

ACTIVIDADES

1 Si un electrón no se desvía al pasar por una región del espacio, ¿puedes asegurar que no hay ningún campo magnético en esa región?



No se puede asegurar que no haya ningún campo magnético ya que si el electrón se mueve paralelamente al campo magnético el producto vectorial del vector velocidad y el vector inducción del campo es nulo ( $\vec{v} \times \vec{B} = 0$ ) y por tanto también la fuerza ejercida  $\vec{F} = q_e(\vec{v} \times \vec{B}) = 0$ .

También es posible que esté sometido a varios campos cuyas fuerzas se neutralicen entre sí.



2 Si un electrón se desvía lateralmente al pasar por una región del espacio, ¿puedes asegurar que existe campo magnético en esa región?



No, puede que la desviación sea producida por un campo eléctrico.



3 Un haz de protones se desvía lateralmente.

- a) ¿Podría ser producida esta desviación por un campo eléctrico?
- b) ¿Por un campo magnético?
- c) Si las dos preguntas anteriores tienen respuesta afirmativa, ¿cómo podrías averiguar cuál de los dos campos es el responsable de la desviación?



- a) Sí un campo eléctrico puede producir una desviación lateral.
- b) Sí un campo magnético también puede producir una desviación lateral del haz de electrones.
- c) En el caso del campo magnético la fuerza es siempre perpendicular al campo y en el caso del campo eléctrico es paralela al vector campo eléctrico.

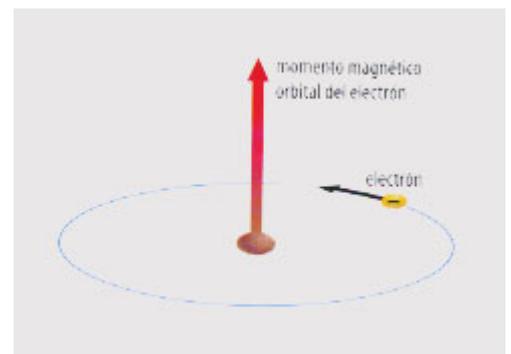


4 Cuando un imán de barra se rompe en varios pedazos, cada uno de éstos se convierte en un imán con su polo norte y su polo sur. Explica este hecho utilizando la teoría de los dominios magnéticos.



Un electrón que gira alrededor de un núcleo constituye una carga en movimiento, o corriente eléctrica y, por tanto, crea un campo magnético. Podemos caracterizar el movimiento de los electrones dentro de los átomos mediante un momento magnético.

Se ha comprobado experimentalmente que la magnetización de los materiales varía cuando se les aplica un campo magnético

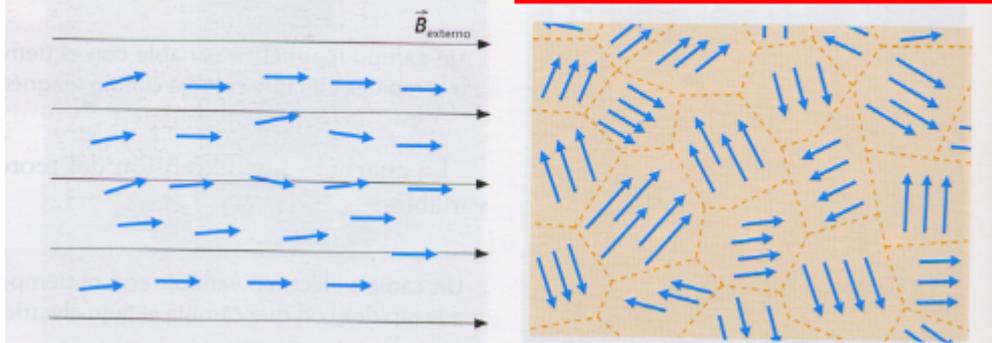


externo o cuando se modifica su temperatura. Diferentes materiales responden de manera también distinta a estos cambios externos y, en función de este comportamiento magnético diverso, se pueden clasificar en **ferromagnéticos**, **paramagnéticos** o **diamagnéticos**.

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

Orientación de los momentos magnéticos en una sustancia ferromagnética

Dominios de una sustancia ferromagnética no imantada



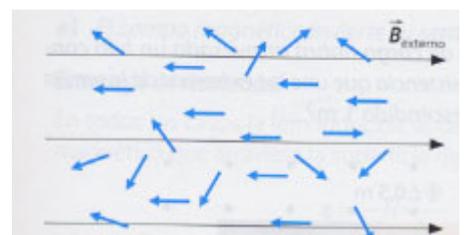
Pierre Weiss propuso en 1907 una teoría sobre la constitución interna de los materiales ferromagnéticos que puede comprobarse experimentalmente. Según este científico, en un material ferromagnético existen zonas de imantación uniforme, que reciben el nombre de dominios magnéticos, donde los momentos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

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



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

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





Al romper un imán, cada uno de los trozos formados sigue teniendo sus dominios magnéticos orientados en la misma dirección y sentido que el pedazo original de manera que sigan teniendo un polo norte y un polo sur



**5** Si golpeas un imán con un martillo, el imán pierde su magnetismo. Lo mismo ocurre si lo calientas. Intenta explicar estas hechas con la teoría de los dominios magnéticos.



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



**6** Se tienen dos partículas con las características que se indican en la tabla siguiente. Indica el tipo de interacción que existe entre ellas en cada caso.



| Partículas                            |                                       | I. Gravitatoria | I. Gravitatoria y electrostática | I. Gravitatoria y electromagnética |
|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 <sup>a</sup><br>M<br>q = 0          | 2 <sup>a</sup><br>M<br>q = 0          | Sí              | No                               | No                                 |
| 1 <sup>a</sup><br>M<br>q ≠ 0          | 2 <sup>a</sup><br>M<br>q = 0          | Sí              | No                               | No                                 |
| 1 <sup>a</sup><br>M<br>q ≠ 0<br>v ≠ 0 | 2 <sup>a</sup><br>M<br>q = 0<br>v = 0 | Sí              | No                               | No                                 |
| 1 <sup>a</sup><br>M<br>q ≠ 0<br>v ≠ 0 | 2 <sup>a</sup><br>M<br>q ≠ 0<br>v = 0 | Sí              | Sí                               | No                                 |
| 1 <sup>a</sup><br>M<br>q ≠ 0<br>v ≠ 0 | 2 <sup>a</sup><br>M<br>q ≠ 0          | Sí              | Sí                               | Sí                                 |



7 De las tres vectores de la ecuación  $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ , ¿qué pares son siempre perpendiculares? ¿Cuáles forman ángulos cualesquiera entre sí? ¿En qué caso uno cualquiera de los tres vectores es perpendicular a los otros dos?

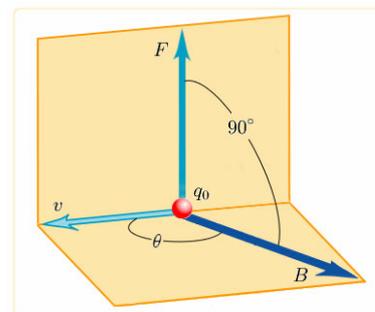


Carga =  $q$  = escalar

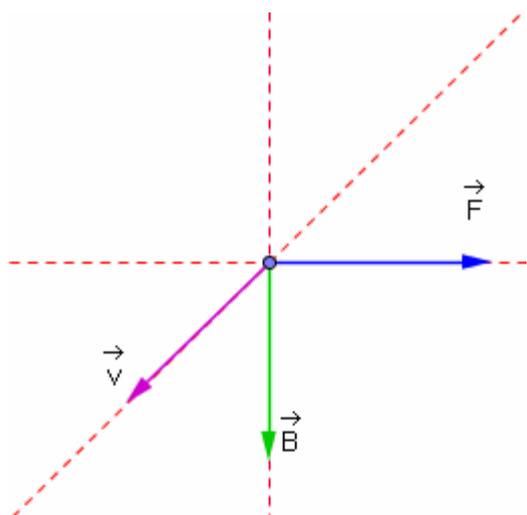
Como el vector resultante de un producto vectorial es siempre perpendicular a los vectores que se multiplican:

$$\begin{cases} \vec{F} \perp \vec{v} \\ \vec{F} \perp \vec{B} \end{cases} \text{ el vector fuerza es perpendicular al plano formado por } \vec{v} \text{ y } \vec{B}.$$

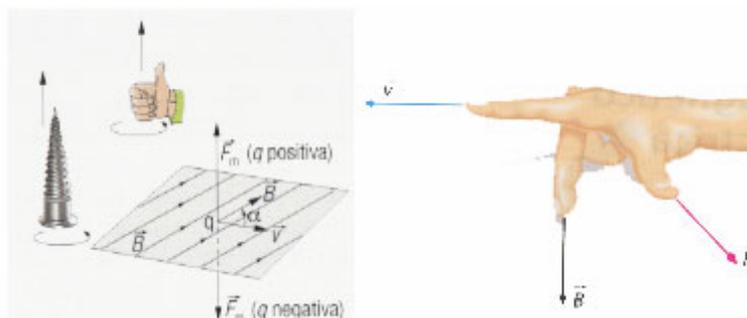
$\vec{v}$  y  $\vec{B}$  forman cualquier ángulo.



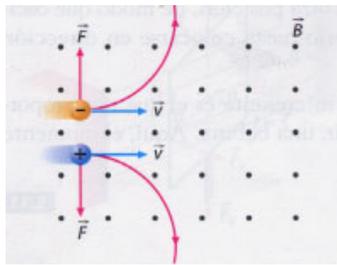
8 En un instante dado, un protón se mueve sobre el eje X en sentido positivo, en una región en que existe un campo magnético en sentido negativo del eje Z. ¿Cuál es la dirección de la fuerza magnética?



Como  $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ , y el producto vectorial es otro vector perpendicular a ambos y el sentido el avance de un tornillo o del sacacorchos al ir de  $\vec{v}$  a  $\vec{B}$  o mediante la regla de la mano derecha, de modo que el dedo índice señale la dirección y sentido de  $\vec{v}$ , el dedo corazón la dirección y sentido de  $\vec{B}$  y, entonces, el dedo corazón indica la dirección y sentido de la fuerza.



9) Se proyectan dos partículas cargadas hacia una región en la que se tiene un campo magnético perpendicular a sus velocidades. Si las cargas se desvían en sentidos opuestos, ¿qué se puede decir acerca de ellas?



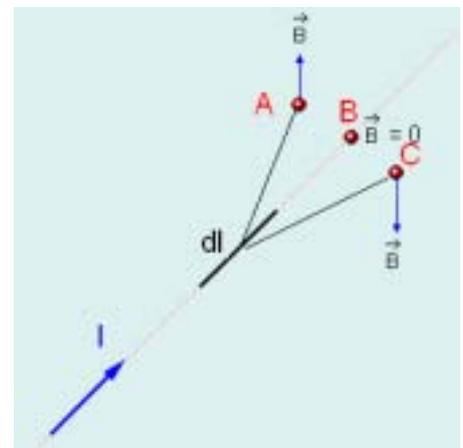
Que tienen distinto signo, una es negativa y otro positiva.



10) Dibuja el campo magnético producido por el elemento de corriente en los puntos A, B y C de la Figura.



En B el campo es nulo pues está en la misma dirección del elemento de corriente, En A y C aplicamos la regla de la mano derecha, de manera que el dedo pulgar se ponga en la dirección en que circula la corriente y el resto de los dedos de la mano nos da el sentido del vector campo magnético.



11) En una espira circular que lleva una corriente I, ¿es uniforme el campo B para todos los puntos dentro de la espira?



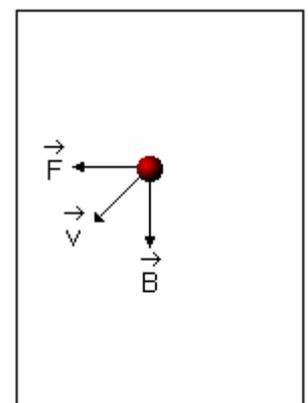
Sí en el interior el campo magnético es uniforme, de módulo constante



12) Si estás sentado en una habitación mirando de frente hacia una ventana y un electrón penetra perpendicularmente a ella y es desviado hacia tu izquierda, ¿cuál es la dirección y sentido de la inducción magnética que existe en la habitación?



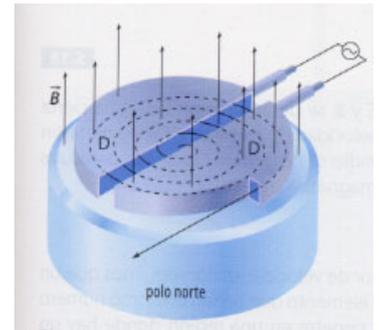
Si es desviado hacia la izquierda es que en ese sentido actúa la fuerza, luego el campo debe actuar del techo al suelo ya que la carga que se mueve es negativa.



**13** *¿En qué consiste la resonancia de un ciclotrón?*



En la coincidencia entre la frecuencia característica de la partícula  $\frac{qB}{2\pi m}$  y la del oscilador eléctrico  $f_0$ .



**14** *Si aceleramos protones y partículas alfa en un ciclotrón, ambas partículas alcanzan la misma energía aproximadamente. Explica este hecho. ¿Dichas partículas tienen la misma frecuencia característica?*



La energía alcanzada depende de la relación carga masa ( $q/m$ ) que se acelera, como para las dos partículas esta relación es similar, alcanzarán la misma energía y algo semejante podemos decir de la frecuencia característica.



## CUESTIONES Y PROBLEMAS BÁSICOS

**1** *Sobre un electrón que se mueve con una velocidad de 5.000 km/s actúa en dirección normal a su velocidad un campo magnético en el que  $B = 8$  T. Determina:*

- a) *El valor de la fuerza que actúa sobre el electrón.*
- b) *El radio de la órbita que describe.*



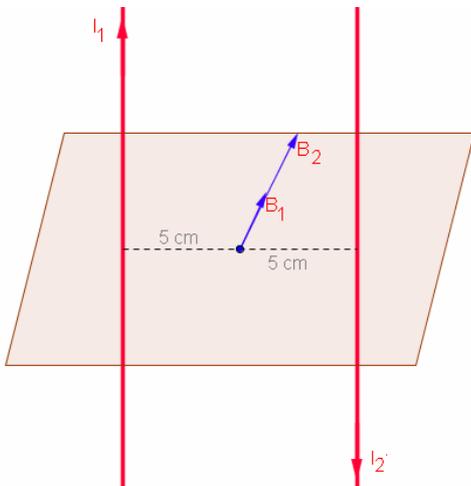
$v = 5\,000 \text{ Km/s} = 5 \cdot 10^6 \text{ m/s.}$   
 $B = 8 \text{ T.}$   
 $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$   
 $\alpha = 90^\circ; \text{sen } \alpha = \text{sen } 90^\circ = 1$   
 $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg.}$

a)  $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B}) \Rightarrow F = q \cdot v \cdot B \cdot \text{sen } \alpha = qvB = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 8 = 6,4 \cdot 10^{-12} \text{ N}$

b)  $F = m \frac{v^2}{R} \Leftrightarrow R = \frac{m \cdot v}{qB} = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 5 \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8} = 3,56 \cdot 10^{-6} \text{ m}$



2) Dos largos conductores paralelos están separados 10 cm; por uno, A, pasa una corriente de 30 A y, por el otro, B, de 40 A. Calcula el campo magnético resultante en una línea del plano de los dos conductores, paralela a ellos y a igual distancia de ambos.



Suponemos que las corrientes tienen sentido contrario según se indica en la figura adjunta.

$$B = B_1 + B_2 = 2k' \left( \frac{I_1}{d_1} + \frac{I_2}{d_2} \right) = 2 \cdot 10^{-7} \left( \frac{40}{0,05} + \frac{30}{0,05} \right) = 28 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$



3) Un conductor rectilíneo de 15 cm de longitud se coloca perpendicularmente a un campo magnético de inducción 0,4 T. Calcula:

- a) El valor de la fuerza a que está sometido, sabiendo que por él circulan 6 A.
- b) La fuerza anterior en el caso de que el conductor forme un ángulo de 30° con la dirección del campo.



a)  $F = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}\alpha = 6 \cdot 0,15 \cdot 0,4 \cdot \text{sen}90^\circ = 0,36 \text{ N}$ .

b)  $F = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}\alpha = 6 \cdot 0,15 \cdot 0,4 \cdot \text{sen}30^\circ = 0,18 \text{ N}$ .



4) Un conductor de 12 cm de longitud transporta una corriente de 4 A formando un ángulo de 41° con un campo magnético horizontal. ¿Cuál debe ser la inducción del campo para producir una fuerza de 5 N sobre el conductor?



$$F = I \cdot L \cdot B \cdot \text{sen}\alpha \Leftrightarrow B = \frac{F}{I \cdot L \cdot \text{sen}\alpha} = \frac{5}{4 \cdot 0,12 \cdot \text{sen}41^\circ} = 15,88 \text{ T}$$



5) Se acelera un protón a través de una diferencia de potencial de 105 V. Entonces el protón entra perpendicularmente a un campo magnético, recorriendo una trayectoria circular de 30 cm de radio. Calcula el valor del campo.

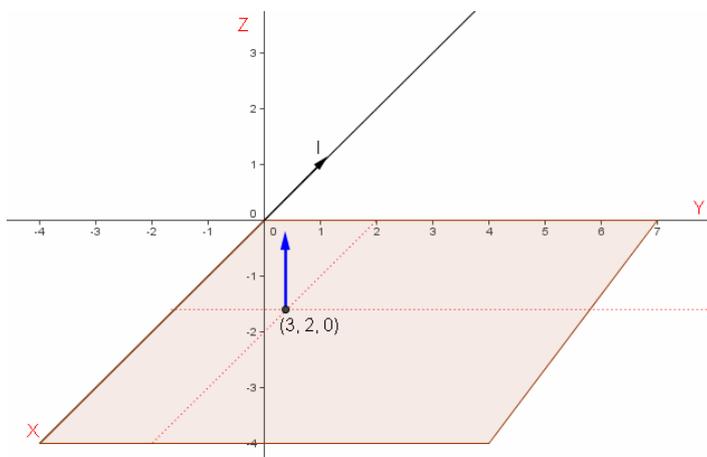


$$E_{\text{cinética}} = E_{\text{eléctrica}} \rightarrow \frac{1}{2} \frac{q^2 B^2 r^2}{m} = \Delta V \cdot q \Rightarrow B^2 = \frac{2m\Delta V}{qr^2} \Leftrightarrow B = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2m\Delta V}{q}} = \frac{1}{0,3} \sqrt{\frac{2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-27} \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^{-19}}} \approx 0,154 \text{ T}$$





6 Un alambre recto y largo conduce una corriente según el eje de las X. Calcula el valor y dirección de  $\vec{B}$  en el punto (3, 2, 0).



Como el conductor está en el eje X, la distancia hasta el punto es la coordenada en y  $d = 2$

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

$$\text{luego: } \vec{B} = 10^{-7} \cdot I \vec{k} \text{ T.}$$



7 Calcula el campo magnético en un punto distante 4 cm de un largo conductor por el que circula una corriente de 6 A.



$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 6}{2\pi \cdot 0,04} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$



8 Un protón tiene una energía cinética de  $10^{-14}$  J. Sigue una trayectoria circular en un campo magnético  $B = 0,5$  T. Calcula:

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



$$a) E_c = \frac{1}{2} \frac{q^2 B^2 R^2}{m} \Leftrightarrow R = \sqrt{\frac{2mE_c}{q^2 B^2}} = \frac{1}{qB} \sqrt{2mE_c} = \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,5} \sqrt{2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-27} \cdot 10^{-14}} = 0,076 \text{ m.}$$

$$b) f = \frac{qB}{2\pi m} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,5}{2\pi \cdot 1,7 \cdot 10^{-27}} = 7,49 \cdot 10^6 \text{ Hz.}$$



9 Un electrón se mueve con una velocidad de  $5 \cdot 10^5$  m/s con un ángulo de  $60^\circ$  respecto de un campo magnético. Si el electrón experimenta una fuerza de  $3,2 \cdot 10^{-18}$  N, calcula la intensidad del campo.

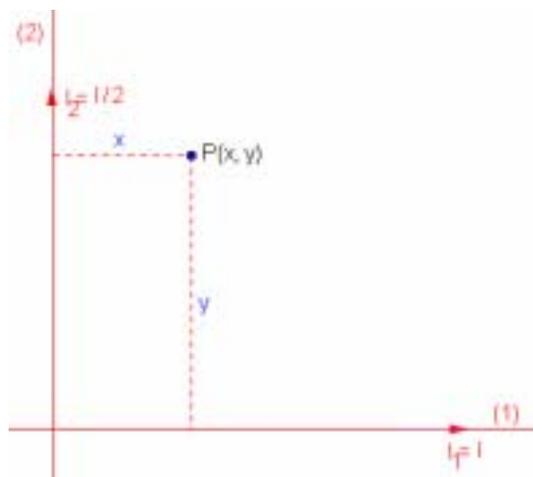


$$F = qvB \sin \alpha \Leftrightarrow B = \frac{F}{qv \sin \alpha} = \frac{3,2 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 5 \cdot 10^5 \cdot \sin 60^\circ} = 4,62 \cdot 10^{-5} \text{ T.}$$



Problemas avanzados

1 Un alambre recto y largo conduce una corriente  $I$  en el sentido  $+X$ , mientras que un segundo conductor transporta una corriente  $1/2 I$  según el sentido  $+Y$ . ¿En qué puntos el campo magnético resultante es nulo?



Sea  $P(x, y)$  un punto del plano representativo de los puntos del plano en los que los campos magnéticos debidos a las dos corrientes son iguales, se cumplirá:

$$B_1 = B_2 \Leftrightarrow \frac{\mu_0 I_1}{2\pi y} = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi x} \Leftrightarrow \frac{I}{y} = \frac{I/2}{x} \Leftrightarrow y = 2x,$$

luego en el conjunto de puntos situados sobre la recta  $y = 2x$  los campos magnéticos son iguales.



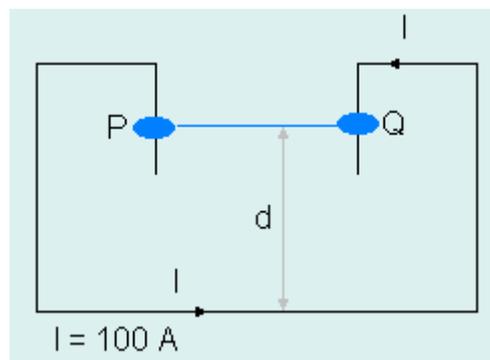
2 Calcula la distancia  $d$  para que el conductor  $PQ$  representado en la figura permanezca en equilibrio sabiendo que tiene 20 cm de longitud y 0,08 g de masa.



Para que permanezca en equilibrio las dos fuerzas que actúan han de estar en equilibrio:

Peso =  $F_{\text{magnética de repulsión}}$

$$mg = \frac{\mu_0}{2\pi d} I^2 L \Leftrightarrow d = \frac{\mu_0 I^2 L}{2\pi mg} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 100^2 \cdot 0,2}{2\pi \cdot 8 \cdot 10^{-5} \cdot 9,8} = 0,5 \text{ m.}$$



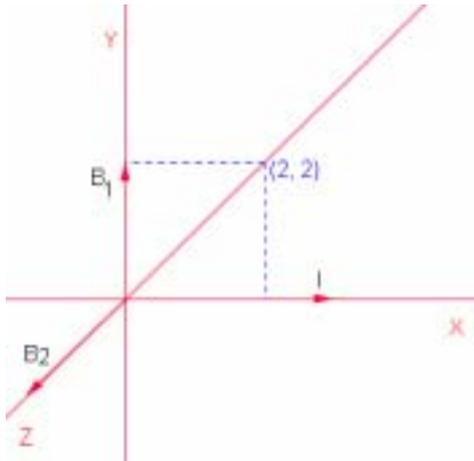
3 Un largo hilo conductor transporta una corriente de 20 A en sentido  $+X$ . El conductor está colocado sobre el eje  $X$ . Un campo magnético de  $B = 10^{-5} \text{ T}$  uniforme paralela al eje  $Y$  con sentido  $+Y$ . Calcula el campo resultante en el punto  $(2, 2)$  cm.



El campo resultante en el punto  $P(2,2)$  es la resultante del campo paralelo al eje  $OY$  de valor  $B_1 = 10^{-5} \vec{j}$  y el producido en ese punto por la corriente que circula por el eje  $+X$  de módulo:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 20}{2\pi \cdot 0,02} = 20 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

y dirigido en el sentido positivo del eje  $OZ$ .



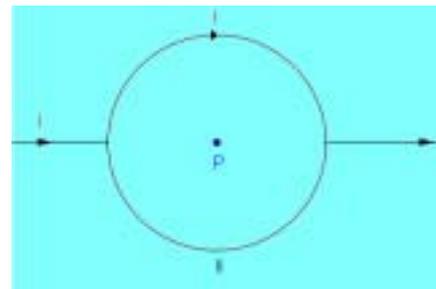
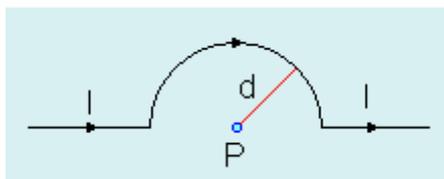
Por tanto el campo resultante será suma vectorial de los dos campos:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = 10^{-5} \vec{j} + 20 \cdot 10^{-5} \vec{k} \text{ T i cuyo módulo es:}$$

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \sqrt{(10^{-5})^2 + (20 \cdot 10^{-5})^2} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$



4 Demuestra que el campo magnético en el punto P de la Figura vale  $B = \frac{\mu_0 I}{4d}$



El campo creado en el punto P para la figura que se pide es la mitad del creado en el punto P para la figura II y este es el campo creado por una corriente circular, luego el que se pide será la mitad del creado para una corriente circular:

$$B_{II} = \frac{\mu_0 I}{2r} = \frac{\mu_0 I}{2d} \Rightarrow B_P = \frac{B_{II}}{2} = \frac{\frac{\mu_0 I}{2d}}{2} = \frac{\mu_0 I}{4d} \text{ T}$$

