

◆ ACTIVIDADES (pág 195)

1 En la actualidad vivimos rodeados de imanes. Cita tres lugares, al menos, donde existan imanes.



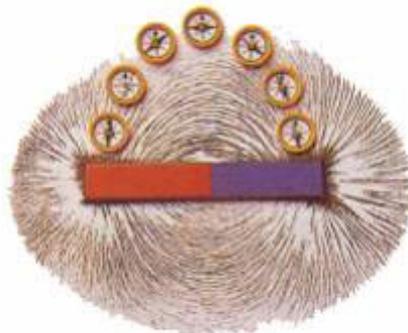
En los altavoces de aparatos musicales donde un potente imán hace posible la conversión en sonido de las pequeñas tensiones que llegan al altavoz. El sistema de grabación de una cinta de casete. Los motores eléctricos se basan en electroimanes.



En los tubos de rayos catódicos de los monitores de vídeo y televisión.



2 Consigue un par de imanes y algunas limaduras de hierro. Analiza cómo son las líneas de fuerza cuando los dos imanes se aproximan por el mismo polo y cuando se aproximan por polos diferentes. Utiliza una cartulina, situada sobre los imanes, para espolvorear sobre ella las limaduras de hierro. Debes obtener unos campos magnéticos similares a los que se muestran en esta página.

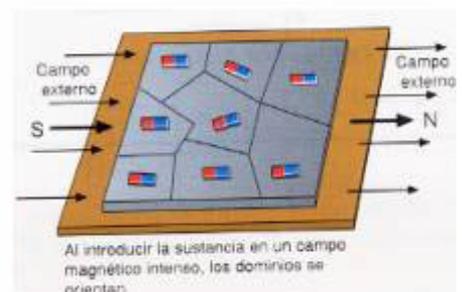


◆ ACTIVIDADES (pág 197)

1 Indica cómo podemos fabricar un imán permanente.



Sometiendo a los materiales ferromagnéticos (Fe, Co, Ni y otras aleaciones metálicas) a la acción de un campo magnético externo, de manera que los dominios o celdas magnéticas (producidas por el giro de las electrones en los átomos) orientadas al azar, se orientan paralelamente a la dirección del campo, hasta que llega un momento en que ya no aumenta más la orientación, se ha saturado y convertido en un imán permanente.



2 La mayor parte de los imanes pierden sus propiedades magnéticas al calentarlos. Emite una hipótesis que explique ese fenómeno.



La magnetización de las sustancias ferromagnéticas y paramagnéticas disminuye con la temperatura, más drásticamente en el caso de las primeras. Si calientas un imán permanente, conseguirás que pierda su capacidad de magnetización. La razón de la desmagnetización es que, por efecto del calentamiento, se refuerza la agitación térmica, que tiende a desorientar los momentos magnéticos. La temperatura crítica a la que un material ferromagnético se convierte en paramagnético debido a la desorientación térmica se denomina temperatura de Curie (en memoria del descubridor de este efecto, Pierre Curie). Si lo golpeas parte de la energía cinética se convierte en calor y la agitación térmica hace que los dominios magnéticos se reorganicen al azar y pierda sus propiedades magnéticas.



3 Analiza los distintos elementos que forman parte de un ordenador personal e indica en qué dispositivos son necesarios imanes para su funcionamiento. Indica también, si lo sabes, el uso que se da a dichos imanes.



Hoy en día los dispositivos de un ordenador personal son muchos y variados y están en evolución continua de manera que los dicho hoy puede que mañana sea obsoleto. Vamos a mencionar los más importantes:

- Placa base con el microprocesador, bahías, conexiones, adaptadores, bios, etc.
- Disco duro en el que se guarda la información en base magnética.
- Reproductores grabadores de CDs y Vds, de lectura escritura LASER.



- Disqueteras leen la información que graban en disquetes en base magnética.
- Otros dispositivos de almacenamiento, memorias y pendrives de base magnética.
- Fuente de alimentación, transformador de corriente (de base magnética).
- Monitor: de vídeo (como los monitores de televisión tienen imanes para dirigir el haz de electrones en el tubo de rayos catódicos) o de plasma (que no tienen base magnética).
- Otros periféricos, ratón, teclado, impresoras, escáner, altavoces (base magnética), micrófonos (base magnética), etc.



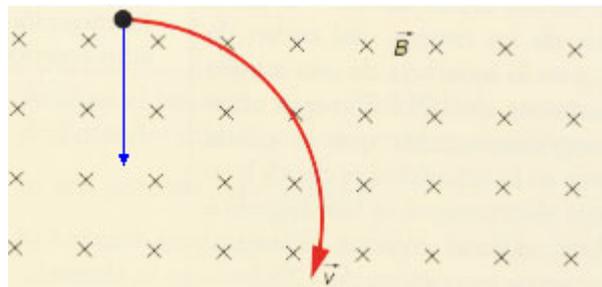
♦ ACTIVIDADES (pág 199)

1 Una carga eléctrica penetra en una región del espacio como se indica en la figura de la derecha. En dicha región hay un campo magnético uniforme y constante, perpendicular al plano del papel y de sentido entrante. ¿Cuál es el signo de la carga eléctrica si esta se desvía en el campo como indica la figura? Razona la respuesta.



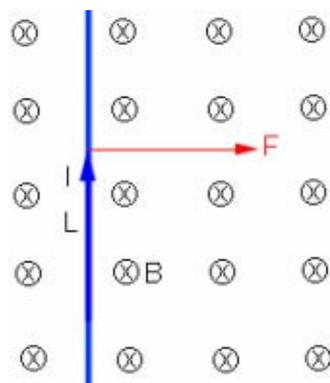
Como la trayectoria circular se indica con rojo la fuerza centrípeta ha de ser como se indica en el dibujo en color azul.

Si aplicamos la regla de la mano izquierda a los vectores campo (hacia dentro del papel), velocidad (hacia la derecha) la fuerza (hacia abajo) debería ser hacia arriba luego la partícula ha de tener signo negativo ya que la fuerza actúa en sentido contrario.



♦ ACTIVIDADES (pág 201)

1 Calcula la fuerza que actúa sobre un conductor rectilíneo, de 10 cm de longitud, por el que circula una corriente de 5 A en el interior de un campo magnético de 10 T. Las líneas del campo magnético son perpendiculares al conductor. Representa gráficamente la situación.



$\vec{F} = I \cdot \vec{L} \times \vec{B}$ luego el vector fuerza será perpendicular a los vectores longitud e inducción magnética como se indica en la figura y su módulo vale:

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}90^\circ = I \cdot L \cdot B = 5 \text{ A} \cdot 0,10 \text{ m} \cdot 10 \text{ T} = 5 \text{ N}.$$



2 Analiza el resultado que obtendríamos en la actividad anterior si las líneas del campo magnético:

- a) Son paralelas al conductor.
- b) Forman un ángulo de 30° con la dirección que señala el conductor.



a) Si el vector inducción magnética es paralelo al vector longitud su producto vectorial es nulo ya que el ángulo formado es o 0° o 180° y el seno de esos ángulos es nulo, luego la fuerza ejercida sobre el conductor también será nula:

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}0^\circ = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}180^\circ = 0$$

b) Si el ángulo entre los vectores campo magnético y longitud es de 30°, el vector fuerza será perpendicular al plano formado por ambos vectores y de módulo:

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}30^\circ = 5 \text{ A} \cdot 0,10 \text{ m} \cdot 10 \text{ T} \cdot \text{sen} 30^\circ = 2,5 \text{ N}$$



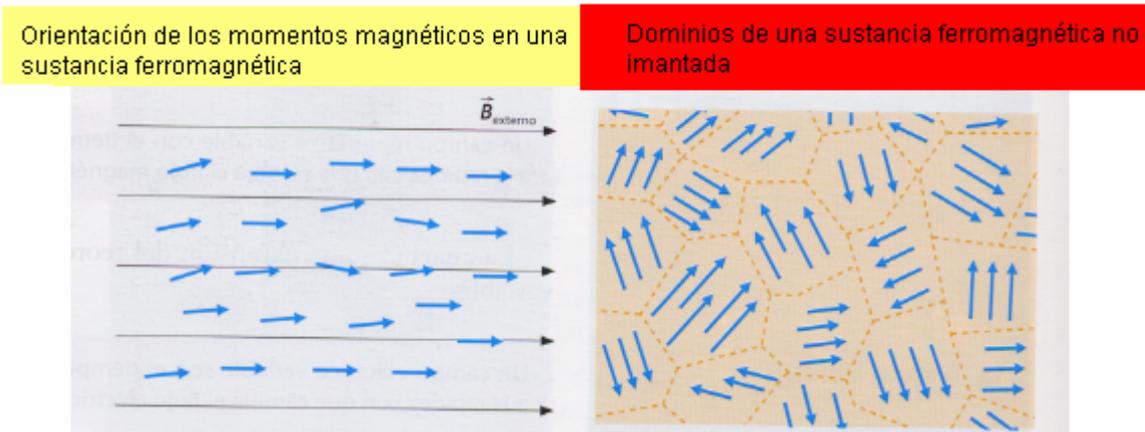
♦ ACTIVIDADES (pág 203)

□ *¿Por qué se utiliza el hierro o el acero en los imanes? ¿No sería mejor utilizar cobre u oro, que conducen mucho mejor la corriente eléctrica?*



Diferentes materiales responden de manera también distinta a estos cambios externos y, en función de este comportamiento magnético diverso, se pueden clasificar en **ferromagnéticos**, **paramagnéticos** o **diamagnéticos**.

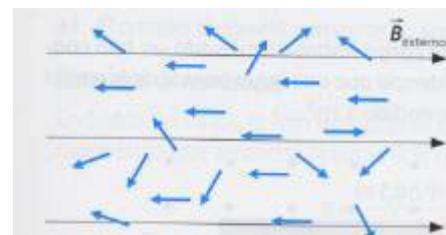
☀ **Ferromagnéticos.** En esencia, son aquellos materiales que orientan los momentos magnéticos atómicos en la dirección y sentido de un campo magnético externo. Es decir, se magnetizan fuertemente en presencia de un campo magnético. Esta magnetización puede ser permanente (dentro de un cierto rango de temperatura), como ocurre con algunas aleaciones de hierro que se utilizan como imanes permanentes.



Pierre Weiss propuso en 1907 una teoría sobre la constitución interna de los materiales ferromagnéticos que puede comprobarse experimentalmente. Según este científico, en un material ferromagnético existen zonas de imantación uniforme, que reciben el nombre de dominios magnéticos, donde los momentos magnéticos atómicos están fuertemente alineados. El hecho de que un material ferromagnético no sea un imán permanente se debe a que estos dominios, en su totalidad, no muestran una orientación preferente. Sin embargo, al aplicar un campo magnético externo, los dominios, se orientan a favor del campo. La orientación de estos dominios genera tensiones en el interior del material que hacen que los dominios vuelvan a desorientarse una vez que cesa el campo magnético. No obstante, si el campo aplicado es intenso, los dominios pueden quedar orientados de manera permanente, como les sucede a los imanes permanentes.

☀ **Paramagnéticos.** Estos materiales se magnetizan débilmente en presencia de un campo magnético externo, aunque la orientación de los momentos magnéticos atómicos de estas sustancias está muy mediatizada por el movimiento térmico de los átomos. Si se retira el campo externo, la magnetización es nula, debido a que los momentos magnéticos se vuelven a orientar al azar. Ejemplos de este tipo de sustancias son el aluminio, el sodio, el platino, el uranio, el oxígeno, etc., algunas de las cuales presentan electrones desapareados.

☀ **Diamagnéticos.** Frente a un campo magnético externo, estos materiales son repelidos muy débilmente hacia zonas donde el campo magnético es menos intenso. La estructura interna de estas sustancias impide la orientación de los momentos magnéticos, y, en ellas, la respuesta de reacción dada por la ley de Lenz acaba primando sobre el campo externo. En consecuencia, la sustancia es repelida débilmente. A este grupo pertenecen el bismuto, el cobre,



el plomo, la sal, el azufre, el mercurio, el cuarzo, la plata, el grafito, el diamante y la mayoría de los compuestos orgánicos.



2 Busca información acerca de cómo está construido un motor eléctrico. ¿Puedes relacionar el motor eléctrico con lo que hemos estudiado hasta ahora en esta unidad?



En esencia, el funcionamiento de un motor es justamente el contrario que el de un alternador y se basa en un principio físico: **el efecto de un campo magnético sobre una espira por la que circula corriente**. Recordarás que, en ese caso, sobre la espira actúa un par de fuerzas que tienden a orientarla perpendicularmente al campo.

Cuando a una espira que se halla en un campo magnético se le suministra corriente continua, el par de fuerzas que surge (si la superficie de la espira no está orientada de forma perpendicular al campo) hará que la espira comience a oscilar alrededor de la posición de equilibrio estable hasta que se oriente finalmente con su momento magnético a favor del campo (al igual que la aguja de una brújula, que comienza a oscilar hasta que se estabiliza).

Ahora bien, si a esa misma espira se le suministra corriente alterna de la frecuencia adecuada, de manera que, cuando el momento magnético esté en la dirección y sentido del campo, la intensidad invierta su sentido (con lo que se invierte también el momento magnético), y así sucesivamente, la espira nunca logrará alcanzar una posición de equilibrio, sino que girará continuamente buscando una estabilidad que nunca alcanza.

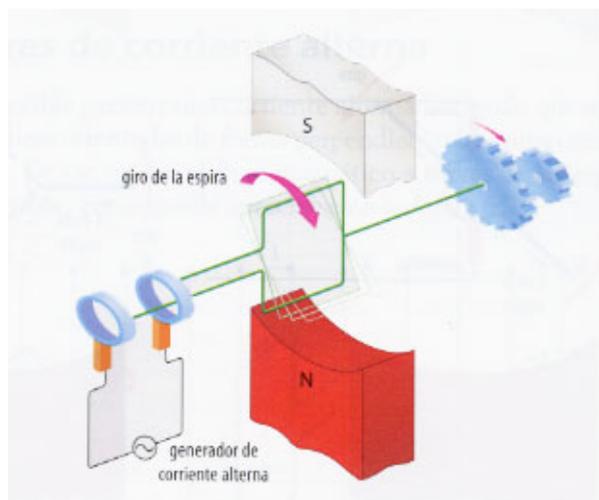
Al igual que en los generadores, en los rotores suelen utilizarse conjuntos de espiras o bobinas. Estos mecanismos pueden transmitir su rotación a cualquier conjunto mecánico, como ruedas, hélices, etcétera.

El mismo principio que nos permite diseñar generadores de corriente continua o alterna hace posible construir motores que funcionen con corriente continua o alterna. Para que una espira gire de forma ininterrumpida con corriente continua, basta con utilizar el sistema de conmutador que se usó en el generador de corriente continua como conexión al circuito generador de la corriente. Podemos, pues, concluir que:

Un motor, al contrario que un generador, transforma energía eléctrica en energía mecánica.

Debemos recordar, no obstante, que, al hacer girar una espira en un campo magnético, se produce una fem de autoinducción, o fuerza contraelectromotriz, que tiende a contrarrestar la fem suministrada por la corriente.

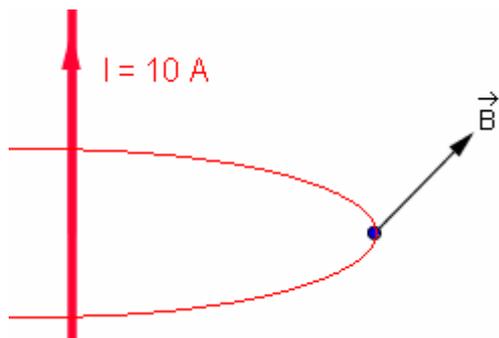
Al conectar un motor, la fem de autoinducción es nula, por lo que la intensidad de la corriente es elevada. Mientras el motor funciona, la intensidad se estabiliza, pero si, por cualquier motivo, el motor deja de girar o es forzado a girar más lentamente, la fem de autoinducción disminuye, lo que supone que al motor le llega más intensidad que cuando funciona normalmente.



ACTIVIDADES (pág 205)

1 Calcula la intensidad del campo magnético que crea a 10 cm de distancia un conductor rectilíneo indefinido por el que circula una corriente de 10 A. Considera que el conductor se encuentra rodeado de aire.





$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2\pi \cdot 0,10} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ T.}$$



2 Imagina ahora que el conductor de la actividad anterior es una espira de 10 cm de radio que rodea a un núcleo de hierro. Si por dicha espira circula la misma intensidad de corriente que en el caso anterior, ¿cuál será ahora la intensidad del campo magnético?



$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2 \cdot 0,10} = 6,28 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Si somos rigurosos, al tener la espira en su interior un núcleo de hierro, se convierte en un electroimán y el campo en su interior sería:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r I}{2L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000 \cdot 10}{2 \cdot 0,10} = 6,28 \cdot 10^{-2} \text{ T.}$$



3 Si en lugar de una espira, el conductor se enrolla cien veces en torno al núcleo de hierro, formando un solenoide de 10 cm de longitud, ¿cuál será ahora la intensidad del campo magnético? La intensidad de corriente es la misma en los tres casos.



$$B = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r I \cdot N}{2L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 100}{2 \cdot 0,10} = 6,28 \text{ T}$$



ACTIVIDADES (pág 207)

1 ¿Qué nos permite afirmar, de forma contundente, que el campo magnético no es conservativo?



Según la ley de Ampere, la circulación del vector de inducción magnética, que representa al campo magnético, a lo largo de una línea cerrada, no es nula:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu \cdot I$$

Luego el campo magnético no es conservativo.



2) Un cable rectilíneo de longitud $L = 0,5 \text{ m}$ transporta una corriente eléctrica $I = 2 \text{ A}$. Este cable está colocado perpendicularmente a un campo magnético uniforme $B = 0,25 \text{ T}$. Calcula el módulo de la fuerza que sufre dicho cable.



$$\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B}) \Rightarrow F = I \cdot L \cdot B \cdot \sin 90^\circ = 2 \text{ A} \cdot 0,5 \text{ m} \cdot 0,25 \text{ T} \cdot 1 = 2,5 \text{ N}$$



3) Calcula el campo creado por un conductor rectilíneo e infinito por el que circula una corriente de 4 A , en un punto situado a $0,2 \text{ m}$ del conductor. Dibuja las líneas de fuerza y el vector campo en ese punto.

Dato: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$



$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2\pi \cdot 0,2} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$



4) Dos hilos metálicos largos y paralelos, por los que circulan corrientes de 10 A , pasan por dos vértices opuestos de un cuadrado de 1 m de lado situado en un plano horizontal. Ambas corrientes discurren perpendicularmente a dicho plano, hacia arriba:

a) Dibuja un esquema en el que figuren las interacciones mutuas y el campo magnético resultante en uno de los vértices del cuadrado.

b) Calcula los valores numéricos del campo magnético en dicho vértice y de la fuerza por unidad de longitud ejercida sobre uno de los hilos. Considera $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$

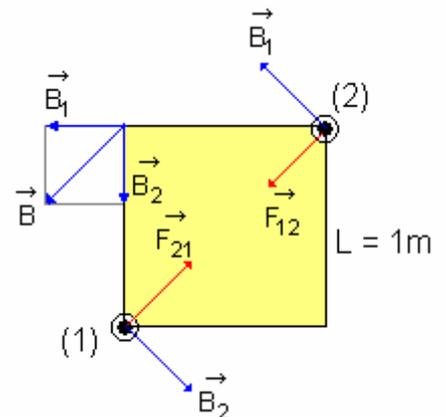


a)

b) $B_1 = B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10}{2\pi \cdot 1} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ T}$

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{2B_1^2} = B_1 \sqrt{2} = 2\sqrt{2} \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^2}{2\pi \cdot \sqrt{2}} = \sqrt{2} \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$



ACTIVIDADES DE LA UNIDAD

CUESTIONES

- 1) Las líneas de fuerza del campo magnético son:
- a) Abiertas como las del campo eléctrico.
 - b) Siempre cerradas.
 - c) Abiertas o cerradas dependiendo del imán o la bobina.

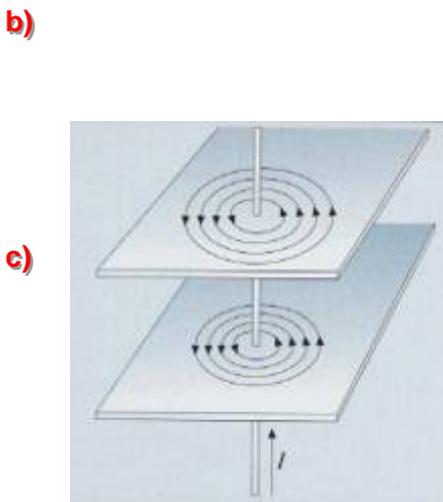
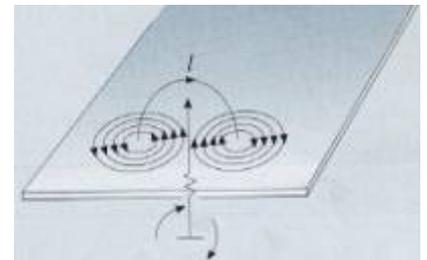
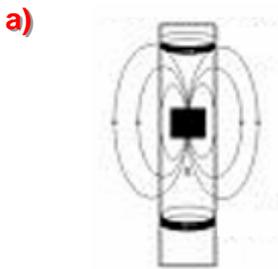


b) Una propiedad común a todos los campos magnéticos es que sus líneas de campo son cerradas. Otra manera de enunciar esta propiedad consiste en decir que el campo magnético no tiene fuentes ni sumideros; sus líneas de campo no nacen ni mueren en ningún punto, al contrario de lo que ocurría en los campos gravitatorio y electrostático.



2) Dibuja las líneas del campo magnético que crean:

- a) Un imán permanente de forma cilíndrica.
- b) Una espira circular por la que circula una corriente continua.
- c) Un hilo rectilíneo muy largo por el que circula una corriente continua.



3) Una partícula, con carga q , penetra en una región en la que existe un campo. Explica cómo podríamos determinar, al observar la trayectoria de la partícula, si se trata de un campo eléctrico o de un campo magnético. ¿Hay algún caso en que no sería posible determinar el tipo de campo?



Si lanzamos la partícula perpendicular al campo, en caso de que sea un campo magnético experimenta una fuerza perpendicular $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ que hace que la partícula describa una

circunferencia, si el campo es eléctrico (\vec{E}), la partícula experimenta una fuerza que la acelera y la desvía ya que $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$.

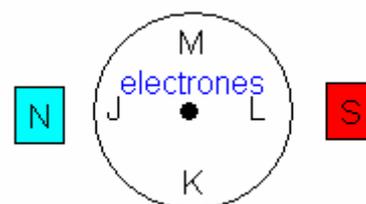
Si la partícula penetra paralelamente al campo, en el caso de que sea un campo magnético no experimentará ninguna fuerza ya que el producto vectorial de $(\vec{v} \times \vec{B}) = 0$ y si es un campo eléctrico experimenta una fuerza en el sentido del campo.

Sólo con la observación visual, sólo observando las trayectorias, no se podrían distinguir en el segundo caso, si se midiesen las velocidades sí pues en el campo eléctrico sí experimenta fuerza pero es del mismo sentido del campo.

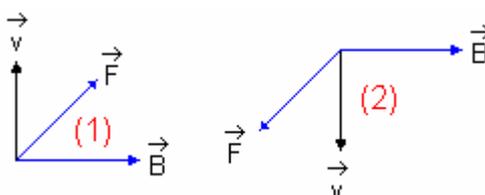


④ En la figura se muestra un haz de electrones que se mueven perpendicularmente al plano del papel, en un recinto en que se ha realizado el vacío.

Se aproximan dos imanes a la vasija, de forma que el polo norte se encuentra a la izquierda del haz de electrones y el polo sur a la derecha de dicho haz. Indica hacia dónde se desviará la trayectoria del haz de electrones: J, K, L, M, o, si por el contrario, no se modificará.



Como el campo magnético va del polo Norte al polo Sur, hay dos posibilidades:



Caso (1): el haz de electrones se mueve hacia arriba, la fuerza se dirige hacia M.
Caso (2): el haz de electrones se mueve hacia abajo, la fuerza se dirige hacia K.

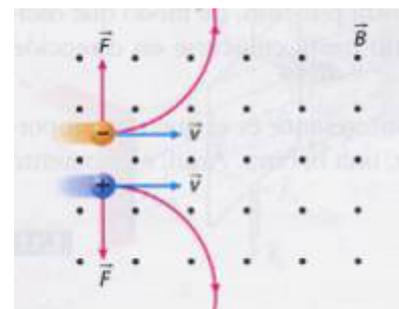


⑤ Dos partículas cargadas se mueven con la misma velocidad y, al aplicarles un campo magnético perpendicular a dicha velocidad, se desvían en sentidos contrarios y describen trayectorias circulares de distintos radios:

- a) ¿Qué puede decirse de las características de estas partículas?
- b) Si en vez de aplicarles un campo magnético se les aplica un campo eléctrico paralelo a su trayectoria, indica razonadamente cómo se moverán las partículas.



- a) Que tienen cargas de signo contrario ya que se desvían en sentido opuesto.
- b) En el caso de que actúe un campo eléctrico origina una fuerza en la dirección y sentido del campo, si es positiva, (acelerándola) y de sentido contrario (frenándola) si es negativa.



6) ¿Puede ser nula la fuerza magnética que se ejerce sobre una partícula cargada que se mueve en el seno de un campo magnético? ¿Y la fuerza eléctrica sobre una partícula cargada que se mueve en el seno de un campo eléctrico?



Como $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$, para que la fuerza sea nula, siendo $q \neq 0$, $(\vec{v} \times \vec{B}) = 0$ y si los módulos de los vectores velocidad e inducción magnética no son nulos ha de ser nulo el seno del ángulo (α) formado ya que $\vec{v} \times \vec{B} = vB\text{sen}\alpha$ y, para que sea nulo el seno de un ángulo este ha de ser 0° o 180° es decir los dos vectores han de llevar la misma dirección, han de ser paralelos.

La fuerza que ejerce el campo eléctrico sobre una carga q es $\vec{F} = q\vec{E}$ que nunca será nula si no lo son o la carga o el vector campo eléctrico.



7) ¿Cómo se han de aplicar un campo eléctrico y otro magnético, perpendiculares y uniformes, para que sus fuerzas respectivas sobre una carga con velocidad v se anulen? ¿Cuál ha de ser la relación entre sus módulos?



Para que el haz no sufra desviación alguna los campos eléctrico y magnético han de ser perpendiculares y las fuerzas ejercidas serán de sentido contrario, que será nula cuando la velocidad con la que inciden iguale ambas fuerzas:

$$F_e = F_M \Leftrightarrow qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$



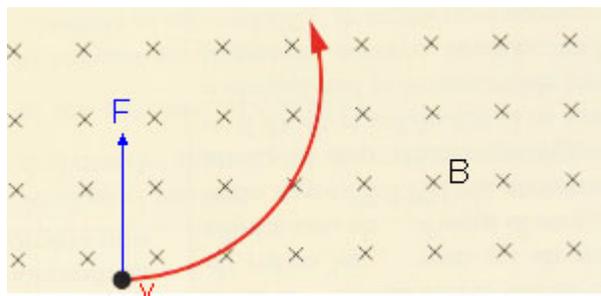
8) Un protón que se mueve en un plano horizontal con una velocidad v entra en una región en la que hay un campo magnético B perpendicular al plano horizontal. Explica y justifica la trayectoria que describirá el protón.



Si el protón entra perpendicularmente al campo magnético, como

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \Rightarrow F = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen}90^\circ = q \cdot v \cdot B$$

la fuerza es constante y dirigida perpendicularmente al plano formado por los vectores velocidad y campo. Si una fuerza constante y perpendicular actúa sobre una partícula sabemos que la fuerza a describir una trayectoria circular, movimiento circular uniforme.



9) Por el conductor horizontal XY circula cierta intensidad de corriente, de X a Y. Cuando hacemos que circule corriente por el solenoide, en la dirección que se indica, es posible que el conductor se mueva. En este caso, el conductor:

- a) Se mueve hacia arriba.
- b) Permanece en reposo.
- c) Se mueve hacia abajo.



Si el dispositivo experimental es el que se indica ahora en la figura, el conductor:

- a) Se mueve hacia arriba.
- b) Permanece en reposo.
- c) Se mueve hacia abajo.



Primer caso

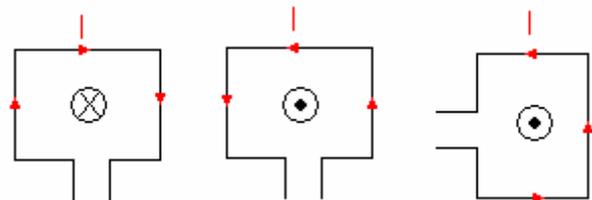
Si vemos el solenoide en el sentido XY, la corriente circula en él en sentido antihorario y el campo magnético creado en su interior es paralelo al eje XY y de sentido el del avance del sacacorchos, es decir hacia X, luego el vector inducción magnética y la corriente llevan el mismo sentido luego no se produce ninguna fuerza sobre el conductor y permanece en reposo

Segundo caso

El campo magnético generado por el solenoide no varía pero ahora es perpendicular a la corriente que circula de X a Y que genera una fuerza perpendicular a ambos y hacia abajo según la regla de la mano derecha (índice hacia fuera del papel, corazón hacia la izquierda y pulgar hacia abajo).



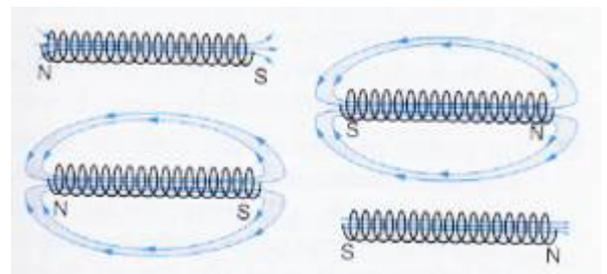
10) Las espiras de la figura están atravesadas por un campo magnético creado por la corriente eléctrica que circula por ellas, que es perpendicular al plano de la espira. Indica el sentido en que circula la corriente en cada caso.



En el primer caso el campo generado es entrante (hacia dentro del plano) luego el sentido de circulación de la corriente ha de ser, según el avance del sacacorchos, es el horario y sentido contrario en los dos otros casos.



11) Se conecta un solenoide a una diferencia de potencial ϵ . Indica cuál de las cuatro ilustraciones muestra cómo será el campo magnético en el interior y en el exterior del solenoide.



La correcta es la superior derecha que indica que el campo en el interior del solenoide es paralelo a su eje y en el exterior sale del polo norte y entra por el polo sur.



①② De los fenómenos que se indican, ¿cuáles son característicos de los campos gravitatorio y eléctrico, pero no del magnético?

- a) Fuerzas a distancia.
- b) Campos cuya acción llega, teóricamente, hasta el infinito.
- c) Existencia de monopolos.
- d) Fuerzas de atracción.



- a) Es característico de los tres campos.
- b) También es característico de los tres.
- c) En los campos magnéticos aún no se ha descubierto la existencia de monopolos.
- d) Sólo en el campo gravitatorio las fuerzas son siempre atractivas en los otros dos pueden ser atractivas o repulsivas dependiendo del signo de las cargas que interactúan (campo eléctrico) o de los polos que interactúan (campo magnético).



①③ Explica razonadamente la acción de un campo magnético sobre un conductor rectilíneo, perpendicular al campo, por el que circula una corriente eléctrica y dibuja en un esquema la dirección y el sentido de todas las magnitudes vectoriales que intervienen.

Explica qué modificaciones se producirían en los casos siguientes:

- a) Si el conductor forma un ángulo de 45° con el campo.
- b) Si el conductor es paralelo al campo.



Consideremos un elemento de longitud dL , de un conductor muy delgado situado en un campo magnético de inducción \vec{B} , por el que circula una intensidad de corriente I y, por tanto, una carga elemental dq en un tiempo dt . Como la intensidad de corriente representa la rapidez de paso de la carga eléctrica:

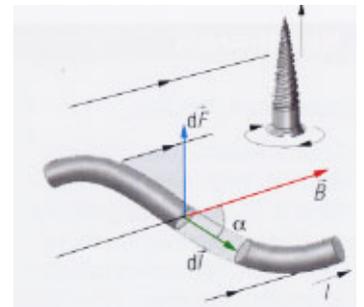
$$I = \frac{dq}{dt}$$

Si las cargas se desplazan sobre ese elemento de longitud de corriente con una velocidad \vec{v} ($\vec{v} = dL/dt$), entonces:

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{dq}{\frac{dL}{v}} \Rightarrow dq \cdot v = I \cdot dL$$

Como ya sabemos, la fuerza magnética elemental ejercida sobre una carga dq viene dada por: $d\vec{F} = dq \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$. Si a esta expresión le aplicamos una de las propiedades del producto vectorial obtenemos:

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



y sustituyendo $dq \cdot \vec{v}$ por $I d\vec{L}$, obtenemos la expresión de la fuerza magnética elemental sobre un elemento de longitud recorrido por una intensidad de corriente, conocida como **primera ley de Laplace**:

$$d\vec{F} = I \left(d\vec{L} \times \vec{B} \right)$$

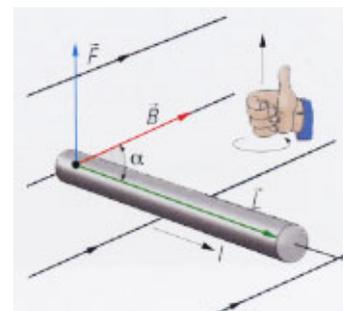
La fuerza total sobre el conductor es la suma de todas las fuerzas elementales sobre cada uno de los elementos $d\vec{L}$ que lo forman, que, matemáticamente, constituye la integral de la expresión anterior a lo largo de la longitud L del conductor:

$$\vec{F} = I \int_L d\vec{L} \times \vec{B}$$

Para el caso de un conductor de longitud L , rectilíneo, que se encuentra en un campo magnético de inducción B constante la fuerza magnética será:

$$\vec{F} = I \left(\vec{L} \times \vec{B} \right)$$

La fuerza es perpendicular al plano formado por $d\vec{L}$ y \vec{B} , pero la corriente no es un vector su dirección y su sentido vienen dadas por el elemento de longitud $d\vec{L}$ como se explicita en el dibujo al margen.



Si el campo magnético es perpendicular al conductor, el producto vectorial $\left(\vec{L} \times \vec{B} \right) = L \cdot B \cdot \text{sen}90^\circ = LB$ y el módulo de la fuerza es $F = I \cdot L \cdot B$

a) Si el conductor forma un ángulo $\alpha = 45^\circ$ con el campo, la fuerza seguirá siendo perpendicular pero ahora su módulo será menor $F = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}45^\circ$

b) Si el conductor es paralelo al campo el producto vectorial $\vec{L} \times \vec{B}$ es nulo ya que el seno del ángulo que forman es nulo, siendo por tanto la fuerza nula.



①① El campo magnético creado por un hilo infinito y recto por el que circula una corriente de 1 A en un punto a distancia r del hilo:

- a) Depende de la inversa del cuadrado de la distancia.
- b) Tiene la dirección de las líneas circulares en torno al hilo,
- c) Depende del cuadrado de la intensidad de corriente.



Es la ley de Biot – Savart:

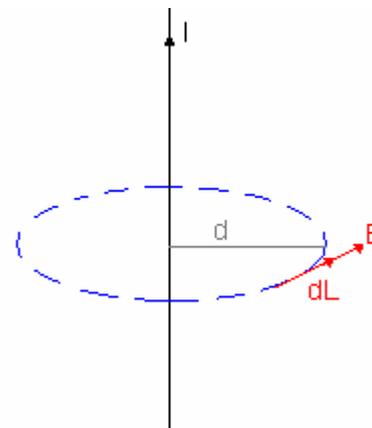
$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{L} = \mu_0 \sum I \Leftrightarrow \oint_L \vec{B} \cdot d\vec{L} \cdot \cos 0^\circ = \mu_0 \cdot I \Leftrightarrow B \oint_L dL = \mu_0 \cdot I \Leftrightarrow B 2\pi d = \mu_0 I \Leftrightarrow$$

(1) puesto que la integral es la longitud de la circunferencia de radio $r = d$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$$

Luego es directamente proporcional a la intensidad de la corriente que circula e inversamente proporcional a la distancia del hilo y tangente a las líneas de campo que son circulares.

a) falsa, b) ¿...? Y c) falsa.



15) *Traza razonadamente el diagrama de líneas de campo magnético para el campo creado por una espira circular por la que circula una corriente eléctrica. No olvides incluir en el diagrama el sentido de dicha corriente. Haz lo mismo para el caso de un conductor rectilíneo y muy largo.*



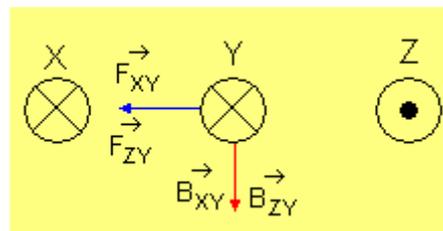
Véanse los apartados **b)** y **c)** de la cuestión 2)



16) *X, Y y Z son tres conductores perpendiculares al plano del papel que equidistan entre sí. Las corrientes X e Y, entran hacia el papel, mientras que la corriente Z sale del plano del papel.*

La fuerza electromagnética que actúa sobre el conductor Y es:

- a) Nula.
- b) Perpendicular a la línea que une a los tres conductores.
- c) En dirección y sentido de Y a Z.
- d) En dirección y sentido de Y a X.
- e) La dirección depende de las intensidades de cada una de las tres corrientes.



El módulo de la fuerza que ejerce el conductor X sobre el Y vale, por unidad de longitud,:

$$F_{XY} = \frac{\mu \cdot I_X \cdot I_Y}{2\pi d}$$

El módulo de la fuerza que ejerce el conductor Z sobre el Y vale, por unidad de longitud,:

$$F_{ZY} = \frac{\mu \cdot I_Z \cdot I_Y}{2\pi d}$$

La dirección y sentido de las fuerzas se especifican en el dibujo aplicando la regla de la mano derecha.

Luego la respuesta correcta es que la fuerza sobre el conductor Y tiene la dirección y sentido de Y a X, apartado **d)**.



17) *Supongamos que en una región del espacio tenemos un campo eléctrico y otro magnético de sentidos opuestos y que en el interior de esta región dejamos en reposo una carga positiva. Explica el movimiento que realizará dicha carga.*

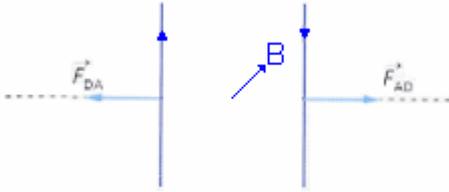


Como la carga positiva está en reposo, el campo magnético no la afecta y el campo eléctrico la impulsa con una fuerza en la dirección y sentido del campo experimentando un movimiento rectilíneo acelerado. Al moverse ya actúa el campo magnético pero como lleva la misma dirección y sentido opuesto al movimiento la fuerza sigue siendo nula.



18) *Se tienen dos corrientes eléctricas paralelas y de sentidos contrarios. ¿Se repelen o se atraen?*





Se repelen, las fuerzas de una sobre otra llevan la misma dirección, sentido contrario y el mismo módulo



19 ¿Cómo deben ser las direcciones y sentidos de un campo eléctrico y otro magnético uniformes para que la fuerza resultante sobre una carga con velocidad v sea cero? ¿Cuál ha de ser la relación entre sus módulos? Razona la respuesta.



Para que la carga no se mueva los campos eléctrico y magnético han de ser perpendiculares y las fuerzas ejercidas serán de sentido contrario, que será nula cuando la velocidad con la que inciden iguale ambas fuerzas:

$$F_e = F_M \Leftrightarrow qE = qvB \Rightarrow v = \frac{E}{B}$$



EJERCICIOS

20 Un electrón con una velocidad de $3\,000\text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ penetra perpendicularmente en una región del espacio en la que hay un campo magnético uniforme $B = 0,15\text{ T}$. Calcula el radio de su órbita.

Datos: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}\text{ kg}$, $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$.



Al igualar la fuerza magnética con la centrífuga y despejar R, tenemos:

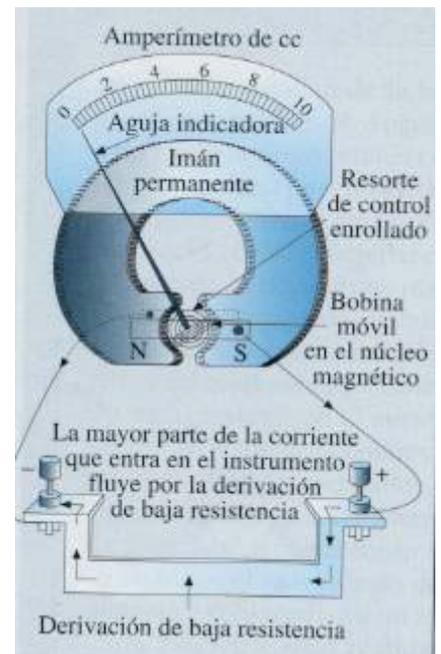
$$R = \frac{m_e \cdot v}{q_e \cdot B} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31}\text{ kg} \cdot 3 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C} \cdot 0,15\text{ T}} = 1,14 \cdot 10^{-4}\text{ m}$$



21 Busca información al respecto y explica cómo funciona un amperímetro analógico. Indica, sobre todo, qué dispositivo permite que se desplace la aguja que proporciona las lecturas.



El galvanómetro es un aparato que se utiliza para medir pequeñas corrientes eléctricas. En la figura se muestran sus componentes principales. Un imán permanente y un núcleo de hierro dulce hacen que el campo magnético tenga una inducción prácticamente constante. Entre los polos hay una bobina rectangular que puede girar sobre un eje que pasa por su centro, y está unida a una aguja que señala sobre una escala graduada. Cuando pasa una corriente por el aparato, la bobina gira un ángulo proporcional a dicha corriente, valor que la aguja marcará en la escala. Un resorte de



acero hace que la aguja vuelva a la posición cero cuando cesa la corriente.

El galvanómetro puede servir para medir corrientes más grandes si se conecta una resistencia R apropiada, llamada resistencia de derivación (shunt) de forma que pase casi toda la corriente por ella. Por la bobina pasará una corriente determinada muy pequeña, suficiente para mover la aguja sobre la escala. Con estas características el galvanómetro recibe el nombre de amperímetro.



22 Un protón con una energía cinética de 1 eV se mueve perpendicularmente a un campo magnético de 1,5 T. Calcula la fuerza que actúa sobre él, sabiendo que su masa es de $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg y su carga $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.



Como la velocidad es perpendicular al campo magnético $F = q \cdot v \cdot B$, para cuyo cálculo necesitamos la velocidad, que hallamos a partir de la energía cinética.

$$E_c = \frac{1}{2} m_p v^2 \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2E_c}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \frac{\text{J}}{\text{eV}}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 13842,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

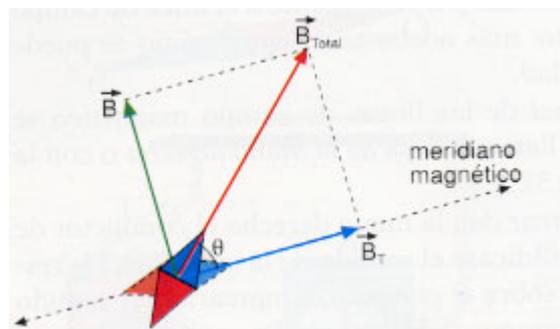
luego $F = q \cdot v \cdot B = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 13842,6 \text{ m/s} \cdot 1,5 \text{ T} = 3,3 \cdot 10^{-15} \text{ N}$.



23 Un grupo de excursionistas se encuentran perdidos en el campo. Como son precavidos, llevan consigo una brújula con la que esperan orientarse y, de ese modo, conseguir llegar al pueblo más cercano. Sin embargo, al utilizar la brújula no advierten que a 8 metros por encima de ellos hay una línea de alta tensión por la que circula una corriente de 150 A. ¿Es relevante ese dato? Si lo es, indica el ángulo que se desviará la brújula, suponiendo que la línea de corriente vaya en sentido oeste-este y que la componente horizontal del campo magnético terrestre sea 0,2 gauss en ese punto.



Al circular una corriente eléctrica por encima de ellos se crea un campo magnético que interacciona con el campo magnético terrestre y hace que la aguja de la brújula se desvíe un cierto ángulo, luego no conseguirán llegar al pueblo cercano si no lo tienen en cuenta.



La intensidad del campo se puede medir en función de la componente horizontal del campo magnético terrestre con la ayuda de una brújula; si el campo creado por la corriente, B, es perpendicular al campo magnético terrestre, B_T , y la brújula es inicialmente en la dirección del meridiano magnético del lugar al quedar la brújula sometida a la acción simultánea de los dos campos, perpendiculares entre sí, gira hasta quedar en equilibrio formando un ángulo con su posición inicial dado por ecuación

$$\text{tg } \theta = B / B_T$$

El campo magnético producido por la corriente de $I = 150 \text{ A}$ a una distancia $d = 8 \text{ m}$ vale:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 150}{2\pi \cdot 8} = 3,75 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

luego el ángulo formado es:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{B}{B_T} = \frac{3,75 \cdot 10^{-6} \text{ T}}{0,2 \text{ G} \cdot 10^{-4} \frac{\text{T}}{\text{G}}} = 0,1875 \Rightarrow \theta = \arctg 0,1875 = 10^\circ 37' 10''$$



24 Un protón tiene una energía cinética de $2 \cdot 10^{-3} \text{ J}$ y sigue una trayectoria circular en un campo magnético de módulo $B = 0,6 \text{ T}$. Calcula:

- a) El radio de la trayectoria.
- b) La frecuencia con que gira.

Datos: $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$



a) Hallamos primero la velocidad a partir de la energía cinética:

$$E_C = \frac{1}{2} m_p v^2 \Leftrightarrow v = \sqrt{\frac{2E_C}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}} = 1,53 \cdot 10^{12} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Y ahora el radio de la circunferencia:

$$R = \frac{m_p \cdot v}{q_p \cdot B} = \frac{1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 1,53 \cdot 10^{12} \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 0,6 \text{ T}} = 27093,75 \text{ m}$$

b) $f = \frac{qB}{2\pi m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,6}{2\pi \cdot 1,7 \cdot 10^{-27}} = 8987573,3 \text{ Hz}$



PROBLEMAS

25 Una carga eléctrica, $q = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, de masa $6,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, entra en una zona con un campo magnético B uniforme, dirigido perpendicularmente a la hoja y hacia dentro del papel. La anchura de la zona es de 2 m :

a) Indica dos o tres trayectorias posibles para la carga dentro de esta zona según el módulo de la velocidad con la que entra (\vec{v} es perpendicular a \vec{B}).

b) Si el módulo de \vec{B} vale 10^{-3} T , ¿cuál es la velocidad mínima que debe tener la carga para que atraviese toda la zona?

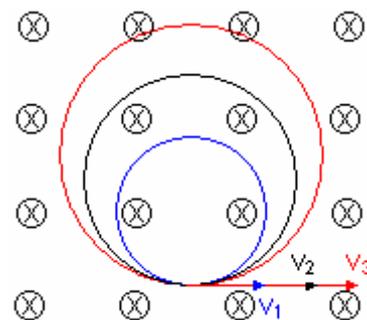
c) ¿Qué tipo de partícula podría ser esta carga? Si cambiásemos el signo de la carga, ¿qué cambiaría en los apartados anteriores?

Datos: $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$; $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



a) A la derecha se dibujan tres trayectorias circulares para tres velocidades de penetración en el campo magnético progresivamente crecientes.

b) Si el electrón ha de atravesar la zona ha de describir una circunferencia de diámetro igual a la anchura de la zona es decir $d = 2m$ y, por tanto radio $R = 1 m$, para lo que necesita una velocidad:



$$v = \frac{R \cdot q \cdot B}{m} = \frac{1m \cdot 3,2 \cdot 10^{-19} C \cdot 10^{-3} T}{9,1 \cdot 10^{-31} kg} = 47761,2 \frac{m}{s}$$

c) Como la masa es 4 veces u y la carga el doble sería una partícula alfa, un núcleo de helio α_2^4 . Si la carga fuese negativa cambiaría el sentido en que se describen las trayectorias circulares siendo hacia abajo en vez de hacia arriba.



26 Un electrón (masa, $9,1 \cdot 10^{-31} kg$; carga eléctrica, $1,6 \cdot 10^{-19} C$) se mueve en una región sin ningún campo de fuerzas, con una velocidad de $10^8 m \cdot s^{-1}$, en la dirección y sentido indicados en la figura, y llega a un punto P , en el que entra en una región con un campo magnético \vec{B} , perpendicular al papel y hacia dentro:



- a) ¿Qué intensidad ha de tener \vec{B} para que el electrón vuelva a la primera región por un punto Q situado a 30 cm de P ?
- b) ¿A qué lado de P está situado Q ?
- c) Si aumentásemos en un factor 2 la intensidad de \vec{B} , ¿a qué distancia de P volvería el electrón a la primera región?



a) El radio de la circunferencia descrita ha de ser pues $R = 0,30 m$, luego el módulo del campo ha de ser:

$$B = \frac{v \cdot m}{R \cdot q} = \frac{10^8 \frac{m}{s} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} kg}{0,30 m \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} C} = 1,89 \cdot 10^{-3} T$$

b) A la izquierda ya que la trayectoria es una circunferencia tangente en P hacia abajo.

c) Como el radio y la intensidad son inversamente proporcionales, si B se duplica el radio sería la mitad y volvería a la primera región a 15 cm de P .



27 Un protón penetra en una zona de un campo magnético uniforme de 10^{-3} T y lleva una velocidad de $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, perpendicular al campo magnético. Determina las siguientes magnitudes del protón en la zona con campo magnético:

- a) Módulo de la fuerza que experimenta y de su aceleración.
- b) Potencial eléctrico producido por el protón en el centro de la órbita que describe.

Datos: $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$; $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, $1/(4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0) = 9 \cdot 10^9$ en unidades del S.I.



a) $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90^\circ = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 500 \text{ m/s} \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot 1 = 8 \cdot 10^{-20} \text{ N}$

$a = \frac{F}{m} = \frac{8 \cdot 10^{-20} \text{ N}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = 4,8 \cdot 10^7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

b) Hallamos primero el radio de la circunferencia que describe para saber en qué punto hemos de calcular el potencial:

$$R = \frac{m \cdot v}{qB} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \cdot 500 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-3} \text{ T}} = 5,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Ahora hallamos el potencial eléctrico en ese punto:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}}{5,22 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 2,76 \cdot 10^{-7} \text{ V}$$



28 Por un conductor rectilíneo de gran longitud circula una corriente $I = 2 \text{ A}$. Situamos junto a él una espira rectangular rígida por la que circula una corriente de $I' = 2 \text{ A}$:

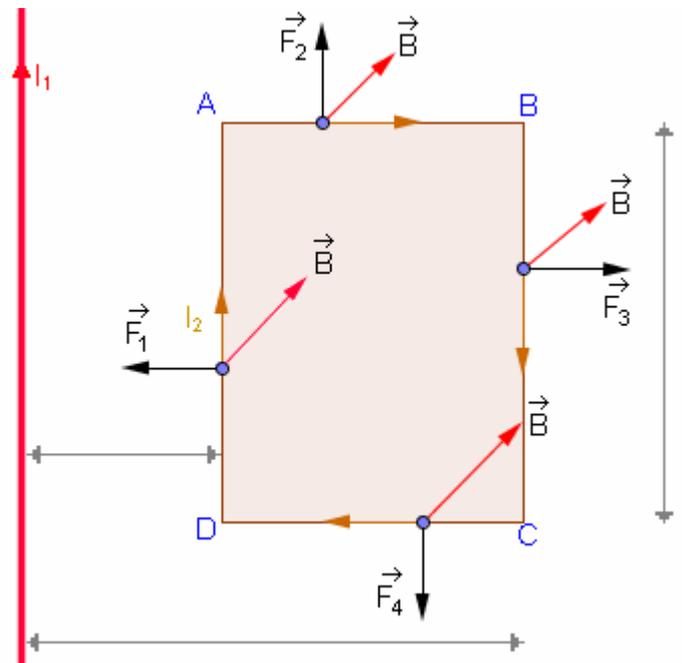
- a) Calcula la fuerza que actúa sobre cada uno de los dos lados paralelos del conductor.
- b) ¿Qué fuerza neta actúa sobre toda la espira?

Dato: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$



a) Las fuerzas sobre los lados AD y BC son constantes pues la distancia es constante y por tanto lo será el campo producido por la corriente $I_1 = 2 \text{ A}$, hallamos primero esos campos:

$$\begin{cases} B_{AD} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d_{AD}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2\pi \cdot 0,05} = 8 \cdot 10^{-6} \text{ T} \\ B_{BC} = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi d_{BC}} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2\pi \cdot 0,1} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ T} \end{cases}$$



y ahora hallamos los módulos de las fuerzas:

$$F_1 = F_{AD} = I_2 \cdot L_{AD} \cdot B_{AD} = 2 \text{ A} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 8 \cdot 10^{-6} \text{ T} = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ N}$$

$$F_3 = F_{BC} = I_2 \cdot L_{BC} \cdot B_{BC} = 2 \text{ A} \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 4 \cdot 10^{-5} \text{ T} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

Las fuerzas sobre los lados AB y DC son iguales y de sentido contrario (se anulan), para hallar su módulo tenemos que tener en cuenta que ahora el campo debido al conductor es variable a medida que varia la distancia al conductor, luego tenemos que resolver una integral:

$$F_2 = F_{AB} = F_4 = F_{DC} = I_2 \int_{0,05}^{0,1} \frac{\mu_0 I_1}{2\pi L} dL = \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot \mu_0}{2\pi} \int_{0,05}^{0,1} \frac{dL}{L} = \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot \mu_0}{2\pi} \ln(L) \Big|_{0,05}^{0,1} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \ln \frac{0,1}{0,05} = 5,55 \cdot 10^{-7} \text{ N}$$

b) La fuerza neta es atractiva y su módulo es la diferencia entre F_1 y F_3 ya que las otras dos al ser iguales y de sentido contrario su resultante el nula.

$$F_1 - F_3 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ N} - 8 \cdot 10^{-7} \text{ N} = 8 \cdot 10^{-7} \text{ N} \text{ y va dirigida hay el conductor rectilíneo.}$$



29 Un solenoide está construido enrollando uniformemente 600 vueltas de un fino hilo conductor sobre un cilindro hueco de 30 cm de longitud. Por el bobinado se hace circular una corriente $I = 2 \text{ A}$:

a) Calcula el campo magnético en el interior del solenoide y representa gráficamente, de forma aproximada, las líneas de campo magnético dentro y fuera del solenoide.

b) Una partícula cargada entra en el solenoide moviéndose con velocidad v a lo largo de su eje. Debido a la existencia del campo magnético, ¿se curvará en algún sentido su trayectoria? ¿Por qué?



a)
$$B = \frac{\mu_0 \cdot NI}{L} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 600 \cdot 2}{0,3} = 5,03 \cdot 10^{-3} \text{ T.}$$

b) La partícula que entra en el solenoide a lo largo de su eje como la velocidad y el campo magnético llevan la misma dirección su producto vectorial es nulo y no se ejerce fuerza ($\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$) sobre ella con lo que la trayectoria sigue siendo la que llevaba según el eje del solenoide.



30 Un hilo conductor, rectilíneo e indefinido, situado en el vacío sobre el eje OZ de un sistema de referencia cartesiano (OXYZ), transporta una corriente eléctrica de intensidad $I = 2 \text{ A}$ en el sentido positivo de dicho eje. Calcula la fuerza magnética que actuará sobre una partícula cargada, con $q = 5 \text{ C}$, en el instante en que pasa por el punto de coordenadas $(0,4, 0, 0) \text{ m}$ con una velocidad $\vec{v} = 20 \vec{j} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Dato: $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}$



Hallamos primero el campo que el conductor genera en el punto del eje OX $(0,4, 0, 0)$ a una distancia $d = 0,4 \text{ m}$:

$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2}{2\pi \cdot 0,4} = 10^{-6} \text{ T}$, que según la regla de la mano derecha irá dirigido en el sentido positivo del eje OY, luego el vector campo magnético es $\vec{B} = 10^{-6} \vec{j} \text{ T}$, que es paralelo al vector velocidad con que pasa por ese punto la partícula cargada, luego la fuerza ejercida será nula.



31 Dos isótopos, cuyas masas son $19,91 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ y $21,59 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, respectivamente, y que tienen la misma carga de ionización, son acelerados hasta que adquieren una velocidad constante de $6,7 \cdot 10^5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Se les hace atravesar una región de campo magnético uniforme de $0,85 \text{ T}$, cuyas líneas de campo son perpendiculares a la velocidad de las partículas:

a) Determina la relación entre los radios de las trayectorias que describe cada isótopo.

b) Si han sido ionizados una sola vez, determina la separación entre los dos isótopos cuando han descrito una semicircunferencia.

Dato: $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$



a) $R = \frac{m \cdot v}{qB} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{m_1 \cdot v_1}{q_1 B}}{\frac{m_2 \cdot v_2}{q_2 B}} = \frac{m_1 \cdot v_1 \cdot q_2}{m_2 \cdot v_2 \cdot q_1} \stackrel{(1)}{=} \frac{m_1}{m_2} = \frac{19,91 \cdot 10^{-27} \text{ kg}}{21,59 \cdot 10^{-27} \text{ kg}} = \frac{19,9}{21,59} = 0,92$

(1) ya que $q_1 = q_2$ y $v_1 = v_2$

b) La distancia pedida será la diferencia entre los diámetros de las circunferencias que describen:

$d = 2R_2 - 2R_1 = 2 \cdot \frac{m_2 \cdot v}{qB} - 2 \cdot \frac{m_1 \cdot v}{qB} = \frac{2v}{qB} (m_2 - m_1) = \frac{2 \cdot 6,7 \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,85} (21,59 \cdot 10^{-27} - 19,91 \cdot 10^{-27}) = 0,0167 \text{ m} = 1,67 \text{ cm}$.



32 Una corriente I está distribuida uniformemente en toda la sección transversal de un conductor recto y largo de radio $1,40 \text{ mm}$. En la superficie del conductor, el campo magnético tiene una magnitud $B = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ T}$:

a) Determina la magnitud del campo magnético a $2,20 \text{ mm}$ del eje.

b) Determina la intensidad, I , de la corriente.



a) Si el conductor tiene un radio $R = 1,40 \text{ mm}$ el punto a $2,20 \text{ mm}$ del eje del conductor se halla a distancia del conductor $d = 2,20 \text{ mm} - 1,40 \text{ mm} = 0,80 \text{ mm} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Como sabemos el campo a $d_1 = 1,4 \text{ mm}$ por relación hallamos el campo a d :

$\frac{B_1}{B} = \frac{\frac{\mu \cdot I}{2\pi d_1}}{\frac{\mu \cdot I}{2\pi d}} = \frac{d}{d_1} \Leftrightarrow B = B_1 \frac{d_1}{d} = 2,46 \cdot 10^{-3} \text{ T} \cdot \frac{1,4 \text{ mm}}{2,2 \text{ mm}} = 1,57 \cdot 10^{-3} \text{ T}$

b) $B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d_1} \Leftrightarrow I = \frac{2\pi d_1 B_1}{\mu_0} = \frac{2\pi \cdot 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 2,46 \cdot 10^{-3}}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 17,22 \text{ A}$



③③ Un alambre recto horizontal transporta una corriente de 16 A de oeste a este en el campo magnético terrestre en un lugar donde \vec{B} es paralelo a la superficie, apunta hacia el norte y tiene un valor de 0,04 mT:

a) Calcula la fuerza magnética sobre 1 m de ese alambre.

b) Si la masa de ese trozo de alambre es de 50 g, ¿qué corriente debe transportar para quedar suspendido de forma que su peso sea compensado por la fuerza magnética?



a) Según la primera ley de Laplace $\vec{F} = I(\vec{L} \times \vec{B})$ vector que irá dirigido perpendicularmente al plano formado por L y B en el sentido de avance del sacacorchos al ir de L a B es decir hacia arriba de la superficie terrestre y cuyo módulo vale:

$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}90^\circ = 16 \text{ A} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ T} = 6,4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

b) $F = P = mg \Leftrightarrow I \cdot L \cdot B = mg \Leftrightarrow I = \frac{mg}{L \cdot B} = \frac{50 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1 \text{ m} \cdot 0,04 \cdot 10^{-3} \text{ T}} = 12250 \text{ A}$.

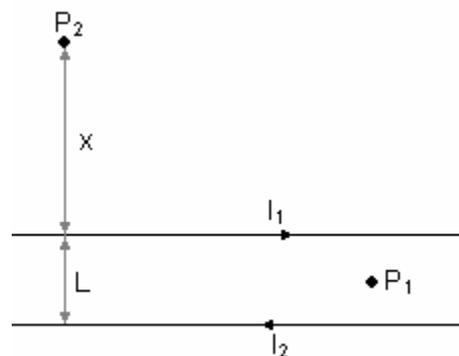


③④ Por dos largos conductores rectilíneos y paralelos, separados una distancia $L = 0,5 \text{ m}$, circula una corriente $I_1 = 2 \text{ A}$ e $I_2 = 4 \text{ A}$ en sentidos opuestos:

a) Calcula el campo magnético (módulo y orientación) en un punto como el P₁, equidistante de ambos conductores y situado en su mismo plano.

b) Considera un punto P₂, donde el campo magnético total es nulo. Razona por qué este punto ha de estar encima de ambas corrientes y en su mismo plano, como se indica en la figura.

c) Calcula la distancia x de P₂ a I₁.



a) En el punto P₁ el campo debido a los dos conductores va hacia dentro del papel luego el módulo del campo resultante en ese punto será la suma de los módulos de los campos individuales:

$$B = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{I_1}{d_1} + \frac{I_2}{d_2} \right) = 2 \cdot 10^{-7} \left(\frac{2}{0,25} + \frac{4}{0,25} \right) = 4,8 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

b) Aplicando la regla de la mano derecha el campo debido a I₁ iría hacia fuera del plano del dibujo y el debido a I₂ hacia dentro, luego tienen sentido contrario y la resultante puede llegar a ser nula, ya que I₂ = 4A > I₁ = 2 A y d₂ < d₁ y el campo es directamente proporcional a la intensidad e inversamente proporcional a la distancia. En un punto situado entre los dos conductores ya hemos visto que el campo

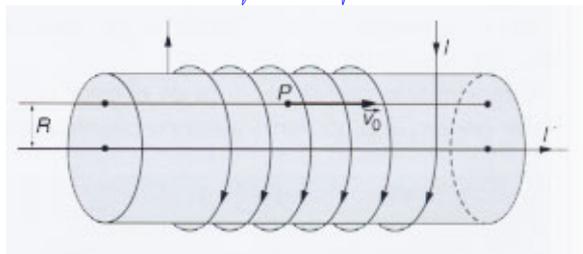
se suma (nunca será nulo) y en un punto situado por debajo, aunque los campos también tienen sentido contrario (B_1 hacia abajo y B_2 hacia arriba) como el valor de este es inversamente proporcional a la distancia u directamente proporcional a la Intensidad y $I_2 = 4A > I_1 = 2A$ y $d_2 < d_1$ siempre $B_2 > B_1$ y nunca se anulará su diferencia.

c) Para que la resultante sea nula:

$$B_1 = B_2 \Leftrightarrow \frac{\mu_0 I_1}{2\pi x} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi(x+L)} \Leftrightarrow \frac{I_1}{x} = \frac{I_2}{x+L} \Leftrightarrow \frac{2}{x} = \frac{4}{x+0,5} \Leftrightarrow 2x+1 = 4x \Leftrightarrow 2x = 1 \Leftrightarrow x = \frac{1}{2}m = 50cm$$



35) Por el solenoide de la figura, que tiene 100 espiras por metro, circula una corriente de intensidad $I = 1A$. En el eje del solenoide se dispone un conductor rectilíneo que transporta otra corriente de intensidad $I' = 20\pi A$:



a) Calcula el campo magnético total en el punto P de la figura, que dista $R = 0,1m$ del eje del solenoide.

b) Si se abandona un electrón en el punto P con una velocidad inicial $v_0 = 100 m \cdot s^{-1}$, calcula el radio de curvatura de su trayectoria.



a) El campo magnético resultante en el punto P será la suma vectorial de los vectores campo debidos al conductor (B_c) dirigido hacia arriba del plano del dibujo y al solenoide (B_s) que lleva la dirección del eje hacia la derecha, hallemos los módulos de ambos:

$$B_c = \frac{\mu_0 I'}{2\pi R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 20\pi}{2\pi \cdot 0,1} = 4\pi \cdot 10^{-5} T \quad \text{y} \quad B_s = \mu_0 \cdot NI = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 1A = 4\pi \cdot 10^{-5} T$$

luego los módulos de los campos son iguales. El módulo de su resultante es $B = \sqrt{B_c^2 + B_s^2} = 4\sqrt{2}\pi \cdot 10^{-5} T$. El vector campo va forma un ángulo de 45° con los dos vectores individuales.

b)
$$R = \frac{m \cdot v}{q B_c} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} kg \cdot 100 \frac{m}{s}}{1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot 4\pi \cdot 10^{-5} T} = 4,53 \cdot 10^{-6} m$$
 ya que el campo magnético del solenoide, al llevar la

misma dirección y sentido de la velocidad del electrón no contribuye a la fuerza por ser el producto vectorial de dos vectores paralelos nulo.

