



DEPARTAMENTO DE  
FÍSICA E QUÍMICA

## Física 2º Bach.

Magnetismo e inducción electromagnética

16/03/10

Nombre:

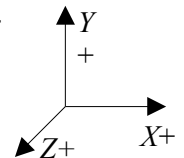
### Problemas

[3 PUNTOS /UNO]

1. Un electrón penetra perpendicularmente desde la izquierda en un campo magnético uniforme vertical hacia el techo con una velocidad de  $3,00 \times 10^6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . El electrón sale a 9,00 cm de distancia horizontal del punto de entrada. Calcula:
- El módulo, dirección y sentido del campo magnético.
  - El módulo, dirección y sentido de la intensidad de campo eléctrico que habría que colocar en la región donde actúa el campo magnético para que otro electrón que entrase igual que el primero no se desviase.

Datos:  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ;  $q_e = -1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ .

Orientación para los ejes X, Y, Z.



*Solución:*

- a) La fuerza ejercida por un campo magnético  $\mathbf{B}$  sobre una partícula de carga  $q$  que se mueve con una velocidad  $\mathbf{v}$  es, por la ley de Lorentz:

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

Con la orientación de los ejes propuesta, ( $X+$  horizontal hacia la derecha;  $Y+$  hacia el borde superior del papel;  $Z+$  hacia el techo), la fuerza del campo magnético será:

$$\mathbf{F} = -1,60 \times 10^{-19} [\text{C}] (3,00 \times 10^6 \mathbf{i} [\text{m/s}] \times \mathbf{B} \mathbf{k}) = +4,80 \times 10^{-13} \text{ B } \mathbf{j} [\text{N}]$$

hacia el borde superior del papel (inicialmente).

Como la fuerza es en todo momento perpendicular a la velocidad y no tiene componente tangencial, la velocidad será constante en módulo y describirá una semicircunferencia, cuyo radio depende de las otras magnitudes.

Por la 2ª Ley de Newton,  $|\mathbf{F}| = m |\mathbf{a}|$ , siendo  $\mathbf{a}$  una aceleración normal

$$\mathbf{a} = v^2 / R \mathbf{u}_N.$$

Sustituyendo la fuerza por la expresión de Lorentz,

$$q v B \sin \varphi = m v^2 / R$$

despejando el valor del campo magnético B

$$B = m v^2 / (q v \sin \varphi R) = m v / (R q \sin \varphi)$$

$$B = 9,11 \times 10^{-31} [\text{kg}] \cdot 3,00 \times 10^6 [\text{m/s}] / (1,60 \times 10^{-19} [\text{C}] \cdot 0,045 [\text{m}] \cdot 1) = 3,80 \times 10^{-4} \text{ T}$$

- b) Para que otro electrón que viaje igual no se desvíe habrá que colocar un campo eléctrico que ejerza una fuerza opuesta a la del campo magnético, o sea hacia el borde inferior del papel.

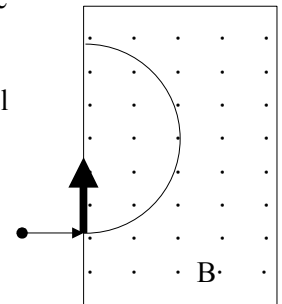
La fuerza eléctrica ha de ser opuesta a la fuerza magnética y del mismo módulo,

$$q E = q v B$$

$$E = v B = 3,00 \times 10^6 [\text{m/s}] \cdot 3,80 \times 10^{-4} [\text{T}] = 1,14 \times 10^3 \text{ N/C}$$

y estará dirigido del borde inferior al superior del papel (por ser la carga del electrón negativa)

$$\mathbf{E} = 1,14 \times 10^3 \mathbf{j} \text{ N/C}$$

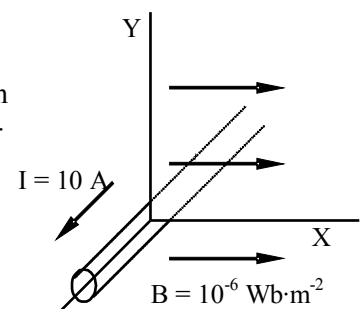


2. Un hilo recto indefinido perpendicular al plano XY que pasa por el origen de coordenadas, transporta una corriente de 10 A, como indica la figura. Un campo magnético uniforme de intensidad  $1,0 \times 10^{-6} \text{ T}$ , está dirigido paralelamente al eje X. Determina el vector campo magnético resultante en los siguientes puntos:

a)  $x = 0,0 \text{ m}$ ;  $y = 2,0 \text{ m}$

b)  $x = 2,0 \text{ m}$ ;  $y = 0,0 \text{ m}$

Datos:  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Wb}/(\text{A m})$



*Solución:*

- a) El campo magnético creado por un hilo indefinido en un punto que dista  $R$  del hilo viene dado por la ex-

presión:  $B = \mu_0 I / (2\pi R)$ , es circular alrededor del hilo y el sentido viene dado por la regla de la mano derecha. En el punto  $(0,0, 2,0)$  m el sentido viene dado por el vector unitario  $-\mathbf{i}$ . Vale

$$B_a = \mu_0 I / (2\pi R) = 4\pi 10^{-7} [\text{Wb}/(\text{A m})] 10 [\text{A}] / (2 \pi 2,0 [\text{m}]) = 1,0 \times 10^{-6} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\mathbf{B}_a = -1,0 \times 10^{-6} \mathbf{i} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$$

El campo magnético resultante del que crea el hilo y el campo uniforme  $\mathbf{B}_u = 1,0 \times 10^{-6} \mathbf{i} \text{ T}$  vale

$$\mathbf{B} = -1,0 \times 10^{-6} \mathbf{i} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2} + 1,0 \times 10^{-6} \mathbf{i} \text{ T} = \mathbf{0}$$

b) En el punto b) el campo magnético creado por el hilo vale lo mismo que en A, pero está dirigido en el sentido positivo del eje Y, por tanto vale:

$$\mathbf{B}_b = 1,0 \times 10^{-6} \mathbf{j} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2}$$

El campo magnético resultante del que crea el hilo y el campo uniforme  $\mathbf{B}_u = 1,0 \times 10^{-6} \mathbf{i} \text{ T}$  vale

$$\mathbf{B} = 1,0 \times 10^{-6} \mathbf{j} \text{ Wb} \cdot \text{m}^{-2} + 1,0 \times 10^{-6} \mathbf{i} \text{ T} = 1,0 \times 10^{-6} (\mathbf{i} + \mathbf{j}) \text{ T}$$

Su módulo es  $|\mathbf{B}| = 1,41 \times 10^{-6} \text{ T} = 1,41 \mu\text{T}$ .

## Cuestiones

1. Dos conductores paralelos por los que circula corriente en sentido opuesto, en uno de ellos el doble que el otro. ¿En qué punto se anula el campo magnético?

*Solución:* A

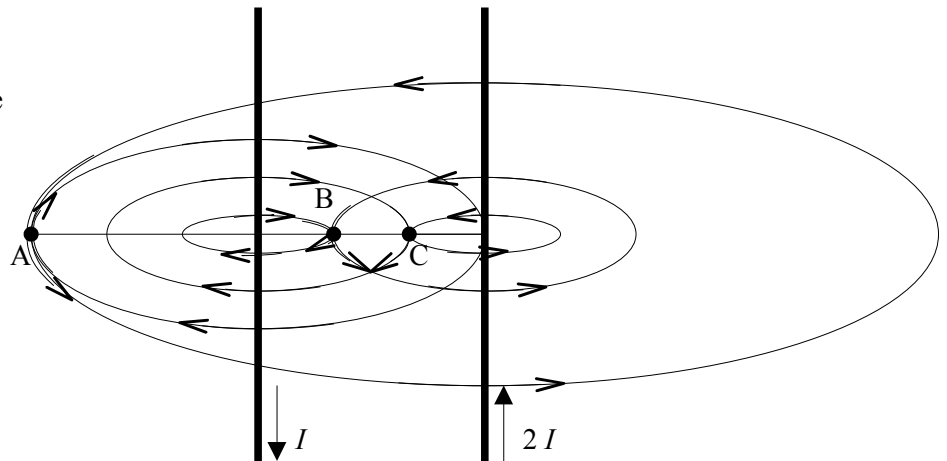
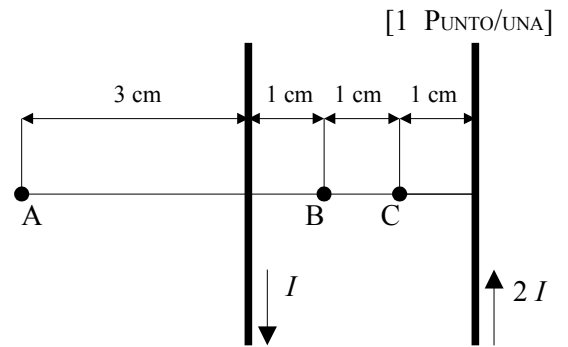
El valor de la intensidad de campo magnético B creado por una corriente I continua indefinida en el vacío a una distancia R del conductor viene dada por la expresión:

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

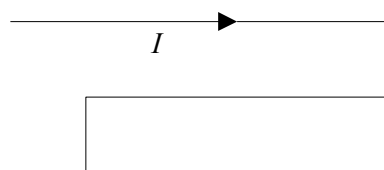
en la que  $\mu_0$  es la permeabilidad magnética del vacío.

El campo magnético es circular alrededor del conductor y su sentido viene dado por la regla de la mano derecha: si el pulgar de la mano derecha apunta en el sentido de la corriente, el sentido del campo magnético viene dado por el sentido en el que se cierra la mano.

Sólo en el punto A, los vectores campo magnético creados por ambas corrientes tienen sentidos opuestos, y como ese punto está a la mitad de distancia de la corriente I que de la corriente 2I, ambos campos magnéticos tienen el mismo valor y, siendo opuestos, se anulan.



1.



en sentido antihorario.

2. Un hilo recto largo está en el plano de un bucle de hilo conductor rectangular. El hilo recto conduce una corriente constante I como se indica en la figura y se mueve hacia el bucle rectangular. Mientras el hilo se mueve hacia el bucle rectangular, la corriente en el bucle:

- A. Es siempre cero. B. Circula en sentido horario C. Circula

Solución:

a) Por la ley de Faraday – Lenz, se inducirá en la espira una corriente que se oponga a la variación de flujo a través de la espira.

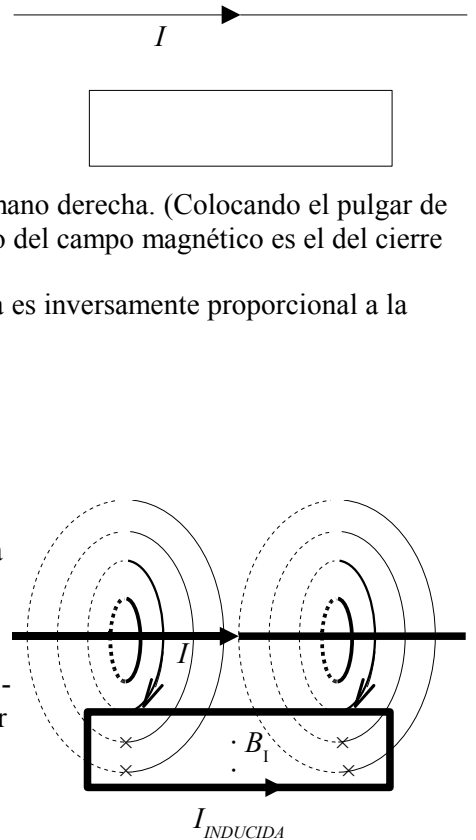
$$\varepsilon = - \frac{d\Phi}{dt}$$

El campo magnético creado por una corriente rectilínea indefinida es circular alrededor del hilo, y el sentido viene dado por la regla de la mano derecha. (Colocando el pulgar de la mano derecha en el sentido de la intensidad, de corriente, el sentido del campo magnético es el del cierre de la mano)

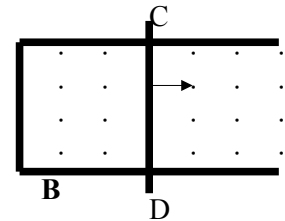
El campo magnético  $B$  creado por una corriente  $I$  rectilínea indefinida es inversamente proporcional a la distancia  $R$ :

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

A medida que el hilo se acerca a la espira, el flujo magnético entrante aumenta, al aumentar la intensidad de campo magnético, por lo que la corriente inducida circulará en el sentido de “corregir” el aumento de la intensidad de campo, es decir lo hará de forma que el campo magnético  $B_i$  debido a la corriente  $I$  inducida en la espira, tenga el sentido contrario al que tenía el campo entrante del hilo recto, es decir, saliente. Por la regla de la mano derecha, la corriente en la espira debe tener sentido antihorario.



3. El alambre CD se desliza sobre una horquilla metálica en forma de U, situado sobre un campo magnético constante  $\mathbf{B}$  dirigido hacia el techo, como se ve en la figura. Cuando el alambre se desliza hacia la derecha, se produce una f.e.m. inducida que provoca una corriente  $I$  inducida en el alambre. Esta corriente  $I$  sufre una fuerza magnética  $\mathbf{F}$  debida al campo magnético  $\mathbf{B}$ , que es perpendicular al alambre y está dirigida hacia:
- A) el suelo. B) la derecha. C) la izquierda.



Solución:

Por la ley de Faraday – Lenz, la fuerza electromotriz inducida en el tramo cerrado viene dada por la expresión

$$\varepsilon = -d\Phi / dt$$

Cuando el alambre CD se mueve hacia la derecha, aumenta el flujo magnético saliente. Por la ley de Lenz, se induce una corriente que se opone a este aumento, de forma que circula en sentido de las agujas del reloj para producir un flujo magnético entrante que se opone al aumento de flujo saliente.

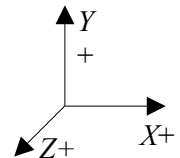
Por la ley de Laplace,

$$\mathbf{F} = I (\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

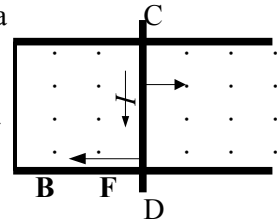
el campo magnético  $\mathbf{B}$  ejerce una fuerza  $\mathbf{F}$  sobre la corriente  $I$  cuyo sentido se puede determinar suponiendo un sistema de referencia como el de la figura.

$$\mathbf{F} = I (l(-\mathbf{j}) \times B(+\mathbf{k})) = IlB(-\mathbf{i})$$

es decir, hacia la izquierda.



Otra forma de verlo es aplicando el principio de conservación de la energía. Para mover el alambre CD con velocidad constante hacia la derecha hay que ejercer una fuerza hacia la derecha que debe valer lo mismo pero ser de sentido contrario a la que hace el campo magnético sobre la corriente del alambre. Por tanto la fuerza que piden es hacia la izquierda.



4. Sean dos conductores largos y paralelos separados una distancia  $r$ , que transportan intensidades  $I_1$  e  $I_2$  en sentidos opuestos. La fuerza por unidad de longitud que experimenta cada conductor es:

- A)  $\frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r}$       B)  $2 \times 10^{-7}$  N      C)  $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$  (se repelen)

Solución: C

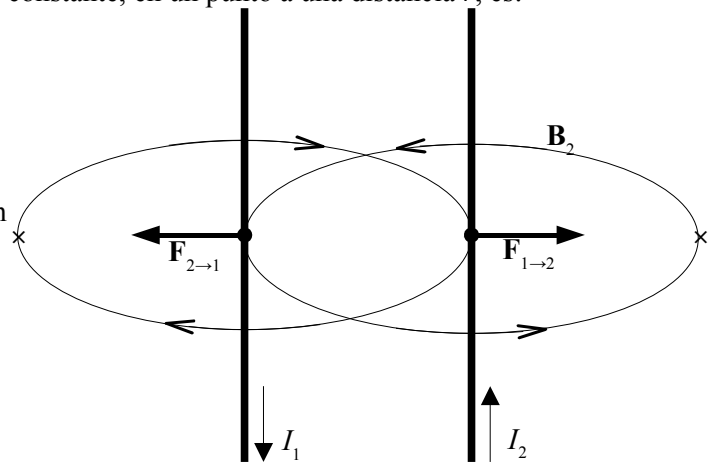
La ley de Biot y Savart lleva a que el valor  $B$  del campo magnético creado por un conductor rectilíneo indefinido por el que circula una corriente eléctrica  $I$  constante, en un punto a una distancia  $r$ , es:

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

La dirección del campo magnético es circular alrededor del hilo y el sentido viene dado por la regla de la mano derecha (colocando el pulgar en el sentido de la corriente, el sentido del campo magnético viene dado por el del cierre de la mano)

La ley de Laplace dice que la fuerza que ejerce un campo magnético  $B$  sobre un tramo  $l$  de hilo que transporta una corriente eléctrica  $I$ , es, en módulo:

$$F = I l B \sin \phi$$



La dirección de la fuerza es perpendicular a la corriente y al campo magnético y el sentido viene dado por la regla de la mano izquierda FBI (si colocamos los dedos pulgar F, índice B y medio I en direcciones perpendiculares, el sentido de la fuerza viene dado por el del dedo pulgar).

La fuerza que ejerce el campo magnético  $B_1$  creado por la corriente  $I_1$  sobre la corriente  $I_2$  es:

$$F_{1 \text{ toward } 2} = I_2 l B_1 = I_2 l \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = l \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

y su sentido es alejándose del primer conductor (repulsión).

La fuerza por unidad de longitud es:

$$\frac{F_{1 \rightarrow 2}}{l} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$$

La misma expresión se obtiene para la fuerza ejercida por el campo magnético  $B_2$  creado por la corriente  $I_2$  sobre la corriente  $I_1$ . El sentido de esta fuerza también es de repulsión.

Las otras opciones:

A. representa la igualdad de los valores de dos campos magnéticos en un punto que diste  $r$  lo mismo de ambos conductores, pero no es una fuerza por unidad de longitud.

B. La definición de amperio dice que: "Dos conductores rectilíneos paralelos situados a una distancia de 1 m de distancia están recorridos por intensidades de corriente de 1 Amperio si la fuerza con la que interactúan por unidad de longitud de conductor es de  $2 \cdot 10^{-7}$  N/m. La fuerza será de atracción entre los dos conductores si las intensidades tienen el mismo sentido y será de repulsión si las intensidades tienen signos contrarios". La fuerza por unidad de longitud será de  $2 \cdot 10^{-7}$  N/m si la intensidad de corriente que circular por cada conductor es de 1 A.