

## MAGNETISMO

[Método y recomendaciones](#)

### ● Carga en un campo magnético

1. Un protón con una energía cinética de  $4,0 \cdot 10^{-15}$  J penetra perpendicularmente en un campo magnético uniforme de 40 mT. Calcula:

a) El módulo de la fuerza a la que está sometido el protón dentro del campo.

b) El tipo de movimiento realizado por el protón, la trayectoria que describe y el radio de esta.

Datos:  $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C;  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg.

(A.B.A.U. extr. 22)

**Rta.:** a)  $F_B = 1,4 \cdot 10^{-14}$  N; b)  $R = 0,57$  m.

#### Datos

Energía cinética del protón

Valor de la intensidad del campo magnético

Ángulo entre la velocidad del protón y el campo

Carga del protón

Masa del protón

#### Incógnitas

Módulo de la fuerza a la que está sometido el protón dentro del campo

Radio de la trayectoria

#### Ecuaciones

Ley de Lorentz: fuerza magnética sobre una carga,  $q$ , que se desplaza en el interior de un campo magnético,  $\vec{B}$ , con una velocidad,  $\vec{v}$

#### Cifras significativas: 2

$E_c = 4,0 \cdot 10^{-15}$  J

$B = 40$  mT = 0,040 T

$\varphi = 90^\circ$

$q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C

$m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg

$F_B$

$R$

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

$$a_N = \frac{v^2}{R}$$

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$v = \frac{2\pi \cdot R}{T}$$

Aceleración normal (en un movimiento circular de radio  $R$ )

2.ª ley de Newton de la Dinámica

Velocidad en un movimiento circular uniforme de radio  $R$

#### Solución:

a) La velocidad del protón se calcula a partir de la energía cinética:

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \Rightarrow 4,0 \cdot 10^{-15} \text{ [J]} = (1,67 \cdot 10^{-27} \text{ [kg]} / 2) \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 4,0 \cdot 10^{-15} \text{ [J]}}{1,67 \cdot 10^{-27} \text{ [kg]}}} = 2,2 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

La fuerza magnética se calcula por la ley de Lorentz:

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

En módulos:

$$F_B = |\vec{F}_B| = q \cdot |\vec{v}| \cdot |\vec{B}| \cdot \sin 90^\circ = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ [C]} \cdot 2,2 \cdot 10^6 \text{ [m/s]} \cdot 0,040 \text{ [T]} = 1,4 \cdot 10^{-14} \text{ N}$$

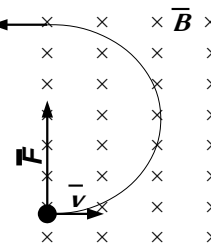
b) Como solo actúa la fuerza magnética, que es perpendicular a la velocidad, el protón describe una trayectoria circular con velocidad de valor constante, por lo que la aceleración solo tiene componente normal  $a_N$ .

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$

Usando la expresión de la ley de Lorentz (en módulos) para la fuerza magnética:

$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \sin \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Despejando el radio,  $R$ :




$$R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B \cdot \sin \varphi} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} [\text{kg}] \cdot 2,2 \cdot 10^6 [\text{m/s}]}{1,6 \cdot 10^{-19} [\text{C}] \cdot 0,040 [\text{T}] \cdot \sin 90^\circ} = 0,57 \text{ m}$$

*Análisis: Si el protón entra en un campo magnético, al describir media circunferencia saldrá de él, por lo que en realidad solo daría media vuelta y saldría a una distancia de  $2R = 1,0$  m del punto de entrada, en la misma dirección con la que entró, pero en sentido opuesto.*

La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo [Física \(es\)](#).

Las instrucciones para el manejo de esta hoja de cálculo pueden verse en el enlace [instrucciones](#).

Para ir a la hoja para resolver un problema de una partícula cargada moviéndose en un campo magnético uniforme puede elegir una de estas opciones:

- Pulse en el icono ►, del grupo ◀◀▶▶ situado en la parte inferior izquierda, varias veces hasta que vea la pestaña  Lorentz. Luego pulse en esa pestaña.
- En el índice, presione la tecla [Ctrl] mientras pulsa en la celda [Partícula cargada moviéndose en un campo magnético uniforme](#) del capítulo **Electromagnetismo**.

Escriba los datos en las celdas de color blanco con borde azul. Pulse en las celdas de color naranja para elegir entre las opciones que se presentan.

Pulse en la celda situada de debajo de «Partícula» y elija «Protón», para no tener que teclear los valores de la masa y carga del protón.

Haga clic en la celda de color naranja situada debajo del «kg» y elija «J».

Haga clic en la celda de color blanco y borde azul situada a su izquierda y escriba 4E-15, (o, si lo prefiere,  $4,0 \cdot 10^{-15}$  y borre los espacios).

Haga clic en la celda de color blanco y borde azul situada a la derecha de «B =» y teclee 0,04. Deberá ver:

Partícula	Carga	$q = 1,60218 \cdot 10^{-19}$	C
Protón	Masa	$m = 1,67262 \cdot 10^{-27}$	kg
	Energía cinética	$E = 4\text{E-}15$	J
	Ángulo entre v y B	$\varphi = 90^\circ$	
	Radio de la circunferencia	$R =$	
	Campo magnético	$B = 0,04$	T

Para ver el resultado de la «Fuerza magnética», debe pulsar en la celda de color naranja debajo de «Radio de la trayectoria circular» y elegir esa opción.

	Cifras significativas:	3
Velocidad de la partícula	$v =$	$2,19 \cdot 10^6$ m/s
Radio de la trayectoria circular	$R =$	0,571
Fuerza magnética	$F =$	$1,40 \cdot 10^{-14}$ N

2. Una partícula de masa 8 ng y carga eléctrica  $-2 \mu\text{C}$  entra en una región del espacio en la que hay un campo magnético  $\vec{B} = 3 \vec{j}$  T, con una velocidad  $\vec{v} = 6 \vec{i}$  km·s<sup>-1</sup>. Calcula:

- La velocidad angular con que se mueve.
- La intensidad de campo eléctrico (vector) que se debe aplicar para que la partícula siga una trayectoria rectilínea.

(A.B.A.U. ord. 22)

**Rta.:** a)  $\omega = 7,5 \cdot 10^5$  rad/s; b)  $\vec{E} = -1,80 \cdot 10^4 \vec{k}$  N/C.

### Datos

Masa de la partícula

Carga de la partícula

Intensidad del campo magnético

Velocidad de la partícula

Radio de la trayectoria circular

### Incógnitas

### Cifras significativas: 3

$m = 8,00$  ng =  $8,00 \cdot 10^{-12}$  kg

$q = -2,00 \mu\text{C} = -2,00 \cdot 10^{-6}$  C

$\vec{B} = 3,00 \vec{j}$  T

$\vec{v} = 6,00 \cdot 10^3 \vec{i}$  m/s

$R = 1,00 \cdot 10^{-7}$  m

**Datos**

Velocidad angular  
 Vector campo eléctrico para que la partícula siga una trayectoria recta

**Otros símbolos**

Radio de la trayectoria circular  
 Valor de la fuerza magnética sobre la partícula  
 Vector fuerza eléctrica sobre la partícula

**Ecuaciones**

Ley de Lorentz: fuerza magnética sobre una carga,  $q$ , que se desplaza en el interior de un campo magnético,  $\vec{B}$ , con una velocidad,  $\vec{v}$

**Cifras significativas: 3**

$$\frac{\omega}{\vec{E}}$$

$$R$$

$$F_B$$

$$\vec{F}_E$$

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

$$a_N = \frac{v^2}{R}$$

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$v = \frac{2\pi \cdot R}{T}$$

$$\vec{F}_E = q \cdot \vec{E}$$

$$v = \omega \cdot R$$

Aceleración normal (en un movimiento circular de radio  $R$ )

2.ª ley de Newton de la Dinámica

Velocidad en un movimiento circular uniforme de radio  $R$

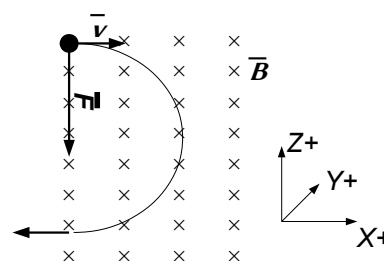
Fuerza  $\vec{F}_E$  ejercida por un campo electrostático  $\vec{E}$  sobre una carga  $q$

Relación entre la velocidad lineal  $v$  y la velocidad angular  $\omega$  en un movimiento circular de radio  $R$ .

**Solución:**

a) Como solo actúa la fuerza magnética, que es perpendicular a la velocidad, la partícula describe una trayectoria circular con velocidad de valor constante, por lo que la aceleración solo tiene componente normal  $a_N$ .

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$



Usando la expresión de la ley de Lorentz (en módulos) para la fuerza magnética:

$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \sin \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Si la partícula entra perpendicularmente al campo magnético,  $\sin \varphi = 1$ .

Despejando el radio:

$$R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B} = \frac{8,00 \cdot 10^{-12} [\text{kg}] \cdot 6,00 \cdot 10^3 [\text{m/s}]}{2,00 \cdot 10^{-6} [\text{C}] \cdot 3,00 [\text{T}]} = 8,00 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 8,00 \text{ mm}$$

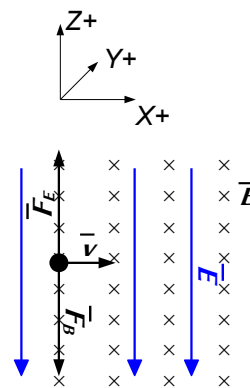
Puede calcularse la velocidad angular a partir de la velocidad lineal:

$$v = \omega \cdot R \Rightarrow \omega = \frac{v}{R} = \frac{6,00 \cdot 10^3 [\text{m/s}]}{8,00 \cdot 10^{-3} [\text{m}]} = 7,50 \cdot 10^5 \text{ rad/s}$$

b) Si la fuerza eléctrica anula la magnética,

$$\vec{F}_B + \vec{F}_E = q(\vec{v} \times \vec{B}) + q \cdot \vec{E} = \vec{0}$$

$$\vec{E} = -(\vec{v} \times \vec{B}) = -(6,00 \cdot 10^3 \hat{i} [\text{m/s}] \times 3,00 \hat{j} [\text{T}]) = -1,80 \cdot 10^4 \hat{k} \text{ N/C}$$



La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo [Física \(es\)](#).

Las instrucciones para el manejo de esta hoja de cálculo pueden verse en el enlace [instrucciones](#).

Para ir a la hoja para resolver un problema de una partícula cargada moviéndose en un campo magnético uniforme puede elegir una de estas opciones:

- Pulse en el icono ▶, del grupo |◀ ◀ ▶ ▶| situado en la parte inferior izquierda, varias veces hasta que vea la pestaña 🔒 Lorentz. Luego pulse en esa pestaña.
- En el índice, presione la tecla [Ctrl] mientras pulsa en la celda [Partícula cargada moviéndose en un campo magnético uniforme](#) del capítulo **Electromagnetismo**.

Escriba los datos en las celdas de color blanco con borde azul. Pulse en las celdas de color naranja para elegir entre las opciones que se presentan.

Partícula	Carga $q =$	<input style="width: 90%;" type="text" value="-2 μC"/>	
-----------	-------------	--	--

	Masa $m =$	8 ng
	Velocidad $v =$	6000 m/s
Ángulo entre $v$ y $B$	$\varphi =$	90 °
Radio de la circunferencia	$R =$	
Campo magnético	$B =$	3 T

La hoja no realiza el cálculo vectorial, solo calcula los módulos de los vectores.

Para ver el resultado de «Velocidad angular», debe hacer clic en la celda de color naranja debajo de «Radio de la trayectoria circular» y elegir esa opción.

Velocidad angular	$\omega =$	7,50·10 <sup>5</sup> rad/s
-------------------	------------	----------------------------

Para ver el resultado de «Intensidad de campo eléctrico», debe hacer clic en la celda de color naranja y elegir «Intensidad de campo eléctrico» en vez de «Velocidad angular».

Intensidad de campo eléctrico que anula la desviación	$E =$	1,80·10 <sup>4</sup> N/C
--	-------	--------------------------

3. Un protón acelerado por una diferencia de potencial de 5000 V penetra perpendicularmente en un campo magnético uniforme de 0,32 T. Calcula:
- La velocidad del protón.
  - El radio de la órbita que describe y el número de vueltas que da en 1 segundo.
- Datos:  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg,  $q_p = 1,60 \cdot 10^{-19}$  C (Haz un dibujo del problema). (P.A.U. jun. 05)
- Rta.:** a)  $v = 9,79 \cdot 10^5$  m/s; b)  $R = 3,2$  cm;  $N = 4,9 \cdot 10^6$  vueltas/s.

#### Datos

Potencial de aceleración  
 Valor de la intensidad del campo magnético  
 Carga del protón  
 Ángulo entre la velocidad del protón y el campo magnético  
 Masa del protón  
 Tiempo para calcular el número de vueltas

#### Cifras significativas: 3

$V = 5000$  V =  $5,00 \cdot 10^3$  V  
 $B = 0,320$  T  
 $q = 1,60 \cdot 10^{-19}$  C  
 $\varphi = 90^\circ$   
 $m = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg  
 $t = 1,00$  s

#### Incógnitas

Velocidad del protón  
 Radio de la trayectoria circular  
 Número de vueltas que da en 1 s

$v$   
 $R$   
 $N$

#### Otros símbolos

Valor de la fuerza magnética sobre el protón  
 Período del movimiento circular  
 Energía (cinética) del protón

$F_B$   
 $T$   
 $E_c$

#### Ecuaciones

Ley de Lorentz: fuerza magnética sobre una carga,  $q$ , que se desplaza en el interior de un campo magnético,  $\vec{B}$ , con una velocidad,  $\vec{v}$

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

Aceleración normal (en un movimiento circular de radio  $R$ )

$$a_N = \frac{v^2}{R}$$

2.ª ley de Newton de la Dinámica

$$\Sigma \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Velocidad en un movimiento circular uniforme de radio  $R$

$$v = \frac{2\pi \cdot R}{T}$$

Trabajo del campo eléctrico

$$W(\text{eléctrico}) = q \cdot \Delta V$$

Trabajo de la fuerza resultante

$$W = \Delta E_c$$

Energía cinética

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

#### Solución:

a) Para calcular la velocidad tenemos que tener en cuenta que al acelerar el protón con una diferencia de potencial (suponemos que desde el reposo), este adquiere una energía cinética:

$$W(\text{eléctrico}) = q \cdot \Delta V = \Delta E_c = \frac{1}{2} m_p v^2 - \frac{1}{2} m_p v_0^2$$

Si parte del reposo,  $v_0 = 0$ . La velocidad final es:

$$v = \sqrt{\frac{2q \cdot \Delta V}{m_p}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,60 \cdot 10^{-19} [\text{C}] \cdot 5,00 \cdot 10^3 [\text{V}]}{1,67 \cdot 10^{-27} [\text{kg}]}} = 9,79 \cdot 10^5 \text{ m/s}$$

b) Como solo actúa la fuerza magnética, que es perpendicular a la velocidad, el protón describe una trayectoria circular con velocidad de valor constante, por lo que la aceleración solo tiene componente normal  $a_N$ .

$$F_B = m \cdot a = m \cdot a_N = m \frac{v^2}{R}$$

Usando la expresión de la ley de Lorentz (en módulos) para la fuerza magnética:

$$|q| \cdot B \cdot v \cdot \sin \varphi = m \frac{v^2}{R}$$

Despejando el radio  $R$

$$R = \frac{m \cdot v}{|q| \cdot B \cdot \sin \varphi} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} [\text{kg}] \cdot 9,79 \cdot 10^5 [\text{m/s}]}{1,60 \cdot 10^{-19} [\text{C}] \cdot 0,320 [\text{T}] \cdot \sin 90^\circ} = 3,19 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3,19 \text{ cm}$$

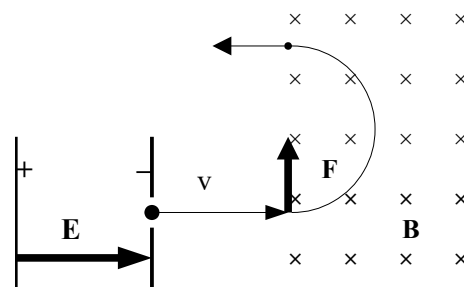
*Análisis: el radio tiene un valor aceptable, unos centímetros.*

Despejando el período de la ecuación de la velocidad en un movimiento circular uniforme:

$$v = \frac{2\pi \cdot R}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi \cdot R}{v} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3,19 \cdot 10^{-2} [\text{m}]}{9,79 \cdot 10^5 [\text{m/s}]} = 2,05 \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

El número de vueltas en 1 s será:

$$N = 1,00 [\text{s}] \cdot \frac{1 \text{ vuelta}}{2,05 \cdot 10^{-7} [\text{s}]} = 4,88 \cdot 10^6 \text{ vueltas}$$



*Análisis: Si el protón entra en un campo magnético, al describir media circunferencia saldrá de él, por lo que en realidad solo daría media vuelta en un tiempo de  $T/2 = 1,03 \cdot 10^{-7} \text{ s}$  y saldría a una distancia de  $2R = 6,4 \text{ cm}$  del punto de entrada.*

La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo [Física \(es\)](#).

Las instrucciones para el manejo de esta hoja de cálculo pueden verse en el enlace [instrucciones](#).

Para ir a la hoja para resolver un problema de una partícula cargada moviéndose en un campo magnético uniforme puede elegir una de estas opciones:

- Pulse en el icono ►, del grupo ◀ ◀ ► ► situado en la parte inferior izquierda, varias veces hasta que vea la pestaña Lorentz. Luego pulse en esa pestaña.
- En el índice, presione la tecla [Ctrl] mientras pulsa en la celda [Partícula cargada moviéndose en un campo magnético uniforme](#) del capítulo **Electromagnetismo**.

Escriba los datos en las celdas de color blanco con borde azul. Pulse en las celdas de color naranja para elegir entre las opciones que se presentan.

Pulse en la celda situada de debajo de «Partícula» y elija «Protón», para no tener que teclear los valores de la masa y carga del protón.

Partícula	Carga	$q =$	$1,60218 \cdot 10^{-19}$	C
Protón	Masa	$m =$	$1,67262 \cdot 10^{-27}$	kg
	Diferencia de potencial	$\Delta V =$	5000	V
	Ángulo entre v y B	$\varphi =$	90°	
	Radio de la circunferencia	$R =$		
	Campo magnético	$B =$	0,32	T
	Tiempo	$t =$	1	s

(para calcular el número de vueltas)

Para ver el resultado de «Número de vueltas», debe pulsar en la celda de color naranja bajo «Radio de la trayectoria circular» y elegir esa opción.

		Cifras significativas:	<input type="text" value="3"/>
a)	Velocidad de la partícula	$v =$	$9,79 \cdot 10^5$ m/s
b)	Radio de la trayectoria circular	$R =$	$0,0319$ m
c)	Número de vueltas	$f =$	$4,88 \cdot 10^6$ vueltas/s

## ● Fuerza entre conductores

1. Dos conductores rectilíneos, paralelos e infinitos, están situados en el plano  $yz$ , en la dirección del eje  $z$ , separados una distancia de 80 cm. Si por cada uno de ellos circula una corriente de 12 A en sentidos contrarios, calcula:

a) La fuerza por unidad de longitud que se ejercen mutuamente, indicando la dirección y el sentido de esta.

b) El vector campo magnético en el punto medio de la distancia que separa los conductores.

DATO:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  T m A<sup>-1</sup>.

(A.B.A.U. ord. 23)

Rta.: a)  $F/l = 3,6 \cdot 10^{-5}$  N/m; b)  $\vec{B} = -1,20 \cdot 10^{-5} \vec{j}$  T

### Datos

Intensidad de corriente por el conductor 1

Intensidad de corriente por el conductor 2

Distancia entre los conductores

Permeabilidad magnética del vacío

### Incógnitas

Fuerza por unidad de longitud que se ejercen mutuamente

Campo magnético en el punto medio entre los dos conductores

### Ecuaciones

Ley de Biot-Savart: campo magnético  $\vec{B}$  creado a una distancia  $r$  por un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente  $I$

Principio de superposición:

Ley de Laplace: fuerza magnética que ejerce un campo magnético,  $\vec{B}$ , sobre un tramo,  $l$ , de conductor recto por el que circula una intensidad de corriente,  $I$

### Cifras significativas: 3

$$I_1 = 12,0 \text{ A}$$

$$I_2 = 12,0 \text{ A}$$

$$d = 80,0 \text{ cm} = 0,800 \text{ m}$$

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

$$\vec{F}/l$$

$$\vec{B}$$

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

$$\vec{B} = \Sigma \vec{B}_i$$

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

### Solución:

a) El valor del campo magnético,  $\vec{B}$ , creado a una distancia,  $r$ , por un conductor recto por lo que circula una intensidad de corriente,  $I$ , viene dado por la ley de Biot-Savart:

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

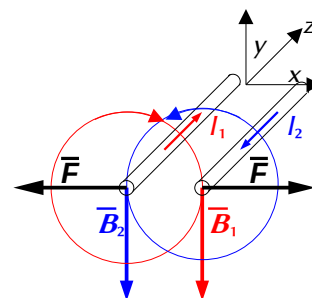
El campo magnético creado por un conductor rectilíneo es circular y su sentido viene dado por la regla de la mano derecha: el sentido del campo magnético es el de cierre de la mano derecha cuando el pulgar apunta en el sentido de la corriente.

En el diagrama se dibujan los campos magnéticos  $\vec{B}_1$  y  $\vec{B}_2$  creados por cada uno de los conductores en el otro conductor.

El campo magnético creado por el conductor 1 en el conductor 2, que dista 80 cm de él es:

$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r} (-\vec{j}) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} [\text{T} \cdot \text{m} \cdot \text{A}^{-1}] \cdot 12,0 [\text{A}]}{2\pi \cdot 0,800 [\text{m}]} (-\vec{j}) = -3,00 \cdot 10^{-6} \vec{j} \text{ T}$$

La fuerza por unidad de longitud que ejerce el conductor 1 sobre un conductor 2 vale:



$$\frac{\vec{F}}{l} = \frac{I_2(\vec{l} \times \vec{B}_1)}{l} = I_2(\vec{u}_1 \times \vec{B}_1) = 12,0 [\text{A}](-\vec{k} \times (-3,00 \cdot 10^{-6} \vec{j} [\text{T}])) = 3,60 \cdot 10^{-5} \vec{i} \text{ N/m}$$

El campo magnético creado por el conductor 2 en el conductor 1 es:

$$\vec{B}_2 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r}(-\vec{j}) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} [\text{T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}] \cdot 12,0 [\text{A}]}{2\pi \cdot 0,800 [\text{m}] }(-\vec{j}) = -3,00 \cdot 10^{-6} \vec{j} \text{ T}$$

La fuerza por unidad de longitud que se ejerce sobre un conductor 2 sobre un conductor 1 vale:

$$\frac{\vec{F}}{l} = \frac{I_1(\vec{l} \times \vec{B}_2)}{l} = I_1(\vec{u}_1 \times \vec{B}_2) = 12,0 [\text{A}](\vec{k} \times (-3,00 \cdot 10^{-6} \vec{j} [\text{T}])) = -3,60 \cdot 10^{-5} \vec{i} \text{ N/m}$$

*Análisis:* Los conductores que transportan la corriente en el mismo sentido se atraen y en sentido opuesto se repelen.

b) En el diagrama se dibujan los campos magnéticos  $\vec{B}_1$  y  $\vec{B}_2$  creados por ambos conductores en el punto medio.

El campo magnético creado por el conductor 1 en el punto equidistante de ambos conductores es:

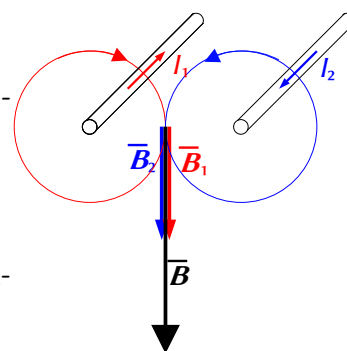
$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r_1}(-\vec{j}) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} [\text{T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}] \cdot 12,0 [\text{A}]}{2\pi \cdot 0,400 [\text{m}]}(-\vec{j}) = -6,00 \cdot 10^{-6} \vec{j} \text{ T}$$

El campo magnético creado por el conductor 2 en el punto equidistante de ambos conductores vale lo mismo:

$$\vec{B}_2 = -6,00 \cdot 10^{-6} \vec{j} \text{ T}$$

El campo magnético resultante es la suma vectorial de ambos:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 = -6,00 \cdot 10^{-6} \vec{j} [\text{T}] + (-6,00 \cdot 10^{-6} \vec{j} [\text{T}]) = -1,20 \cdot 10^{-5} \vec{j} \text{ T}$$



La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo [Física \(es\)](#).

Las instrucciones para el manejo de esta hoja de cálculo pueden verse en el enlace [instrucciones](#).

Para ir a la hoja para resolver un problema de conductores puede elegir una de estas opciones:

- Pulse en el icono ►, del grupo ◀ ◀ ► ► situado en la parte inferior izquierda, varias veces hasta que vea la pestaña Conductores. Luego pulse en esa pestaña.
- En el índice, presione la tecla [Ctrl] mientras pulsa en la celda [Campo y fuerza magnética entre conductores paralelos](#) del capítulo **Electromagnetismo**.

Escriba los datos en las celdas de color blanco con borde azul. Pulse en las celdas de color naranja para elegir entre las opciones que se presentan.

Intensidad en el conductor 1	$I_1 =$	<input type="text" value="12"/>	A		+
Intensidad en el conductor 2	$I_2 =$	<input type="text" value="12"/>	A	Sentido	<input type="text" value="-"/>
Separación entre conductores	$s =$	<input type="text" value="80"/>	cm		
Distancia del punto P al conductor 1	$d_1 =$	<input type="text" value="40"/>	cm		
Distancia del punto P al conductor 2	$d_2 =$	<input type="text" value="40"/>	cm		

Los resultados son:

Campo magnético en el punto P		Cifras significativas:	<input type="text" value="3"/>
debido al conductor 1	$B_1 =$	$6,00 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	
debido al conductor 2	$B_2 =$	$+6,00 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	
b) resultante	$B_p =$	$1,20 \cdot 10^{-5} \text{ T}$	
a) Fuerza entre los conductores 1 y 2	$F_{12} =$	$3,60 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}$	

2. Dos hilos conductores rectos muy largos y paralelos (A y B) con corrientes  $I_A = 5 \text{ A}$  e  $I_B = 3 \text{ A}$  en el mismo sentido están separados 0,2 m. Calcula:

- a) El campo magnético en el punto medio entre los dos conductores (D)  
 b) La fuerza ejercida sobre un tercer conductor C paralelo los anteriores, de 0,5 m y con  $I_C = 2$  A y que pasa por D.

Dato:  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  S.I.

(P.A.U. Sep. 06)

**Rta.:** a)  $\vec{B} = 4,0 \cdot 10^{-6}$  T perpendicular a los hilos ; b)  $\vec{F} = 4,0 \cdot 10^{-6}$  N hacia A

### Datos

Intensidad de corriente por el conductor A

Intensidad de corriente por el conductor B

Distancia entre los conductores

Permeabilidad magnética del vacío

Intensidad de corriente por el conductor C

Longitud del conductor C

### Incógnitas

Campo magnético en el punto D medio entre los dos conductores

Fuerza ejercida sobre un tercer conductor C que pasa por D

### Ecuaciones

Ley de Biot-Savart: campo magnético,  $\vec{B}$ , creado a una distancia,  $r$ , por un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente,  $I$

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

Principio de superposición:

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$

Ley de Laplace: fuerza magnética que ejerce un campo magnético,  $\vec{B}$ , sobre un tramo,  $l$ , de conductor recto por el que circula una intensidad de corriente,  $I$

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

### Cifras significativas: 3

$I_A = 5,00$  A

$I_B = 3,00$  A

$d = 0,200$  m

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  T·m·A<sup>-1</sup>

$I_C = 2,00$  A

$l = 0,500$  m

$\vec{B}_D$

$\vec{F}_C$

### Solución:

- a) El valor del campo magnético,  $\vec{B}$ , creado a una distancia,  $r$ , por un conductor recto por lo que circula una intensidad de corriente,  $I$ , viene dado por la ley de Biot-Savart:

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

El campo magnético creado por un conductor rectilíneo es circular y su sentido viene dado por la regla de la mano derecha: el sentido del campo magnético es el de cierre de la mano derecha cuando el pulgar apunta en el sentido de la corriente.

En el diagrama se dibujan los campos magnéticos  $\vec{B}_A$  y  $\vec{B}_B$  creados por ambos conductores en el punto medio D.

El campo magnético creado por el conductor A en el punto D equidistante de ambos conductores es:

$$\vec{B}_{DA} = \frac{\mu_0 \cdot I_A}{2\pi \cdot r} (-\vec{k}) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} [\text{T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}] \cdot 5,00 [\text{A}]}{2\pi \cdot 0,100 [\text{m}]} (-\vec{k}) = -1,00 \cdot 10^{-5} \vec{k} \text{ T}$$

El campo magnético creado por el conductor B en el punto D equidistante de ambos conductores es:

$$\vec{B}_{DB} = \frac{\mu_0 \cdot I_B}{2\pi \cdot r} \vec{k} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} [\text{T}\cdot\text{m}\cdot\text{A}^{-1}] \cdot 3,00 [\text{A}]}{2\pi \cdot 0,100 [\text{m}]} \vec{k} = 6,00 \cdot 10^{-6} \vec{k} \text{ T}$$

El campo magnético resultante es la suma vectorial de ambos:

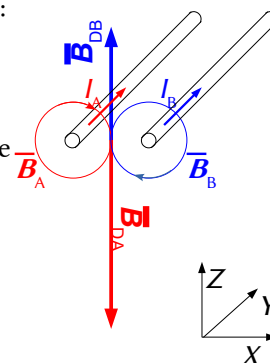
$$\vec{B}_D = \vec{B}_{DA} + \vec{B}_{DB} = -1,00 \cdot 10^{-5} \vec{k} [\text{T}] + 6,00 \cdot 10^{-6} \vec{k} [\text{T}] = -4,0 \cdot 10^{-6} \vec{k} \text{ T}$$

- b) La fuerza que se ejerce sobre un conductor C situado en D es:

$$\vec{F}_B = I(\vec{l} \times \vec{B}) = 2,00 [\text{A}] (0,500 \vec{j} [\text{m}] \times (-4,0 \cdot 10^{-6} \vec{k} [\text{T}])) = -4,0 \cdot 10^{-6} \vec{i} \text{ N}$$

Está dirigida hacia el conductor A si el sentido de la corriente es el mismo que el de los otros conductores.

*Análisis:* Los conductores que transportan la corriente en el mismo sentido se atraen y en si lo hacen en sentido opuesto, se repelen. Aunque se ve atraído por ambos conductores, lo será con mayor fuerza por el que circula mayor intensidad, o sea el A.



La mayor parte de las respuestas puede calcularse con la hoja de cálculo [Física \(es\)](#).



Las instrucciones para el manejo de esta hoja de cálculo pueden verse en el enlace [instrucciones](#).

Para ir a la hoja para resolver un problema de conductores puede elegir una de estas opciones:

- Pulse en el icono ►, del grupo ◀◀▶▶ situado en la parte inferior izquierda, varias veces hasta que vea la pestaña Conductores. Luego pulse en esa pestaña.
- En el índice, presione la tecla [Ctrl] mientras pulsa en la celda [Campo y fuerza magnética entre conductores paralelos](#) del capítulo **Electromagnetismo**.

Escriba los datos en las celdas de color blanco con borde azul. Pulse en las celdas de color naranja para elegir entre las opciones que se presentan.

Intensidad en el conductor 1	$I_1 =$	5 A	Sentido	+
Intensidad en el conductor 2	$I_2 =$	3 A		+
Separación entre conductores	$s =$	0,2 m		
Distancia del punto P al conductor 1	$d_1 =$	0,1 m		
Distancia del punto P al conductor 2	$d_2 =$	0,1 m		
Intensidad en el conductor 3	$I_3 =$	2 A		
Longitud del conductor 3	$L_3 =$	50 cm		

Los resultados son:

Campo magnético en el punto P	Cifras significativas:	3
debido al conductor 1	$B_1 =$	$1,00 \cdot 10^{-5}$ T
debido al conductor 2	$B_2 =$	$-6,00 \cdot 10^{-6}$ T
a) resultante	$B_p =$	$4,00 \cdot 10^{-6}$ T
Fuerza entre los conductores 1 y 2	$F_{12} =$	$1,50 \cdot 10^{-5}$ N/m
b) Fuerza sobre el cond. 3 en el punto P	$F =$	$4,00 \cdot 10^{-6}$ N

3. Indica cuál es el módulo, dirección y sentido del campo magnético creado por un hilo conductor recto recorrido por una corriente y realiza un esquema que ilustre las características de dicho campo. Considérese ahora que dos hilos conductores rectos y paralelos de gran longitud transportan su respectiva corriente eléctrica.

- Sabiendo que la intensidad de una de las corrientes es el doble que la de la otra corriente y que, estando separados 10 cm, se atraen con una fuerza por unidad de longitud de  $4,8 \cdot 10^{-5}$  N·m<sup>-1</sup>, calcula las intensidades que circulan por los hilos.
- ¿Cuánto vale el campo magnético en un punto situado entre los dos hilos, a 3 cm del que transporta menos corriente?

Dato:  $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$  N·A<sup>-2</sup>

(P.A.U. Jun. 15)

**Rta.:** b)  $I_1 = 3,46$  A;  $I_2 = 6,93$  A; c)  $B = 3,3$   $\mu$ T

#### Datos

Intensidad de corriente por el segundo conductor

Distancia entre los dos conductores

Fuerza de atracción por unidad de longitud

Permeabilidad magnética del vacío

#### Incógnitas

Intensidades que circulan por los hilos

Campo magnético a 3 cm del hilo con menos corriente

#### Ecuaciones

Ley de Biot-Savart: campo magnético,  $\vec{B}$ , creado a una distancia,  $r$ , por un conductor recto por el que circula una intensidad de corriente,  $I$

Principio e superposición:

Ley de Laplace: fuerza magnética que ejerce un campo magnético,  $\vec{B}$ , sobre un tramo,  $l$ , de conductor recto por el que circula una intensidad de corriente,  $I$

#### Cifras significativas: 3

$$I_2 = 2 I_1$$

$$d = 10,0 \text{ cm} = 0,100 \text{ m}$$

$$F / l = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$$

$$I_1, I_2$$

$$\vec{B}$$

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

$$\vec{B} = \sum \vec{B}_i$$

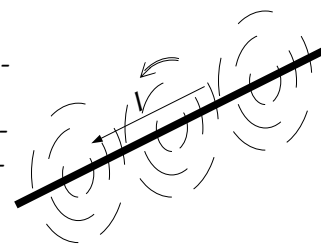
$$\vec{F}_B = I(\vec{l} \times \vec{B})$$

#### Solución:

a) El campo magnético creado por un conductor rectilíneo es circular y su sentido viene dado por la regla de la mano derecha: el sentido del campo magnético es el de cierre de la mano derecha cuando el pulgar apunta en el sentido de la corriente.

El valor del campo magnético,  $\vec{B}$ , creado a una distancia,  $r$ , por un conductor recto por lo que circula una intensidad de corriente,  $I$ , viene dado por la ley de Biot-Savart:

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



b) La fuerza entre dos conductores rectilíneos paralelos se obtiene sustituyendo en la ecuación de Lorentz la expresión de la ley de Biot-Savart.

$$F_{21} = I_1 \cdot l \cdot B_2 = I_1 \cdot l \cdot \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2\pi \cdot r} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{2\pi \cdot r}$$

Sustituyendo los datos, teniendo en cuenta que la fuerza es por unidad de longitud ( $l = 1 \text{ m}$ ):

$$4,8 \cdot 10^{-5} [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} [\text{N} \cdot \text{A}^{-2}] \cdot I_1 \cdot 2 I_1}{2\pi \cdot 0,100 [\text{m}]}$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{4,8 \cdot 10^{-5} [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \cdot 2\pi \cdot 0,100 [\text{m}]}{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} [\text{N} \cdot \text{A}^{-2}]}} = 3,46 \text{ A}$$

$$I_2 = 2 I_1 = 6,93 \text{ A}$$

c) En el diagrama se dibujan los campos magnéticos  $\vec{B}_1$  y  $\vec{B}_2$  creados por ambos conductores en el punto 3 a 3 cm de  $I_1$ .

El campo magnético creado por el conductor 1 a 3 cm de distancia es:

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\pi \cdot r_1} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} [\text{N} \cdot \text{A}^{-2}] \cdot 3,46 [\text{A}]}{2\pi \cdot 0,030 [\text{m}]} = 2,31 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

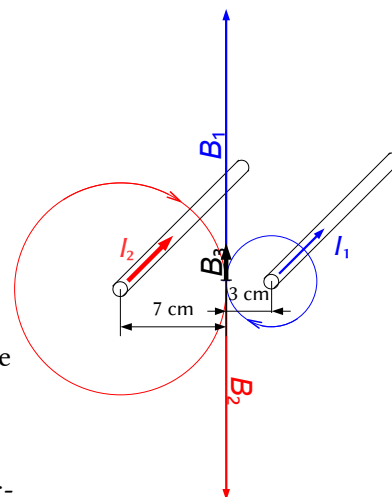
El campo magnético creado por el conductor 2 a 7 cm de distancia es:

$$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2\pi \cdot r_2} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} [\text{N} \cdot \text{A}^{-2}] \cdot 6,93 [\text{A}]}{2\pi \cdot 0,070 [\text{m}]} = 1,98 \cdot 10^{-5} \text{ T}$$

Como los campos son de sentidos opuestos, el campo magnético resultante en el punto que dista 3 cm es:

$$B_3 = B_1 - B_2 = 2,31 \cdot 10^{-5} [\text{T}] - 1,98 \cdot 10^{-5} [\text{T}] = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ T}$$

La dirección del campo magnético resultante es perpendicular al plano formado por los dos conductores y el sentido es el del campo magnético del hilo más cercano, (en el dibujo, hacia el borde superior de la página).



## Sumario

### MAGNETISMO

<i>Carga en un campo magnético.....</i>	<i>1</i>
1. Un protón con una energía cinética de $4,0 \cdot 10^{-15}$ J penetra perpendicularmente en un campo magnético uniforme de 40 mT. Calcula:.....	1
a) El módulo de la fuerza a la que está sometido el protón dentro del campo.....	
b) El tipo de movimiento realizado por el protón, la trayectoria que describe y el radio de esta.....	
2. Una partícula de masa 8 ng y carga eléctrica $-2 \mu\text{C}$ entra en una región del espacio en la que hay un campo magnético $B = 3 \text{ j T}$ , con una velocidad $v = 6 \text{ i km}\cdot\text{s}^{-1}$ . Calcula:.....	2
a) La velocidad angular con que se mueve.....	
b) La intensidad de campo eléctrico (vector) que se debe aplicar para que la partícula siga una trayectoria rectilínea.....	
3. Un protón acelerado por una diferencia de potencial de 5000 V penetra perpendicularmente en un campo magnético uniforme de 0,32 T. Calcula:.....	4
a) La velocidad del protón.....	
b) El radio de la órbita que describe y el número de vueltas que da en 1 segundo.....	
<i>Fuerza entre conductores.....</i>	<i>6</i>
1. Dos conductores rectilíneos, paralelos e infinitos, están situados en el plano yz, en la dirección del eje z, separados una distancia de 80 cm. Si por cada uno de ellos circula una corriente de 12 A en sentidos contrarios, calcula:.....	6
a) La fuerza por unidad de longitud que se ejercen mutuamente, indicando la dirección y el sentido de esta.....	
b) El vector campo magnético en el punto medio de la distancia que separa los conductores.....	
2. Dos hilos conductores rectos muy largos y paralelos (A y B) con corrientes $I_A = 5 \text{ A}$ e $I_B = 3 \text{ A}$ en el mismo sentido están separados 0,2 m. Calcula:.....	7
a) El campo magnético en el punto medio entre los dos conductores (D).....	
b) La fuerza ejercida sobre un tercer conductor C paralelo los anteriores, de 0,5 m y con $I_C = 2 \text{ A}$ y que pasa por D.....	
3. Indica cuál es el módulo, dirección y sentido del campo magnético creado por un hilo conductor recto recorrido por una corriente y realiza un esquema que ilustre las características de dicho campo. Considérese ahora que dos hilos conductores rectos y paralelos de gran longitud transportan su respectiva corriente eléctrica.....	9
a) Sabiendo que la intensidad de una de las corrientes es el doble que la de la otra corriente y que, estando separados 10 cm, se atraen con una fuerza por unidad de longitud de $4,8 \cdot 10^{-5} \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ , calcula las intensidades que circulan por los hilos.....	
b) ¿Cuánto vale el campo magnético en un punto situado entre los dos hilos, a 3 cm del que transporta menos corriente?.....	