) \Bigg|_{-L/2-x}^{L/2-x} \quad (5)$$

Y resolviendo, se obtiene:

$$B_x = \frac{\mu_0 I N}{2L} \left( \frac{L/2-x}{\sqrt{(L/2-x)^2 + a^2}} + \frac{(L/2+x)}{\sqrt{(L/2+x)^2 + a^2}} \right) \quad (6)$$

En el centro del solenoide, es decir, en  $x=0$ , el campo magnético del solenoide es:

$$B_x = \frac{\mu_0 IN}{2\sqrt{a^2 + (L/2)^2}} \quad (7)$$

Si el solenoide es muy largo comparado con su radio, es decir, si  $L \gg a$ , entonces:

$$B_0 = \frac{\mu_0 IN}{L} \quad (8)$$

La Figura 5 muestra la variación de la magnitud del campo magnético en diferentes puntos a lo largo del eje de un solenoide de longitud  $4a$ . La magnitud del campo en cada extremo es aproximadamente la mitad de su valor en el centro [2].

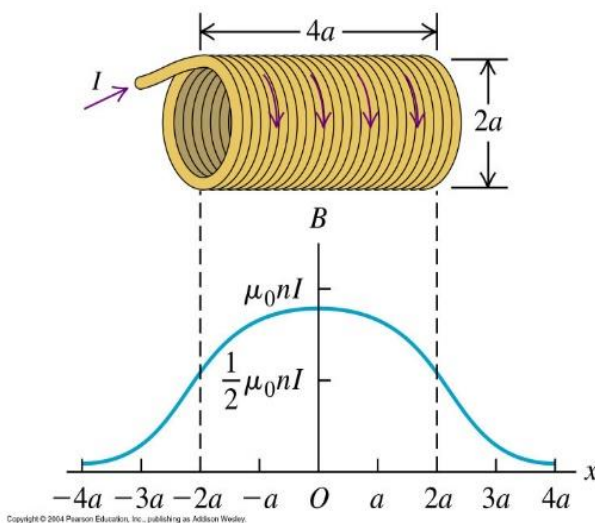


Figura 4. Variación del campo magnético a lo largo del eje de un solenoide [1].

## Bibliografía

- [1] Sears Y Zemansky. Física Universitaria. Pearson Vol.2, 13ª Ed. Págs. 924-941.
- [2] Bauer W., Westfall G., Física para ingeniería y ciencias con física moderna Vol.2. MacGraw Hill, 2ª. Ed. Pág. 948-966.

## EQUIPO

- ☑ Solenoides de cobre de 300 vueltas,  $L = 160$  mm; 200 vueltas,  $L = 165$  mm; 150 vueltas,  $L = 165$  mm; 100 vueltas,  $L = 40$  mm; 75 vueltas,  $L = 25$  mm.
- ☑ Teslámetro digital Phywe, 110 VDC
- ☑ Sensor de efecto Hall Axial.
- ☑ Fuente de potencia DC Variable
- ☑ 1 Amperímetro digital (corrientes de 5 A o 2 A ).
- ☑ 1 Nuez doble, 1 Regla de Madera, 1 Mesa para posicionar los solenoides, 1 varilla 15 cm
- ☑ 1 Flexómetro. Cinta de enmascarar.
- ☑ 1 Pie cónico, 4 conectores

## PROCEDIMIENTO E INFORME

**NOTA:** Antes de hacer su montaje, **observe los valores que soportan los solenoides con el fin de no quemarlos**. Hecho esto, realice el montaje que se indica en la Figura 5.



Figura 5. Montaje experimental para medir la intensidad del campo magnético en el interior de un solenoide.

### 1. Campo magnético en el interior de un solenoide.

Tome un solenoide e identifique:

Radio del solenoide  $a =$ \_\_\_\_\_ Longitud del solenoide  $L =$ \_\_\_\_\_

Número de vueltas del solenoide  $N =$ \_\_\_\_\_

Con ayuda de la fuente de alimentación y el amperímetro seleccione una corriente  $I = 1\text{A}$ . Coloque el sensor de efecto hall al comienzo del solenoide identificando la posición con la regla. Mida la intensidad del campo magnético con ayuda del teslámetro para las siguientes posiciones:

$B_{EXP}(\text{mT})$									
$x(\text{m})$	$-\frac{L}{2}$	$-\frac{3L}{8}$	$-\frac{L}{4}$	$-\frac{L}{8}$	0	$+\frac{L}{8}$	$+\frac{L}{4}$	$+\frac{3L}{8}$	$+\frac{L}{2}$
$B_{TEO}(\text{mT})$									

1.1 Calcule  $B_{TEO}$  con ayuda del ecuación (6).

1.2 Grafique la intensidad del campo magnético (teórico y experimental) medido en el centro del solenoide versus  $x$ .

1.3 De la gráfica anterior ¿en qué posición del solenoide es más intenso el campo magnético?

1.4 ¿Cómo es la magnitud del campo magnético en el eje del solenoide comparado con los extremos del solenoide?

## 2. Variación del campo magnético con la corriente

Coloque el extremo del sensor de hall en el centro del solenoide.

Para  $x = 0$  complete la siguiente tabla:

$B_{EXP}(\text{mT})$									
$I(\text{A})$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
$B_{TEO}(\text{mT})$									

2.1 Calcule  $B_{TEO}$  con ayuda del ecuación (7).

2.2 Grafique la intensidad del campo magnético (teórico y experimental) medido en el centro del solenoide (para  $x = 0$ ) versus  $I$  (use mínimos cuadrados o regresión lineal).

2.3 ¿Qué tipo de relación se obtiene?

2.4 ¿Qué significado físico tiene la pendiente de la recta obtenida?

2.5 Calcule el porcentaje de error en la pendiente para la gráfica construida.

2.6 ¿Qué sucede si se cambia la polaridad de la fuente de alimentación?

## 3. Repita todo lo anterior para otros dos solenoides.

3.1 Para los tres solenoides anteriores, ¿qué puede decirse de la intensidad del campo magnético en el centro del solenoide para los distintos solenoides, según el número de vueltas?

3.2 Agregue en su informe comentarios, sugerencias, causas de error y conclusiones.