

## MATERIAL: FM-32

## MAGNETISMO I

Las primeras observaciones de fenómenos magnéticos son muy antiguas. Se cree que fueron realizadas por los griegos en una ciudad de Asia menor, denominada Magnesia. Encontraron que en tal región existían ciertas piedras que eran capaces de atraer trozos de hierro. En la actualidad se sabe que dichas "piedras" están constituidas por óxido de hierro (magnetita); y se denominan imanes naturales. El término magnetismo se usó entonces para designar el conjunto de las propiedades de estos cuerpos, en virtud del nombre de la ciudad donde fueron descubiertos.

Se observó que un trozo de hierro colocado cerca de un imán natural, adquiriría sus mismas propiedades. De esta manera fue posible obtener imanes "no naturales" (artificiales) de varias formas y tamaños, utilizando trozos o barras de hierro con formas y tamaños diversos.

El magnetismo es una propiedad de la carga en movimiento y está estrechamente relacionado con el fenómeno eléctrico. De acuerdo con la teoría clásica, los átomos individuales de una sustancia magnética son, en efecto imanes con los polos norte y sur. La polarización magnética de los átomos se basa principalmente en el espín de los electrones y se debe, sólo en parte, a sus movimientos orbitales alrededor del núcleo.

Los átomos en un material magnético están agrupados en microscópicas regiones magnéticas conocidas como dominios. Se piensa que todos los átomos dentro de un dominio están polarizados magnéticamente a lo largo de un eje cristalino. En un material no magnetizado, estos dominios se orientan en direcciones al azar y si un gran número de dominios se orientan en la misma dirección, el material mostrará fuertes propiedades magnéticas.

Todo imán tiene dos polos; el **polo norte** magnético (N) y el **polo sur** magnético (S). Entre estos polos se cumple la misma relación que entre las cargas eléctricas: **polos del mismo nombre se repelen y polos de distinto nombre se atraen**. Además cada vez que un imán se divide, de los trozos resultan nuevos imanes, cada uno con un polo norte y un polo sur. Por lo tanto un imán no puede tener un único polo.

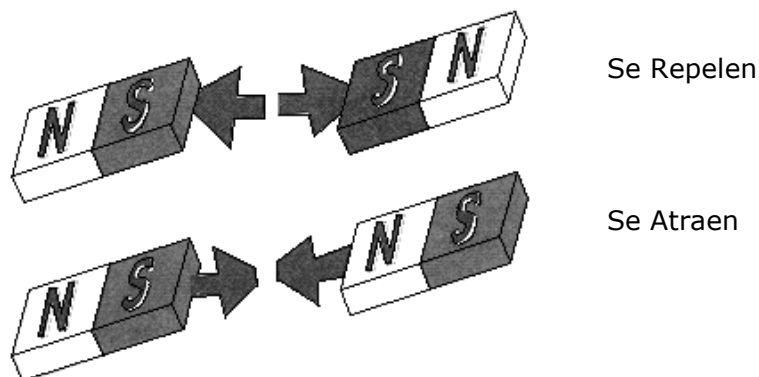


fig. 1

En general cuando un cuerpo magnético se acerca a otro material tiende a producirse un reordenamiento de los momentos magnéticos de los átomos del material. Sin embargo, la respuesta depende del tipo de material. Un material ferromagnético que permanezca durante un cierto tiempo junto a un imán, adquiere propiedades magnéticas y se transforma en un imán y el material se dice magnetizado o imantado. El acero es un material que, después de ser imantado, mantiene las propiedades magnéticas durante largo tiempo. La tabla muestra una clasificación de materiales en relación a como se comportan en presencia de cuerpo magnético.

Tipo de material	Características	Comportamiento	Ejemplos
<b>Ferromagnéticos</b>	Son atraídos por un imán	Reordenamiento y alineación de los momentos magnéticos de los átomos	Hierro y sus aleaciones con Cobalto, Níquel y Aluminio
<b>Paramagnéticos</b>	Son atraídos débilmente por un imán	La alineación de los momentos magnéticos es mínima	Platino, Aluminio, Calcio Sodio y Tungsteno
<b>Diamagnéticos</b>	No son atraídos por un imán natural, e incluso pueden ser repelidos por él	Alineación de los momentos es nula o contraria a la dirección del momento del material magnético	Mercurio, Plata, Oro, Cobre, Plomo y Silicio

### CAMPO MAGNÉTICO

Un imán genera en su entorno un campo magnético que es el espacio perturbado por la presencia del imán. El campo magnético se representa por líneas **de campo magnético que van desde el polo norte hacia el polo sur**, la magnitud del campo es máxima en los polos y disminuye al alejarse de ellos y del imán. Es a través del campo magnético que el imán puede ejercer fuerzas sobre otros cuerpos.

En la figura 2 se muestra el campo magnético de un imán de barra. Observe que *las líneas de campo son continuas y cerradas*, de acuerdo al hecho que no existen las cargas magnéticas.

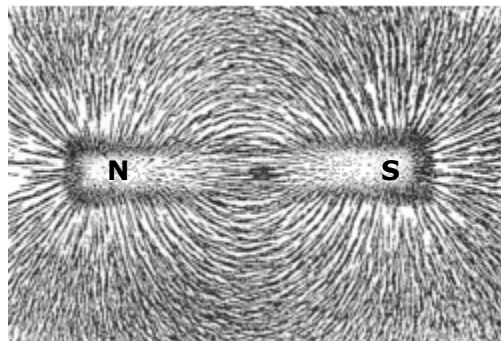


fig. 2

## CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

Un poderoso campo magnético rodea a la Tierra, como si el planeta tuviera un enorme imán en su interior y cuyos polos magnéticos no coinciden con los polos geográficos de su eje (figura 3). Esto se produce porque las posiciones de los polos magnéticos no son constantes y muestran notables cambios de año en año. El magnetismo de la Tierra es el resultado del movimiento que se produce dentro de ella.

La teoría sugiere que el núcleo de hierro es líquido (*excepto en el mismo centro, donde la presión solidifica el núcleo*) y que las corrientes de convección, que se producen dentro del mismo, crean un gigantesco campo magnético.

La orientación del campo magnético se ha desplazado a través del tiempo con respecto a los continentes, pero se cree que el eje sobre el que gira la Tierra ha sido siempre el mismo. Mediante estudios realizados en rocas, y en las anomalías magnéticas de las cuencas de los océanos, se ha calculado que el campo magnético ha invertido su polaridad alrededor de 170 veces en los últimos 100 millones de años. Esto se ha podido realizar a partir de los *isótopos radiactivos* de las rocas.

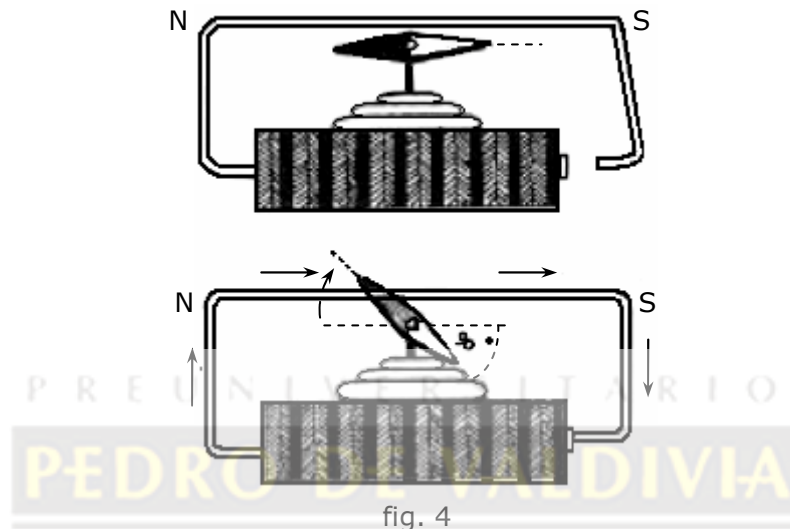


fig. 3

## El experimento de Oersted

En 1820, mientras trabajaba en su laboratorio, Oersted montó un circuito eléctrico, y colocó cerca una aguja magnética. Al no haber corriente en el circuito (circuito abierto), la aguja magnética se orientaba en la dirección Norte – Sur, como ya sabemos. El montaje que se presenta en la figura 4 es similar al que hizo Oersted. Observe que una de las ramas del circuito debe colocarse en forma paralela a la aguja, es decir, también se debe orientar en la dirección Norte-Sur.

Al establecer una corriente en el circuito, Oersted observó que la aguja magnética se desviaba, tendiendo a orientarse en dirección perpendicular al conductor. Al interrumpir el paso de la corriente, la aguja volvía a su posición inicial, en la dirección *N-S*. Estas observaciones realizadas por Oersted demostraron que una corriente eléctrica podía actuar como si fuese un imán, originando desviaciones en una aguja magnética. Así se observó por primera vez que existe una relación estrecha entre la electricidad y el magnetismo: ***una corriente eléctrica es capaz de producir efectos magnéticos.***



Al darse cuenta de la importancia de su descubrimiento, Oersted divulgó el resultado de sus investigaciones, que inmediatamente trajeron la atención de importantes científicos de la época. Algunos de ellos comenzaron a trabajar en investigaciones relacionadas con el fenómeno, entre los cuales destaca el trabajo de Ampère. En poco tiempo, gracias a dichas investigaciones, se comprobó que todo fenómeno magnético era producido por corrientes eléctricas; es decir, se lograba, de manera definitiva, la unificación del magnetismo y la electricidad, originando la rama de la Física que actualmente conocemos como **Electromagnetismo.**

## El hecho básico del electromagnetismo

Como resultado de los estudios que acabamos de citar fue posible establecer el principio básico de todos los fenómenos magnéticos: *cuando cargas eléctricas están en movimiento, entre ellas surge una fuerza que se denomina fuerza magnética.*

Ya sabemos que cuando dos cargas eléctricas se encuentran en reposo, entre ellas existe una fuerza denominada electrostática, la cual estudiamos en la guía de electricidad I (ley de Coulomb). Cuando las dos cargas están moviéndose, además de la fuerza electrostática o eléctrica, surge entre ellas una nueva interacción, la **fuerza magnética**.

Todas las manifestaciones de fenómenos magnéticos se pueden explicar mediante esta fuerza existente entre cargas eléctricas en movimiento. De manera que la desviación en la aguja del experimento de Oersted, se debió a la existencia de dicha fuerza; también esta es la responsable de la orientación de la aguja magnética en la dirección N - S; la atracción y repulsión entre los polos de los imanes es incluso una consecuencia de esta fuerza magnética, etc. Como vimos en un comienzo, en la estructura atómica de un imán existen cargas en movimiento que originan las propiedades magnéticas que presenta.

## El vector campo magnético

Supongamos que en el punto P que se muestra en la figura 5, existe un campo magnético  $\vec{B}$  con la dirección y sentido indicados. Si una partícula electrizada con carga positiva,  $q$ , fuera lanzada de manera que pase por el punto P con velocidad  $\vec{v}$ , veremos que el campo magnético ejercerá sobre tal carga una fuerza magnética  $\vec{F}$ . Se observa que esta fuerza es perpendicular al plano determinado por los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$ , como se muestra en la figura 5. Realizando mediciones cuidadosas, los científicos hallaron que la magnitud de la fuerza magnética  $\vec{F}$  depende del valor de la carga  $q$ , de la magnitud de la velocidad  $\vec{v}$ , y del ángulo  $\theta$  formado por los vectores  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$ , de lo cual se obtuvieron las relaciones siguientes

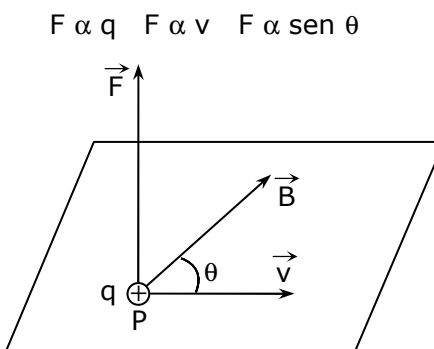


fig. 5

Debe observarse que el valor de  $\vec{B}$  es constante para un punto dado, pero que para diferentes puntos, en general, tendremos distintos valores de  $\vec{B}$ . En otras palabras, la magnitud del campo magnético se encuentra bien determinada para un punto, pero puede presentar distintos valores en diferentes puntos del espacio (como vimos, lo mismo sucede con la intensidad de un campo eléctrico). La fuerza magnética está dada por:

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$$

De la expresión anterior se deduce que para una partícula electrizada positivamente con carga  $q$ , que se mueve con una velocidad  $\vec{v}$  por un punto donde existe un campo magnético  $\vec{B}$ , queda sujeta a la acción de una fuerza magnética  $\vec{F}$  que tiene las características siguientes:

- **Módulo:**  $|\vec{F}| = q \cdot v \cdot B \cdot \sin\theta$ , donde  $\theta$  es el ángulo entre  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$ .
- **Dirección:**  $\vec{F}$  es perpendicular a  $\vec{v}$  y  $\vec{B}$ .
- **Sentido:** dado por la "regla de la palma de la mano derecha", que se ilustra en la figura 6.

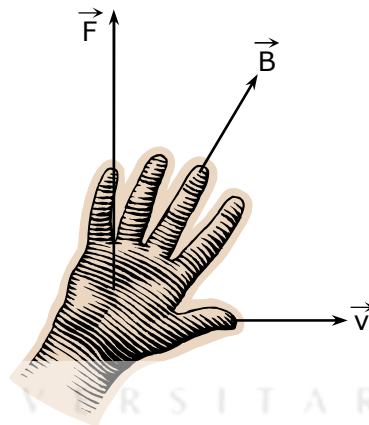


fig. 6

**Nota:**

- Si la carga  $q$  fuese negativa, el sentido de la fuerza magnética será contraria a la que se obtiene para una carga positiva.
- Si la carga entra paralela a un campo magnético, la fuerza magnética es nula.
- La intensidad de la fuerza magnética es máxima, cuando entra perpendicular al campo magnético.
- La unidad de medida en el S.I del campo magnético, es el **Tesla (T)**.

$$1\text{T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

### Movimiento de una partícula cargada en un campo magnético

Considérese el caso de una partícula con carga positiva que se desplaza en un campo magnético uniforme (que está entrando perpendicular a la página, lo cual se simboliza con X), de tal manera que la dirección de la velocidad de la partícula es *perpendicular al campo*, como en la figura 7.

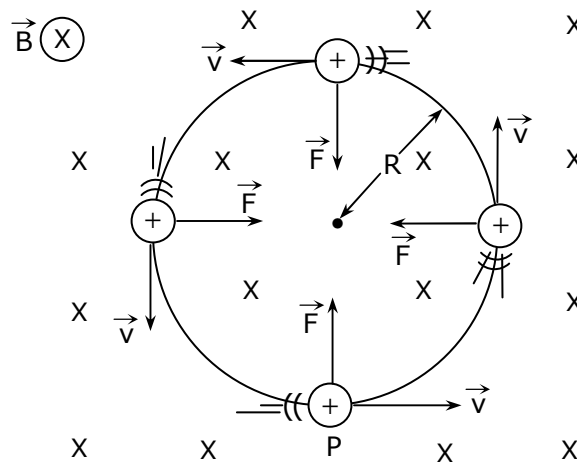


fig. 7

Esto obliga a la partícula a alterar la dirección de su movimiento y a seguir una trayectoria curva. La aplicación de la regla de la mano derecha en cualquier punto muestra que **la fuerza magnética siempre está dirigida hacia el centro de la trayectoria circular**; por tanto, la fuerza magnética causa la aceleración centrípeta, la cual modifica sólo la dirección de  $\vec{v}$ , no su magnitud. Puesto que  $\vec{F}$  produce la aceleración centrípeta, podemos igualar su magnitud a la fuerza centrípeta:

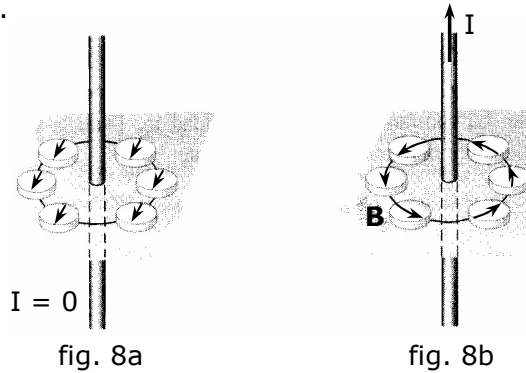
$$|\vec{F}_m| = |\vec{F}_c| \Rightarrow q \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

de donde obtenemos el radio de la trayectoria circular:

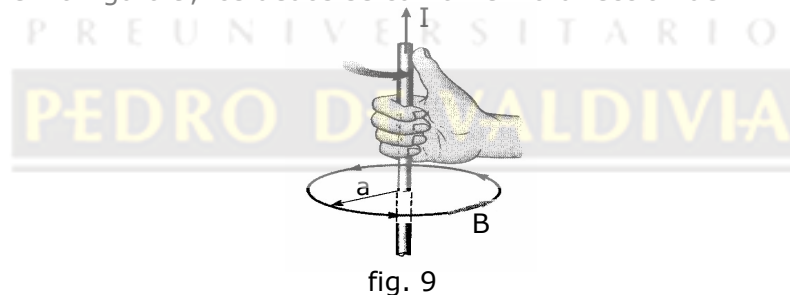
$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

## Campo magnético de un alambre recto y largo

Un sencillo experimento realizado por Hans Oersted en 1820 demuestra con claridad que un conductor que transporta corriente produce un campo magnético. En este experimento, se colocan varias agujas de brújula en un plano horizontal cerca de un largo alambre vertical, como en la siguiente figura.



Cuando no hay corriente en el alambre, todas las agujas apuntan en la misma dirección (figura 8a). Sin embargo, cuando el alambre transporta una corriente constante e intensa, todas las agujas se desvían en direcciones tangentes al círculo (figura 8b). Estas observaciones muestran que la dirección de  $\vec{B}$  es congruente con la conveniente regla siguiente: "si se sujeta el alambre con la mano derecha, con el pulgar en el sentido de la corriente, como en la figura 9, los dedos se curvan en la dirección de  $\vec{B}$ "



Cuando la corriente se invierte, también lo hacen las agujas de la figura 8b. Puesto que las agujas apuntan en la dirección de  $\vec{B}$ , se deduce que las líneas de  $\vec{B}$  forman círculos en torno al alambre. Por simetría, la magnitud de  $\vec{B}$  es la misma en todos los puntos de una trayectoria circular centrada en el alambre y que yace en un plano perpendicular al mismo. Si se modifica la corriente y la distancia respecto al alambre, se encuentra que la intensidad de  $\vec{B}$  es proporcional a la corriente e inversamente proporcional a la distancia respecto al alambre. Poco después del descubrimiento de Oersted, los científicos dedujeron una expresión de la intensidad del campo magnético debido a la corriente que pasa por un alambre recto y largo. La intensidad del campo magnético a una distancia (a) de un alambre que conduce la corriente I es

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$$

Este resultado muestra que la magnitud del campo magnético es proporcional a la corriente y disminuye con la distancia respecto al alambre, como uno esperaría intuitivamente que fuese. La constante de proporcionalidad  $\mu_0$ , llamada **permeabilidad del espacio libre**, tiene por definición el valor siguiente:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T m/A}$$



### Fuerza magnética sobre un conductor que transporta corriente

La experiencia nos dice ahora que no debemos sorprendernos que un alambre que conduce corriente también experimente una fuerza cuando se le coloca en un campo magnético. Esto se deduce del hecho de que la corriente es un conjunto de muchas partículas con carga en movimiento; por tanto, la fuerza resultante sobre el alambre se debe a la suma de las fuerzas individuales que se ejercen sobre las partículas con carga. La fuerza sobre las partículas se transmite a la totalidad del alambre en virtud de las colisiones con los átomos que constituyen el alambre. Antes de continuar es conveniente cierta explicación respecto a la notación que se utiliza en la figura 10. Para indicar la dirección de  $\vec{B}$  se aplica la convención siguiente:

Si  $\vec{B}$  está dirigido hacia la página, como lo indica la figura 10, utilizamos una serie de cruces que representan las colas de las flechas de los vectores. Si  $\vec{B}$  está dirigido hacia afuera de la página, utilizamos una serie de puntos que representan las puntas de las flechas de los vectores  $\vec{B}$ . Si  $\vec{B}$  está sobre el plano de la página, empleamos una serie de líneas de campo con puntas de flecha.

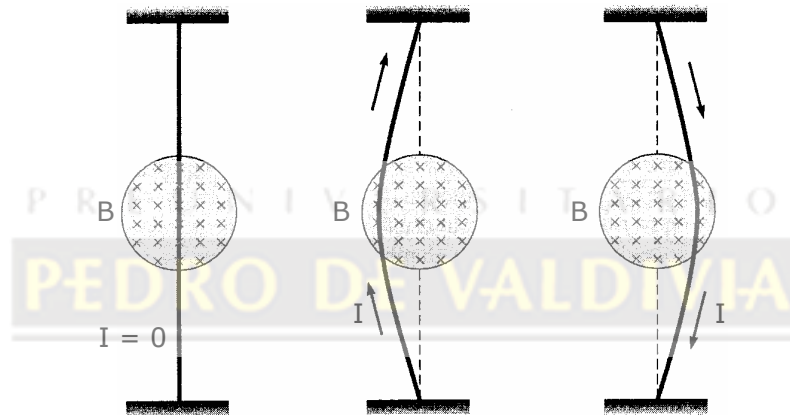


fig. 10

Se puede demostrar la fuerza que se ejerce sobre un conductor que transporta corriente colgando un alambre entre los polos de un imán, como en la figura anterior. En la figura 10, el campo magnético está dirigido hacia la página y cubre la región comprendida dentro del círculo sombreado. El alambre se desvía hacia la derecha o hacia la izquierda cuando se hace pasar una corriente por él.

Cuantifiquemos esta exposición considerando un segmento recto de alambre de longitud  $L$  y área de sección transversal  $A$ , que conduce una corriente  $I$  en un campo magnético externo uniforme,  $B$ . Suponemos que el campo magnético es perpendicular al alambre y está dirigido hacia la página (entrando). Todos los portadores de carga reciben una fuerza magnética que, en suma hace que todo el conductor se desvíe y dicha fuerza tiene una magnitud que se expresa como  $F_{\text{máx}}$ :

$$|\vec{F}_{\text{máx}}| = |\vec{B}| \cdot I \cdot L$$

Ahora, cuando el campo no sea perpendicular al alambre y se forme un cierto ángulo ( $\theta$ ) entre sí, entonces será necesario incorporar la componente en la ecuación obteniéndose:

$$|\vec{F}| = |\vec{B}| \cdot I \cdot L \cdot \text{sen } \theta$$

Donde  $\theta$  es el ángulo entre  $\vec{B}$  y la dirección de la corriente.

### Fuerza magnética entre dos conductores paralelos

Como hemos visto, una fuerza magnética actúa sobre un conductor que transporta corriente cuando el conductor se coloca en un campo magnético externo. Puesto que una corriente en un conductor crea su propio campo magnético, es fácil entender que dos alambres portadores de corriente próximos entre sí ejercen fuerzas magnéticas uno sobre el otro. Considérense dos alambres largos, rectos y paralelos separados por la distancia  $d$  y que transportan las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  en la misma dirección, como se muestra en la figura 11.

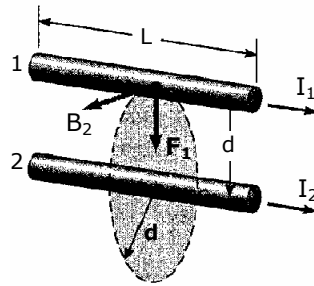


fig. 11

Determinemos la fuerza magnética sobre un alambre, debida al campo magnético establecido por el otro alambre. El alambre 2, que conduce la corriente  $I_2$ , establece el campo magnético  $\vec{B}_2$  en el alambre 1. La dirección de  $\vec{B}_2$  es perpendicular al alambre, como se muestra en la figura 11. Aplicando la ecuación del campo generado alrededor de un conductor, tenemos:

$$|\vec{B}_2| = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

Uniendo esta expresión con la fuerza en un conductor rectilíneo, se obtiene para la intensidad de la fuerza magnética sobre el alambre 1 en presencia del campo  $\vec{B}_2$  debido a  $I_2$ :

$$|\vec{F}_2| = \frac{\mu_0 I_1 I_2 L}{2\pi d}$$

La dirección de  $\vec{F}_1$  es descendente, hacia el alambre 2, como lo indica la regla de la mano izquierda. Si se considera el campo establecido en el alambre 2 debido al alambre 1, se encuentra que la fuerza  $\vec{F}_2$  que se ejerce sobre el alambre 2 es igual y opuesta a  $\vec{F}_1$ . Esto es lo que uno esperaría con base en la tercera ley de Newton de acción-reacción.

Hemos demostrado que **los conductores paralelos que transportan corriente en el mismo sentido, se atraen uno al otro**. El alumno deberá aplicar el enfoque indicado por la misma figura y las etapas que llevan a la ecuación anterior para demostrar que los conductores paralelos que transportan corriente en sentidos opuestos se *repelen* mutuamente.

### Campo magnético de una espira de corriente

Si un alambre se curva para darle forma de una espira y luego se conecta a una fuente de corriente, se establece un campo magnético similar al de un imán de barra. La regla de la mano derecha seguirá siendo muy útil para conocer la dirección de campo. En este caso las líneas de flujo no serán de forma circular y la densidad de flujo magnético varía considerablemente de un punto a otro.

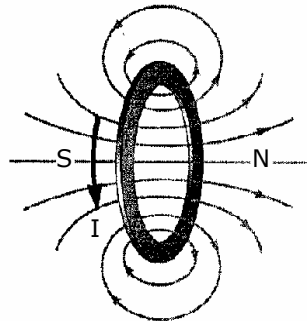


fig. 12

La magnitud del campo en el centro de la espira circular de radio  $r$  que transporta una corriente  $I$  se calcula por:

$$|\vec{B}| = \mu_0 \frac{I}{2r}$$

La dirección de  $\vec{B}$  (en el centro) es perpendicular al plano de la espira. Si el alambre forma parte de una bobina con  $N$  vueltas (solenoides), la intensidad del campo aumenta  $N$  veces. La figura 13 muestra las líneas de flujo en un solenoide.

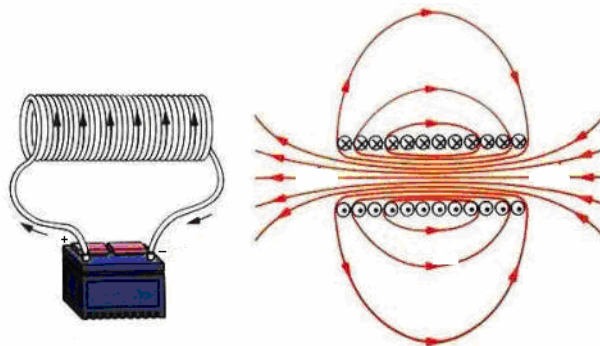


fig. 13

### EJEMPLOS

1. Un imán tiene un campo magnético asociado, el cual es

- A) uniforme en torno al imán.
- B) positivo en un polo y negativo en el otro.
- C) más intenso en los polos.
- D) mayor en el polo norte que en el polo sur.
- E) independiente del material del que está hecho el imán.



fig. 14

2. El campo magnético puede ser representado por líneas de fuerza o líneas de campo, las cuales se caracterizan

- I) porque salen desde el polo norte magnético y se dirigen al polo sur magnético.
- II) son líneas cerradas.
- III) donde hay una mayor concentración de ellas, indican un campo magnético más intenso.

Es (son) verdadera(s) **UNIVERSITARIO**

- A) sólo I.
- B) sólo II.
- C) sólo III.
- D) sólo I y II.
- E) I, II y III.

3. La figura 15 muestra un conductor rectilíneo en posición horizontal, a través de él circula una intensidad de corriente constante,  $I$ , hacia la derecha de la página. Es correcto asegurar que

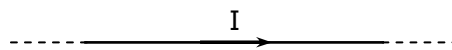


fig. 15

- A) en este caso no se crea ningún campo magnético.
- B) se crea un campo magnético que tiene el sentido de la corriente eléctrica.
- C) se crea un campo magnético cuyo polo sur está sobre el conductor.
- D) se crea un campo magnético alrededor del conductor y concéntrico quedando el conductor justo en el centro.
- E) se crea un campo magnético uniforme en torno al conductor de modo que a distintas distancias respecto al conductor el campo mide lo mismo.

**PROBLEMAS DE SELECCIÓN MÚLTIPLE**

1. La figura 16 muestra un conductor rectilíneo largo, un campo magnético uniforme se muestra en torno a él, al respecto se afirma que

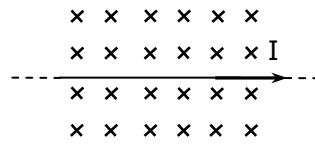


fig. 16

- I) el campo que se muestra es creado por la intensidad de corriente que circula por el conductor.
- II) al circular una corriente por el conductor hacia la derecha de la página, hará que el campo sea más intenso sobre el conductor y más débil bajo este.
- III) al circular una corriente por el conductor hacia la derecha de la página, hará que el campo externo se anule.

Es (son) verdadera(s)

- A) sólo I.
- B) sólo II.
- C) sólo III.
- D) sólo I y II.
- E) sólo I y III.

2. Dos conductores rectilíneos largos están colocados de tal forma que son perpendiculares entre sí, de modo que forman cuatro cuadrantes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  y  $C_4$ . Si por cada conductor circula la misma intensidad de corriente eléctrica, entonces está correcto el campo magnético mostrado en el cuadrante

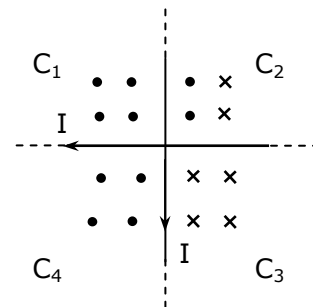


fig. 17

- A)  $C_1$
- B)  $C_2$
- C)  $C_3$
- D)  $C_4$
- E) en todos ellos.

3. Por una espira circular se establece una corriente eléctrica  $I$ , con sentido horario, al respecto es correcto decir que

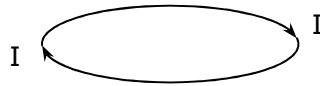


fig. 18

- A) a través del círculo no hay un campo magnético.  
 B) sólo existe un campo magnético fuera del círculo.  
 C) sólo si varía la intensidad de corriente en la espira se creará un campo magnético.  
 D) se crea un campo magnético de tal forma que la cara superior del círculo es un polo sur.  
 E) sólo si se introduce un imán en la espira aparecerá un campo magnético.
4. Una espira circular transporta una corriente eléctrica con sentido horario, además se dispone de otra espira de similares características y de un imán de barra. Si se desea crear un campo magnético más intenso lo correcto es colocarlos como se muestra en



fig. 19

5. La figura 20 muestra un campo magnético uniforme,  $\mathbf{B}$ , dirigido hacia la derecha, se dirigen a este campo 4 partículas, dos entran paralela y las otras dos perpendicular al campo. Todas viajan con igual rapidez, dos de las partículas son protones  $q_p$  y las otras dos son electrones  $q_e$ , luego se afirma que

- I) al entrar al campo los dos protones tendrán la misma energía cinética.  
 II) sólo uno de los electrones experimentará una fuerza debido al campo magnético.  
 III) uno de los protones tendrá movimiento rectilíneo uniforme y el otro movimiento circular uniforme.

Es (son) verdadera(s)

- A) sólo I.  
 B) sólo II.  
 C) sólo III.  
 D) sólo I y II.  
 E) I, II y III.

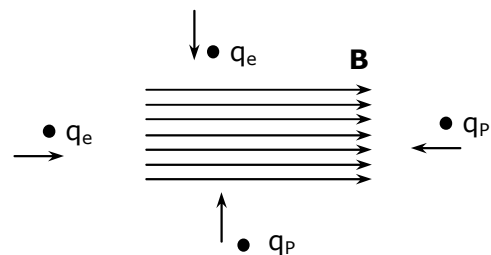
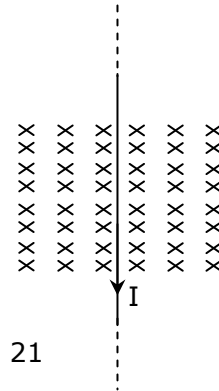


fig. 20

6. Un conductor largo y rectilíneo que transporta una corriente eléctrica  $I$ , es colocado en una región donde existe un campo magnético que entra perpendicular al plano de la página, entonces este conductor sentirá una fuerza cuya dirección y sentido se muestra en

- A)  $\rightarrow$   
 B)  $\downarrow$   
 C)  $\swarrow$   
 D)  $\bullet$   
 E)  $\otimes$

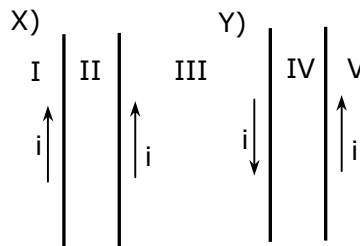


7. Un protón,  $p$ , y un electrón,  $e$ , ingresan perpendicularmente a una zona donde existe un campo magnético representado por pequeños cuadrados, cada uno de estos cuadrados corresponde a

- A)  $\rightarrow$   
 B)  $\times$   
 C)  $\bullet$   
 D)  $\leftarrow$   
 E)  $\downarrow$



8. La figura 23 muestra dos situaciones independientes X e Y, en cada caso hay un par de conductores rectilíneos solo que en X las corrientes viajan en el mismo sentido y en Y viajan con sentido opuesto. En base a la situación planteada es correcto afirmar que



- A) en X el campo es más intenso en la zona II.  
 B) en Y el campo resultante en IV entra a la página.  
 C) en X el campo es más débil en la zona II que en la zona I y III.  
 D) en Y en la zona III el campo solo sale desde la página.  
 E) en X y en Y el campo es más intenso en la zona III.

9. Dos conductores paralelos y rectilíneos P y Q, tienen dirección perpendicular a la página. En P la corriente eléctrica entra y en Q sale. Es correcto asegurar que el conductor Q siente una fuerza, debido al campo magnético creado por P, cuya dirección y sentido se muestra en

- A) ↓  
 B) ←  
 C) ↑  
 D) →



fig. 24

- E) no siente fuerza ya que el campo es nulo.

10. Una placa metálica es dejada caer a través de una zona donde existe un campo magnético uniforme cuya dirección es perpendicular a la hoja y saliente, entonces es correcto afirmar que en la placa se genera una diferencia de potencial representada en






- A)   
 B)   
 C)   
 D)   
 E) 



fig. 25

**CLAVES DE LOS EJEMPLOS**

1 C    2 E    3 D

**DMDFM-32**

**Puedes complementar los contenidos de esta guía visitando nuestra web  
<http://www.pedrodevaldivia.cl/>**