

## CUESTIONES RESUELTAS DE CAMPO MAGNÉTICO

1) Analogías y diferencias entre campo eléctrico y campo magnético.

Analogías:

- La intensidad de ambos campos disminuye con el cuadrado de la distancia.
- Ambos son campos vectoriales.
- Las fuerzas que aplican ambos son a distancia.

Diferencias:

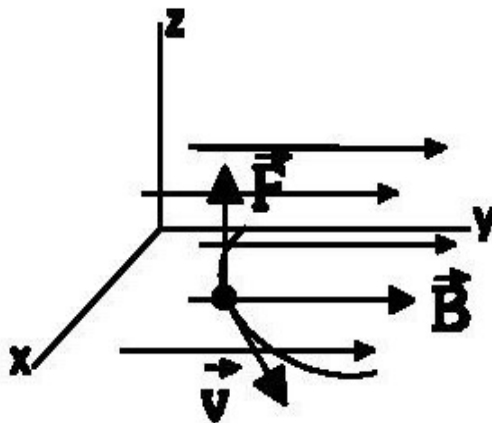
- El campo eléctrico es conservativo, pero el magnético no lo es.
- Pueden aislarse cargas eléctricas positivas, pero nunca aparecen por separado polos norte y sur.
- Las líneas de campo eléctrico poseen la dirección de la fuerza eléctrica sobre la carga positiva, mientras que las líneas de campo magnético son perpendiculares a la fuerza magnética sobre una carga móvil.
- Las líneas de campo eléctrico comienzan en las cargas positivas y terminan en las cargas negativas; las líneas de campo magnético forman circuitos cerrados.
- Las cargas en reposo solo originan campos eléctricos. Las cargas en movimiento originan campos eléctricos y magnéticos.
- Las líneas de campo eléctrico tienen la dirección de la fuerza eléctrica. Las líneas de campo magnético son perpendiculares a la fuerza magnética.

2) Fuerza magnética sobre una carga en movimiento.

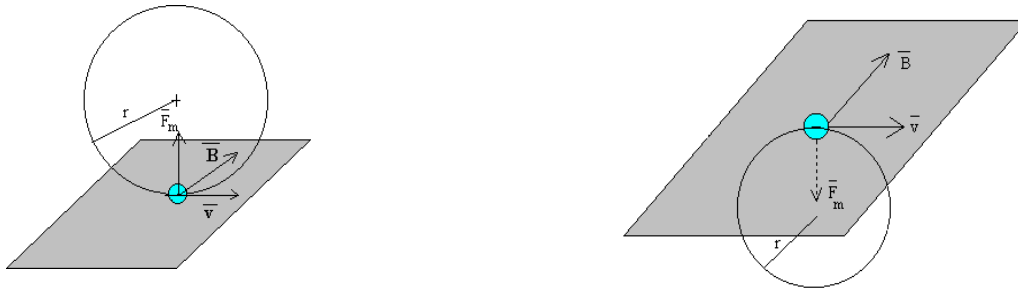
Del mismo modo que  $B$  es originado por cargas en movimiento, también el campo magnético produce efectos sólo sobre cargas en movimiento. Podemos decir, por tanto, que la interacción electromagnética se produce únicamente entre cargas en movimiento.

Supongamos una partícula con carga  $q$  que se mueve con velocidad  $v$  en una zona en la que hay un campo magnético  $B$ . La fuerza magnética que sufre dicha partícula viene dada por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ . Y en módulo:  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$

A partir de aquí:  $N = C \cdot m \cdot s^{-1} \cdot [B] \rightarrow [B] = N \cdot s \cdot C^{-1} \cdot m^{-1} = T$  (tesla)



La fuerza  $F$  que sufrirá la partícula será perpendicular a  $v$  y a  $B$ , vendrá dado por la regla del sacacorchos y teniendo en cuenta el signo de la carga  $q$ . Como la fuerza es perpendicular a  $v$ , la aceleración que sufrirá la partícula también lo será, es decir, será una aceleración normal o centrípeta. Es decir, dará lugar a un movimiento circular uniforme (M.C.U.).



Aplicando la segunda ley de Newton:

$$\Sigma F = m \cdot a \rightarrow |q| \cdot v \cdot B = m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{R} \rightarrow R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

Otras magnitudes del movimiento: Velocidad angular,  $\omega = \frac{v}{R} = \frac{|q| \cdot B}{m} = \text{cte}$

$$\text{Período, } T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{|q| \cdot B} = \text{cte}$$

Si  $\mathbf{v}$  no es perpendicular a  $\mathbf{B}$ , podemos descomponer  $\mathbf{v}$  en dos componentes: una paralela al campo y la otra perpendicular. La componente paralela no se modifica; la perpendicular provoca un movimiento circular. Ambas juntas harán que la partícula se mueva formando una hélice.

En general, sobre una partícula cargada actuarán campos eléctricos y magnéticos. La acción conjunta de ambos originará una fuerza que vendrá dada por la ley general de Lorentz:

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_E + \mathbf{F}_M = q \cdot \mathbf{E} + q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B} = q \cdot (\mathbf{E} + \mathbf{v} \wedge \mathbf{B})$$

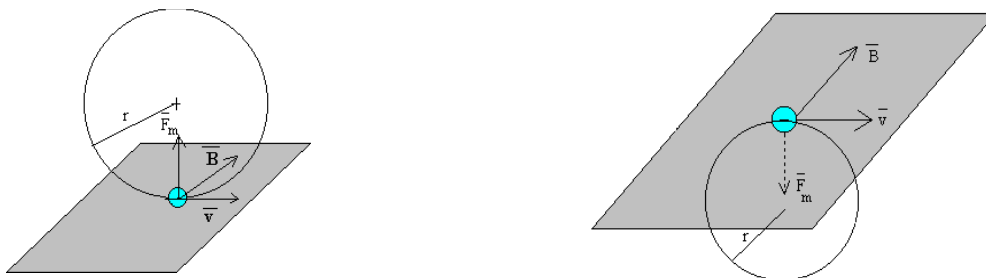
Hablamos entonces de fuerza electromagnética.

3) 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. ¿Qué puede decirse de las características de esas partículas? Si en vez de aplicarles un campo magnético se le aplica un campo eléctrico paralelo a su trayectoria, indique razonadamente, cómo se mueven las partículas.

Cuando una carga se mueve en el interior de un campo magnético con su velocidad perpendicular al campo magnético, experimentará una fuerza dada por la ley de Lorentz:

$$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}. \text{ Y en módulo: } F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$$

La fuerza  $\mathbf{F}$  que sufrirá la partícula será perpendicular a  $\mathbf{v}$  y a  $\mathbf{B}$ , vendrá dado por la regla del sacacorchos y teniendo en cuenta el signo de la carga  $q$ . Como la fuerza es perpendicular a  $\mathbf{v}$ , la aceleración que sufrirá la partícula también lo será, es decir, será una aceleración normal o centrípeta. Es decir, dará lugar a un movimiento circular uniforme (M.C.U.).



Aplicando la segunda ley de Newton:

$$\Sigma F = m \cdot a \rightarrow |q| \cdot v \cdot B = m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{R} \rightarrow R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

Otras magnitudes del movimiento: Velocidad angular,  $\omega = \frac{v}{R} = \frac{|q| \cdot B}{m} = \text{cte}$

$$\text{Período, } T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{|q| \cdot B} = \text{cte}$$

Podemos decir lo siguiente de las partículas: una es positiva y la otra es negativa. Además, sus masas son distintas, pues el radio de giro es distinto.

Si el campo, en lugar de magnético es eléctrico, la partícula experimentará una fuerza dada por:  $F = Q \cdot E$ . Si la carga es positiva, la fuerza tiene el mismo sentido que el campo y la carga describirá un MRUA, se acelerará. Si la carga es negativa, la fuerza tiene sentido contrario al campo y la carga describirá un MRUR, se frenará.

4) Enuncie la ley de inducción electromagnética y explique las características del fenómeno.

La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o en un cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Un campo magnético variable genera un campo eléctrico.

El flujo magnético es un concepto matemático que nos da una idea de la cantidad o intensidad de líneas de campo que atraviesan una determinada superficie:

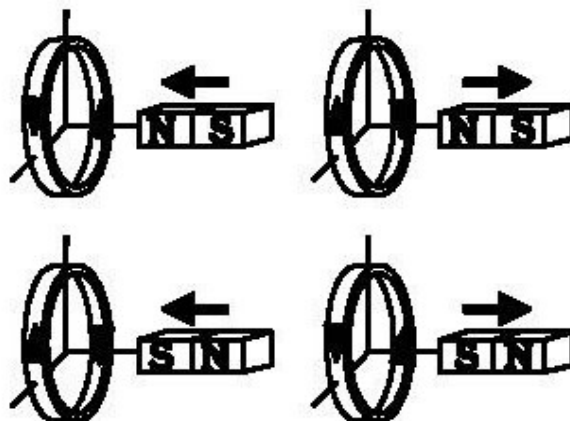
$$\Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Si la superficie es plana y el campo magnético es uniforme en toda la superficie:

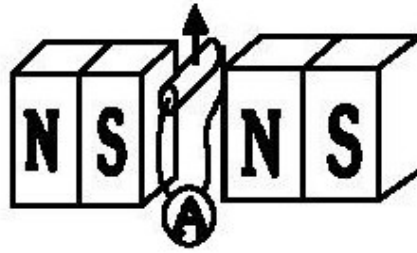
$$\Phi_m = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Siendo  $\alpha$  el ángulo entre el campo magnético y el vector superficie. La unidad de flujo magnético es el weber (Wb).

Faraday observó que, colocando un imán frente a una espira conductora, no pasaba nada si ambos estaban en reposo. Sin embargo, sí observó paso de corriente por la espira cuando había un movimiento relativo entre la espira y el imán. El sentido de la corriente depende de si acercamos o alejamos y de qué polo enfrentamos a la espira.



Henry colocó un trozo de material conductor entre dos imanes. Cerró el circuito conectando el conductor a un amperímetro. Observó que, al mover el conductor, se generaba corriente en él.



Faraday y Lenz explicaron este fenómeno:

- El origen de la corriente inducida está en la variación del campo magnético que atraviesa la superficie delimitada por la espira (Lenz).
- Dicho de otra forma, está originada por la variación del flujo magnético que atraviesa la espira (Faraday).
- El sentido de la corriente es tal que origina un nuevo campo magnético inducido,  $B_{ind}$ , que se opone a la variación del campo magnético existente (Lenz).
- $B_{ind}$  se opone a la variación de flujo.

La expresión de la ley de Faraday-Lenz es:  $\varepsilon = - \frac{d\Phi_m}{dt}$

5) a) Comente la veracidad o falsedad de la siguiente afirmación: un transformador eléctrico no realiza su función en corriente continua. b) Explique, con la ayuda de un esquema, cuál es el sentido de la corriente inducida en una espira cuando se le acerca la cara sur de un imán ¿Y si en lugar de acercar el imán se alejara?

a) Ley de Faraday-Lenz sobre la inducción electromagnética: “La corriente inducida en un circuito es originada por la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Su sentido es tal que se opone a dicha variación”.

La expresión de esta ley es:  $\varepsilon = - \frac{d\Phi_m}{dt}$

siendo:  $\varepsilon$ : fuerza electromotriz (f.e.m.) o diferencia de potencial que se crea en el circuito.  
 $\Phi_m$ : flujo magnético.

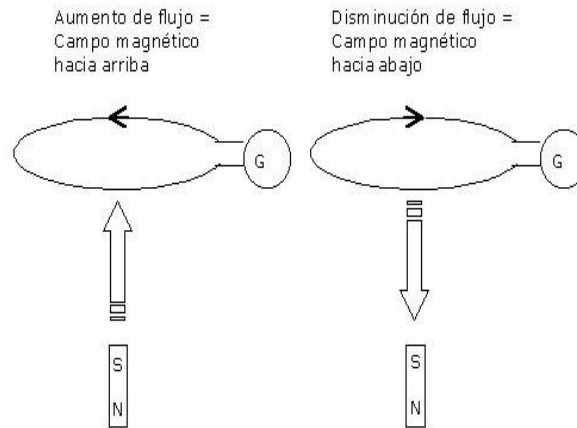
Este fenómeno ocurre ya que al inducir tensión en un circuito, se crea en él un flujo magnético que cambia en el tiempo y por lo tanto se crea un campo electromagnético en el circuito.

Un transformador eléctrico no realiza su función en corriente continua. Esta afirmación es correcta ya que según la ley de Lenz se necesita de corriente alterna para crear un flujo magnético variable, esto se produce ya que la corriente se opone al movimiento del flujo magnético creado; por el contrario si se aplica corriente continua en el circuito, el flujo magnético será constante en el tiempo y esto impediría el funcionamiento del transformador al no crear una fuerza electromotriz en el otro circuito.

b) Explique, con ayuda de un esquema, cuál es el sentido de la corriente inducida en una espira cuando se le acerca la cara sur de un imán. ¿Y si en lugar de acercar el imán se alejara?

Si el imán se acerca por la cara sur, se creará un campo magnético en la bobina que tratará de oponerse al del imán, esto quiere decir que como las líneas de campo son entrantes en el imán entonces también lo serán en la bobina.

El flujo magnético en la bobina aumentará mientras más cerca y más intenso sea el campo magnético en el imán, por el contrario disminuirá si el imán se aleja de la bobina y la corriente inducida circularía en el sentido opuesto.



6) Una espira cuadrada gira en torno a un eje, que coincide con uno de sus lados, bajo la acción de un campo magnético uniforme perpendicular al eje de giro. Explique cómo varían los valores del flujo magnético máximo y de la fuerza electromotriz inducida máxima al duplicar la frecuencia de giro de la espira.

Para resolver este problema se debe aplicar la ley de Lenz-Faraday en la que:

$$\varepsilon = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} \quad ; \quad \Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha \quad ; \quad \alpha = \omega \cdot t$$

Sustituyendo el valor de  $\alpha$ :  $\Phi_1 = B \cdot S \cdot \cos(\omega_1 t)$

La frecuencia de giro es:  $f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} \rightarrow \omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1 \rightarrow \Phi_1 = B \cdot S \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t)$

$$\varepsilon_1 = -N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -N \cdot B \cdot S \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot [-\text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t)] =$$

$$= N \cdot B \cdot S \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot t) = N \cdot B \cdot S \cdot \omega_1 \cdot \text{sen}(\omega_1 \cdot t)$$

Si se duplica la frecuencia se tiene que:  $f_2 = 2 \cdot f_1$  y  $\omega_2 = 2 \cdot \omega_1$ :

Sustituyendo se tiene que:  $\Phi_2 = B \cdot S \cdot \cos(\omega_2 t) = B \cdot S \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t)$

$$\varepsilon_2 = -N \cdot \frac{d\Phi_2}{dt} = -N \cdot B \cdot S \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot [-\text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t)] =$$

$$= N \cdot B \cdot S \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot \text{sen}(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot t) = N \cdot B \cdot S \cdot \omega_2 \cdot \text{sen}(\omega_2 \cdot t)$$

Comparemos:

$$\Phi_1 = B \cdot S \cdot \cos(\omega_1 t)$$

$$\Phi_2 = B \cdot S \cdot \cos(\omega_2 t) = B \cdot S \cdot \cos(2 \cdot \omega_1 \cdot t)$$

$$\varepsilon_1 = N \cdot B \cdot S \cdot \omega_1 \cdot \text{sen}(\omega_1 \cdot t)$$

$$\varepsilon_2 = N \cdot B \cdot S \cdot \omega_2 \cdot \text{sen}(\omega_2 \cdot t) = N \cdot B \cdot S \cdot 2 \cdot \omega_1 \cdot \text{sen}(2 \cdot \omega_1 \cdot t)$$

Y los valores máximos se alcanzan cuando los senos y los cosenos valen la unidad, luego:

$$\left. \begin{array}{l} (\Phi_1)_{\text{máx.}} = B \cdot S \\ (\Phi_2)_{\text{máx.}} = B \cdot S \end{array} \right\} \rightarrow (\Phi_1)_{\text{máx.}} = (\Phi_2)_{\text{máx.}}$$

$$\left. \begin{aligned} (\varepsilon_1)_{\text{máx.}} &= N \cdot B \cdot S \cdot \omega_1 \\ (\varepsilon_2)_{\text{máx.}} &= N \cdot B \cdot S \cdot \omega_2 = N \cdot B \cdot S \cdot 2 \cdot \omega_1 \end{aligned} \right\} \rightarrow (\varepsilon_2)_{\text{máx.}} = 2 \cdot (\varepsilon_1)_{\text{máx.}}$$

7) Dos iones, uno con carga doble que el otro, penetran con la misma velocidad en un campo magnético uniforme. El diámetro de la circunferencia que describe uno de los iones es cinco veces mayor que el de la descrita por el otro ion. Razone cuál es la relación entre las masas de los iones.

Para una carga que penetra en el interior de un campo magnético, la fuerza que experimenta viene dada por la ley de Laplace:  $F = q \cdot v \wedge B$ . Al experimentar una fuerza perpendicular a la dirección de la velocidad, la partícula describirá un MRU (movimiento rectilíneo uniforme).

Aplicando la segunda ley de Newton:  $\Sigma F = m \cdot a \rightarrow |q| \cdot v \cdot B = m \cdot \frac{v^2}{R} \rightarrow$

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

Como no indica qué ion tiene la carga doble ni qué ion describe un radio cinco veces mayor que el otro, debemos ponernos en todos los casos:

a)  $|q_2| = 2 \cdot |q_1|$  y  $R_2 = 5 \cdot R_1$

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= \frac{|q_1| \cdot B \cdot R_1}{v} \\ m_2 &= \frac{2 \cdot |q_1| \cdot B \cdot 5 \cdot R_1}{v} \end{aligned} \right\} \frac{m_2}{m_1} = 10$$

b)  $|q_2| = 2 \cdot |q_1|$  y  $R_1 = 5 \cdot R_2$

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= \frac{|q_1| \cdot B \cdot R_1}{v} \\ m_2 &= \frac{|q_2| \cdot B \cdot R_2}{v} \end{aligned} \right\} \frac{m_2}{m_1} = \frac{2}{5}$$

$$c) |q_1| = 2 \cdot |q_2| \text{ y } R_2 = 5 \cdot R_1$$

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= \frac{|q_1| \cdot B \cdot R_1}{v} \\ m_2 &= \frac{|q_2| \cdot B \cdot R_2}{v} \end{aligned} \right\} \frac{m_2}{m_1} = \frac{5}{2}$$

$$d) |q_1| = 2 \cdot |q_2| \text{ y } R_1 = 5 \cdot R_2$$

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= \frac{|q_1| \cdot B \cdot R_1}{v} \\ m_2 &= \frac{|q_2| \cdot B \cdot R_2}{v} \end{aligned} \right\} \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{10}$$

8) Considere una espira plana circular, colocada perpendicularmente a un imán y enfrente de su polo norte. Si el imán se aproxima a la espira, ¿aumenta o disminuye el flujo magnético a través de la espira? Dibuje la espira y el imán e indique el sentido de la corriente inducida, según que el imán se aproxime o aleje de la misma. Justifique su respuesta.

La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o en un cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Un campo magnético variable genera un campo eléctrico.

El flujo magnético es un concepto matemático que nos da una idea de la cantidad o intensidad de líneas de campo que atraviesan una determinada superficie:

$$\Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Si la superficie es plana y el campo magnético es uniforme en toda la superficie:

$$\Phi_m = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

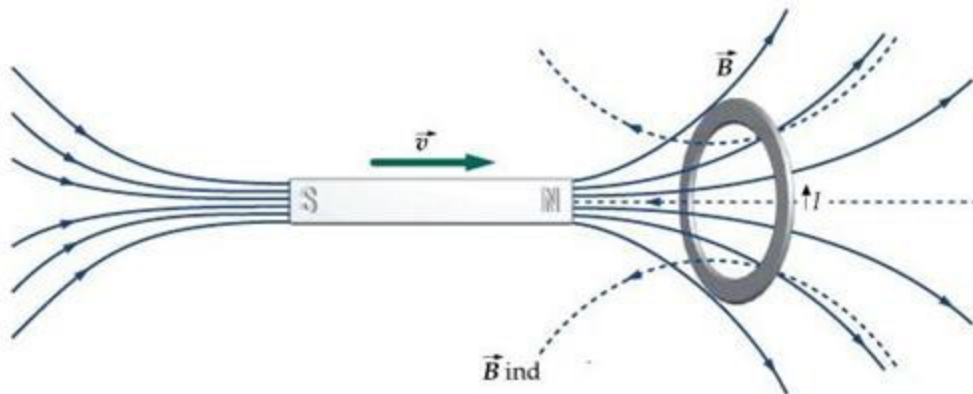
Siendo  $\alpha$  el ángulo entre el campo magnético y el vector superficie. La unidad de flujo magnético es el weber (Wb).

Si el imán se aproxima a la espira,  $S$  no se modifica, pues la superficie de la espira es constante. Tampoco  $\alpha$  se modifica, pues se supone que la espira está fija y es el imán el que se mueve. Lo único que cambia es el módulo de  $B$ , que depende de la distancia a la espira y ésta está cambiando. Las líneas de campo magnético del polo norte de un imán son salientes, luego el flujo en la espira aumentará.

La fuerza electromotriz inducida viene dada por la ley de Faraday-Lenz: “La corriente inducida en un circuito es originada por la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Su sentido es tal que se opone a dicha variación”.

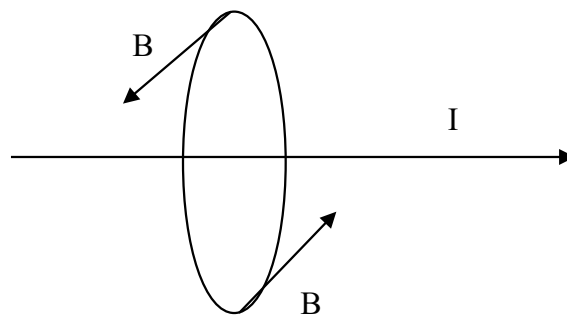
$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Al acercar el imán a la espira aumenta el flujo que la atraviesa, entonces la corriente inducida irá en el sentido en que las líneas del campo que genera tengan sentido contrario a las del imán para que el flujo tienda a disminuir.

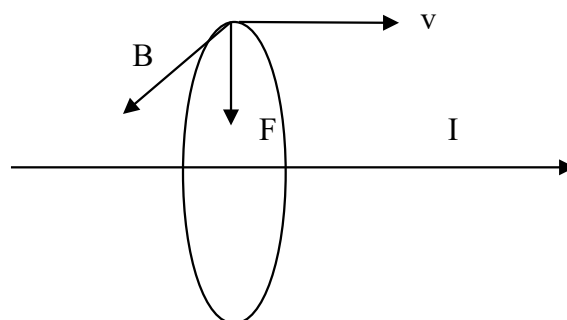


9) a) Explique, con ayuda de un esquema, la dirección y sentido de la fuerza que actúa sobre una partícula con carga positiva que se mueve en el sentido positivo del eje OX, paralelamente a un conductor rectilíneo por el que circula una corriente eléctrica, también en el sentido positivo del eje OX. b) ¿Y si la partícula cargada se moviera alejándose del conductor en el sentido positivo del eje OY?

a) Un conductor rectilíneo provoca un campo magnético a su alrededor perpendicular a dicha corriente. Las líneas de fuerza son cerradas en todas las experiencias. Por lo tanto, las líneas de campo son circunferencias contenidas en planos perpendiculares a la corriente y con centro en el conductor:



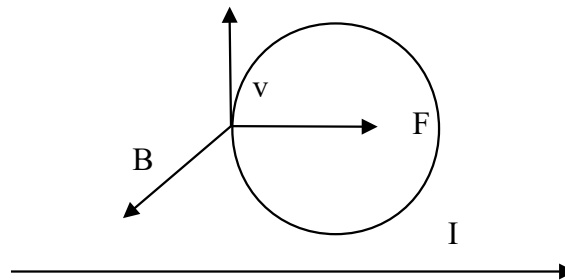
Si paralelamente al hilo conductor se mueve una carga Q, experimentará una fuerza dada por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = Q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ , donde F, v y B son mutuamente perpendiculares entre sí. Nuestra carga positiva tendría esta representación:





Experimentaría una fuerza centrípeta o normal que la haría describir un MRU (movimiento rectilíneo uniforme) alrededor del hilo conductor, la circunferencia sería perpendicular al hilo conductor. Dirección de la fuerza: perpendicular al hilo conductor. Sentido de la fuerza: dirigida hacia el hilo conductor.

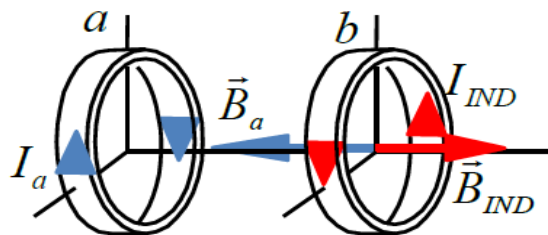
b) El esquema ahora sería el siguiente:



Dirección de la fuerza: paralela al hilo conductor. Sentido de la fuerza: en el sentido positivo del eje OX. Trayectoria: circunferencia en el plano del papel.

10) Dos espiras circulares "a" y "b" se hallan enfrentadas con sus planos paralelos. a) Por la espira "a" comienza a circular una corriente en sentido horario. Explique con la ayuda de un esquema el sentido de la corriente inducida en la espira "b". b) Cuando la corriente en la espira "a" alcance un valor constante, ¿qué ocurrirá en la espira "b"? Justifique la respuesta.

a) Cuando comienza a circular corriente por la espira "a", durante breves instantes la intensidad de corriente aumenta desde cero hasta cierto valor  $I_a$ . El campo magnético que produce ( $B_a$ ) también aumenta, en la dirección y sentido que indica el dibujo (aplicando la regla de la mano derecha para las espiras). Por lo tanto, el flujo magnético que atraviesa la espira "b" también aumenta, generándose corriente inducida en esa espira. El sentido de la corriente es tal que genera un campo magnético  $B_{IND}$  que se opone a la variación de flujo magnético (es decir, intenta que vuelva a disminuir, se "resta" con el campo magnético generado por "a"). Aplicando la regla de la mano derecha para las espiras, sabemos el sentido de la corriente inducida en "b", como aparece en el dibujo.



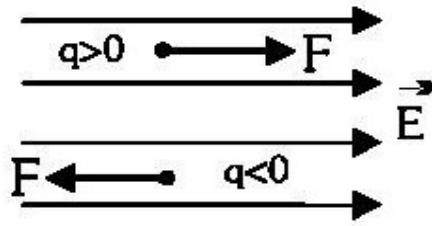
b) Cuando la corriente en "a" alcanza un valor constante, también se vuelven constantes el campo magnético que produce y el flujo magnético que atraviesa la espira "b". Por lo tanto, aplicando la ley de Faraday-Lenz, ya no se producirá corriente inducida en la espira "b".

$$\varepsilon = - \frac{d \Phi}{dt}$$

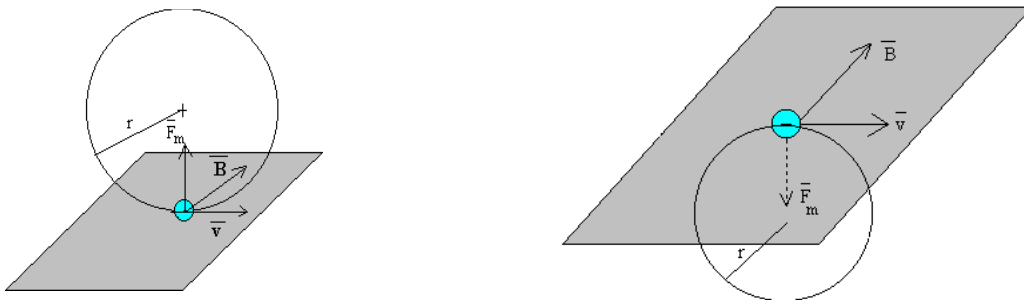
Ley de Faraday-Lenz

11) Razone si es verdadera o falsa la siguiente afirmación: “La energía cinética de una partícula cargada que se mueve en un campo eléctrico no puede ser constante, pero si se moviera en un campo magnético sí podría permanecer constante”.

Es verdadera. Cuando una carga penetra en un campo eléctrico, experimentará una fuerza dada por:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E}$ . Si la carga es positiva, la fuerza y el campo eléctrico tendrán el mismo sentido. Si la carga es negativa, la fuerza y el campo eléctrico tendrán signos opuestos. Si nos ponemos en todas las situaciones posibles: carga positiva o negativa, carga que penetra en la dirección y en el sentido del campo, carga que penetra en la misma dirección pero sentido contrario, carga que penetra perpendicular al campo o carga que penetra con un cierto ángulo con respecto al campo, las distintas posibilidades tienen algo en común: en ninguno de los casos la velocidad permanece constante. La partícula se acelerará o se frenará dependiendo de las posiciones relativas de  $\mathbf{F}$  y  $\mathbf{v}_0$ . Las trayectorias pueden ser rectas o parábolas, dependiendo del ángulo.



Si se moviera en un campo magnético, la fuerza que experimentaría vendría dada por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ . Para que la fuerza no provoque un cambio en la energía cinética, tiene que ser perpendicular a  $\mathbf{v}$ . Hay dos posibilidades: a)  $\mathbf{F}$ ,  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$  son perpendiculares. La fuerza perpendicular a  $\mathbf{v}$  sería una fuerza centrípeta y provocaría un MCU (movimiento circular uniforme) perpendicular al campo magnético. b)  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$  son paralelos: en este caso:  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = 0$ . La fuerza sería nula y la partícula se movería con un MRU (movimiento rectilíneo uniforme) según la primera ley de Newton.



12) Una espira, contenida en el plano horizontal XY y moviéndose en la dirección del eje X, atraviesa una región del espacio en la que existe un campo magnético uniforme, dirigido en el sentido positivo del eje Z. Razone si se induce corriente eléctrica en la espira e indique el sentido de la misma en cada uno de los siguientes casos: i) cuando la espira penetra en el campo; ii) cuando se mueve en su interior; iii) cuando sale del campo magnético.

La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o en un cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Un campo magnético variable genera un campo eléctrico.

El flujo magnético es un concepto matemático que nos da una idea de la cantidad o intensidad de líneas de campo que atraviesan una determinada superficie:

$$\Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Si la superficie es plana y el campo magnético es uniforme en toda la superficie:

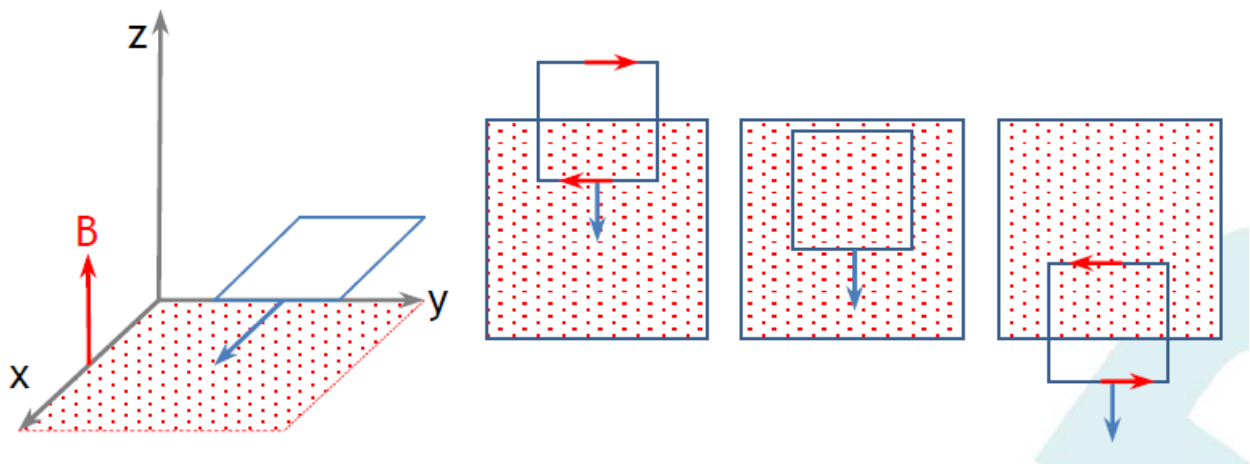
$$\Phi_m = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Siendo  $\alpha$  el ángulo entre el campo magnético y el vector superficie. La unidad de flujo magnético es el weber (Wb).

La fuerza electromotriz inducida viene dada por la ley de Faraday-Lenz: “La corriente inducida en un circuito es originada por la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Su sentido es tal que se opone a dicha variación”.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

- i) Cuando se está introduciendo y hasta que está por completo en la zona hay un aumento del flujo magnético. La corriente inducida circula de forma que el campo magnético creado por ella se opone al aumento de flujo.
- ii) Si toda la espira está dentro del campo magnético y se mueve no hay variación de flujo por lo que no hay corriente inducida.
- iii) Cuando sale de la zona de campo magnético, el flujo disminuye y la corriente circula en sentido tal que el campo magnético creado por ella se opone a la disminución.

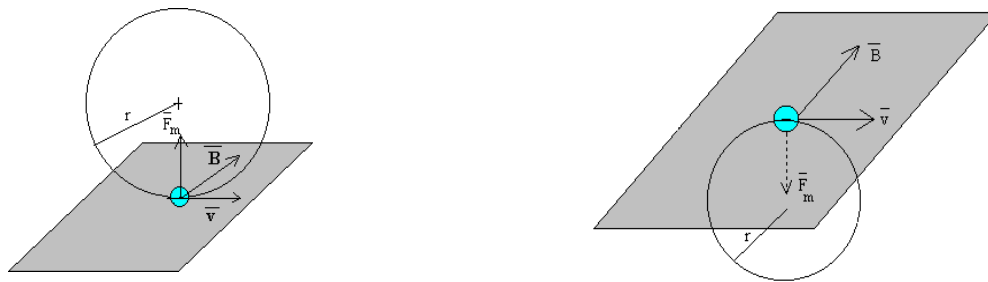


13) Dos partículas con cargas de igual valor absoluto y diferente signo se mueven con la misma velocidad, dirigida hacia la derecha y en el plano del papel. Ambas partículas penetran en un campo magnético uniforme de dirección perpendicular al papel y dirigido hacia dentro. Analice con ayuda de un gráfico las trayectorias seguidas por las dos partículas si la masa de una es el doble que la de la otra.

Cuando una carga se mueve en el interior de un campo magnético con su velocidad perpendicular al campo magnético, experimentará una fuerza dada por la ley de Lorentz:

$$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B} . \text{ Y en módulo: } F = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \alpha$$

La fuerza  $\mathbf{F}$  que sufrirá cada partícula será perpendicular a  $\mathbf{v}$  y a  $\mathbf{B}$ , vendrá dado por la regla del sacacorchos y teniendo en cuenta el signo de la carga  $q$ . Como la fuerza es perpendicular a  $\mathbf{v}$ , la aceleración que sufrirá la partícula también lo será, es decir, será una aceleración normal o centrípeta. Es decir, dará lugar a un movimiento circular uniforme (M.C.U.). La carga positiva describirá una circunferencia hacia arriba y la carga negativa, una circunferencia hacia abajo.



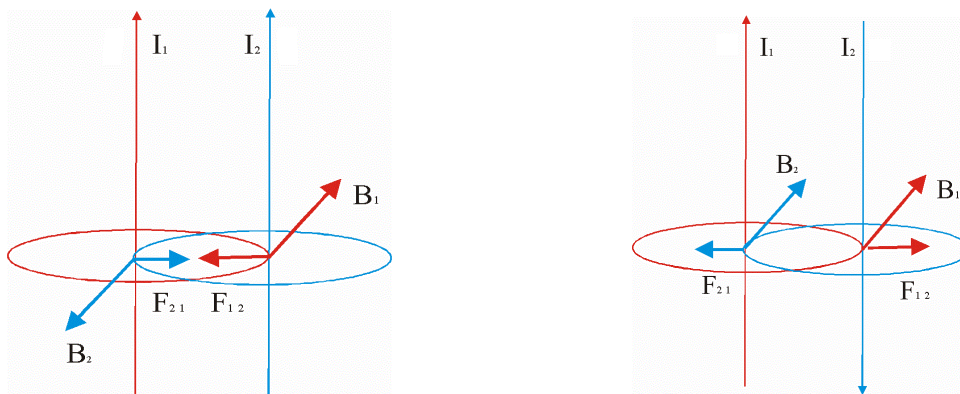
Aplicando la segunda ley de Newton:

$$\Sigma F = m \cdot a \rightarrow |q| \cdot v \cdot B = m \cdot a = m \cdot \frac{v^2}{R} \rightarrow R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B}$$

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B} \\ R_2 &= \frac{2 \cdot m \cdot v}{|q| \cdot B} \end{aligned} \right\} \frac{R_2}{R_1} = 2$$

14) a) Explique, con la ayuda de un esquema, las fuerzas que se ejercen entre sí dos corrientes rectilíneas paralelas. b) Utilice la fuerza entre dos corrientes paralelas para definir la unidad de intensidad de corriente en el Sistema Internacional.

a)



Supongamos dos conductores rectilíneos paralelos, separados una distancia  $d$ , por los que circulan las corrientes  $I_1$  e  $I_2$ . Cada conductor creará un campo a su alrededor dado por la expresión:

$$B = \frac{\mu \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

La corriente  $I_1$  crea un campo  $B_{12}$  sobre el conductor 2:  $B_{12} = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot d}$

La corriente  $I_2$  crea un campo  $B_{21}$  sobre el conductor 1:  $B_{21} = \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot d}$

Según la ley de Laplace, la fuerza que ejerce el conductor 1 sobre el 2 será:

$$F_{12} = I_2 \cdot L_2 \wedge B_{12}$$

Y la del 2 sobre el 1 será:

$$F_{21} = I_1 \cdot L_1 \wedge B_{21}$$

$$F_{12} = F_{21} = I_2 \cdot L_2 \cdot B_{12} = I_1 \cdot L_1 \cdot B_{21} = I_2 \cdot L \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot d} = I_1 \cdot L \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot d} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

Y por unidad de longitud:

$$\frac{F_{12}}{L} = \frac{F_{21}}{L} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

Como puede observarse en las figuras, cuando las corrientes son del mismo sentido, las fuerzas son atractivas. Cuando las corrientes son de sentidos contrarios, las fuerzas son repulsivas.

b) Al ser:  $\frac{F_{12}}{L} = \frac{F_{21}}{L} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2 \cdot \pi \cdot d}$ , podemos definir el amperio como: “Cantidad de corriente que circula por dos hilos paralelos separados un metro, cuando entre ellos se ejerce, en el vacío, una fuerza por unidad de longitud de  $2 \cdot 10^{-7}$  N/m”.

15) a) Escriba la ley de Lenz-Faraday y explique la polaridad (signo) de la fuerza electromotriz inducida. b) Una espira se encuentra en reposo en un campo magnético uniforme perpendicular a su plano. Razone, con ayuda de un esquema, la corriente inducida en la espira si el módulo del campo magnético: i) aumenta; ii) permanece constante; iii) disminuye.

La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o en un cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Un campo magnético variable genera un campo eléctrico.

El flujo magnético es un concepto matemático que nos da una idea de la cantidad o intensidad de líneas de campo que atraviesan una determinada superficie:

$$\Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Si la superficie es plana y el campo magnético es uniforme en toda la superficie:

$$\Phi_m = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

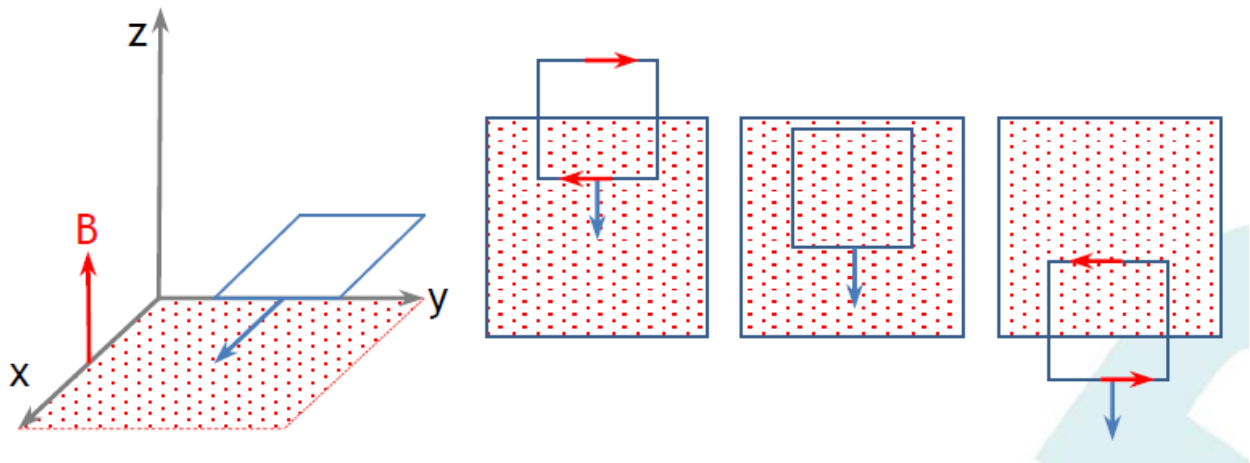
Siendo  $\alpha$  el ángulo entre el campo magnético y el vector superficie. La unidad de flujo magnético es el weber (Wb).

La fuerza electromotriz inducida viene dada por la ley de Faraday-Lenz: “La corriente inducida en un circuito es originada por la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Su sentido es tal que se opone a dicha variación”.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

Ley de Faraday-Lenz

- Cuando se está introduciendo y hasta que está por completo en la zona hay un aumento del flujo magnético. La corriente inducida circula de forma que el campo magnético creado por ella se opone al aumento de flujo.
- Si toda la espira está dentro del campo magnético y se mueve no hay variación de flujo por lo que no hay corriente inducida.
- Cuando sale de la zona de campo magnético, el flujo disminuye y la corriente circula en sentido tal que el campo magnético creado por ella se opone a la disminución.

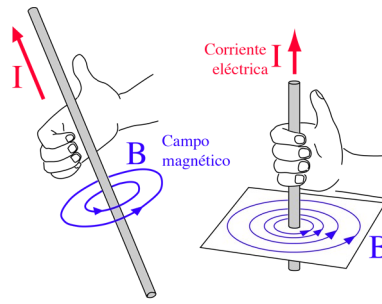


16) a) Explique las características del campo magnético creado por una corriente eléctrica rectilínea indefinida. b) Por dos conductores rectilíneos, paralelos y de longitud infinita, circulan corrientes de la misma intensidad y sentido. Dibuje un esquema indicando la dirección y sentido del campo magnético debido a cada corriente y del campo magnético total en el punto medio de un segmento que une a los dos conductores. Razone cómo cambiaría la situación al duplicar una de las intensidades y cambiar su sentido.

a) El campo producido por una corriente rectilínea en un punto exterior a dicha corriente es directamente proporcional a la intensidad de dicha corriente e inversamente proporcional a la distancia a dicho punto. Se calcula mediante la aplicación de la ley de Biot y Savart:

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot \mathbf{u}_r}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

Su dirección es perpendicular al plano perpendicular a la corriente, las líneas de campo son circunferencias concéntricas y, por definición, el vector  $\mathbf{B}$  es perpendicular a dichas líneas de campo:

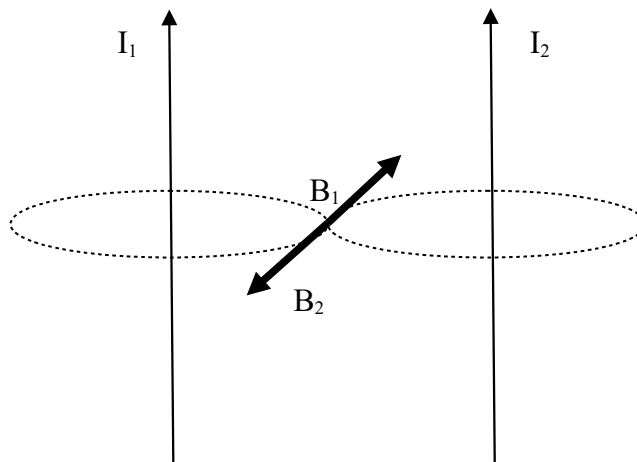


### Regla de la mano derecha

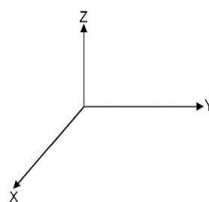
b) Las líneas de campo magnético creadas por una corriente rectilínea son circunferencias concéntricas en el plano perpendicular al conductor. Trazamos las líneas que crea cada conductor en el punto medio del segmento que los une. La dirección de  $B$  es tangente en cada punto a dichas líneas y su sentido es el que determinan los dedos de la mano derecha cuando el pulgar extendido señala el sentido de la corriente. De esta forma, trazamos los vectores campo magnético que crea cada conductor en el punto medio del segmento que los une. Tienen la misma dirección y el mismo sentido. Si ambos conductores están contenidos en el plano del papel, los vectores son perpendiculares al papel y dirigidos hacia dentro. El módulo del campo magnético se calcula así:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$

$$\text{Como } I_1 = I_2 = I \text{ y } r_1 = r_2 = \frac{d}{2} \rightarrow B_1 = B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot \frac{d}{2}} = \frac{\mu_0 \cdot I}{\pi \cdot d}$$

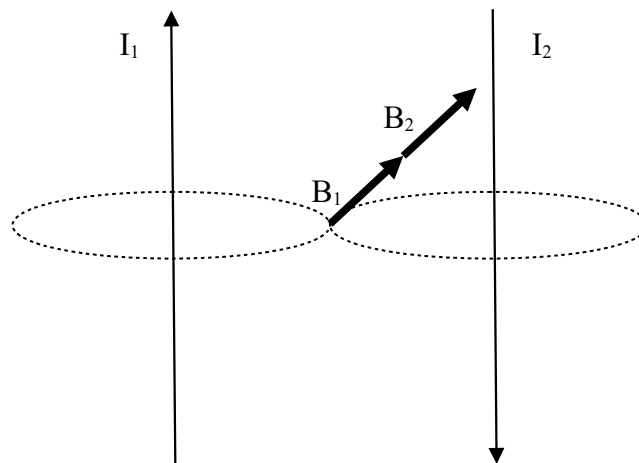


Si tomamos los ejes tridimensionales así:



$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 = -B_1 \cdot \mathbf{i} + B_2 \cdot \mathbf{i} = -\frac{\mu_0 \cdot I}{\pi \cdot d} \mathbf{i} + \frac{\mu_0 \cdot I}{\pi \cdot d} \mathbf{i} = 0$$

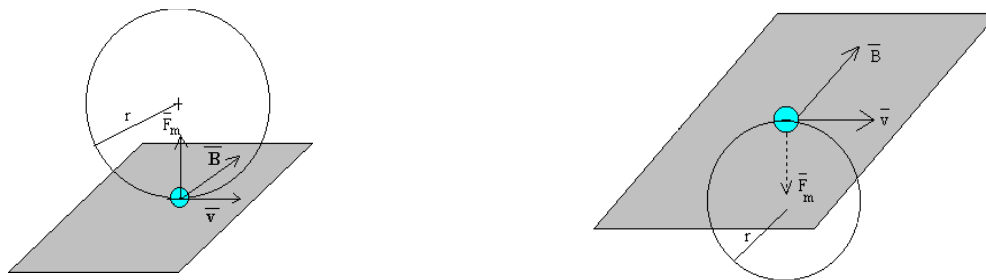
- Si las corrientes fueran de sentidos opuestos y si una fuera doble que la otra:



$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 = -B_1 \cdot \mathbf{i} + B_2 \cdot \mathbf{i} = -\frac{\mu_0 \cdot I}{\pi \cdot d} \mathbf{i} + \frac{\mu_0 \cdot 2 \cdot I}{\pi \cdot d} \mathbf{i} = \frac{\mu_0 \cdot I}{\pi \cdot d} \mathbf{i}$$

17) Si la fuerza magnética sobre una partícula cargada no realiza trabajo, ¿cómo puede tener algún efecto sobre el movimiento de la partícula? ¿Conoce otros ejemplos de fuerzas que no realizan trabajo pero tienen un efecto significativo sobre el movimiento de las partículas? Justifique las respuestas.

El movimiento de una partícula cargada en el seno de un campo magnético uniforme está regido por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ . En el momento en el que la partícula entra en el campo, actúa sobre ella una fuerza de valor constante que, como vemos, es en todo momento perpendicular al vector  $\mathbf{v}$  y al campo  $\mathbf{B}$  (producto vectorial). Al ser perpendicular a la velocidad, dicha fuerza resulta ser centrípeta. Si la velocidad es perpendicular al campo, la partícula describe un movimiento circular uniforme como se observa en las figuras:



b) La fuerza magnética, al ser por definición perpendicular a la velocidad de la partícula, es una fuerza centrípeta y por lo tanto no crea trabajo sobre la partícula. El efecto que produce es que la hace girar en una trayectoria circular. Otros ejemplos de fuerzas de este tipo son:

- La fuerza gravitatoria sólo cuando actúa sobre un cuerpo que orbita circularmente entorno a otro. Ejemplo: la Luna y la Tierra.

- La fuerza electromagnética cuando actúa sobre una carga que orbita circularmente en torno a otra. Ejemplo: el átomo de hidrógeno.

En ambos casos, el efecto que crean es igualmente el giro.

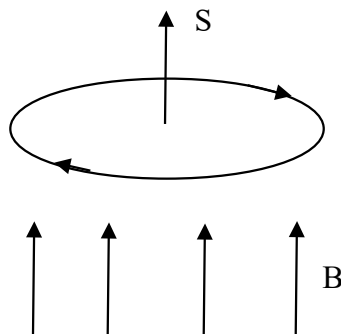


18) Una espira se encuentra en reposo en el plano horizontal, en un campo magnético vertical y dirigido hacia arriba. Indique en un esquema el sentido de la corriente que circula por la espira si: i) aumenta la intensidad del campo magnético; ii) disminuye dicha intensidad.

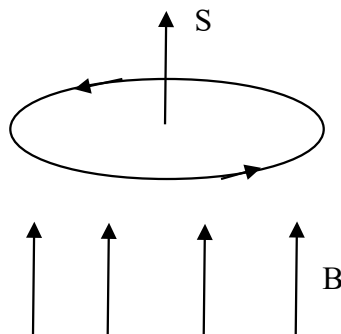
Dado que el campo magnético es perpendicular al plano de la espira, el vector superficie y el campo son siempre paralelos ( $\theta = 0^\circ$ ). El flujo que atraviesa la espira viene dado por la expresión:

$$\Phi_m = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = B \cdot S \cdot \cos \theta = B \cdot S$$

i) Si aumenta la intensidad del campo magnético, la corriente inducida es de sentido horario. Esto es debido a que, al aumentar la intensidad del campo magnético en sentido vertical ascendente, aumenta el flujo magnético en el mismo sentido. Según la ley de Faraday-Lenz:  $\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$ , el sentido de la corriente inducida es tal que el campo magnético creado por dicha corriente tiende a oponerse a la variación del flujo magnético que la ha originado, es decir, la corriente inducida ha de crear un campo magnético en sentido vertical descendente y, para ello, ha de girar en sentido horario:



ii) Si la intensidad del campo disminuyese en lugar de aumentar, la fuerza electromotriz cambiaría de signo, lo que significa que el sentido de la corriente inducida ahora sería antihorario:

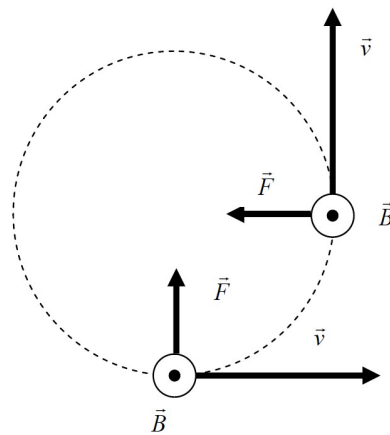


19) Explique, con ayuda de un esquema, el tipo de movimiento que efectúan un electrón y un neutrón al penetrar con una velocidad  $v$  en una región del espacio en la que existe un campo magnético uniforme,  $\mathbf{B}$ , perpendicular a  $v$ .

La fuerza que experimenta una carga que penetra en un campo magnético viene dada por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ . En forma de módulo:  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha = q \cdot v \cdot B$ , pues  $\sin 90^\circ = 1$ .  
 - En el caso del neutrón, al depender esta fuerza de la carga de la partícula, se puede concluir que esta fuerza es nula. Según la primera ley de Newton, todo cuerpo permanece en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme a no ser que se le aplique una fuerza resultante distinta de cero. Como la resultante es nula, tendrá un MRU, movimiento rectilíneo uniforme.

- En el caso del electrón, la fuerza que recibe será:  $\mathbf{F} = e \cdot \mathbf{v} \cdot \mathbf{B}$ . La dirección y el sentido de  $\mathbf{F}$  vienen dadas por la regla de la mano derecha aplicada al giro de  $\mathbf{v}$  sobre  $\mathbf{B}$ . El resultado es que la fuerza es siempre perpendicular a la velocidad y, por tanto, siempre varía la dirección de la misma.

La trayectoria es circular y el módulo de la velocidad es constante, por lo que describirá un MCU, movimiento circular uniforme.



20) Cuando un imán se acerca a una espira se genera en ella una fuerza electromotriz. Razone cómo cambiaría esa fuerza electromotriz si: i) el imán se alejara de la espira; ii) se invirtieran los polos del imán; iii) el imán se mantuviera fijo.

La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o en un cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Un campo magnético variable genera un campo eléctrico.

El flujo magnético es un concepto matemático que nos da una idea de la cantidad o intensidad de líneas de campo que atraviesan una determinada superficie:

$$\Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Si la superficie es plana y el campo magnético es uniforme en toda la superficie:

$$\Phi_m = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Siendo  $\alpha$  el ángulo entre el campo magnético y el vector superficie. La unidad de flujo magnético es el weber (Wb).

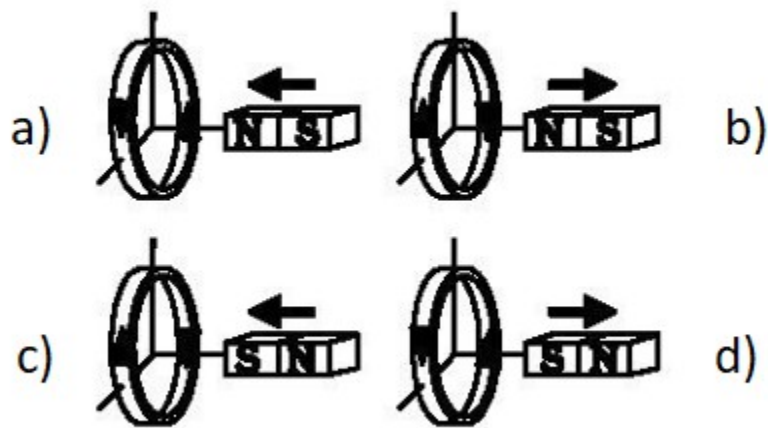
Faraday observó que, colocando un imán frente a una espira conductora, no pasaba nada si ambos estaban en reposo. Sin embargo, sí observó paso de corriente por la espira cuando había un movimiento relativo entre la espira y el imán. El sentido de la corriente depende de si acercamos o alejamos y de qué polo enfrentamos a la espira.

Ley de Faraday-Lenz: “La corriente inducida en un circuito es originada por la variación del flujo magnético que atraviesa dicho circuito. Su sentido es tal que se opone a dicha variación”.

$$\varepsilon = - \frac{d\Phi_m}{dt}$$

Ley de Faraday-Lenz

En el siguiente dibujo podemos ver el sentido de la corriente inducida en cada caso:

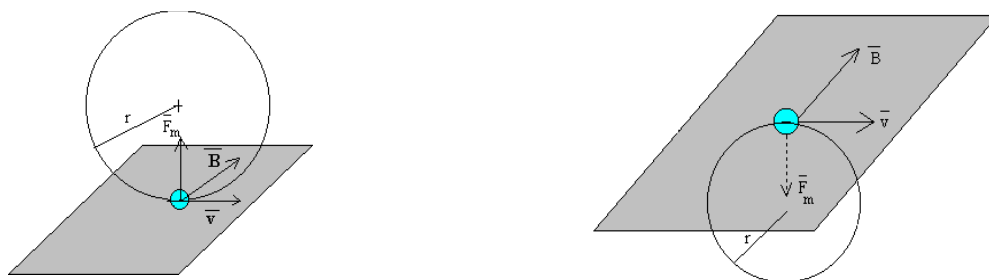


El sentido de la corriente inducida viene dada por esta regla: si el campo magnético aumenta, el campo magnético inducido tiende a disminuirlo. Si el campo magnético disminuye, el campo magnético inducido tiende a aumentarlo. El campo magnético inducido se opone al campo magnético existente.

- i) El imán se aleja de la espira. Son los casos b) y d) de la figura. En el caso b), el flujo disminuye, por lo que  $B_{ind}$  tiende a aumentarlo con una corriente en sentido dextrógiro observado desde la derecha. En el caso d), el flujo aumenta, por lo que  $B_{ind}$  tiende a disminuirlo con una corriente en sentido levógiro.
- ii) Se invierten los polos del imán. Son los casos a) y c). En el caso a), el flujo aumenta, por lo que  $B_{ind}$  tiende a disminuirlo con una corriente en sentido levógiro. En el caso c), el flujo disminuye, por lo que  $B_{ind}$  tiende a aumentarlo con una corriente en sentido dextrógiro.
- iii) Si el imán se mantiene fijo, no hay variación de flujo ni campo inducido, ni corriente inducida.

21) Una partícula cargada penetra en un campo magnético uniforme con una velocidad perpendicular al campo. Describa la trayectoria seguida por la partícula y explique cómo cambia su energía.

El movimiento de una partícula cargada en el seno de un campo magnético uniforme está regido por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ . En el momento en el que la partícula entra en el campo, actúa sobre ella una fuerza de valor constante que, como vemos, es en todo momento perpendicular al vector  $\mathbf{v}$  y al campo  $\mathbf{B}$  (producto vectorial). Al ser perpendicular a la velocidad, dicha fuerza resulta ser centrípeta. Si la velocidad es perpendicular al campo, la partícula describe un movimiento circular uniforme (MCU) como se observa en las figuras:



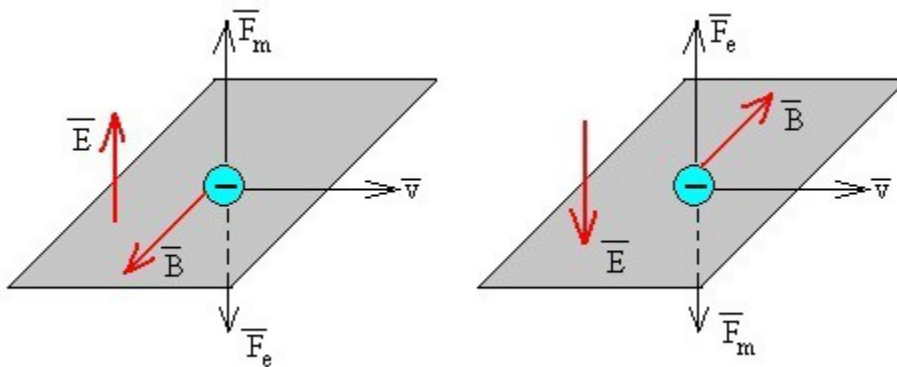
La trayectoria estará situada por encima o por debajo del plano que forman  $v$  y  $B$  dependiendo de si la carga es positiva (circunferencia hacia arriba) o negativa (circunferencia hacia abajo).

El campo magnético es no conservativo. Eso significa que la energía mecánica no tiene por qué conservarse.  $E = E_c + E_p$ . La energía cinética permanece constante, pues la velocidad es constante. La energía potencial depende de la altura. Si la trayectoria circular está en un plano horizontal,  $E_p$  no cambia; si está en un plano vertical,  $E_p$  va aumentando y disminuyendo continuamente.

22) Un electrón penetra con velocidad  $v$  en una zona del espacio en la que coexisten un campo eléctrico  $E$  y un campo magnético  $B$ , uniformes, perpendiculares entre sí y perpendiculares a  $v$ .

a) Dibuje las fuerzas que actúan sobre el electrón y escriba las expresiones de dichas fuerzas.  
b) Represente en un esquema las direcciones y sentidos de los campos para que la fuerza resultante sea nula. Razone la respuesta.

a) Dos configuraciones posibles serían:



- Fuerza eléctrica:  $F_E = q \cdot E$
- Fuerza magnética:  $F_M = q \cdot v \wedge B$

La acción conjunta de un campo eléctrico y un campo magnético darán lugar a una fuerza dada por la ley general de Lorentz:

$$F = F_E + F_M = q \cdot E + q \cdot v \wedge B = q \cdot (E + v \wedge B)$$

El electrón experimentará dos fuerzas: la fuerza eléctrica,  $F_E$ , en sentido opuesto al campo eléctrico y la fuerza magnética,  $F_M$ , perpendicular a  $v$ , a  $B$  y siguiendo la regla del tornillo y teniendo en cuenta que la carga es negativa.

b) Para que la fuerza resultante sea nula, tiene que cumplirse que:

$$F_E = F_M \rightarrow q \cdot E = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \alpha \rightarrow E = v \cdot B \cdot \text{sen } \alpha$$

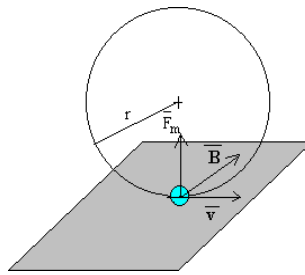
$$\text{Y como } \text{sen } 90^\circ = 1 \rightarrow E = v \cdot B$$

Las dos configuraciones de la figura del apartado a) son posibles para que las fuerzas eléctrica y magnética lleven sentidos opuestos y puedan anularse.

23) Justifique razonadamente, con la ayuda de un esquema, qué tipo de movimiento efectúan un protón y un neutrón, si penetran con una velocidad  $v_0$  en una región en la que existe un campo magnético uniforme perpendicular a la velocidad  $v_0$ .

El movimiento de una partícula cargada en el seno de un campo magnético uniforme está regido por la ley de Lorentz:  $F = q \cdot v \wedge B$ .

- Si se trata de un protón, la carga es positiva y actúa sobre ella una fuerza de valor constante que, como vemos, es en todo momento perpendicular al vector  $v$  y al campo  $B$  (producto vectorial). Al ser perpendicular a la velocidad, dicha fuerza resulta ser centrípeta. Si la velocidad es perpendicular al campo, la partícula describe un movimiento circular uniforme (MCU):



Trayectoria del protón

La trayectoria estará situada por encima del plano que forman  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$ , y la fuerza  $\mathbf{F}$  irá hacia arriba por la regla del tornillo.

- Si se trata de un neutrón, la carga es nula y no experimentará fuerza alguna. Según la primera ley de Newton, al no existir ninguna fuerza resultante sobre él, continuará con el MRU (movimiento rectilíneo uniforme) que llevaba.

24) Al moverse una partícula cargada en la dirección y sentido de un campo magnético, ¿qué trabajo se realiza sobre la partícula? Razone la respuesta.

Cuando una partícula cargada penetra en un campo magnético, experimenta una fuerza dada por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ . En forma de módulo:  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$ . Como la partícula penetra en la misma dirección y en el mismo sentido que el campo magnético,  $v$  y  $B$  son paralelos, por lo que:  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin 0^\circ = 0$ . La fuerza será nula y el trabajo también, pues el trabajo es:  $W = F \cdot e \cdot \cos \theta$ , siendo  $\theta$  el ángulo entre  $F$  y  $e$ .

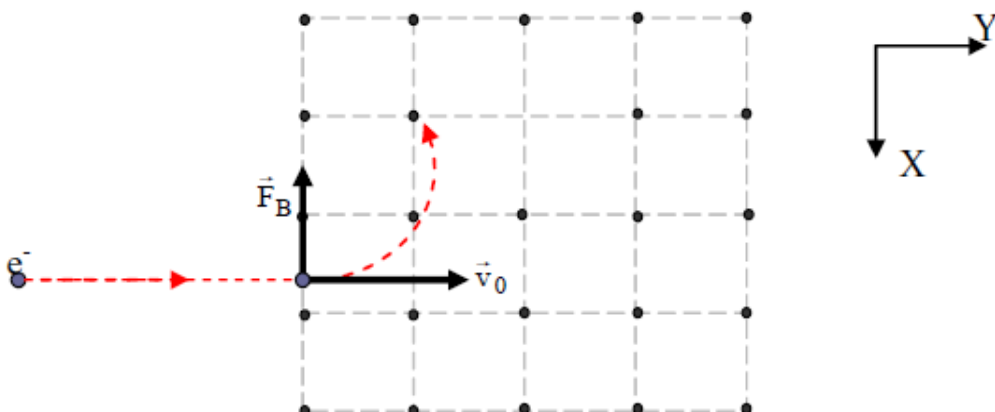
25) ¿En qué dirección se debe mover una carga en un campo magnético para que no se ejerza fuerza sobre ella?

Cuando una partícula cargada penetra en un campo magnético, experimenta una fuerza dada por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ . En forma de módulo:  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$ . Para que la fuerza sea nula, el  $\sin \alpha$  debe valer cero, luego debe formar cero grados con respecto al campo magnético, es decir, debe llevar la misma dirección y el mismo sentido que el campo magnético.

26) Un electrón, un protón y un átomo de helio penetran en una zona del espacio en la que existe un campo magnético uniforme en dirección perpendicular a la velocidad de las partículas. a) Dibuje la trayectoria que seguiría cada una de las partículas e indique sobre cuál de ellas se ejerce una fuerza mayor. b) Compare las aceleraciones de las tres partículas. ¿Cómo varía su energía cinética?

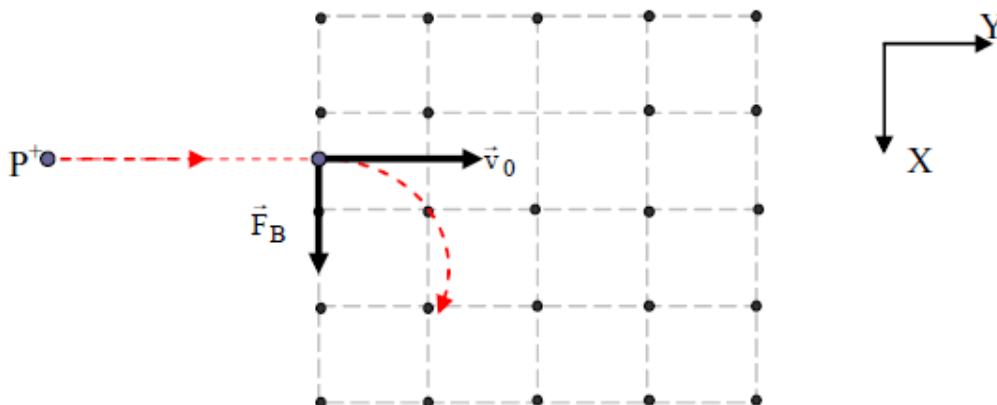
a) Cuando una partícula cargada penetra en un campo magnético, experimenta una fuerza dada por la ley de Lorentz:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \wedge \mathbf{B}$ . En forma de módulo:  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$ .

- En el caso del electrón, la trayectoria será una circunferencia y el movimiento un MCU:



$$\left. \begin{aligned} F &= q \cdot v \cdot B \\ F &= \frac{m_e \cdot v^2}{R_e} \end{aligned} \right\} \quad q \cdot v \cdot B = \frac{m_e \cdot v^2}{R_e} \rightarrow R_e = \frac{m_e \cdot v}{q \cdot B}$$

- En el caso del protón, la desviación sería la contraria:



$$\left. \begin{aligned} F &= q \cdot v \cdot B \\ F &= \frac{m_p \cdot v^2}{R_p} \end{aligned} \right\} \quad q \cdot v \cdot B = \frac{m_p \cdot v^2}{R_p} \rightarrow R_p = \frac{m_p \cdot v}{q \cdot B}$$

Puesto que:  $m_p > m_e \rightarrow R_p > R_e$

En cuanto al átomo de helio, no sufrirá ninguna desviación, puesto que se trata de una partícula eléctricamente neutra y no se ve afectada por la presencia de un campo magnético.

Las fuerzas a las que están sometidas el protón y el electrón son iguales, pues vienen dadas por la ley de Lorentz:  $F = q \cdot v \cdot B \cdot \sin \alpha$  y todas las magnitudes que aparecen en la fórmula son iguales para ambas partículas. El átomo de helio no experimentará fuerza alguna.

b) En cuanto a las aceleraciones, como las masas de ambas cargas son distintas, sus aceleraciones también lo serán:

$$\text{Segunda ley de Newton: } F = m \cdot a \rightarrow a = \frac{F}{m}$$

Puesto que:  $m_p > m_e \rightarrow a_p < a_e$

La aceleración del átomo de helio es cero, pues su velocidad es constante.

En cuanto a las variaciones de energía cinética, ninguna de las tres partículas sufrirá una modificación en el módulo de la velocidad. La partícula de helio porque lleva velocidad constante. Las otras dos tampoco, puesto que el campo magnético produce una modificación en la dirección y en el sentido de la velocidad, pero no en su módulo, puesto que se trata de una fuerza normal. Por lo tanto, al no haber cambio en el módulo de la velocidad, tampoco habrá cambio en la energía cinética.

27) a) Explique el funcionamiento de un transformador eléctrico. b) ¿Podría funcionar con corriente continua? Justifique la respuesta.

Desde las primeras aplicaciones prácticas de la electricidad se observó que al transportar la energía a largas distancias se producían pérdidas energéticas en forma de calor por efecto joule. La distancia entre la central eléctrica, donde está el generador, y el lugar de consumo suele ser de cientos de kilómetros. En este transporte se pierde energía por efecto joule, por lo que la potencia  $P'$  que llega al lugar de consumo es menor que la potencia del generador  $P$ :

$$P' = P - I^2 R = \varepsilon \cdot I - I^2 \cdot R$$

Para que la pérdida de energía sea mínima, hay que disminuir el término  $I^2 R$  todo lo que se pueda. Algo que se puede conseguir transportando la corriente a alta tensión, para que la intensidad sea muy pequeña. Este transporte lleva asociado el aumento de la diferencia de potencial en el centro productor y reducirlo en el lugar de consumo de forma efectiva y sin pérdidas. Estas dificultades fueron resueltas por Nikola Tesla al construir el primer transformador capaz de aumentar o disminuir la diferencia de potencial de la corriente.

Un transformador es un dispositivo utilizado para modificar la diferencia de potencial de la corriente alterna y está fundado en la inducción mutua entre dos bobinas. A la bobina inductora se le llama primario y a la bobina en la que se induce la corriente se le denomina secundario. Las dos bobinas se enrollan al mismo núcleo de hierro y se aíslan entre sí. La variación temporal de corriente en el circuito primario crea un campo magnético variable cuyas líneas de campo se sitúan a través del núcleo ferromagnético atravesando, todas ellas, el circuito secundario. Una corriente alterna que circule por el primario crea en el núcleo un flujo magnético también alterno:

$$\varepsilon_p = - N_p \cdot \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

Como el campo magnético se puede considerar confinado en el núcleo de hierro, todas las líneas de campo que atraviesan el circuito primario pasan a través del secundario. La fem inducida en el secundario es:

$$\varepsilon_s = - N_s \cdot \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

Con  $N_p$  y  $N_s$  el número de espiras de los circuitos primario y secundario, respectivamente. Dividiendo miembro a miembro, tenemos:

$$\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

Eligiendo adecuadamente la relación entre las espiras, se puede obtener la diferencia de potencial que se desee en el secundario para una determinada diferencia de potencial del primario. A la relación entre el número de espiras de ambos devanados se le llama relación de transformación. Si la diferencia de potencial del primario es mayor que la del secundario, al transformador se le llama reductor o transformador de baja. En caso contrario, se le llama elevador o transformador de alta. En el supuesto de que no haya pérdidas de energía, la potencia de entrada en el primario es igual a la de salida del secundario.

$$\varepsilon_p \cdot I_p = \varepsilon_s \cdot I_s \quad \rightarrow \quad \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_p} = \frac{I_s}{I_p}$$

Observamos que la intensidad de la corriente es inversamente proporcional a la diferencia de potencial.

b) Es evidente que no podrá funcionar, puesto que la creación de una fem inducida parte del principio de la existencia de un campo magnético variable en el tiempo, y este sólo podrá ser generado por una corriente eléctrica que fluctúe en el tiempo, condición no cumplida por la corriente continua.

28) a) ¿Cuál es la condición para que una partícula cargada, que se mueve en línea recta, siga en su trayectoria rectilínea cuando se somete simultáneamente a un campo eléctrico y a otro magnético, perpendiculares entre sí y perpendiculares a la velocidad de la carga? b) Dibuje las trayectorias de la partícula cargada del apartado anterior si sólo existiera el campo eléctrico o el campo magnético y explique, en cada caso, si varía la velocidad.

a) Cuando una partícula cargada entra en una región en la que existen un campo eléctrico y uno magnético siente dos fuerzas:

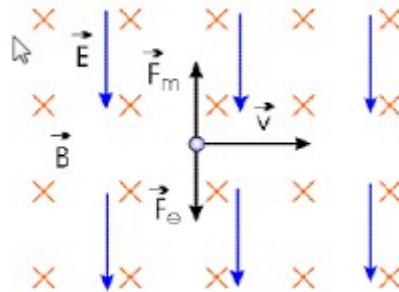
- Una debida al campo eléctrico existente que puede expresarse como:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{E}$ . Si la partícula está cargada positivamente esta fuerza tendrá la misma dirección y sentido que el campo eléctrico. Si la carga de la partícula es negativa, la fuerza tendrá la dirección del campo eléctrico pero sentido contrario. Como en el enunciado no se especifica nada, supondremos que la partícula tiene carga positiva.

- Otra fuerza debida al campo magnético existente dada por la expresión:  $\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{v} \times \mathbf{B}$ . Por la propia definición del producto vectorial esta fuerza será perpendicular al plano formado por  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$  que, en el caso concreto que estamos considerando  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{v}$  y  $\mathbf{B}$  mutuamente perpendiculares, tendrá la misma dirección de la fuerza eléctrica. Para que la partícula no desvíe su trayectoria, las fuerzas eléctrica y magnética tienen que compensarse, es decir, anularse entre sí. Por tanto el módulo de la fuerza eléctrica tiene que ser igual que el de la fuerza magnética y, puesto que la velocidad es perpendicular a ambos campos, tendremos:

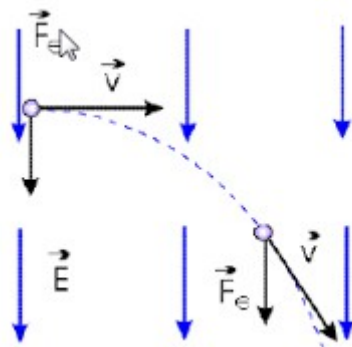
$$q \cdot v \cdot B \cdot \sin 90^\circ = q \cdot E$$

$$E = v \cdot B$$

Pero para que esto sea posible debe verificarse además que ambas fuerzas estén aplicadas sobre la partícula no sólo en la misma dirección, sino que además deben estar aplicadas en sentido contrario. Para ello, el sentido del vector campo eléctrico debe ser el contrario al producto vectorial de la velocidad por el campo magnético y nos quedará una configuración como la mostrada en la figura:

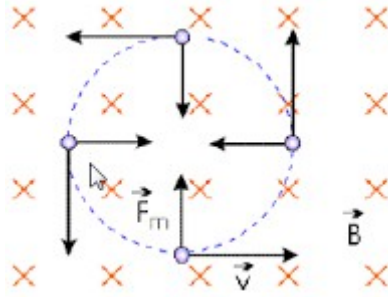


b) Si sólo existiese campo eléctrico, sólo aparecería sobre la partícula la fuerza debida a este y que tiende a desviarla en la dirección y el sentido del campo, ya que nosotros hemos supuesto que la partícula tiene carga positiva. Puesto que la fuerza que se realiza es constante, la partícula seguirá una trayectoria de tipo parabólico similar a cuando estudiamos el caso de un tiro horizontal en un campo gravitatorio (la componente de la velocidad en la dirección de entrada a la región se mantiene y se acelera en la dirección del campo).





Si en lugar de desaparecer el campo magnético, es el campo eléctrico el que desaparece, aparece sobre la partícula la fuerza magnética, que es, por definición, perpendicular al vector velocidad de la partícula y, por tanto, a su trayectoria, en todo momento. El efecto sobre esta será provocarle un movimiento circular que, en ausencia de otros agentes externos, será uniforme.



29) Razone si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones: a) La fuerza electromotriz inducida en una espira es proporcional al flujo magnético que la atraviesa. b) Un transformador eléctrico no puede utilizarse con corriente continua.

a) Verdadera. La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o en un cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Un campo magnético variable genera un campo eléctrico.

El flujo magnético es un concepto matemático que nos da una idea de la cantidad o intensidad de líneas de campo que atraviesan una determinada superficie:

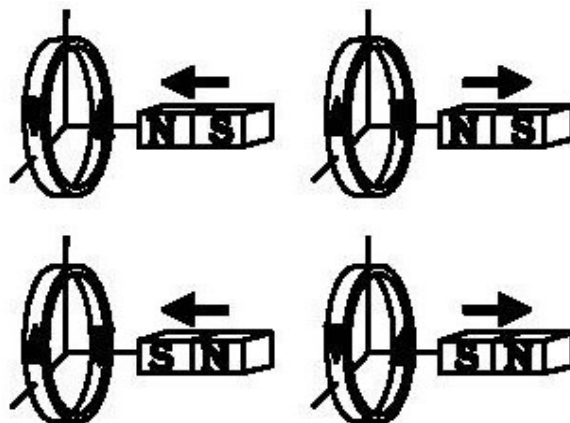
$$\Phi_m = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

Si la superficie es plana y el campo magnético es uniforme en toda la superficie:

$$\Phi_m = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S} = B \cdot S \cdot \cos \alpha$$

Siendo  $\alpha$  el ángulo entre el campo magnético y el vector superficie. La unidad de flujo magnético es el weber (Wb).

Faraday observó que, colocando un imán frente a una espira conductora, no pasaba nada si ambos estaban en reposo. Sin embargo, sí observó paso de corriente por la espira cuando había un movimiento relativo entre la espira y el imán. El sentido de la corriente depende de si acercamos o alejamos y de qué polo enfrentamos a la espira.



El origen de la corriente inducida está en la variación del campo magnético que atraviesa la superficie delimitada por la espira y viene dada por la ley de Faraday-Lenz:  $\varepsilon = - \frac{d\Phi_m}{dt}$

b) Verdadera. Es evidente que no podrá funcionar, puesto que la creación de una fem inducida parte del principio de la existencia de un campo magnético variable en el tiempo, y este sólo podrá ser generado por una corriente eléctrica que fluctúe en el tiempo, condición no cumplida por la corriente continua. Un transformador es un dispositivo utilizado para modificar la diferencia de potencial de la corriente alterna y está fundado en la inducción mutua entre dos bobinas.

30) Una partícula, con carga  $q$ , penetra en una región en la que existe un campo. a) Explique 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 al observar la trayectoria de la partícula? b) Haga un análisis energético del movimiento de la partícula para un campo eléctrico y para un campo magnético, ambos perpendiculares a la velocidad con la que la partícula penetra en el campo.

31) a) ¿Cuál es la condición para que una partícula cargada, que se mueve en línea recta, siga en su trayectoria rectilínea cuando se somete simultáneamente a un campo eléctrico y a otro magnético, perpendiculares entre sí y perpendiculares a la velocidad de la carga? b) Dibuje las trayectorias de la partícula cargada del apartado a) si sólo existiera el campo eléctrico o el campo magnético y explique, en cada caso, si varía la velocidad.

32) 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, indique razonadamente cómo se mueven las partículas.

33) Conteste razonadamente a las siguientes cuestiones: a) ¿Puede moverse una carga bajo la acción de un campo magnético sin experimentar fuerza magnética? b) ¿Puede ser nulo el flujo magnético a través de una espira colocada en una región en la que existe un campo magnético?

34) Conteste razonadamente a las siguientes cuestiones: a) ¿Se conserva la energía mecánica de una partícula cargada que se mueve en el seno de un campo magnético uniforme? ¿Es conservativa la fuerza que ejerce dicho campo sobre la carga?

35) a) Explique por qué no se utilizan los transformadores con corrientes continuas. b) Comente las ventajas de la corriente alterna frente a la corriente continua.

36) a) Comente la siguiente afirmación: Si el flujo magnético a través de una espira varía con el tiempo, se induce en ella una fuerza electromotriz. b) Explique diversos procedimientos para lograr la situación anterior.

37) a) Explique razonadamente la acción de un campo magnético sobre un conductor rectilíneo, perpendicular al campo, por el que circula una corriente eléctrica y dibuje en un esquema la dirección y sentido de todas las magnitudes vectoriales que intervienen. b) Explique qué modificaciones se producirían, respecto del apartado anterior, en los casos siguientes: i) si el conductor forma un ángulo de  $45^\circ$  con el campo; ii) si el conductor es paralelo al campo.

38) a) Explique el funcionamiento de un transformador eléctrico. b) ¿Se puede transformar corriente continua? Razone la respuesta.

39) a) La fuerza que actúa sobre una partícula cargada que se mueve en un campo magnético no realiza trabajo ¿Por qué? b) Un alambre recto muy largo transporta una corriente de intensidad  $I$ . Un protón se mueve con velocidad  $v$  perpendicular al alambre y se encuentra en un instante a una distancia  $r$  del alambre. Dibuje en un esquema la dirección y sentido del campo magnético y de la fuerza que actúa sobre el protón.

40) a) Escriba la expresión de la fuerza electromotriz inducida en una espira bajo la acción de un campo magnético y explique el origen y las características de dicha fuerza electromotriz. b) Si la espira se encuentra en reposo, en un plano horizontal, y el campo magnético es vertical y hacia arriba, indique en un esquema el sentido de la corriente que circula por la espira: i) si aumenta la intensidad del campo magnético; ii) si disminuye dicha intensidad.

41) Dos partículas, de masas  $m_1$  y  $m_2$  e igual carga, penetran con velocidades  $v_1$  y  $v_2 = 2v_1$  en dirección perpendicular a un campo magnético. a) Si  $m_2 = 2m_1$ , ¿cuál de las dos trayectorias tendrá mayor radio? b) Si  $m_1 = m_2$ , ¿en qué relación estarán sus periodos de revolución? Razone las respuestas.

42) Por dos conductores rectilíneos paralelos circulan corrientes de igual intensidad. a) Indique la dirección y sentido de las fuerzas que se ejercen los conductores entre sí. ¿Depende esta fuerza de la corriente que circula por ellos? b) Represente gráficamente la situación en la que la fuerza es repulsiva.

43) a) Explique cualitativamente el funcionamiento de un transformador eléctrico. b) ¿Qué ocurre si el primario del transformador está conectado a una pila? Razone la respuesta.

44) Un protón entra, con una velocidad  $v$ , en una región del espacio donde existe un campo magnético uniforme. a) Indique, con la ayuda de un esquema, las posibles trayectorias del protón en el interior del campo magnético. b) Explique qué ocurre con la energía cinética del protón.

45) Justifique razonadamente, con la ayuda de un esquema, el sentido de la corriente inducida en una espira en cada uno de los siguientes supuestos: a) la espira está en reposo y se le acerca, perpendicularmente al plano de la misma, un imán por su polo sur; b) la espira está penetrando en una región en la que existe un campo magnético uniforme, vertical y hacia arriba, manteniéndose la espira horizontal.

46) Razone las respuestas a las siguientes preguntas: a) ¿Cómo debe moverse una carga en un campo magnético uniforme para experimentar fuerza magnética? b) ¿Cómo debe situarse un disco en un campo magnético para que el flujo magnético que lo atravesase sea cero?

47) Una espira se mueve en un plano horizontal y penetra en un campo magnético uniforme vertical. a) Explique las características de la corriente inducida en la espira al entrar en la región del campo, al moverse en él y al abandonarlo. b) Razone en qué etapas del trayecto descrito habría que comunicarle una fuerza externa a la espira para que avanzara con velocidad constante.

48) Razone las respuestas a las siguientes preguntas: a) De los tres vectores que aparecen en la ecuación  $\mathbf{F} = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ , ¿qué pares de vectores son siempre perpendiculares entre sí y cuáles pueden no serlo? b) La fuerza electromotriz inducida en una espira es función: i) del flujo magnético que la atraviesa; ii) del ángulo que forma el campo magnético con la espira; iii) del campo magnético existente; iv) de la rapidez con que varía el flujo con el tiempo

49) Razone las respuestas a las siguientes preguntas: a) ¿Existe siempre interacción magnética entre dos partículas cargadas? ¿Existe siempre interacción eléctrica entre ellas? b) ¿En qué casos un campo magnético no ejerce ninguna fuerza sobre una partícula cargada?

50) Conteste razonadamente a las siguientes preguntas: a) Si no existe flujo magnético a través de una superficie, ¿puede asegurarse que no existe campo magnético en esa región? b) La fuerza electromotriz inducida en una espira, ¿es más grande cuanto mayor sea el flujo magnético que la atraviesa?

51) a) Un haz de electrones atraviesa una región del espacio sin desviarse, ¿se puede afirmar que en esa región no hay campo magnético? De existir, ¿cómo tiene que ser? b) En una región existe un campo magnético uniforme dirigido verticalmente hacia abajo. Se disparan dos protones horizontalmente en sentidos opuestos. Razone qué trayectorias describen, en qué plano están y qué sentidos tienen sus movimientos.

52) Sobre un electrón, que se mueve con velocidad  $\mathbf{v}$ , actúa un campo magnético  $\mathbf{B}$  en dirección normal a su velocidad. a) Razone por qué la trayectoria que sigue es circular y haga un esquema que muestre el sentido de giro del electrón. b) Deduzca las expresiones del radio de la órbita y del período del movimiento.

53) Razone las respuestas a las siguientes cuestiones: a) Observando la trayectoria de una partícula con carga eléctrica, ¿se puede deducir si la fuerza que actúa sobre ella procede de un campo eléctrico uniforme o de un campo magnético uniforme? b) ¿Es posible que sea nula la fuerza que actúa sobre un hilo conductor, por el que circula una corriente eléctrica, situado en un campo magnético?

54) Una espira cuadrada está cerca de un conductor, recto e indefinido, recorrido por una corriente  $I$ . La espira y el conductor están en un mismo plano. Con ayuda de un esquema, razone en qué sentido circula la corriente inducida en la espira: a) Si se aumenta la corriente en el conductor. b) Si, dejando constante la corriente en el conductor, la espira se aleja de éste manteniéndose en el mismo plano.

55) Considere dos hilos largos, paralelos, separados una distancia  $d$ , por los que circulan intensidades  $I_1$  e  $I_2$  ( $I_1 < I_2$ ). Sea un segmento, de longitud  $d$ , perpendicular a los dos hilos y situado entre ambos. Razone si existe algún punto del citado segmento en el que el campo magnético sea nulo, si: a) Las corrientes circulan en el mismo sentido. b) Las corrientes circulan en sentidos opuestos. Si existe dicho punto, ¿de qué hilo está más cerca?

56) Dos partículas con cargas eléctricas, del mismo valor absoluto y diferente signo, se mueven con la misma velocidad, dirigida hacia la derecha y en el plano del folio. Ambas partículas penetran en un campo magnético de dirección perpendicular al folio y dirigido hacia abajo. a) Analice con ayuda de un gráfico las trayectorias seguidas por las dos partículas. b) Si la masa de una de ellas es doble que la de la otra ( $m_1 = 2 m_2$ ) ¿Cuál gira más rápidamente?

57) Considere las dos experiencias siguientes: i) un imán frente a una espira con un amperímetro y ii) la espira con amperímetro frente a otra espira con un generador de corriente eléctrica y un interruptor: a) Copie y complete el cuadro siguiente:

		¿Existe $\mathbf{B}$ en la espira?	¿Varía el flujo magnético a través de la espira?	¿Existe corriente inducida en la espira?
i)	im	imán acercándose		
	Im	imán quieto		
	Im	imán alejándose		
ii)	int	interruptor abierto		
	Int	interruptor cerrado		
	Al el	Al abrir o cerrar el interruptor		

b) A partir de los resultados del cuadro anterior razone, con la ayuda de esquemas, la causa de la aparición de corriente inducida en la espira.

58) Una partícula con carga  $q$  y velocidad  $v$  penetra en un campo magnético perpendicular a la dirección de movimiento.

- Analice el trabajo realizado por la fuerza magnética y la variación de energía cinética de la partícula.
- Repita el apartado anterior en el caso de que la partícula se mueva en dirección paralela al campo y explique las diferencias entre ambos casos.

59) Sean dos conductores rectilíneos paralelos por los que circulan corrientes eléctricas de igual intensidad y sentido.

a) Explique qué fuerzas se ejercen entre sí ambos conductores.

b) Represente gráficamente la situación en la que las fuerzas son repulsivas, dibujando el campo magnético y la fuerza sobre cada conductor.

60) a) Explique el efecto de un campo magnético sobre una partícula cargada en movimiento. b) Explique con ayuda de un esquema la dirección y sentido de la fuerza que actúa sobre una partícula con carga positiva que se mueve paralelamente a una corriente eléctrica rectilínea ¿Y si se mueve perpendicularmente al conductor, alejándose de él?

61) a) Explique el fenómeno de inducción electromagnética y enuncie la ley de Faraday-Henry. b) Una espira circular se encuentra situada perpendicularmente a un campo magnético uniforme. Razone qué fuerza electromotriz se induce en la espira, al girar con velocidad angular constante en torno a un eje, en los siguientes casos: i) el eje es un diámetro de la espira; ii) el eje pasa por el centro de la espira y es perpendicular a su plano.

62) Un haz de electrones penetra en una zona del espacio en la que existen un campo eléctrico y otro magnético. a) Indique, ayudándose de un esquema si lo necesita, qué fuerzas se ejercen sobre los electrones del haz. b) Si el haz de electrones no se desvía, ¿se puede afirmar que tanto el campo eléctrico como el magnético son nulos? Razone la respuesta.

63) a) Fuerza magnética sobre una carga en movimiento. b) Una partícula, con carga  $q$ , penetra en una región en la que existe un campo magnético perpendicular a la dirección del movimiento. Analice el trabajo realizado por la fuerza magnética y la variación de energía cinética de la partícula.

64) Por dos conductores rectilíneos y de gran longitud, dispuestos paralelamente, circulan corrientes eléctricas de la misma intensidad y sentido. a) Dibuje un esquema, indicando la dirección y el sentido del campo magnético debido a cada corriente y del campo magnético total en el punto medio de un segmento que una a los dos conductores y coméntelo. b) Razone cómo cambiaría la situación al duplicar una de las intensidades y cambiar su sentido.

65) a) Explique las experiencias de Öersted y comente cómo las cargas en movimiento originan campos magnéticos. b) ¿En qué casos un campo magnético no ejerce ninguna fuerza sobre una partícula cargada? Razone la respuesta.

66) Comente razonadamente la veracidad o falsedad de las siguientes afirmaciones: a) La fuerza magnética entre dos conductores rectilíneos e indefinidos por los que circulan corrientes de diferente sentido es repulsiva. b) Si una partícula cargada en movimiento penetra en una región en la que existe un campo magnético siempre actúa sobre ella una fuerza.

67) a) Fuerza magnética sobre una carga en movimiento; ley de Lorentz. b) Explique, con ayuda de un esquema, la dirección y el sentido de la fuerza que actúa sobre una partícula con carga positiva que se mueve paralelamente a un conductor rectilíneo por el que circula una corriente eléctrica. ¿Y si la carga se mueve perpendicularmente al conductor, alejándose de él?

68) a) Enuncie la ley de Lenz-Faraday de la inducción electromagnética y comente su significado físico. b) Una espira circular de sección  $S$  se encuentra en un campo magnético  $\mathbf{B}$ , de modo que el plano de la espira es perpendicular al campo. Razone en qué caso se induce fuerza electromotriz en la espira.

69) a) Fuerza electromotriz inducida y variación de flujo magnético: ley de Lenz-Faraday. b) Una espira circular se encuentra situada perpendicularmente a un campo magnético. Razone qué fuerza electromotriz se induce en la espira al girar ésta con velocidad angular constante en torno a un eje, en los siguientes casos: i) el eje es un diámetro de la espira; ii) el eje pasa por el centro de la espira y es perpendicular a su plano.

70) a) Enuncie la ley de Lorentz y razone, a partir de ella, las características de la fuerza magnética sobre una carga. b) En una región del espacio existe un campo magnético uniforme, vertical y dirigido hacia abajo. Se disparan horizontalmente un electrón y un protón con igual velocidad. Compare, con ayuda de un esquema, las trayectorias descritas por ambas partículas y razone cuáles son sus diferencias.

71) a) Razone cómo podría averiguar con ayuda de una carga si en una región del espacio hay un campo eléctrico o un campo magnético. b) Un haz de protones atraviesa sin desviarse una zona en la que existen un campo eléctrico y otro magnético. Razone qué condiciones deben cumplir esos campos.

72) a) Enuncie la ley de Faraday-Lenz y razone si con un campo magnético constante puede producirse fuerza electromotriz inducida en una espira. b) Un conductor rectilíneo se conecta a un generador de corriente continua durante un cierto tiempo y después se desconecta. Cerca del conductor se encuentra una espira. Razone, ayudándose de un esquema, si en algún instante se induce fuerza electromotriz en la espira y explique sus características.

73) a) Explique las características de la fuerza magnética sobre una carga en movimiento. b) Dos partículas cargadas describen trayectorias circulares de igual radio en una región en la que existe un campo magnético uniforme. ¿Puede asegurarse que ambas partículas tienen la misma masa? ¿Tienen que ser iguales sus velocidades? Razone las respuestas.

74) a) Explique qué es la inducción electromagnética. b) Una espira rectangular está situada, horizontalmente, en un campo magnético vertical uniforme. Razone si se induce fuerza electromotriz en la espira en las situaciones siguientes: i) se aumenta o disminuye la intensidad del campo magnético; ii) manteniendo constante el campo magnético, se mueve la espira con velocidad constante hasta quedar fuera del campo.

75) a) Explique las características del campo magnético creado por una corriente rectilínea indefinida. b) Por dos conductores rectilíneos e indefinidos, paralelos entre sí, circulan corrientes eléctricas de igual intensidad y sentidos opuestos. Explique, con ayuda de un esquema, la dirección y el sentido del campo magnético debido a cada corriente y del campo magnético total en el punto medio de un segmento que una a los dos conductores. ¿Cómo cambiaría la situación si se invirtiese el sentido de una de las corrientes?

76) a) Enuncie la Ley de Lenz-Faraday. b) Una espira circular gira en torno a uno de sus diámetros en un campo magnético uniforme. Razone si se induce fuerza electromotriz en la espira si: i) el campo magnético es paralelo al eje de rotación; ii) es perpendicular.

77) a) Fuerza magnética entre dos corrientes rectilíneas indefinidas. b) Suponga dos conductores rectilíneos, paralelos y separados por una distancia  $d$ , por los que circulan corrientes eléctricas de igual intensidad. Dibuje en un esquema el campo magnético debido a cada corriente y el campo magnético total en el punto medio de un segmento que una a los dos conductores. Considere los siguientes casos: i) las dos corrientes van en el mismo sentido; ii) tienen sentidos opuestos.

78) a) Fuerza electromotriz inducida; ley de Lenz-Faraday. b) Cuando un imán se acerca a una espira se genera en ella una fuerza electromotriz. Razone cómo cambiaría esa fuerza electromotriz si: i) el imán se alejara de la espira; ii) se invirtieran los polos del imán; iii) el imán se mantuviera fijo.

79) a) Fuerza magnética sobre una carga en movimiento; ley de Lorentz. b) Explique, con ayuda de un esquema, el tipo de movimiento que efectúan un electrón y un neutrón al penetrar con una velocidad  $v$  en una región del espacio en la que existe un campo magnético uniforme,  $\mathbf{B}$ , perpendicular a  $v$ .

80) Dos cargas eléctricas puntuales, positivas y en reposo, están situadas en dos puntos A y B de una recta. Conteste razonadamente: a) ¿Qué fuerza magnética se ejercen las cargas entre sí? b) ¿Y si una de las cargas se mueve a lo largo de la recta que las une?