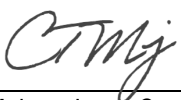


	Facultad de Ingeniería Mexicali	Ciclo Escolar: 2021-2	
	Material Didáctico Electricidad y Magnetismo	Formación Básica	
	Unidad 4, CAMPO MAGNÉTICO	Pág. 5 de 5	

Estado del documento:	Nuevo	Modificación	X
-----------------------	-------	--------------	---

ELABORÓ	REVISÓ	AUTORIZÓ
		
Dr. Juan Carlos Quiroz Sánchez	Dr. Moises Jesús Castro Toscano	Dra. Wendolyn Elizabeth Aguilar Salinas
Profesor	Profesor-Investigador	Coordinador del área Tronco Común

Control de cambios del documento			
Revisión	Ciclo Escolar	Autor de quien elaboro	Descripción o motivo del cambio
0	2020-2	Ana Elsi Sarabia Bastidas	Primera Versión de Paquete Didáctico
1	2021-2	Dr. Juan Carlos Quiroz Sánchez	Adecuar Material Didáctico al nuevo formato



4.2 Ley de Ampere

Un experimento que efectuó por primera vez Oersted en 1820, demuestra que una corriente que conduce un conductor produce un campo magnético. Varias agujas de brújula se ponen en un plano horizontal cerca de un alambre vertical, como se muestra en la Figura 1a, cuando no hay corriente en el alambre todas las agujas apuntan en la misma dirección (la del campo magnético de la tierra).

Cuando los alambres conducen una corriente estable, todas las agujas se desvían en una dirección tangente al círculo, figura 1b. Estas observaciones muestran la dirección de **B** es consistente con la regla de la mano derecha.

Se puede observar que cuando en un alambre conductor largo aparece una corriente eléctrica perturba el espacio alrededor de ese alambre con un campo magnético, la corriente eléctrica es una fuente de campo magnético **B**. Si el alambre se toma con la mano derecha con el pulgar en dirección de la corriente, los dedos dan vuelta en la dirección del campo magnético, Figura 1c.

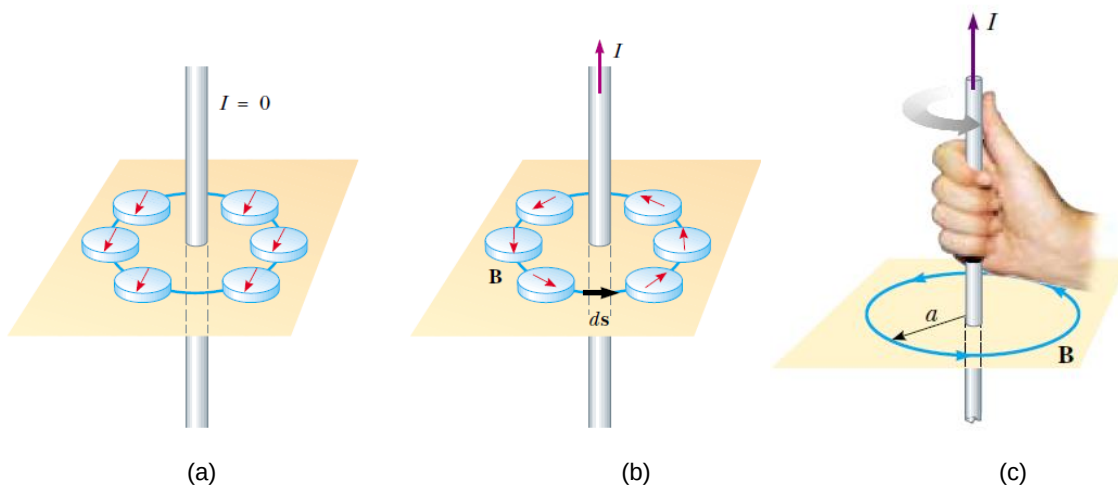


Fig. 1 (a) Orientación de las brújulas sin corriente, (b) orientación de las brújulas con corriente, (c) Uso de la regla de la mano derecha.

Si se invierte la dirección de la corriente las agujas de la Figura 1b también invierten su orientación.

Esta ley establece que la integral de línea $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l}$ alrededor de cualquier trayectoria cerrada es igual a $\mu_0 I$, donde I es la corriente total estable delimitada por la trayectoria cerrada.

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 I_{\text{enc}} \quad (1)$$

Donde:

$\oint$: integral sobre un bucle cerrado, denominado bucle amperiano

μ_0 : Constante de permeabilidad magnética con valor de $4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$

I_{enc} : intensidad de corriente eléctrica [A] de las corrientes entro del bucle cerrado



$\vec{B}$: campo magnético [T]

$d\vec{s}$: diferencial de longitud del círculo que se toma alrededor del conductor [m]

La ley de Ampere es válida solo para corrientes estables y es útil exclusivamente para calcular el campo magnético de configuraciones de corriente que tienen un alto grado de simetría.

La Ley de Ampere relaciona una intensidad de corriente eléctrica con el campo magnético que ésta produce. Se utiliza en conductores considerados teóricamente de longitud infinita. Para un bucle con varias corrientes dentro del bucle como se muestra en la figura 2, $I_{\text{enc}} = i_1 - i_2 + i_3$

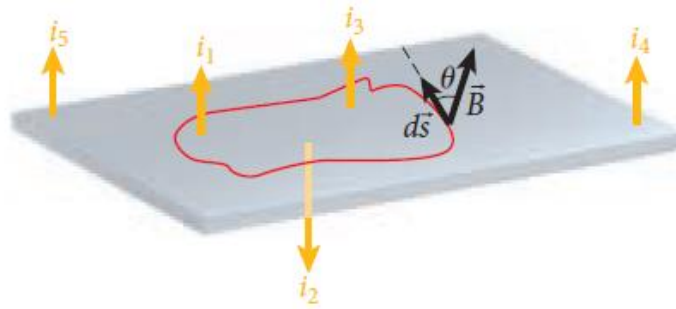


Fig 2. Cinco corrientes y un bucle amperiano.

4.2.2 Campo magnético debido a un alambre con corriente

Un alambre largo de radio R porta una corriente estable I que se distribuye uniformemente a través de la sección transversal del alambre. Calcule el campo magnético a una distancia r desde el centro del alambre, fuera del conductor y dentro del conductor.

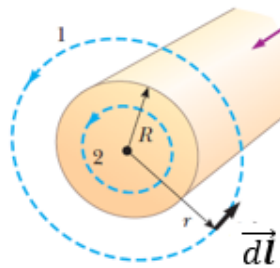


Fig. 3. Conductor largo.

Campo magnético fuera del alambre ($r > R$)

El vector campo magnético es tangente a una trayectoria circular, como podemos observar en la Figura 4, se concluye que las líneas de campo magnético forman círculos alrededor del alambre y la magnitud del campo eléctrico es la misma en cualquier punto de la trayectoria circular centrada en el alambre, lo que cambia es la dirección del campo.

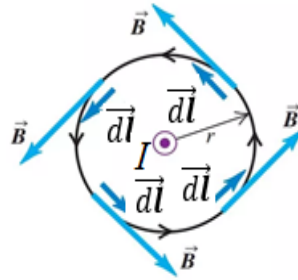


Fig. 4. Conductor que circula corriente saliendo de la página.

El diferencial de longitud y el campo magnético tienen la misma dirección calculemos el producto punto

El diferencial de longitud y el campo magnético tienen la misma dirección calculemos el producto punto

$$\vec{B} \cdot d\vec{l} = B dl \cos 0^\circ = B dl \quad (2)$$

Sustituyendo en la integral

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint B dl \quad (3)$$

Como el campo es constante

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B \oint dl \quad (4)$$

$\oint dl$ es la sumatoria de dl de la trayectoria considerada como un círculo de radio r , se sabe que la longitud de un círculo es $2\pi r$, sustituimos en la ecuación (4)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B 2\pi r \quad (5)$$

Se sustituye la ecuación (5) en la ecuación (1)

$$B 2\pi r = \mu_0 I \quad (6)$$

Se despeja el campo magnético

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad r > R \quad (7)$$

En un punto cercano al alambre el campo magnético es mayor que en un punto alejado del alambre.

Campo magnético dentro del alambre ($r < R$)

Suponga que dentro del conductor circula una corriente I' que pasa a través del círculo 2 (Figura 3) y es menor que la corriente total I .



La relación de la corriente I' a la corriente total I es igual a la relación del área πr^2 encerrada por el círculo 2 al área de sección transversal πR^2 del alambre.

$$\frac{I'}{I} = \frac{\pi r^2}{\pi R^2} \quad (8)$$

Despejamos I' de la ecuación (8)

$$I' = \frac{I \pi r^2}{\pi R^2} \quad (9)$$

Se aplica la ley de Ampere para el círculo 2 sustituimos la ecuación (9) en la ecuación (5)

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = B 2\pi r = \mu_0 I' \quad (10)$$

Despejando B de la ecuación (10)

$$B = \frac{\mu_0 I'}{2\pi r} = \frac{\mu_0 \left(\frac{I \pi r^2}{\pi R^2} \right)}{2\pi r} = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} \quad (11)$$

$$B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} \quad r < R \quad (12)$$

Campo magnetico creado por un toroide

Una toroide consta de N vueltas de alambre enrollado alrededor de una estructura en forma de anillo, suponiendo que las vueltas están espaciadas muy cerca unas de otras, calcule el campo magnético dentro del toroide, a una distancia r del centro.

La estructura en forma de anillo se conoce como toro y puede ser un material solido o puede ser aire, con un alambre rigido enrollado en la forma que se muestra en la figura para formar un toroide vacío.

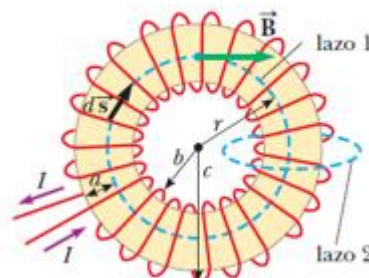


Fig. 5 Toroide



Como el toroide tiene un alto grado de simetría corresponde a los problemas de la ley de Ampere.

El lazo 1 se considera como una espira amperiana circular de radio r , por simetría, la magnitud del campo es constante en este círculo y tangente a él, de modo que $\vec{B} \cdot d\vec{l} = Bdl$

Además, el alambre pasa a través de la espira N veces, de modo que la corriente total a través de la espira es

$$I_{Total} = NI \quad (13)$$

Aplicando la ley de Ampere sustituyendo la ecuación (13) en la ecuación (6) $B2\pi r = \mu_0 I_{Total}$

$$B2\pi r = \mu_0 NI \quad (14)$$

Despejamos B

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} \quad \text{para } r > b \text{ y } r < c \quad (15)$$

Y $B = 0$ para $c < r < b$ por que las líneas de campo son perpendiculares a $d\vec{l}$.

Campo magnetico creado por un solenoide

Un solenoide es un alambre largo enrollado en la forma de una hélice. Con esta configuración, puede producirse un campo magnético razonablemente uniforme en el espacio rodeado por las vueltas del alambre —llamado *interior* del solenoide— cuando éste lleva una corriente.

Cuando hay muy poco espacio entre las vueltas, cada una puede tratarse como si fuera una espira circular, y el campo magnético neto es la suma vectorial de los campos que resultan de todas las vueltas.

La figura muestra las líneas de campo magnético alrededor de un solenoide de espiras sueltas, no apretadas. Observe que las líneas de campo en el interior son casi paralelas, están uniformemente distribuidas y están juntas, lo que indica que en este espacio el campo es intenso y casi uniforme.

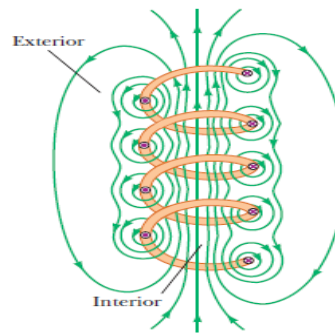


Fig. 6 Solenoide

El campo magnético creado por un solenoide se incrementa al elevar la intensidad de la corriente, al aumentar el número de espiras y al introducir un trozo de hierro en el interior de la bobina (electroimán).

Considere un solenoide de longitud l y radio R que contiene N vueltas muy próximas entre sí y que conduce una corriente estable entre I . El campo magnético en el interior se calcula según la ecuación (16)

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} I \quad (16)$$

Donde N/l es el número de vueltas por unidad de longitud en el centro.

Si P es un punto en el extremo de un largo solenoide entonces el campo magnético se reduce a la mitad.

Ejemplos:

1. Determina el valor de la intensidad del campo magnético a una distancia de 30 cm de un conductor recto muy largo por el que fluye una corriente de 6 A.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A})(6A)}{2\pi(0.3m)} = 4\mu T$$

2. Un alambre largo y recto se encuentra sobre una mesa horizontal y conduce una corriente de $1.2 \mu A$. En el vacío, un protón se mueve paralelo (opuesto a la corriente) al alambre a una velocidad constante y a una distancia de $5.4 \times 10^{-12} m$ sobre el alambre. Encontrar el campo magnético.

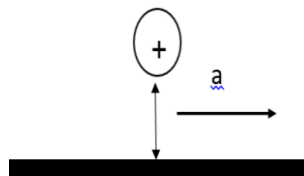


Fig. 7



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A})(1.2 \times 10^{-6} A)}{2\pi(5.4 \times 10^{-12} m)} = 44.44 \mu T$$

3. Cuatro largos conductores paralelos transportan corrientes iguales $I = 5.00 \text{ A}$. La dirección de la corriente es hacia adentro de la página en los puntos A y B (indicado por las cruces) y hacia afuera de la página en los puntos C y D (indicado por los puntos) como se muestra en la figura. Calcule la magnitud y dirección del campo magnético en el punto P localizado en el centro del cuadrado cuyos lados tienen una longitud de 0.200 m .

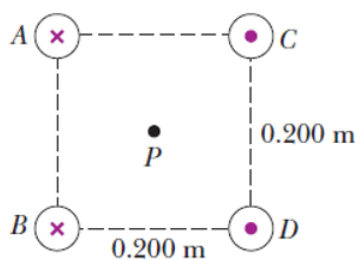


Fig. 8

$$B_P = B_A + B_B + B_C + B_D$$

La magnitud del campo es la misma por simetría $B_A = B_B = B_C = B_D$

$$r = \sqrt{(0.1m)^2 + (0.1m)^2} = 0.1414m$$

$$B = \frac{(4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A})(5A)}{2\pi(0.1414m)} = 7.071 \times 10^{-6} T$$

Dibujamos los vectores de acuerdo con la mano derecha

$B_A = B_D$ y $B_B = B_C$ en magnitud y dirección

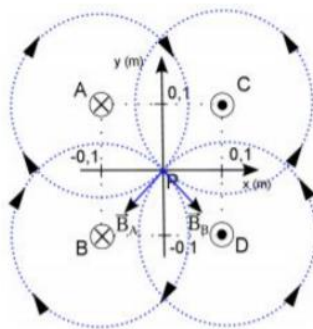


Fig. 9



Por lo tanto, las componentes en x por simetría se eliminan y

$$B_A = B_D = 7.071 \times 10^{-6} T \text{ sen } 225^\circ = 5 \times 10^{-6} T (-j)$$

$$B_B = B_C = 7.071 \times 10^{-6} T \text{ sen } 315^\circ = 45 \times 10^{-6} T (-j)$$

$$B_P = (4)5 \times 10^{-6} T (-j) = 20 \times 10^{-6} T \text{ hacia abajo } (-j)$$

4. Una intensidad de 4A circula por un solenoide de 25 cm de longitud conformado por 3200 espiras de 5 cm de radio. Determinar:

- El campo magnético en el interior del solenoide si este está completamente vacío.
- La longitud del alambre que se ha utilizado para fabricarlo.

$$a) B = \mu_0 \frac{N}{l} I = \left(4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A} \right) \left(\frac{3200}{0.25m} \right) (4A) = 0.0645 T$$

b) Si cada espira tiene un radio de 0.05 m, aplicando la expresión de la longitud de una circunferencia podemos calcular cuánto alambre se necesita para construir una espira:

$$\text{Longitud de una espira} = 2\pi r = 2\pi(0.05m) = 0.31m$$

$$\text{La longitud} = N2\pi r = (3200)2\pi(0.05m) = 992m$$

Por tanto, para 3200 espiras, se utilizarán: 992 m

Resuelva los siguientes reactivos:

1. En la siguiente figura se muestra la vista de la sección transversal de un cable coaxial. El conductor central está rodeado por una capa de hule, la cual está rodeado por un conductor exterior, que a su vez está rodeado por otra capa de hule. En una aplicación particular, la corriente en el conductor interno es de 1.00 A hacia afuera de la página y la corriente en el conductor externo es de 3.00 A hacia adentro de la página. Determine la magnitud y dirección del campo magnético en los puntos *a* y *b*.

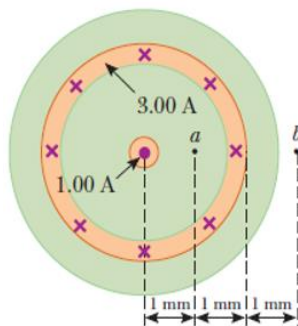


Fig. 10

2. Determina el valor de la intensidad de la corriente, si a una distancia de 2 cm de un conductor recto muy largo la magnitud del campo magnético es $100\mu T$.

	Facultad de Ingeniería Mexicali	Ciclo Escolar: 2021-2	 Facultad de Ingeniería Mexicali
	Material Didáctico Electricidad y Magnetismo	Formación Básica	
	Unidad 4, CAMPO MAGNÉTICO	Pág. 5 de 5	

3. ¿Cuántas vueltas debe de tener un solenoide de longitud de $0.40m$, por el cual circulara una corriente de $32mA$, para producir en el centro del solenoide un campo magnético de magnitud $1 \times 10^{-4}T$?

4. ¿Qué corriente se requiere en los embobinados de un solenoide que tiene 720 vueltas distribuidas uniformemente en toda una longitud de $0.400m$, para producir en el centro del solenoide un campo magnético de magnitud $0.03T$? ¿Cuál será la longitud del alambre, si el solenoide tiene un radio de $1.4cm$?

Referencias

- Serway, R. A., Jewett, J. W., Hernández, (2009). Física para ciencias e ingeniería. Volumen 2. Séptima edición. ISBN-13: 978-607-481-358-6. Cengage Learning.