

Fuerza magnética



Introducción

Hemos visto que cargas eléctricas en movimiento (corriente eléctrica) afectan a un brújula, (experimento de Oersted) es decir, le realizan una fuerza de forma muy similar a como lo hace un imán. Las interacciones entre imanes, tienen el mismo origen que entre un imán y una corriente eléctrica.

Podemos esperar entonces, que los campos generados por los imanes, ejerzan fuerzas sobre las cargas que están en movimiento o sobre las corrientes eléctricas. Ese campo magnético que interactúa con las cargas en movimiento puede ser generado tanto por un imán como por otra corriente.

Fuerza magnética sobre una carga eléctrica en movimiento

Para estudiar esta fuerza, que denominaremos Fuerza Magnética " \vec{F}_M " analizaremos el movimiento de partículas cargadas eléctricamente dentro de zonas donde existen campo magnéticos. Sólo estudiaremos los casos en que dicho campo magnético es uniforme. Esto conlleva que el módulo de la fuerza magnética sea constante.

Módulo de la fuerza magnética.

¿De qué variables depende el módulo de la fuerza magnética sobre una carga eléctrica en movimiento dentro de un campo magnético uniforme?

Para que actúe la fuerza magnética se tienen que dar un conjunto de condiciones que describiremos a continuación.

- En primer lugar tiene que existir una zona con un campo magnético. Si no hay un campo magnético NO actuará la fuerza magnética. El módulo de la fuerza magnética sobre la carga eléctrica en movimiento es directamente proporcional al módulo del campo magnético. $|\vec{F}_M| \propto |\vec{B}|$ (Fig. 1)
- La fuerza magnética actúa si el cuerpo tiene carga eléctrica. La fuerza magnética depende de la carga eléctrica "q" del cuerpo. El módulo

$$|\vec{F}_M| \propto |\vec{B}|$$

Para que actúe una fuerza magnética, debe existir un campo magnético.

Fig.1.

de la fuerza magnética es directamente proporcional a la carga eléctrica del cuerpo $|\vec{F}_M| \propto |q|$ (Fig. 2)

- Si la partícula cargada está en reposo dentro de un campo magnético, no actúa fuerza magnética. El cuerpo cargado debe tener velocidad para que actúe dicha fuerza. Más aún, el módulo de la fuerza magnética es directamente proporcional al módulo de la velocidad. $|\vec{F}_M| \propto |\vec{v}|$ (Fig. 3)

- Además, se ha observado que si la velocidad tiene dirección paralela al campo magnético, la fuerza magnética es nula. Por lo tanto la fuerza magnética también depende del ángulo α formado entre los vectores campo magnético y velocidad.

$$\text{si } \alpha = 0^\circ \text{ y } \alpha = 180^\circ \Rightarrow F_M = 0 \text{ N}$$

En caso que forme un ángulo α diferente de 0° y 180° actúa la fuerza magnética y es proporcional al seno del ángulo " α ". (Fig. 4)

En el caso que las direcciones de \vec{v} y \vec{B} sean perpendiculares, es decir $\alpha = 90^\circ$, el módulo de la fuerza tiene el máximo valor para una carga, velocidad y campo magnético determinado.

Resumiendo:

$$\begin{aligned} |\vec{F}_M| &\propto |\vec{B}| & |\vec{F}_M| &\propto |q| \\ |\vec{F}_M| &\propto |\vec{v}| & |\vec{F}_M| &\propto \text{sen}\alpha \end{aligned}$$

El módulo de la fuerza magnética se determina:

$$|\vec{F}_M| = |q| \times |\vec{v}| \times |\vec{B}| \times \text{sen}\alpha$$

De ahora en adelante expresaremos los módulos de los vectores sin el vector y sin las barras, dado que simplifica su notación. Del mismo modo expresaremos simplemente " q " el valor absoluto de la carga.

$$F_M = q \times v \times B \times \text{sen}\alpha$$

Esta relación es conocida como Ley de Lorentz, en honor al científico holandés que la formuló por primera vez. (Fig. 5)

Dirección de la fuerza magnética.

La fuerza magnética tiene una dirección perpendicular al vector velocidad y al vector campo magnético, esto es:

$$\vec{F}_M \perp \vec{v} \quad \vec{F}_M \perp \vec{B}$$

$|\vec{F}_M| \propto |q|$
Sobre un partícula sin carga eléctrica, NO actúa una fuerza magnética.

Fig.2.

$|\vec{F}_M| \propto |\vec{v}|$
Para que se observen los efectos de la fuerza magnética, la partícula con carga debe estar en movimiento.

Fig.3.

$|\vec{F}_M| \propto \text{sen}\alpha$
Para que se observen los efectos de la fuerza magnética, la partícula con carga debe estar en movimiento NO paralelo al campo magnético.

Fig.4.

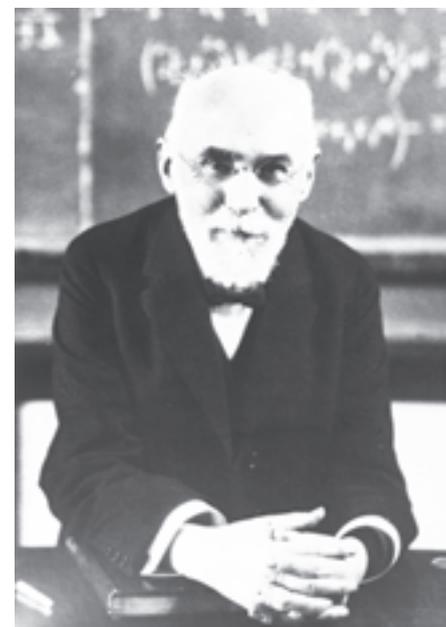


Fig.5. Hendrik Antón Lorentz (1853-1928) Matemático y físico holandés. Realizó grandes aportes a la ciencia en electromagnetismo y relatividad principalmente.

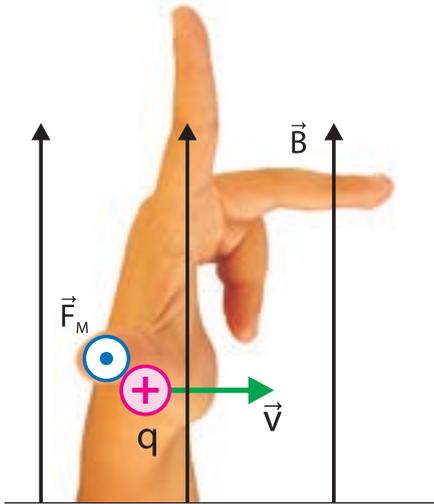


Fig.6. Regla de la mano izquierda

Pulgar \Rightarrow Fuerza
Índice \Rightarrow Campo Magnético
Mayor \Rightarrow Velocidad



Fig.7. Nikola Tesla.

Ingeniero eléctrico. Nacido el 10 de julio de 1856 en el Imperio Austríaco, hoy Croacia. Su mayor aportación en el campo de la electricidad fue sin dudas la teoría de la corriente alterna, lo cual le permitió idear el primer motor de inducción. Concibe el sistema polifásico para trasladar la electricidad a largas distancias. En 1893 consiguió transmitir energía electromagnética sin cables, construyendo el primer radiotransmisor (adelantándose a Guillermo Marconi). En ese año se construyó la primera central hidroeléctrica en las cataratas del Niágara gracias a sus desarrollos. En 1896 se logra transmitir electricidad de dicha central a la ciudad de Búfalo. La corriente alterna sustituyó a la continua. Tesla fue considerado desde entonces el fundador de la industria eléctrica. En su honor se llamó Tesla a la unidad de campo magnético en el Sistema Internacional de Unidades.

¿Cuánto es 1 Tesla?

Un campo magnético de 1 Tesla es aquel que le ejerce una fuerza de 1 Newton a una carga de 1 coulomb cuando se mueve con una velocidad de $1 \frac{m}{s}$ de forma perpendicular a dicho campo.

Fig.8.

De esto último podemos concluir que la dirección de la fuerza es perpendicular al plano determinado por los vectores velocidad y campo magnético.

Sentido de la fuerza magnética

Para determinar su sentido, aplicaremos la regla de la mano izquierda.

Si orientamos el dedo índice en la dirección y sentido del campo magnético \vec{B} y el dedo mayor en la dirección y sentido de la velocidad \vec{v} , el dedo pulgar extendido nos indicará dirección y sentido de la fuerza magnética \vec{F}_M . (Fig. 6)

Aclaración importante.

El sentido obtenido a través de la regla de la mano izquierda es válido si el cuerpo está cargado positivamente. En caso que la carga sea negativa, debemos tomar el resultado opuesto de la regla.

Análisis de las unidades

Las unidades de las magnitudes involucradas son las siguientes:

$[F] = N$, Newton

$[q] = C$, Coulomb

$[v] = \frac{m}{s}$, metro sobre segundo

$[B] = T$, Tesla (Fig. 7)

Despejando de la ecuación de Lorentz el campo magnético:

$$B = \frac{F}{q \times v \times \text{Sen}\alpha} \text{ Por lo tanto } [B] = \frac{N}{C \times \frac{m}{s}}$$

Recuerda que el Ampere se define como el cociente entre el Coulomb y

el segundo $\frac{C}{s} = A \Rightarrow [B] = \frac{N}{A \times m}$

Definición de la unidad Tesla

Al cociente entre la unidad Newton y el producto de las unidades Am-

pere por metro se lo define como Tesla. $T = \frac{N}{A \times m}$ (Fig. 8)

(En el capítulo 17 habíamos dejado pendiente la definición de Tesla).

Ejemplo 1.

Un cuerpo cargado $q = 1,2\text{mC}$, se mueve con una velocidad de $300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$, con dirección y sentido indicados en la figura 9. En la región existe un campo magnético uniforme \vec{B} de módulo $0,42\text{T}$, de dirección horizontal y sentido hacia la derecha.

a) Determina todas las características de la fuerza magnética. El módulo lo calculamos con la ley de Lorentz $F = q \times v \times B \times \text{sen}\alpha$, en la figura 10 vemos que la velocidad y el campo \vec{B} son perpendiculares, por lo que $\alpha = 90^\circ$

$$F = 1,2 \times 10^{-3}\text{C} \times 300 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,42\text{T} \times \text{sen}90^\circ \Rightarrow F = 0,15\text{N}$$

Para determinar dirección y sentido de la fuerza magnética aplicamos la regla de la mano izquierda. Concluimos que la fuerza es entrante.

b) ¿En qué cambia la respuesta anterior si ahora el campo \vec{B} tiene sentido opuesto?

Los módulos del campo magnético y la velocidad, la carga eléctrica y el ángulo no se modificaron, por lo tanto el módulo de la fuerza magnética no cambia. Sí cambiará el sentido de dicha fuerza.

Aplicando la regla de la mano izquierda obtenemos ahora que la fuerza es saliente. (Fig. 11)

c) ¿Qué dirección y sentido debe tener la velocidad de la carga para que la fuerza magnética sea nula?

La fuerza magnética la obtenemos a partir del producto $F = q \times v \times B \times \text{sen}\alpha$ por lo que si uno de los factores es 0, la fuerza magnética será cero. La carga, la velocidad y el campo no son nulos por lo tanto $\text{sen}\alpha$ debe ser 0.

Los ángulos cuyo seno vale 0 son, 0° y 180° . La velocidad debe ser paralela al campo magnético, (tener la misma dirección). Luego de definida la dirección, ambos sentidos son soluciones. Por lo tanto la velocidad puede tener el mismo sentido ($\alpha = 0^\circ$) o sentido opuesto ($\alpha = 180^\circ$) al vector campo magnético. (Fig. 12)

Esta es una situación en la que existen dos soluciones.

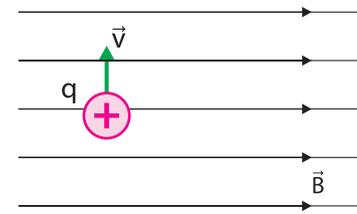


Fig.9.

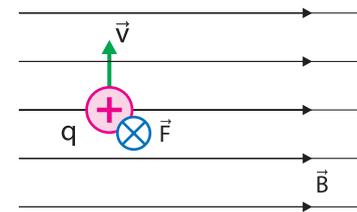


Fig.10. Sobre una carga positiva con una velocidad hacia arriba dentro de un campo magnético hacia la derecha actúa una fuerza entrante.

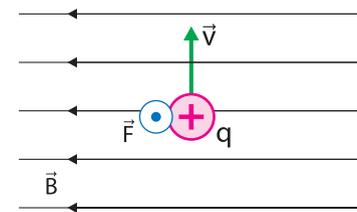


Fig.11. Sobre una carga positiva con una velocidad hacia arriba dentro de un campo magnético hacia la izquierda actúa una fuerza saliente.

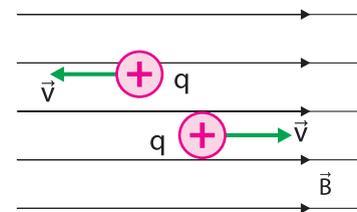


Fig.12. Si la velocidad es paralela al campo magnético la fuerza magnética sobre la carga es nula.

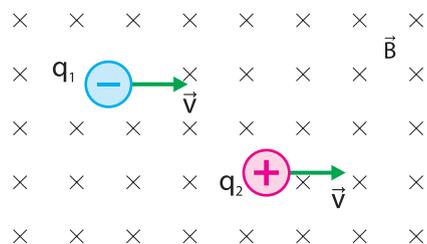


Fig.13. Dos cargas del mismo valor y signo opuesto ingresan con la misma velocidad (horizontal y hacia la derecha) a un campo magnético uniforme entrante.

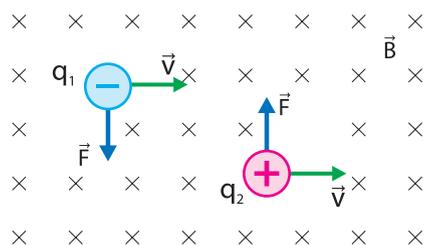


Fig.14. Las fuerzas que actúan sobre dos cargas del mismo valor y signo opuesto que ingresan con la misma velocidad a un campo magnético tienen el mismo módulo y dirección con sentido opuesto.

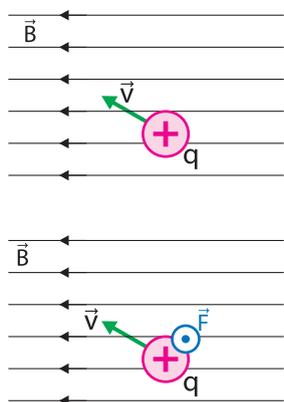


Fig.15. La fuerza magnética sobre la carga "q" es perpendicular al plano que determinan la velocidad y el campo magnético. El sentido lo determinamos con la regla de la mano izquierda.

Ejemplo 2.

Dos cuerpos cargados eléctricamente, ingresan en la región donde existe un campo magnético uniforme de módulo 0,20T, de dirección perpendicular al plano de la hoja con sentido entrante. Ambos cuerpos tienen igual velocidad $5000 \frac{m}{s}$ y valor de carga, pero uno con signo positivo y el otro negativo ($q_1 = -3,0\mu C$ y $q_2 = 3,0\mu C$). (Fig. 13)

Determina todas las características de la fuerza magnética que actúa sobre cada cuerpo cargado.

Para ambos casos la velocidad es perpendicular al campo magnético, por lo tanto $\alpha = 90^\circ$.

Como tienen igual velocidad, valor de carga y se mueven en la zona donde existe el mismo campo magnético, el módulo de la fuerza será igual para ambos cuerpos.

$$F = q \times v \times B \times \text{sen}\alpha \Rightarrow F = 3,0 \times 10^{-6} C \times 5000 \frac{m}{s} \times 0,20T \times \text{sen}90^\circ$$

$$\Rightarrow F = 3,0 \times 10^{-3} N$$

Como las direcciones de las velocidades son iguales, las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo también tendrán la misma dirección. Los cuerpos tienen cargas de diferente signo, por lo que las fuerzas tendrán sentidos opuestos. Aplicando la regla de la mano izquierda obtenemos la dirección y el sentido en ambas situaciones. La fuerza magnética sobre el cuerpo de carga positiva es hacia arriba y para el cuerpo de carga negativa es hacia abajo (recuerda que invertimos el sentido que nos indica la regla de la mano izquierda) (Fig. 14)

Ejemplo 3.

Una partícula con carga $q = 3,0nC$ se dispara en una zona donde existe un campo magnético uniforme de módulo 0,40T, con dirección horizontal y sentido hacia la izquierda. La velocidad de la partícula es de $2,5 \times 10^3 \frac{m}{s}$. El ángulo formado entre la velocidad y el campo magnético es de 30° (Fig. 15).

a) Determina todas las características de la fuerza magnética sobre la partícula cargada.

- En primer lugar calculamos su módulo a partir de la ley de Lorentz.

$$F = q \times v \times B \times \text{sen}\alpha, F = 3,0 \times 10^{-9} C \times 2500 \frac{m}{s} \times 0,40T \times \text{sen}30^\circ$$

$$\Rightarrow F = 1,5 \times 10^{-6} N$$

- La dirección y el sentido de la fuerza lo determinamos con la regla de la mano izquierda.

Es perpendicular al plano de la hoja y saliente. (Fig. 15)

b) Resuelve lo mismo que en el caso anterior pero suponiendo que ahora la partícula tiene una carga de $q = -3,0\text{nC}$.

El módulo de la fuerza magnética no cambia y la dirección es la misma. Lo que si cambia es el sentido. Por lo tanto la fuerza, tiene las siguientes características:

- dirección perpendicular al plano de la hoja
- módulo $F = 1,5 \times 10^{-6}\text{N}$
- sentido entrante (tomamos el resultado opuesto de la regla de la mano izquierda porque la carga es negativa). (Fig. 16)

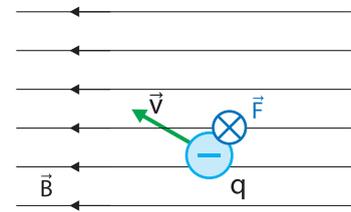


Fig.16. La fuerza magnética es opuesta porque la carga "q" tiene signo negativo. Para determinar su sentido tomamos el resultado opuesto de la regla de la mano izquierda.

Movimiento de un cuerpo cargado en una región donde existe un campo magnético uniforme.

Estudiaremos qué trayectorias puede describir un cuerpo cargado que se mueve dentro de un campo magnético. Supondremos que el campo magnético siempre es uniforme, por lo que en todos los puntos tiene el mismo módulo, dirección y sentido. También consideramos que las cargas sólo interactúan con el campo magnético. Esto significa que no se analizarán las demás interacciones. (Las otras fuerzas que actúen que no sean magnéticas se tomarán como nulas o despreciables).

Primer situación $v = 0 \frac{m}{s}$

- Si la carga eléctrica inicialmente está en reposo, permanecerá en reposo, dado que el campo magnético **NO** le ejerce fuerza magnética en estas condiciones. (Fig. 17).

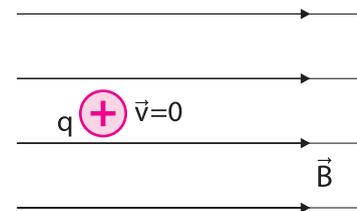


Fig.17. Si una carga eléctrica está en reposo, la fuerza magnética sobre ella será nula y permanecerá en reposo.

Segunda situación. \vec{v} forma un ángulo de 0° o 180° con \vec{B}

- Si la velocidad inicial de la carga eléctrica es paralela al campo magnético, la fuerza magnética será nula (como analizamos cuando hablamos del módulo de la fuerza magnética). Por lo tanto describirá un Movimiento Rectilíneo Uniforme (M.R.U.). (Fig. 18)

Estas dos situaciones son una consecuencia directa de la **1ra Ley de Newton**, que establece: si la fuerza neta sobre un cuerpo es nula, éste tendrá velocidad constante (el reposo es un caso particular de velocidad constante y nula).

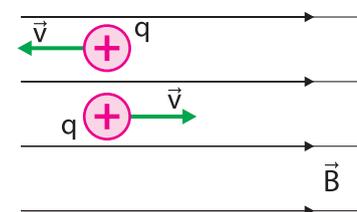


Fig.18. Si una carga tiene velocidad paralela al campo magnético, la fuerza magnética será nula y se moverá con MRU.

Tercer situación. \vec{v} forma un ángulo de 90° con \vec{B}

- Si la velocidad inicial de la carga es perpendicular al campo magnético, sobre la carga actuará una fuerza magnética de módulo constante. Por lo tanto, aplicando la 2da Ley de Newton, el cuerpo tendrá aceleración (los vectores fuerza neta y aceleración siempre tienen la misma dirección y sentido). Como la fuerza magnética es perpendicular a la velocidad, la aceleración también será perpendicular a la

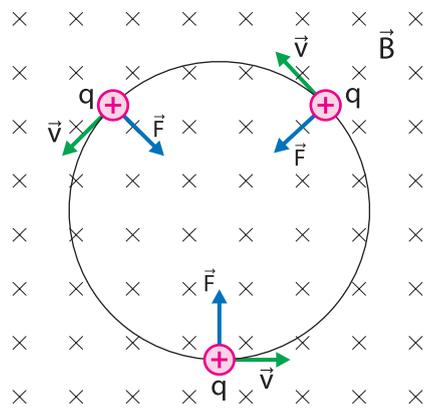


Fig.19. Si una partícula cargada ingresa con velocidad perpendicular al campo magnético, se mueve con movimiento circular uniforme.

Movimiento Circular y Uniforme M.C.U. es aquel que tiene una trayectoria circular y su velocidad cambia en todo instante de dirección y sentido, manteniendo el módulo constante.

Fig.20.

Un movimiento circular queda determinado cuando se conoce su radio de giro "r" y el período "T".

Fig.21.

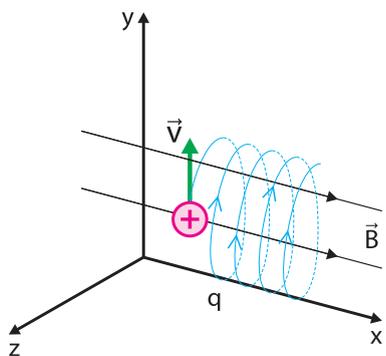


Fig.22. Trayectoria helicoidal de una partícula cargada.

velocidad. Esta particularidad hace que la velocidad cambie en todo instante de dirección pero no de módulo. (Fig. 19)

El movimiento que va a describir la carga en esta situación será "Circular Uniforme" (M.C.U.). Un cuerpo con este movimiento describe una trayectoria circular y el módulo de su velocidad es constante. (Fig. 20)

Un M.C.U. queda determinado cuando conocemos el radio "r" de giro y el período "T". El período "T" es el tiempo que demora el cuerpo en dar una vuelta completa. Como el módulo de la velocidad es constante, también lo será el período "T". (Fig. 21)

Para el caso de la partícula cargada tenemos que el radio de giro está dado por:

$$r = \frac{m \times v}{q \times B}$$

y el período será $T = \frac{2 \times \pi \times m}{q \times B}$ donde m es la masa del cuerpo.

Cuarta situación \vec{v} forma un ángulo diferente de 0°, 90° y 180° con \vec{B}

En la última situación la velocidad inicial tiene una dirección que forma un ángulo diferente de 0°, 90° y 180°. El movimiento será una combinación de un movimiento rectilíneo y circular. Avanzará con MRU en la dirección del campo magnético y a su vez girará con MCU en planos perpendiculares a la dirección del campo magnético. El movimiento resultante será helicoidal. (Fig. 22) Los resortes tiene forma helicoidal, esto es, la trayectoria que describirá tendrá forma de resorte.

Aplicaciones

A principio del siglo pasado, tomó importancia en la colectividad científica el estudio de las partículas elementales (las que se encuentran a nivel atómico).

Adquirió relevancia encontrar métodos experimentales para determinar la masa y la carga de las partículas. El selector de velocidades y el espectrógrafo de masas son ejemplos de dispositivos que se utilizaron con este objetivo.

Selector de velocidades

Si en una misma región establecemos un campo eléctrico y un campo magnético, podemos hacer que la fuerza neta sobre algunos de los cuerpos cargados que se mueven por esa zona sea nula y por lo tanto tengan M.R.U. (tendrán trayectoria recta y velocidad constante).

En el dibujo de la figura 23 las cruces representan un campo magnético uniforme y las líneas verticales representan un campo eléctrico uniforme.

Si en dicha zona ingresa un cuerpo de carga positiva con velocidad perpendicular a las direcciones de los campos, la fuerza neta sobre el cuerpo será la suma vectorial de la fuerza eléctrica y la fuerza magnética.

La fuerza eléctrica tendrá igual dirección y sentido que el campo eléctrico y módulo $F_E = q \times E$.

La fuerza magnética tendrá módulo: $F = q \times v \times B \times \text{sen}\alpha$ y dirección y sentido determinados por la regla de la mano izquierda.

Si elegimos correctamente la dirección, el sentido y módulos de los campos, podemos lograr que las fuerza \vec{F}_E y \vec{F}_M tengan igual dirección, igual módulo y sentido opuesto para que la fuerza neta sea nula. (en este ejemplo $\alpha = 90^\circ$, $\text{sen } \alpha = 1$)

$$F_E = F_M \Rightarrow q \times E = q \times v \times B, \text{ cancelando } q \text{ obtenemos}$$

$$\Rightarrow E = v \times B \text{ de donde } v = \frac{E}{B}$$

Por lo tanto conociendo los módulos del campo eléctrico y magnético podemos saber la velocidad de las cargas que atraviesen la zona. O mejor aún, podemos elegir los valores de E y B para seleccionar, en función de su velocidad cuáles cargas continúen con trayectoria rectilínea. Las demás cargas, según su velocidad se desviarán hacia arriba o abajo dependiendo de cuál fuerza tenga mayor módulo.

Espectrógrafo de masas.

Si hacemos ingresar cargas eléctricas a una zona donde solamente existe un campo magnético uniforme, éstas se desviarán con una trayectoria circular como muestra la figura 25.

La velocidad con que ingresan la podemos conocer si la carga fue disparada desde un selector de velocidades. Posteriormente se mide el radio "r" de giro.

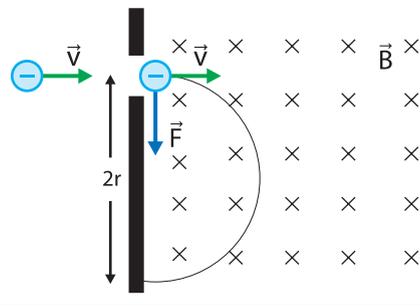


Fig.25. Espectrógrafo de masas.

De la ecuación para el radio de giro:

$$r = \frac{m \times v}{q \times B} \text{ despejamos la masa "m"} \Rightarrow m = \frac{r \times q \times B}{v}$$

Para muchas partículas estudiadas no se conocía aún su carga, por lo que se medía la relación masa-carga $\frac{m}{q}$

Dicha relación nos queda expresada:
$$\frac{m}{q} = \frac{r \times B}{v}$$

Utilizando un espectrógrafo de masas se pudo conocer la relación masa-carga de muchas partículas cargadas no conocidas. Alcanza con saber

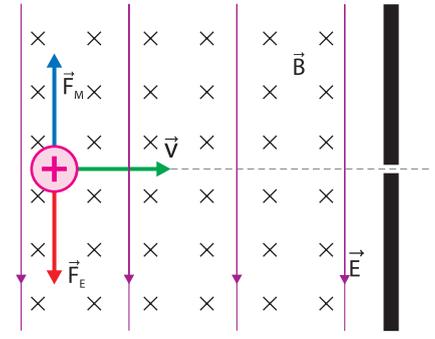


Fig.23. Selector de velocidades.

Selector de velocidades

- El campo eléctrico vertical y hacia abajo, le ejerce una fuerza eléctrica a la carga eléctrica "q" positiva también vertical y hacia abajo.
- El campo magnético, perpendicular al plano de la hoja y entrante, le ejerce una fuerza magnética vertical y hacia arriba a la carga que ingresa a la zona con una velocidad horizontal y hacia la derecha
- Si ambas fuerzas tienen el mismo módulo se cancelan, la fuerza neta es nula y la carga describe un M.R.U. Las cargas eléctricas con la velocidad seleccionada saldrán por un orificio enfrente de su trayectoria.

Espectrógrafo de masas

- Una carga eléctrica con velocidad conocida ingresa perpendicular a un campo magnético también conocido.
- La carga eléctrica describirá un movimiento circular porque \vec{v} forma un ángulo de 90° con \vec{B} .
- Se mide el radio "r" del arco de circunferencia descrito por la carga eléctrica.
- Se utiliza la ecuación y se determina la relación entre la masa y la carga de una partícula cargada desconocida.
- El signo de la carga determina que el giro sea en un sentido o en el otro (regla de la mano izquierda).

la intensidad del campo magnético \vec{B} y la velocidad con que ingresan para luego medir el radio de la trayectoria circular que describen.

El signo de la carga se puede determinar, analizando el sentido en que gira la partícula. Si cumple con la regla de la mano izquierda, la carga es positiva, y si no la cumple, la carga eléctrica es negativa.

Fuerza magnética sobre un conductor recto por el que circula corriente y se encuentra dentro de un campo magnético.

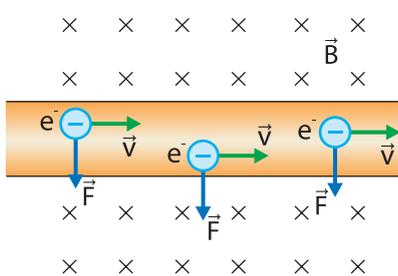


Fig.26.

Hemos estudiado que si una carga eléctrica se mueve en una región donde existe un campo magnético, sobre ella actúa una fuerza de origen magnético.

En forma análoga, si colocamos un conductor por el que circula una corriente eléctrica (cargas eléctricas en movimiento) dentro de una zona donde existe un campo magnético, actuará una fuerza magnética sobre cada una de las cargas eléctricas en movimiento dentro del conductor. (Fig. 26)

¿Qué características tiene la fuerza magnética que actúa sobre un conductor recto por el que circula una corriente eléctrica y que se encuentra en una zona donde existe un campo magnético \vec{B} uniforme?

Características de la fuerza magnética

La fuerza magnética resultante sobre el conductor es la suma de las fuerzas que actúan sobre cada una de las cargas eléctricas que se mueve por el interior del conductor.

- Podemos razonar que cuanto mayor intensidad circule por el conductor, mayor cantidad de cargas eléctricas habrá en movimiento en él, por lo que la fuerza resultante será mayor. $|\vec{F}_M| \propto I$ (Fig. 27)
- El mismo razonamiento podemos realizar con el largo del conductor "L". En un conductor más largo existirán más cargas eléctricas en movimiento, por lo que la fuerza magnética resultante es mayor. $|\vec{F}_M| \propto L$ (Fig. 28)
- El módulo de la fuerza magnética sobre cada carga eléctrica está determinado por la Ley de Lorentz:

$$F = q \times v \times B \times \text{sen}\alpha$$

Además las fuerzas sobre cada carga eléctrica tienen la misma dirección y sentido, ya que podemos considerar que las cargas se mueven con la misma velocidad. Por lo tanto la fuerza resultante, tiene esa misma dirección y sentido. Su módulo es la suma de los módulos de cada una de las fuerzas magnéticas. Esto lo expresamos:

$$F_R = \Delta q \times v \times B \times \text{sen}\alpha$$

$$|\vec{F}_M| \propto I$$

El módulo de la fuerza magnética $|\vec{F}_M|$ sobre un conductor que se encuentra en una zona con un campo magnético \vec{B} , es directamente proporcional a la intensidad de corriente "I" que circula por él.

Fig.27.

$$|\vec{F}_M| \propto L$$

El módulo de la fuerza magnética $|\vec{F}_M|$ sobre un conductor por el que circula una intensidad de corriente "I" y se encuentra en una zona con un campo magnético \vec{B} , es directamente proporcional al largo "L" de dicho conductor.

Fig.28.

donde Δq es la cantidad de carga que está circulando por todo el conductor. Si escribimos en la ecuación $v = \frac{L}{\Delta t}$ donde "L" es el largo del conductor, obtenemos:

$$F_R = \Delta q \times \frac{L}{\Delta t} \times B \times \text{sen}\alpha$$

El cociente $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ es la intensidad "I" por el conductor, por lo que nos queda:

$$F_M = I \times L \times B \times \text{sen}\alpha \quad (\text{Fig. 29})$$

Esta ecuación es conocida como la Ley de Laplace. (Fig. 30)

La dirección de la fuerza es perpendicular al conductor y a la dirección del campo.

$$\vec{F}_M \perp \vec{v}$$

$$\vec{F}_M \perp \vec{B}$$

El sentido también lo determinamos a través la regla de la mano izquierda.

Regla de la mano izquierda:

Si colocamos el dedo índice en el sentido del campo magnético y el dedo mayor en el sentido de la intensidad, el pulgar extendido nos determina la dirección y el sentido de la fuerza magnética sobre el conductor. (Fig. 31)

Ejemplo 4.

Por un conductor recto circula una intensidad de corriente de 8,0A en el sentido indicado en la figura 32. El conductor se encuentra en una región donde existe un campo magnético uniforme de módulo 0,025T, perpendicular al plano de la hoja con sentido saliente.

a) Si el largo del conductor es de 80cm, determina la fuerza magnética sobre la corriente que circula por él.

$L = 80\text{cm} \Rightarrow L = 0,80\text{m}.$

el conductor es perpendicular a la dirección del campo magnético, por lo tanto $\alpha = 90^\circ$, $\text{sen } 90^\circ = 1$

$F_M = I \times L \times B \times \text{sen}\alpha \Rightarrow F_M = 8,0\text{A} \times 0,80\text{m} \times 0,025\text{T} \times \text{sen}90^\circ$

$\Rightarrow F_M = 0,16\text{N}$

Para representar la dirección y el sentido de la fuerza magnética aplicamos la regla de la mano izquierda. (Fig. 33)

$F_M = I \times L \times B \times \text{sen}\alpha$

En lugar de escribir F_R (fuerza resultante) escribiremos F_M (fuerza magnética) para recordar que es una fuerza de origen magnético

Fig. 29. Ley de Laplace.



Fig.30. Pierre Simon Laplace (1749-1827). Matemático, físico y astrónomo francés de relevantes aportes en diversas áreas del conocimiento: cálculo probabilístico, análisis matemático, álgebra, electromagnetismo, termoquímica, teoría de los gases.

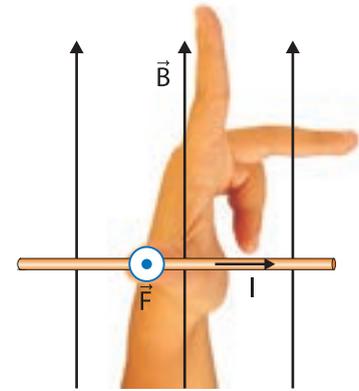


Fig.31. Regla de la mano izquierda

- Pulgar \Rightarrow Fuerza
- Índice \Rightarrow Campo Magnético
- Mayor \Rightarrow Velocidad

El pulgar quedó apuntando hacia nuestra cara por lo tanto lo representamos saliente del plano de la hoja.

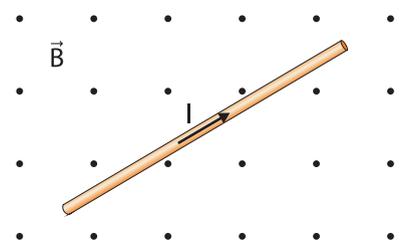


Fig.32.

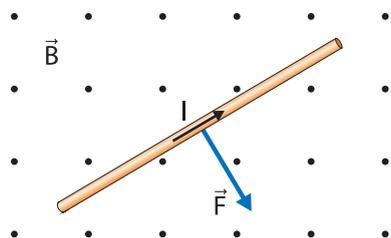


Fig.33.

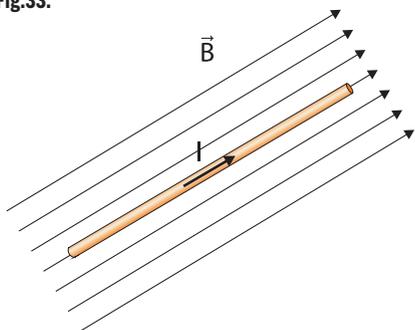


Fig.34.

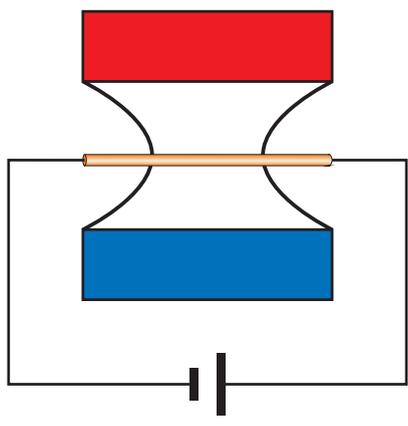


Fig.35.

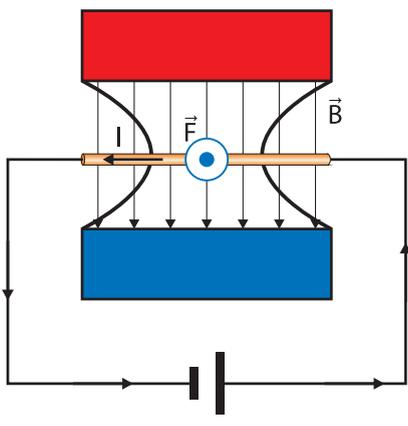


Fig.36.

b) ¿Qué dirección tiene que tener el campo magnético para que la fuerza magnética sobre la corriente en el conductor sea nula?

Para que la fuerza magnética sea nula, la dirección del campo debe ser paralela al conductor, por lo que α será 0° o 180° (recuerda que $\text{sen } 0^\circ = \text{sen } 180^\circ = 0$).

En la figura 34 se muestra una situación, $\alpha = 0^\circ$. Faltaría representar la situación $\alpha = 180^\circ$.

Ejemplo 5.

Un conductor recto de 5,0 cm de largo se conecta a un generador y circula por él una intensidad de corriente de 12 A. Se lo coloca entre dos polos de un imán en herradura (el polo Norte está indicado de color rojo y el polo Sur de color azul) (Fig. 35). En el interior del imán, entre los polos, el campo magnético es uniforme y de módulo 0,28 T.

a) Representa las líneas de campo y el sentido de la corriente eléctrica.

El sentido de las líneas de campo es desde el polo Norte al polo Sur. En la región entre los polos hemos visto que es uniforme, por lo que las líneas son paralelas y equidistantes. El sentido de la intensidad es desde el borne positivo al borne negativo del generador. En este ejemplo el sentido es antihorario. (Fig. 36)

b) Calcula el módulo de la fuerza magnética y represéntala.

$$F_M = I \times L \times B \times \text{sen } \alpha, F_M = 12A \times 0,050m \times 0,28T \times \text{sen } 90^\circ$$

$$\Rightarrow F_M = 0,17N$$

Para determinar dirección y sentido de la fuerza magnética utilizamos la regla de la mano izquierda. Vemos que es saliente. Debemos representar sobre el conductor recto el vector fuerza magnética.

Ejemplo 6.

Por un conductor en forma de "L" circula una intensidad de corriente de 6,0A, desde el punto "A" hacia el punto "C". En la región existe un campo magnético uniforme, perpendicular al plano de la hoja, con sentido saliente y módulo 0,62T .

"AB" = "BC" = 30cm. (fig. 37)

a) Calcula y representa la fuerza magnética sobre cada tramo del conductor.

$$F_M = I \times L \times B \times \text{sen} \alpha, F_{AB} = 6,0A \times 0,30m \times 0,62T \times \text{sen}90^\circ$$

$$F_{AB} = 1,1N$$

Los conductores tienen el mismo largo, circula por ellos la misma intensidad y ambos tramos "AB", "BC" son perpendiculares al campo, por lo tanto $F_{AB} = F_{BC} = 1,1N$

Aplicando la regla de la mano izquierda determinamos dirección y sentido de la fuerza magnética en ambos tramos. (Fig. 38)

b) Calcula la fuerza neta sobre el conductor.

Para determinar \vec{F}_N debemos sumar vectorialmente \vec{F}_{AB} y \vec{F}_{BC} . Primero representamos \vec{F}_{AB} y \vec{F}_{BC} a escala: 2,0cm—1,0N, por lo que medirán 2,2 cm cada uno.

Luego construimos el paralelogramo de lados \vec{F}_{AB} y \vec{F}_{BC} . La diagonal es de 3,1 cm, por lo tanto la fuerza neta tiene un módulo de 1,6 N. Su dirección y sentido están representados en el diagrama vectorial. $\beta = 45^\circ$ (Fig. 39)

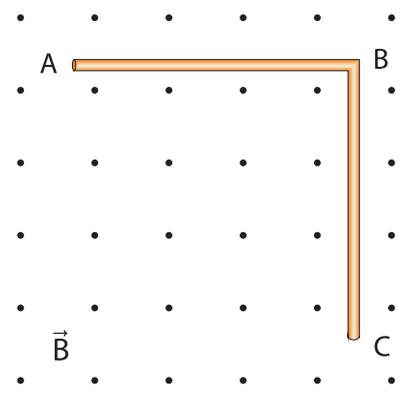


Fig.37.

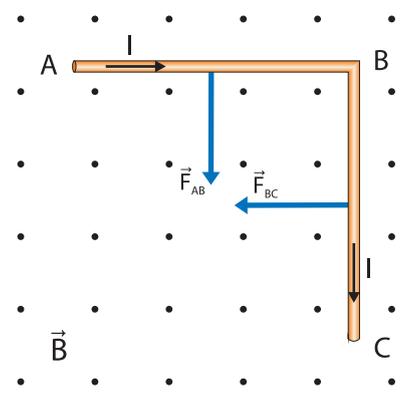


Fig.38.

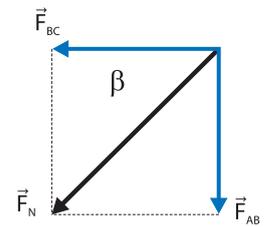


Fig.39.

Interacción entre conductores paralelos

Analizaremos de qué forma interaccionan dos conductores paralelos de igual longitud, por los que circulan intensidades de corriente, I_1 e I_2 respectivamente. (Fig. 40).

La corriente eléctrica " I_1 " que circula por el conductor "1", genera en su entorno un campo magnético \vec{B}_1 . Por el conductor "2" circula la intensidad de corriente " I_2 ". Como se encuentra ubicado dentro del campo magnético \vec{B}_1 , sobre él actúa una fuerza magnética $\vec{F}_{M_2^1}$.

En forma análoga, la corriente eléctrica " I_2 " que circula por el conductor "2", genera en su entorno un campo magnético \vec{B}_2 . Como por el conductor "1" circula la intensidad de corriente " I_1 " y además se encuentra ubicado dentro del campo magnético \vec{B}_2 , sobre él también actúa una fuerza magnética $\vec{F}_{M_1^2}$.

Recuerda que las fuerzas siempre actúan en pares, según la "3ra Ley de Newton Acción y Reacción". Si el campo magnético creado por la corriente "1" (\vec{B}_1) realiza una fuerza $\vec{F}_{M_2^1}$ (acción) sobre la corriente que circula por el conductor "2" (" I_2 "), el campo magnético creado por la corriente "2" (\vec{B}_2) realiza una fuerza $\vec{F}_{M_1^2}$ (reacción) sobre la corriente que circula por el conductor "1" (" I_1 "). (Fig. 41)

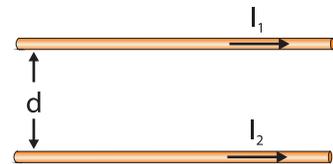


Fig.40.

Aplicando la 3ra Ley de Newton $\vec{F}_{M_2^1}$ y $\vec{F}_{M_1^2}$ tienen diferente punto de aplicación, igual dirección y módulo y sentido opuesto.

Fig. 41.

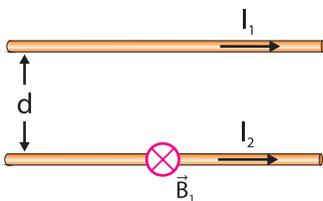
Dicho par de fuerzas de acción y reacción tienen las siguientes características:

- Punto de aplicación sobre diferentes conductores. $\vec{F}_{M_2^1}$ aplicada sobre el conductor "2" y $\vec{F}_{M_1^2}$ aplicada sobre el conductor "1".
- Módulo, es igual $|\vec{F}_{M_2^1}| = |\vec{F}_{M_1^2}|$
- Dirección, es la misma. (determinada con la regla de la mano izquierda)
- Sentido opuesto $\vec{F}_{M_2^1} = -\vec{F}_{M_1^2}$

Procedimiento para calcular y representar el par de fuerzas de interacción magnética.

Primer paso.

Determinemos el campo magnético que genera la corriente "1" (que circula por el conductor "1") en la zona donde se encuentra ubicado el conductor "2", o sea a una distancia "d" del conductor "1".



$$B_1 = \frac{k \times I_1}{d}$$

Con la regla de la mano derecha determinamos la dirección y el sentido de \vec{B}_1 . En este caso tiene dirección perpendicular al plano de la hoja y sentido entrante. (Fig. 42)

Fig.42. Con la regla de la mano derecha determinamos dirección y sentido del campo magnético \vec{B}_1 creado por la corriente "1" en la zona donde se encuentra el conductor "2".

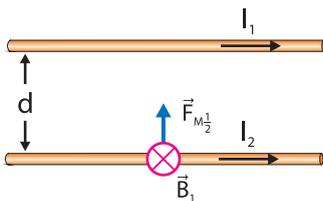
Segundo paso.

Determinemos el módulo de la fuerza magnética $\vec{F}_{M_2^1}$ que actúa sobre la corriente eléctrica "1" que circula por el conductor "2" que se encuentra dentro del campo magnético \vec{B}_1 .

$$F_{M_2^1} = I_2 \times L \times B_1 \times \text{sen} \alpha, \text{ "L" es largo del conductor "2"}$$

α es 90° , el campo \vec{B}_1 es perpendicular al conductor "2".

$$F_{M_2^1} = I_2 \times L \times \frac{k \times I_1}{d} \times \text{sen} 90^\circ \Rightarrow F_{M_2^1} = \frac{k \times I_1 \times I_2 \times L}{d}$$



Tercer paso.

Para encontrar la dirección y el sentido de la fuerza magnética $\vec{F}_{M_2^1}$ aplicamos la regla de la mano izquierda. (Fig. 43) Para esta situación:

- dedo Índice, entrante como \vec{B}_1 ,
- dedo Mayor, hacia la derecha igual que la corriente "1",
- dedo Pulgar, apunta hacia arriba.

Fig.43. Aplicamos la regla de la mano izquierda para determinar dirección y sentido de la fuerza magnética $\vec{F}_{M_2^1}$ sobre la corriente "2" debida al campo magnético \vec{B}_1 .

Cuarto paso.

Repetimos el procedimiento del primer paso pero ahora con el objetivo de determinar el campo magnético que genera la corriente "I₂" (que circula por el conductor "2") en la zona donde se encuentra ubicado el conductor "1", a una distancia "d" del conductor "2".

$$B_2 = \frac{k \times I_2}{d}$$

Nuevamente con la regla de la mano derecha determinamos la dirección y el sentido de \vec{B}_2 . Dirección perpendicular al plano de la hoja y sentido saliente. (Fig. 44)

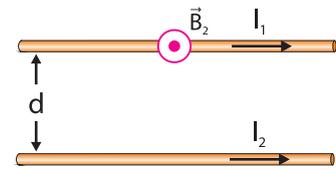


Fig.44. Con la regla de la mano derecha determinamos dirección y sentido del campo magnético \vec{B}_2 creado por la corriente "I₂" en la zona donde se encuentra el conductor "1".

Quinto paso.

Determinemos el módulo de la fuerza magnética $\vec{F}_{M_1^2}$ que actúa sobre la corriente eléctrica "I₁" que circula por el conductor "1" que se encuentra dentro del campo magnético \vec{B}_2 .

$$F_{M_1^2} = I_1 \times L \times B_2 \times \text{sen} \alpha, \text{ "L" es largo del conductor "1"}$$

α es 90°, el campo \vec{B}_2 es perpendicular al conductor "1".

$$F_{M_1^2} = I_1 \times L \times \frac{k \times I_2}{d} \times \text{sen} 90^\circ \Rightarrow F_{M_1^2} = \frac{k \times I_1 \times I_2 \times L}{d}$$

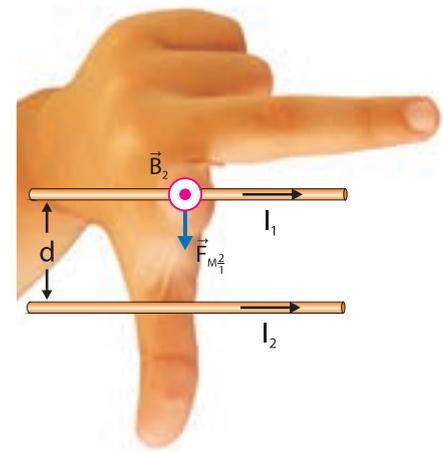


Fig.45. Aplicamos la regla de la mano izquierda. Para determinar dirección y sentido de la fuerza magnética $\vec{F}_{M_1^2}$ sobre la corriente "I₁" debida al campo magnético \vec{B}_2 .

Sexto paso.

Para encontrar la dirección y el sentido de la fuerza magnética $\vec{F}_{M_2^1}$ aplicamos la regla de la mano izquierda. (Fig. 45). Para esta situación:

- dedo Índice, saliente como \vec{B}_2 ,
- dedo Mayor, hacia la derecha igual que la corriente "I₁",
- dedo Pulgar, apunta hacia abajo.

Aclaración.

El cuarto y quinto paso se pueden simplificar aplicando la tercera Ley de Newton. La fuerza que el campo magnético \vec{B}_2 le realiza a la corriente I₁, tiene igual módulo y dirección, y sentido opuesto a la fuerza que el campo magnético \vec{B}_1 le realiza a la intensidad I₂. (Fig. 46)

Fuerza magnética por unidad de longitud.

También podemos definir una magnitud que se denomina fuerza magnética por unidad de longitud, que es el cociente entre el módulo de la fuerza de interacción magnética entre los conductores y la longitud de los mismos.

$$\frac{F_M}{L} = \frac{k \times I_1 \times I_2}{d} \text{ sus unidades en el S.I. son: } \left[\frac{F}{L} \right] = \frac{N}{m}$$

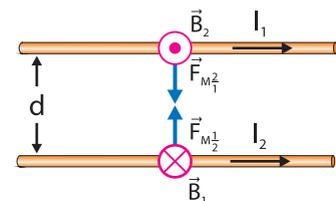


Fig.46. Las fuerzas $\vec{F}_{M_1^2}$ y $\vec{F}_{M_2^1}$ son un par de acción y reacción. Están aplicadas una sobre cada conductor, tienen igual dirección y módulo, y el sentido es opuesto.

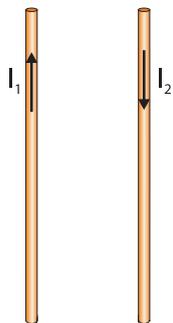


Fig.47.

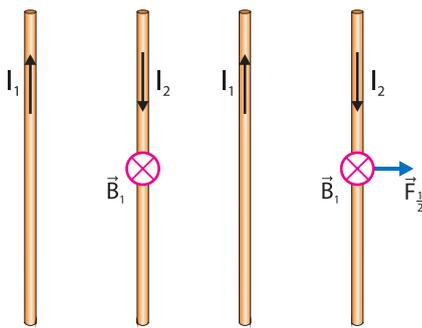


Fig.48a.

Fig.48b.

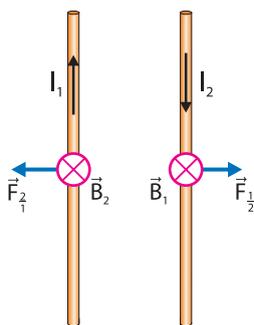


Fig.49.

Ejemplo 7.

Por dos conductores paralelos circulan corrientes $I_1 = 2,5 \text{ A}$ e $I_2 = 6,2 \text{ A}$, en los sentidos indicados en la figura 47. Los conductores están separados 20cm

a) Representa las fuerzas con que interaccionan los conductores.

Primero representamos el campo magnético que genera la corriente "1," en la zona donde se encuentra el conductor "2". Aplicando la regla de la mano derecha, vemos que el campo \vec{B}_1 es perpendicular al plano de la hoja con sentido entrante. (Fig. 48 a).

Luego aplicando la regla de la mano izquierda obtenemos la dirección y el sentido de la fuerza que el campo magnético \vec{B}_1 le hace a la corriente "2". (Fig. 48 b).

Por último aplicando la 3ra ley de Newton la fuerza que le ejerce el campo magnético \vec{B}_2 a la corriente "1," tiene la misma dirección y sentido opuesto que la fuerza que el campo magnético \vec{B}_1 le hace a la corriente "2" (Fig. 49)

b) Calcula la fuerza magnética por unidad de longitud con que interaccionan los conductores.

$$\frac{F}{L} = \frac{k \times I_1 \times I_2}{d} \quad \frac{F}{L} = \frac{2,0 \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}} \times 2,5\text{A} \times 6,2\text{A}}{0,20\text{m}}$$

$$\Rightarrow \frac{F}{L} = 1,6 \times 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

c) Si los conductores tienen 2,0m de largo. ¿Cuál será el módulo de las fuerzas de interacción magnética que se ejercen los conductores?

$$F_M = \frac{F}{L} \times L_{\text{cond.}} \quad F = 1,6 \times 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}} \times 2,0\text{m} \Rightarrow F_M = 3,2 \times 10^{-5} \text{N}$$

Aplicaciones: motor eléctrico

Con la siguiente secuencia, detallaremos en forma simplificada el funcionamiento de un motor eléctrico.

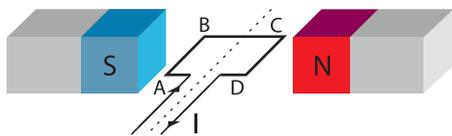


Fig.50a.

La figura 50a muestra una espira de forma rectangular, por la cual circula corriente en el sentido indicado. La espira puede girar libremente en torno a un eje que se representa con una línea punteada. También se muestran dos imanes rectos con polos de diferentes nombres enfrentados. Entre estos polos se establece un campo magnético horizontal hacia la izquierda.

Sobre los tramos AB y CD de la espira actúan fuerzas magnéticas. Si las representamos, de acuerdo a la regla de la mano izquierda, vemos que

sobre el tramo AB actúa una fuerza magnética vertical hacia arriba y sobre el tramo CD una fuerza magnética vertical hacia abajo. (Fig. 50 b)

La espira rectangular tenderá a girar en torno al eje mencionado de forma horaria, por acción de las fuerzas que realizan un torque.

Cuando la espira gire un cuarto de vuelta como muestra la figura 50 c, las fuerzas magnéticas sobre los tramos AB y CD ya no realizan torque, pero por inercia la espira seguirá girando. Si en ese preciso instante cambiamos el sentido de la corriente, nuevamente las fuerzas magnéticas realizarán torque sobre la espira. (Fig. 50 d)

Cuando la espira giró media vuelta, como muestra la figura 50 e, tenemos una situación similar a la primera. La espira sigue girando, y si continuamos cambiando el sentido de la corriente, justo cuando la espira se encuentra en forma vertical, las fuerzas magnéticas tenderán a mantener girando la espira.

¿Cómo podemos lograr cambiar el sentido de la intensidad en la espira rectangular, cuando ésta se encuentra vertical?

Para que la corriente cambie de sentido cada media vuelta, los contactos de la espira terminan en escobillas (contactos móviles). Estas escobillas hacen contacto con anillos semicirculares fijos conectados a un generador de corriente continua. Cuando la espira se encuentra en posición vertical las escobillas abandonan un semi-anillo y se vinculan eléctricamente con el otro. (Fig. 50 f).

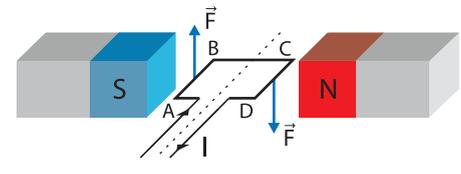


Fig.50b.

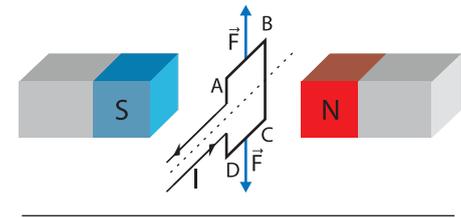


Fig.50c.

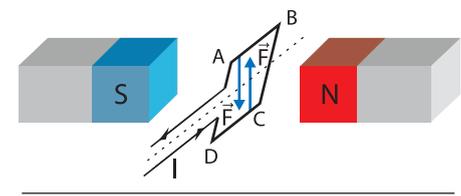


Fig.50d.

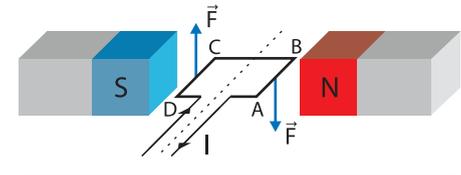


Fig.50e.

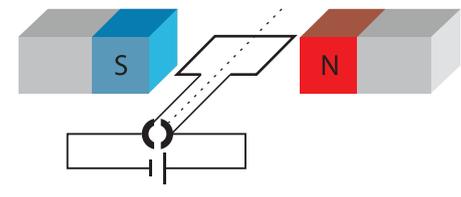


Fig.50f.

PREGUNTAS

- 1) ¿La interacción entre dos imanes es del mismo tipo que la interacción entre dos espiras por las que circula corriente?
- 2) Sobre una carga eléctrica en reposo, ¿actúa una fuerza magnética?
- 3) Si una partícula con carga eléctrica se mueve con MRU, ¿se puede afirmar que el campo magnético en la zona por donde se mueve la carga es nulo? Explica.
- 4) ¿Qué características tiene la fuerza magnética que actúa sobre una carga eléctrica que se mueve en forma paralela a la dirección del campo magnético?
- 5) ¿Qué dirección tiene la fuerza magnética sobre una carga en movimiento, con respecto a la dirección del campo magnético?
- 6) ¿Qué dirección tiene la fuerza magnética sobre una carga con respecto a la dirección de su velocidad ?
- 7) Explica la regla que utilizas para determinar el sentido de la fuerza magnética sobre una carga positiva en movimiento dentro de un campo magnético.
- 8) ¿En qué cambia la respuesta de la pregunta 7 si la carga es negativa?



Acelerador de partículas de Fermilab.

- 9) ¿Cómo se calcula el módulo de la fuerza magnética que actúa sobre una carga eléctrica que se mueve en un campo magnético?
- 10) Contesta si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:
 - a) el módulo de la fuerza magnética sobre una carga en movimiento varía si cambia el valor de su carga.
 - b) el módulo de la fuerza magnética sobre una carga en movimiento cambia si su velocidad invierte el sentido.
 - c) el módulo de la velocidad de un cuerpo cargado en movimiento cambia debido a la fuerza magnética.
 - d) el módulo de la fuerza magnética sobre dos cuerpos que ingresan a un campo magnético con igual velocidad, igual valor de carga pero con signo opuesto, es diferente.
 - e) El vector velocidad no cambia cuando cambia el signo de la carga eléctrica.
- 11) ¿Qué tipos de movimiento puede tener una carga cuando se mueve en un campo magnético uniforme?
- 12) Explica qué es un selector de velocidades y un espectrógrafo de masas.
- 13) ¿Qué le ocurre a un conductor recto por el que circula una corriente y se encuentra en una región donde existe un campo magnético?
- 14) No se aprecian los efectos de una fuerza sobre un conductor por el que circula una corriente, cuando éste se encuentra en una zona donde existe un campo magnético ¿puede ser esto posible? Explica.
- 15) ¿Qué características tiene la fuerza magnética sobre un conductor, si éste se encuentra paralelo a la dirección del campo magnético?
- 16) ¿Cómo se determina el módulo de la fuerza magnética que actúa sobre una corriente en un conductor recto?
- 17) Si la intensidad de corriente en el conductor cambia de sentido, ¿qué características de la fuerza magnética cambian?
- 18) Si la intensidad de corriente por un conductor recto cambia su valor, ¿qué características de la fuerza magnética cambian?
- 19) ¿Qué relación existe entre la fuerza magnética que actúa sobre una corriente y el largo "L" del conductor?
- 20) Dos conductores por los que circulan corrientes, se ubican en forma paralela. ¿Hay algún tipo de interacción entre ellos?
- 21) ¿De qué depende que dos conductores paralelos por los que circula corriente se atraigan o se repelan?
- 22) Si la distancia entre dos conductores paralelos disminuye a la mitad, ¿en qué cambian las fuerzas magnética con que interactúan?
- 23) Por dos conductores paralelos circulan las intensidades de corriente $I_1 = 5,0A$ e $I_2 = 10A$. ¿Sobre cuál conductor es mayor la fuerza magnética? Explica.
- 24) La pregunta 23, ¿tiene relación con la 3era. Ley de Newton?
- 25) Explica el funcionamiento del motor eléctrico.



PROBLEMAS

- 1) Determina para cada caso la dirección y el sentido de la fuerza magnética sobre cada carga. Los vectores verdes representan la velocidad de la carga. (Fig. 51 a y b).

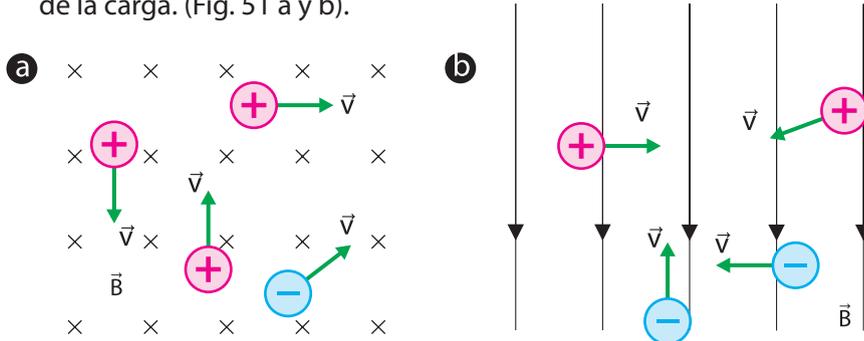


Fig.51 a y b. Problema 1.

- 2) Resuelve nuevamente el problema 1, pero considerando que el campo magnético en cada caso cambia de sentido.
 3) Un cuerpo cargado con $q = 5,0\mu\text{C}$ se mueve con una velocidad horizontal hacia la izquierda, por un campo magnético uniforme de módulo $0,26\text{T}$, con la dirección indicada en las figuras 52 a, b, c y d. Calcula y representa la fuerza magnética sobre el cuerpo en cada caso.

$$v = 3,0 \times 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- 4) Entre los polos de un imán en herradura (Fig. 53) se mueve un cuerpo cargado con $q = 2,0\text{nC}$, con una velocidad de 600m/s , con la dirección y sentido indicadas. Sobre ella actúa una fuerza magnética de módulo $0,40\text{N}$.
- Representa con líneas el campo magnético generado por el imán.
 - Determina la dirección y el sentido de la fuerza magnética que actúa sobre la carga.
 - Calcula el módulo del campo magnético en la región donde se está moviendo la carga.
 - ¿Cómo debería ser la dirección de la velocidad de la carga para que la fuerza magnética sobre ella sea nula? Justifica.
- 5) ¿De qué forma varían las respuestas del problema 4, si la carga es negativa?
- 6) Sobre un cuerpo cargado con $q = -25\text{mC}$ actúa una fuerza magnética de módulo $0,50\text{N}$, perpendicular al plano de la hoja con sentido entrante, cuando se mueve por un campo magnético horizontal hacia la derecha de módulo $0,042\text{T}$.
- Realiza un dibujo donde se represente el campo magnético y la fuerza que actúa sobre el cuerpo cargado.
 - Calcula el módulo de su velocidad y determina la dirección y sentido.
 - Contesta nuevamente la parte b, suponiendo un cuerpo con el triple del valor de carga eléctrica.
 - Contesta nuevamente la parte b si la carga eléctrica del cuerpo tomara el mismo valor pero con signo negativo.
 - Contesta nuevamente la parte b, pero suponiendo que la fuerza fuera perpendicular y saliente con el mismo módulo.

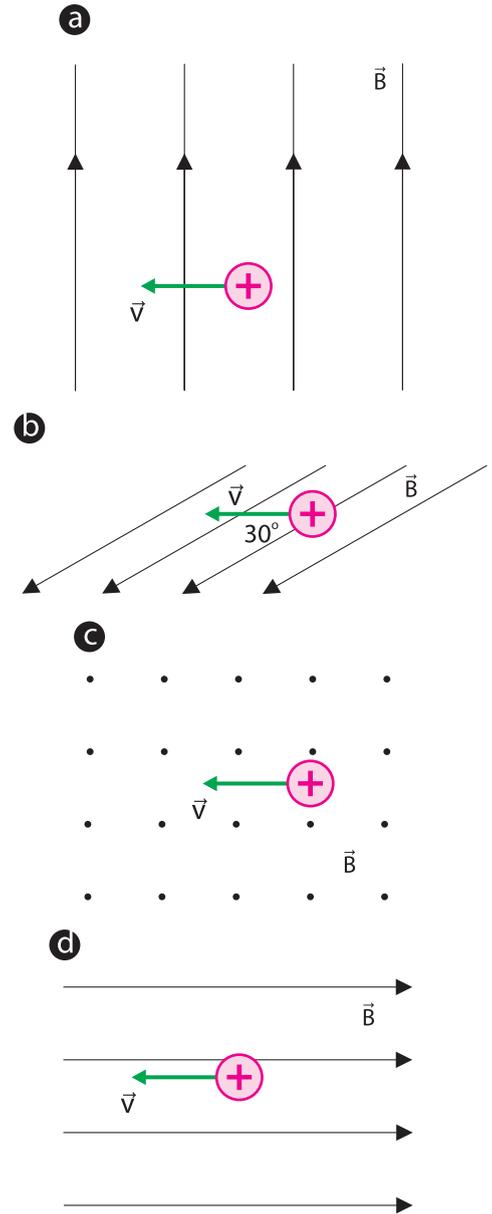


Fig.52 a, b, c y d. Problema 3.

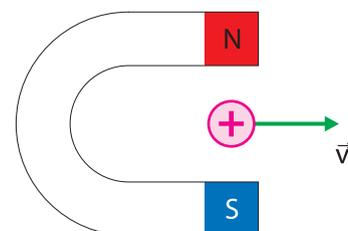


Fig.53. Problema 4.

- 7) La figura 54 a, b y c muestra diferentes conductores ubicados en una región donde existe un campo magnético uniforme. Para cada caso determina la dirección y el sentido de la fuerza magnética sobre cada conductor. (En negro se indica el sentido de la corriente eléctrica).

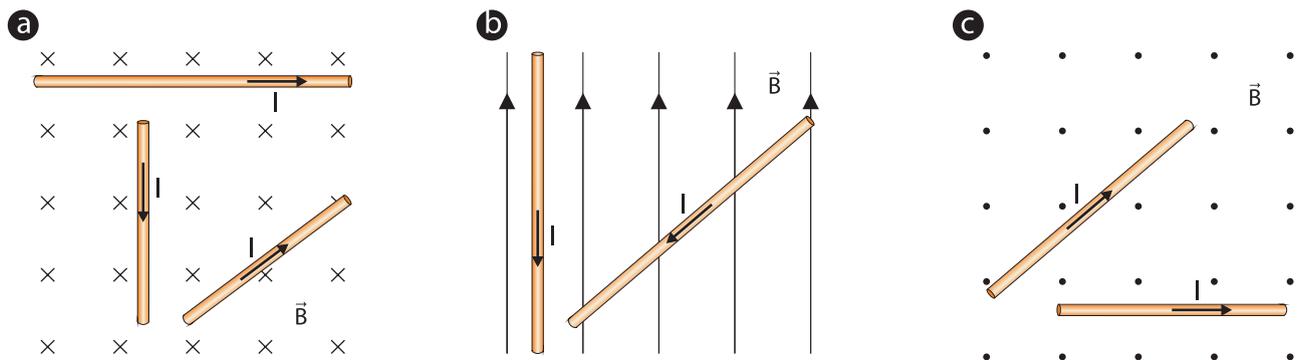


Fig.54 a, b y c. Problema 7.

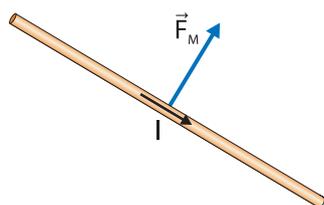


Fig.55. Problema 9.

- 8) Resuelve lo mismo que en el problema 7 pero suponiendo que las líneas de campo invierten su sentido.
- 9) Sobre una intensidad de 15 A que circula por un conductor recto, actúa una fuerza magnética de 0,86N (Fig. 55) debida a un campo magnético uniforme perpendicular al plano de la hoja. $L = 80 \text{ cm}$ Determina módulo y sentido del campo magnético en la zona donde se encuentra el conductor.
- 10) Un conductor recto por el que circula corriente eléctrica se coloca en una zona donde existe un campo magnético uniforme, vertical y hacia arriba, de módulo 0,14T. Si el conductor se ubica de forma horizontal, sobre él actúa una fuerza magnética perpendicular al plano de la hoja de sentido entrante de módulo 7,2N. $L = 5,0 \text{ m}$
- Representa en un dibujo la situación planteada, donde se muestre el conductor, el campo magnético y la fuerza magnética.
 - Determina valor y sentido de la intensidad por el conductor.
 - ¿Cómo debe ubicarse el conductor para que la fuerza magnética sobre él sea nula? Justifica.

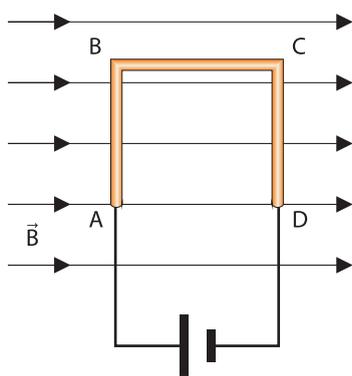


Fig.56. Problema 11.

- 11) Un conductor ABCD con forma de "U" invertida se encuentra en una zona donde existe un campo magnético uniforme de módulo 0,52T, con la dirección y sentido indicados en la figura 56. Cuando se conecta a un generador la intensidad por el conductor es de 3,4 A. Cada tramo del conductor tiene una longitud de 18cm.
- Determina la fuerza magnética sobre cada tramo del conductor.
 - Calcula la fuerza neta sobre el conductor.
 - ¿Qué dirección y sentido podría tener el campo magnético para que se ejerza fuerza magnética sobre todos los tramos del conductor?
 - Para la dirección y sentido indicadas en la parte c, resuelve nuevamente lo solicitado en las partes a y b.

- 12) Un conductor de largo 60cm se dobla por la mitad, de tal manera que forman entre sí un ángulo de 45°. El conductor doblado se coloca en una región donde existe un campo magnético saliente de módulo 0,050T, como indica la figura 57. La intensidad por el conductor es de 8,4 A. Determina la fuerza neta sobre el conductor si el sentido de la intensidad es desde:

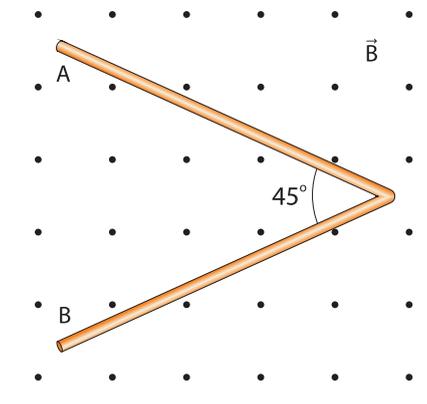


Fig.57. Problema 12.

- a) "A" hacia "B"
 b) "B" hacia "A"
- 13) Un conductor recto de largo 50cm se cuelga mediante una cuerda según muestra la figura 58. La masa del conductor es de 40g y por él circula una corriente de 10 A, con sentido hacia la derecha.
- a) Calcula y representa la fuerzas que actúan sobre el conductor, sabiendo que éste permanece en reposo y horizontal.
 b) Si en la zona se genera un campo magnético uniforme, de dirección perpendicular al plano de la hoja, ¿qué valor y sentido debe tener el campo magnético para que la tensión en la cuerda disminuya a la mitad?
- 14) La figura 59 muestra dos conductores paralelos por los que circulan las corrientes $I_1 = 15 \text{ A}$ e $I_2 = 20 \text{ A}$, separados entre si una distancia de 40cm. El largo de los conductores es de 1,5m.
- a) Determina la fuerza magnética sobre la corriente del conductor "2".
 b) Determina la fuerza magnética sobre la corriente del conductor "1".
- 15) Resuelve lo mismo que en el problema 14, pero suponiendo que los conductores se ubican según muestra la figura 60.
- 16) Resuelve lo mismo que en el problema 14, pero suponiendo :
 a) Cambia de sentido I_1 .
 b) Aumenta al triple el valor I_2 .

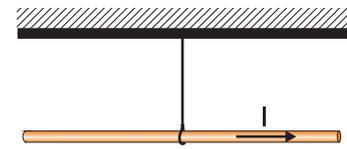


Fig.58. Problema 13.



Fig.59. Problema 14.



Fig.60. Problema 15.

- 17) Tres conductores rectos se ubican paralelos entre sí. Las intensidades por ellos son: $I_1 = 2,8 \text{ A}$, $I_2 = I_3 = 5,2 \text{ A}$. Todos los conductores tienen una longitud de 50cm. Determina la fuerza neta sobre la corriente de cada conductor. $d = 1,2 \text{ cm}$. (Fig. 61) (supón que los conductores interactúan solamente entre sí)

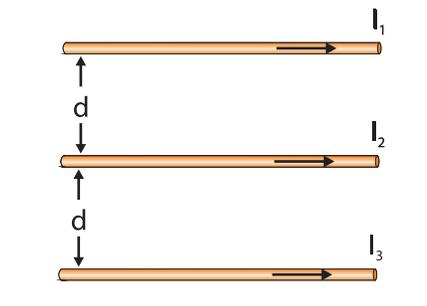


Fig.61. Problema 17.