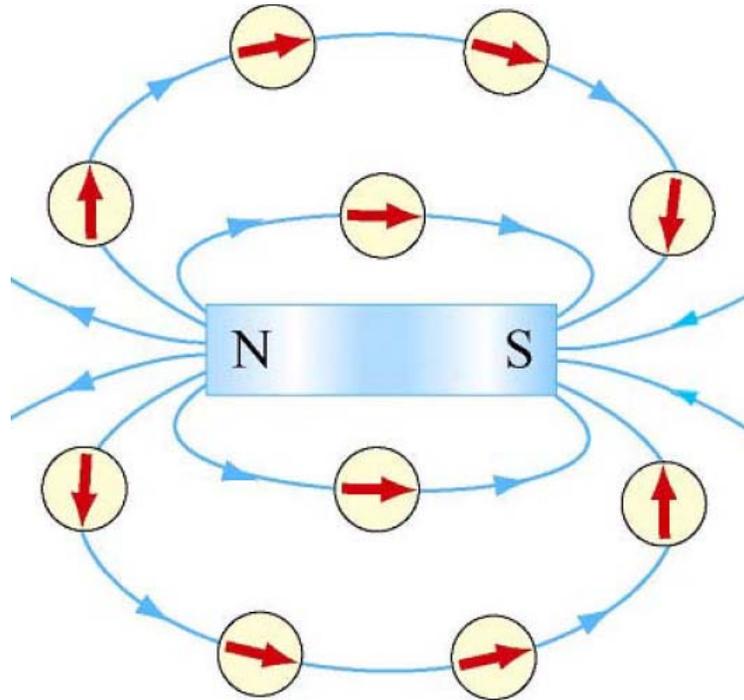


Física II- Curso de Verano 2014

Clase 3

CAMPOS MAGNÉTICOS

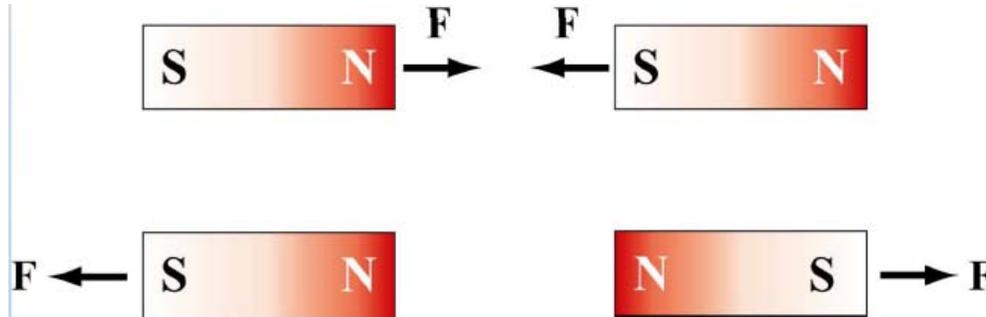
CAMPO MAGNÉTICO PRODUCIDO POR UN IMÁN



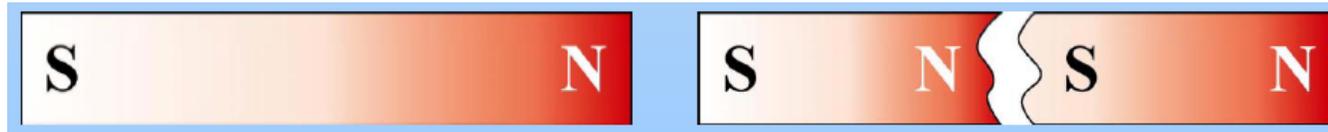
(1) Un imán tiene dos polos Norte (N) y Sur (S)

(2) Las líneas de campo van de N a S

Los polos distintos se atraen y los polos iguales se repelen.



Los monopolos magnéticos aislados no existen.



Esto lo expresamos matemáticamente así:

$$\oiint_S \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = 0$$

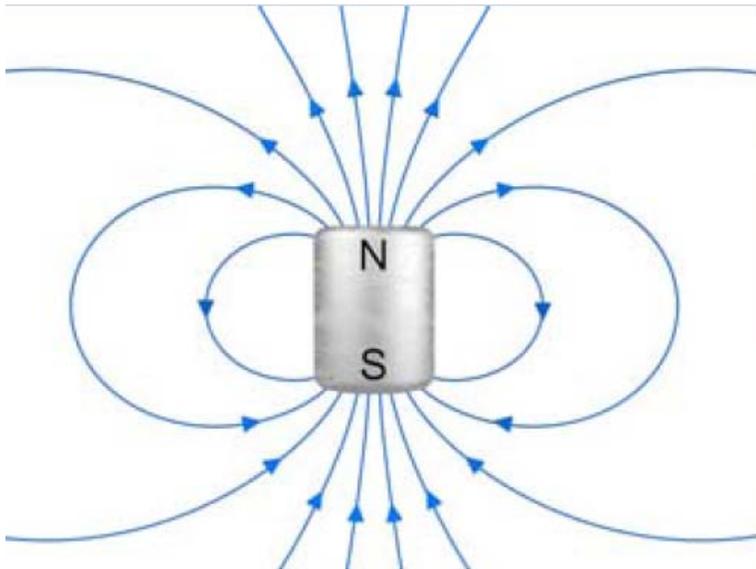
Ley de gauss Magnética

Recordemos la Ley de Gauss eléctrica:

$$\oiint_S \vec{\mathbf{E}} \cdot d\vec{\mathbf{A}} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

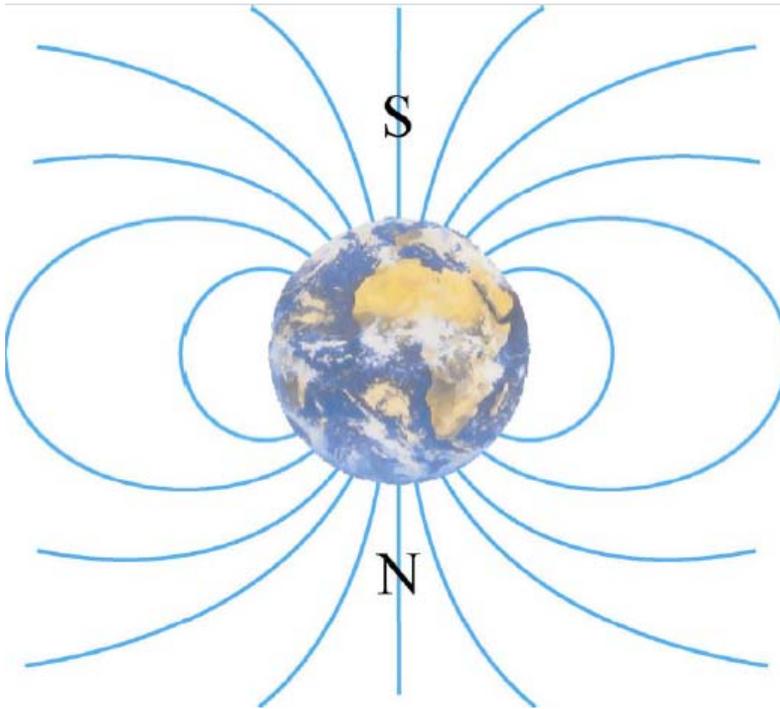
Las líneas de campo se cierran sobre sí mismas.

Entonces, ¿cómo serán las líneas de campo dentro de este imán?



1. Apuntan hacia arriba
2. Apuntan hacia abajo
3. Apuntan a la derecha
4. Apuntan a la izquierda
5. No hay líneas de campo

CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA



La Tierra es un dipolo magnético!

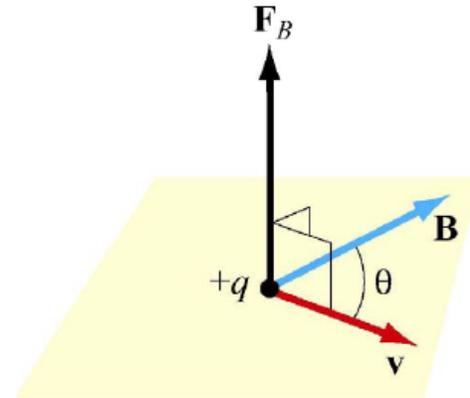
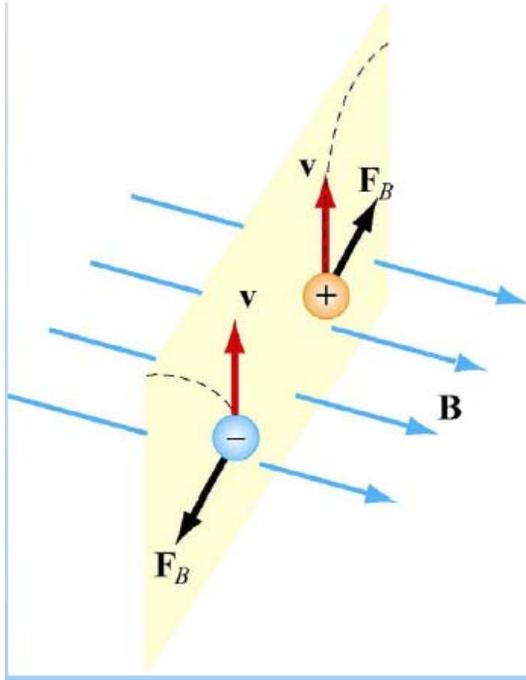
El polo N magnético está ubicado en el polo S geográfico.

PC 1- Si el imán y la brújula de la figura está arriba de una mesa, hacia dónde apuntará la aguja de la brújula (flecha: parte coloreada rojo: N)

1. Arriba
2. Abajo
3. Derecha
4. Izquierda
5. Otra dirección



Las cargas se mueven bajo la acción de un campo magnético.



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

La fuerza magnética es perpendicular a la velocidad de la carga (\mathbf{v}) y al campo magnético (\mathbf{B})

Unidades de Campo B

Como

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

$$\text{Unidad de B} = \frac{\text{Newton}}{(\text{Coulomb})(\text{m/s})} = \frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \text{m/s}} = \frac{\text{N}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

$$= 1 \text{ T (Tesla)}$$

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ Gauss (G)}$$

Campo terrestre:

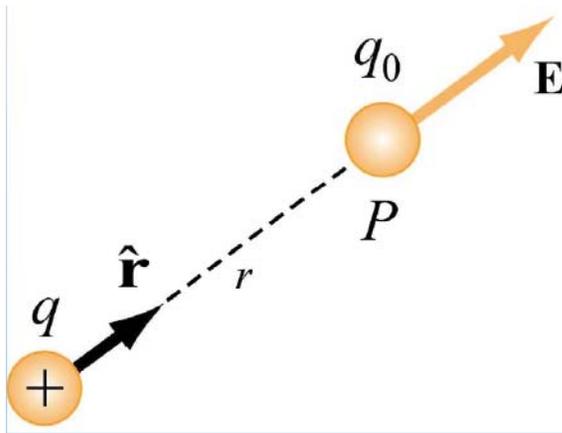
$$5 \times 10^{-5} \text{ T} = 0.5 \text{ G}$$

FUENTES DE CAMPO MAGNÉTICO

¿Cómo podemos crear campos magnéticos?

- Con imanes
- **Cargas eléctricas en movimiento**

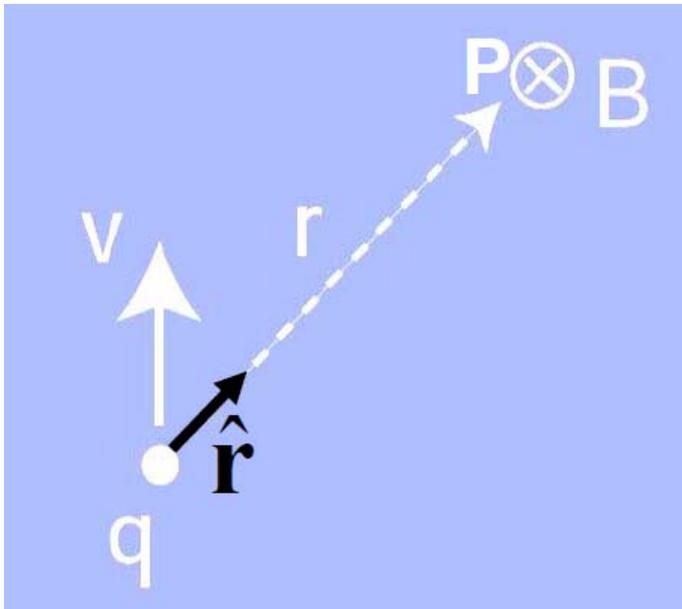
Recordemos que una carga eléctrica produce un campo eléctrico:



$$\vec{\mathbf{E}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Campo magnético \mathbf{B} debido a una carga que se mueve

Una carga q que se mueve con velocidad \mathbf{v} produce un campo magnético \mathbf{B} :



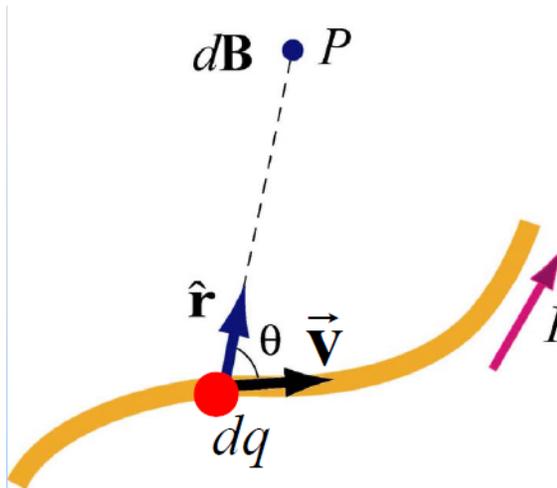
$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \vec{\mathbf{v}} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

$\hat{\mathbf{r}}$: Vector unitario que se dirige de q a P

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

Permeabilidad del espacio vacío

Campo magnético \mathbf{B} debido a una corriente



$$d\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\vec{\mathbf{s}} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

Ley de Biot Savart

$$\vec{\mathbf{B}} = \int_{\text{wire}} d\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int_{\text{wire}} \frac{d\vec{\mathbf{s}} \times \hat{\mathbf{r}}}{r^2}$$

$d\mathbf{B}$ es la contribución del elemento de corriente $I d\mathbf{s}$

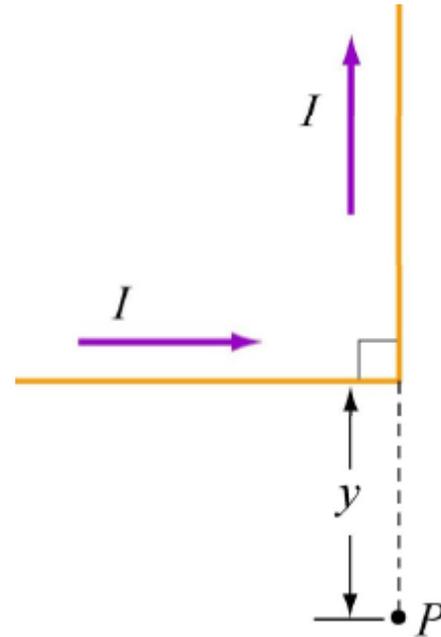
r : es la distancia desde el elemento de corriente hasta el punto

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m/A}$ (permeabilidad del espacio vacío)

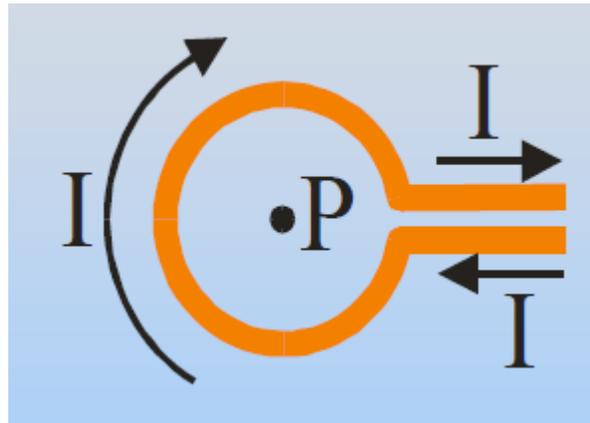
PC 2–

El campo magnético en el punto P apunta:

1. En la dirección de X positivo
2. En la dirección de y positivo
3. En la dirección de z positivo
4. En la dirección de X negativo
5. En la dirección de y negativo
6. En la dirección de z negativo
7. El campo es nulo.

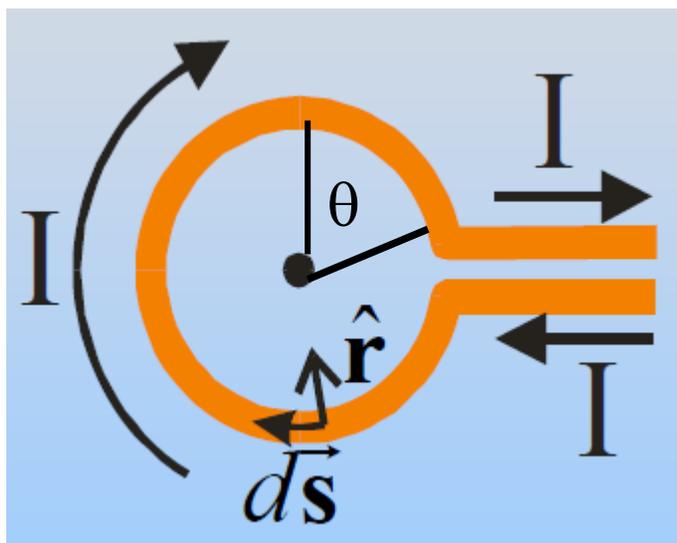


Ejemplo: Considere una espira de radio R por la que circula una corriente I como la de la figura. Encontrar el campo \mathbf{B} en el punto P (centro de la espira).



Resolución:

- 1-Las secciones rectas no contribuyen a \mathbf{B} en el punto P porque el vector r es paralelo a I (dibújelo).
- 2- Tenemos que usar la ley de Biot Savart para calcular el campo debido a la sección circular.



Para la parte circular

$$d\vec{s} \perp \hat{r} \rightarrow |d\vec{s} \times \hat{r}| = ds$$

Biot Savart

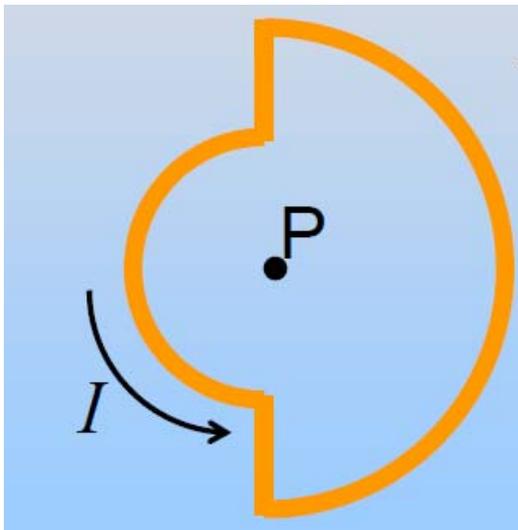
$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{|d\vec{s} \times \hat{r}|}{r^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{ds}{r^2}$$

$$= \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{R d\theta}{R^2} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\theta}{R}$$

$$B = \int dB = \int_0^{2\pi} \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\theta}{R} = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2\pi)$$

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2R} \text{ Entrando a la página}$$

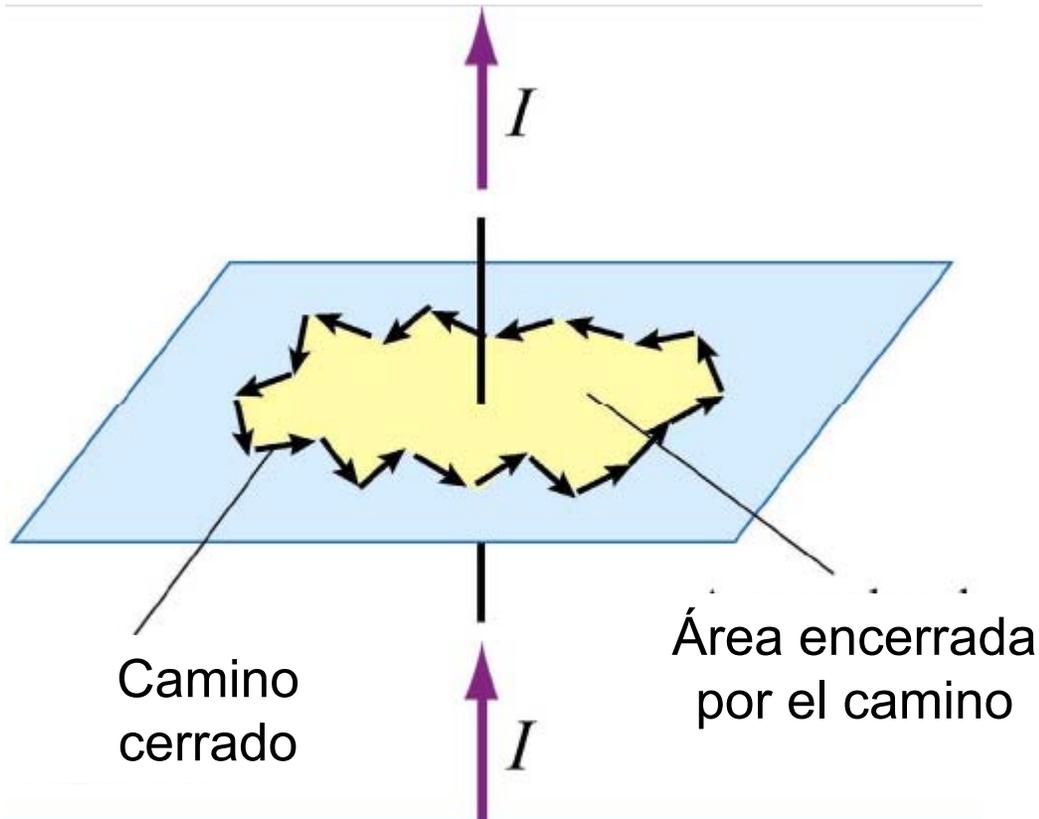
Ejercicio- Encontrar B en el punto P en la siguiente situación:



Una espira tiene radio R y la otra $2R$.

Ley de Ampere

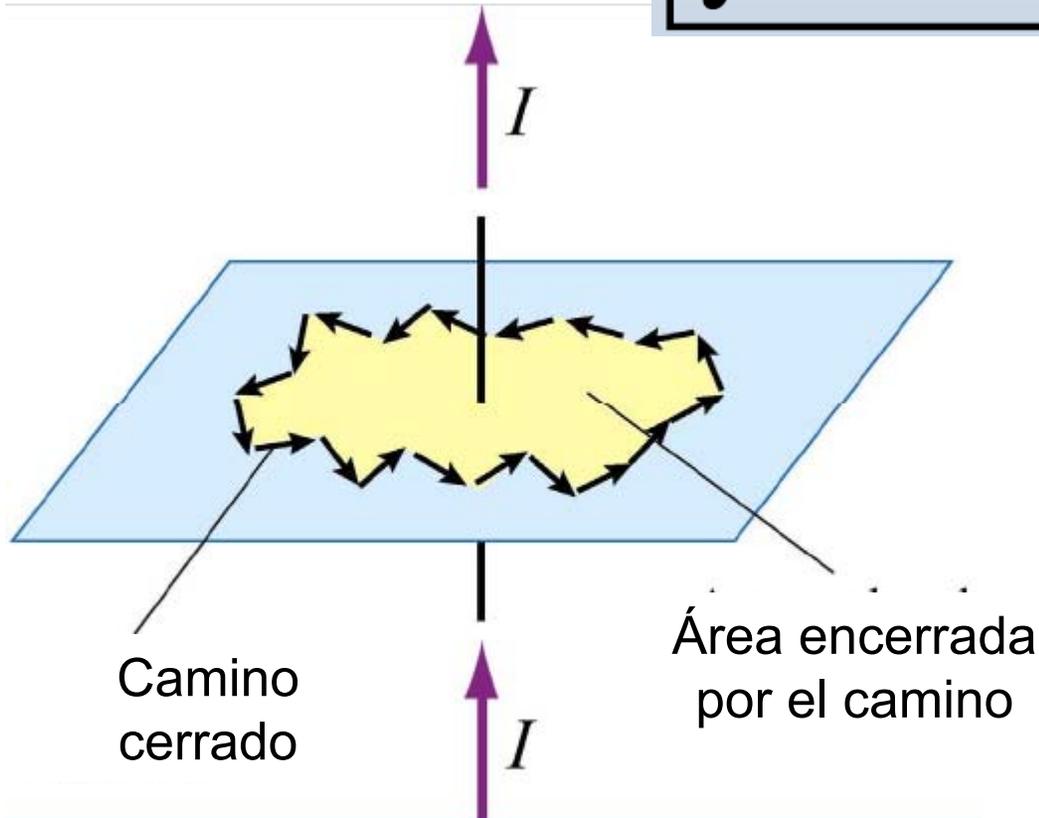
Ley de Ampere: la idea



Para tener un campo magnético total no nulo alrededor del lazo cerrado una corriente tiene que atravesar el área que delimita el lazo.

Ley de Ampere: la expresión matemática (ecuación)

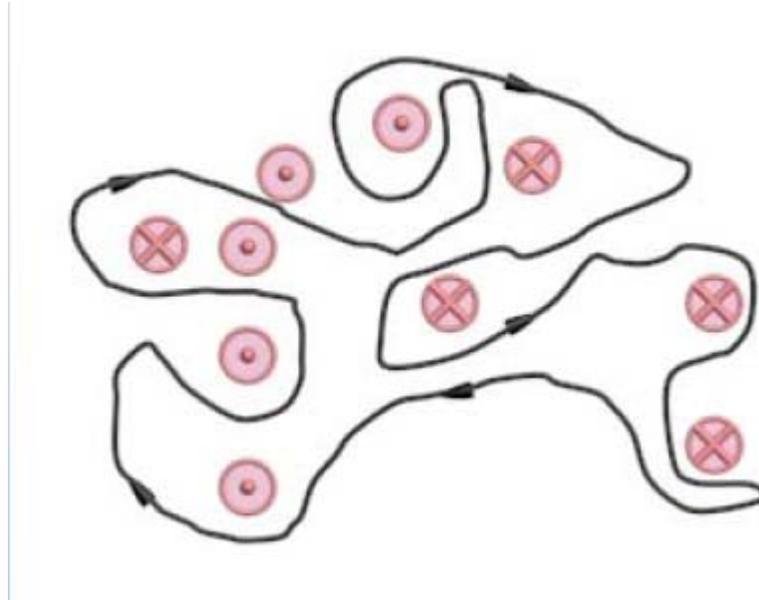
$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = \mu_0 I_{enc}$$



La integral de línea del campo magnético a lo largo de una trayectoria cerrada que encierra una superficie (S) es proporcional a la corriente que atraviesa la superficie delimitada por esa curva.

$$I_{enc} = \iint_S \vec{\mathbf{J}} \cdot d\vec{\mathbf{A}}$$

Pregunta Conceptual 3:



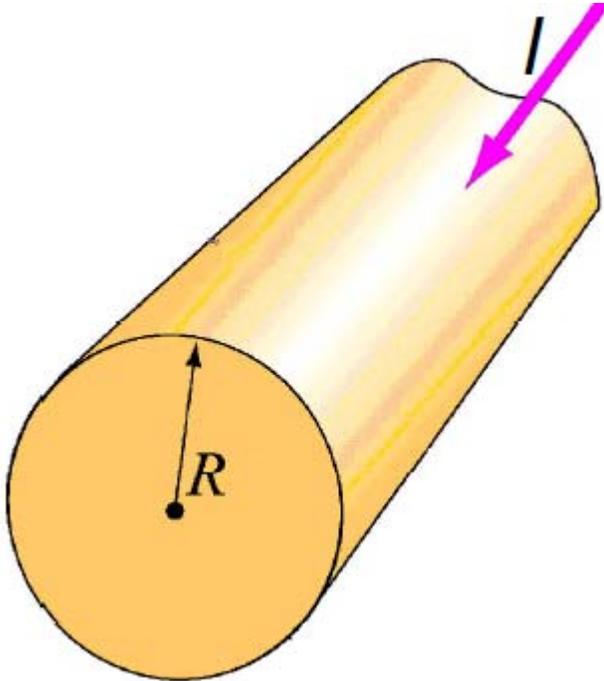
La integral de \mathbf{B} a lo largo de la curva de la figura es:

1. Positiva
2. Negativa
3. Nula

IMPORTANTE

La ley de Ampere vale para cualquier distribución de corrientes y para cualquier superficie cerrada pero es útil para calcular campos magnéticos en ciertas ocasiones en las cuales hay simetría en la distribución de corrientes.

EJEMPLO: Conductor infinito



Por un conductor cilíndrico de radio R circula una corriente I .

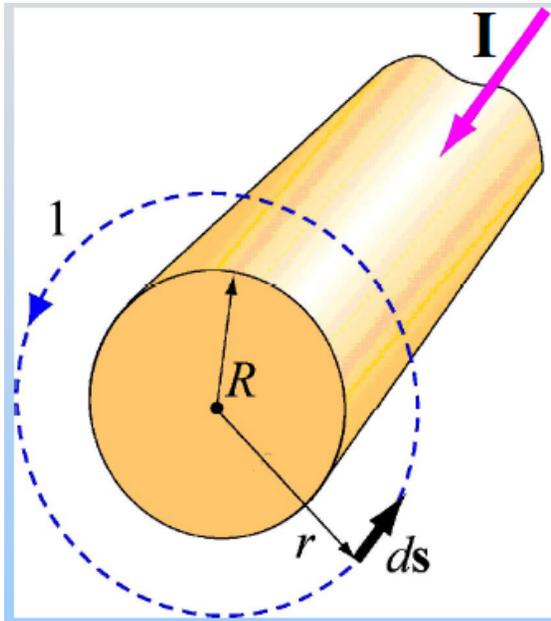
Calcular el campo

(a) fuera ($r > R$) y

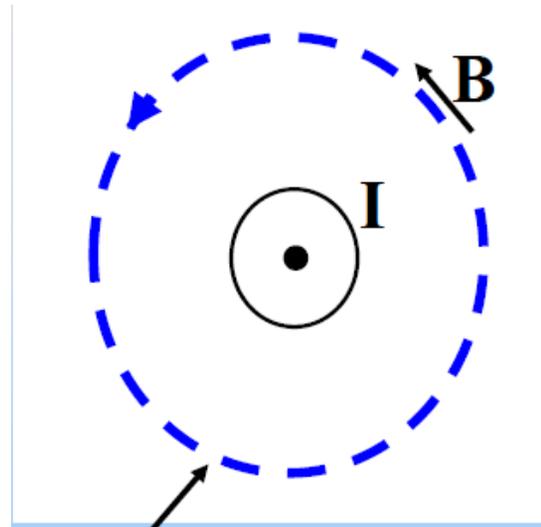
(b) dentro ($r < R$) del conductor

Resolución

(a) $r > R$



Simetría cilíndrica

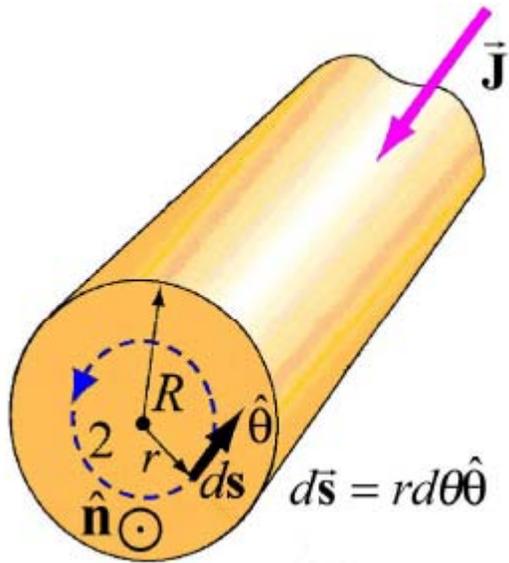


Amperiana: \mathbf{B} es constante y tiene la dirección de la curva en todos los puntos.

$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = B \oint ds = B(2\pi r) = \mu_0 I_{enc} = \mu_0 I$$

$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \hat{\theta}$$

(b) $r < R$



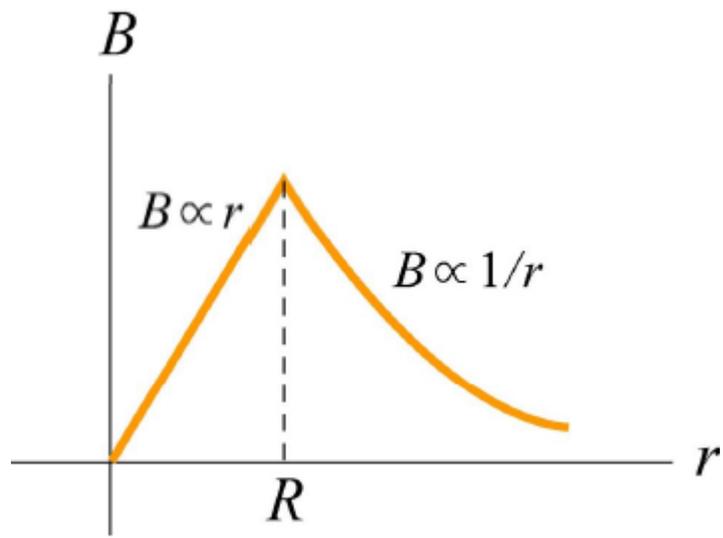
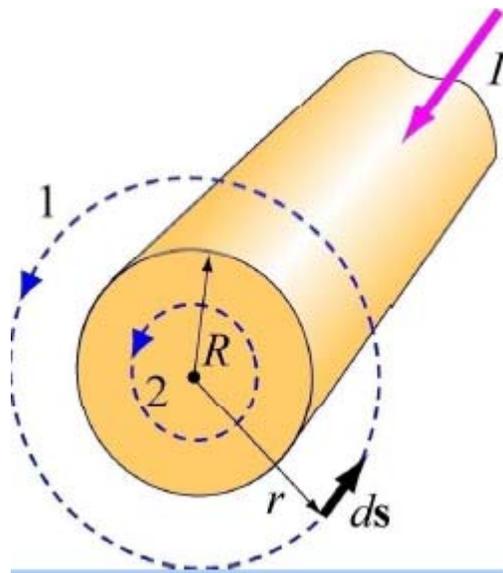
$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = B \oint ds = B(2\pi r)$$

$$= \mu_0 I_{enc} = \mu_0 I \left(\frac{\pi r^2}{\pi R^2} \right)$$

$$\vec{\mathbf{B}} = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} \hat{\boldsymbol{\theta}}$$

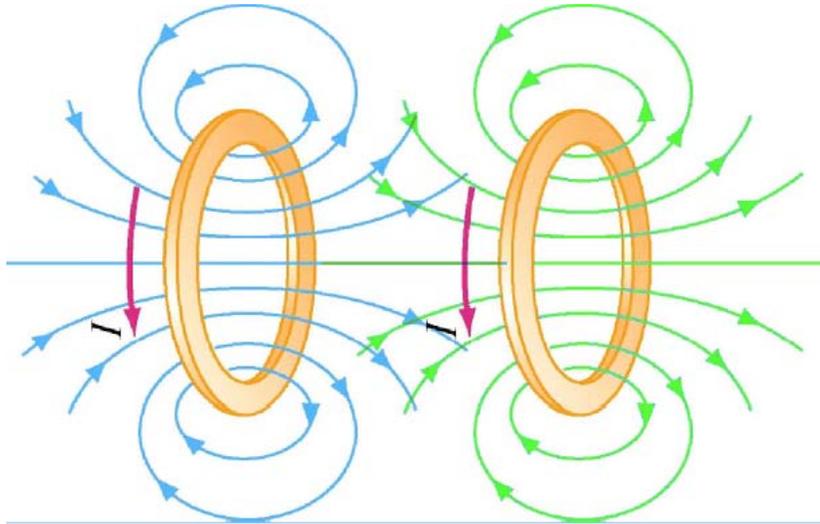
$$J = \frac{I}{A} = \frac{I}{\pi R^2}$$

$$I_{enc} = J A_{enc} = \frac{I}{\pi R^2} (\pi r^2)$$

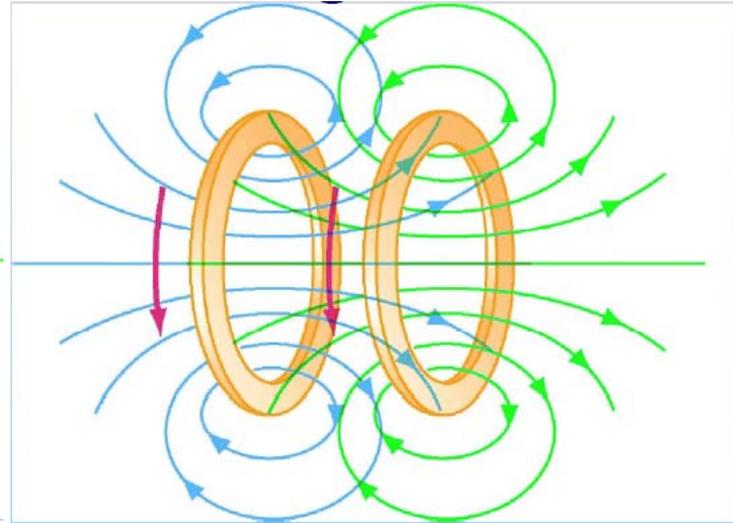


$$B_{in} = \frac{\mu_0 I r}{2\pi R^2} \quad B_{out} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

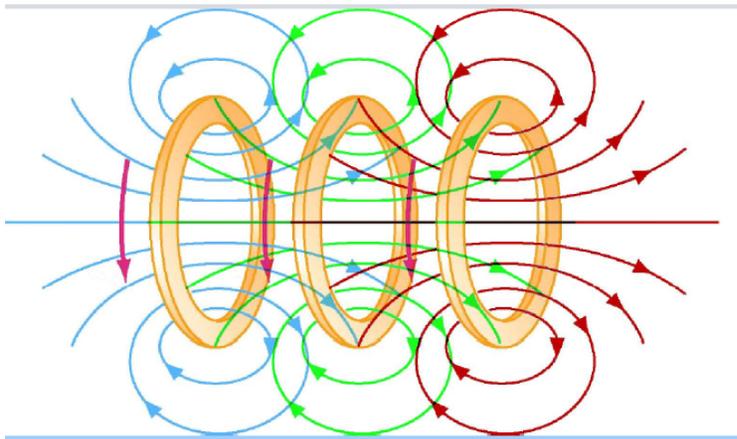
2 espiras



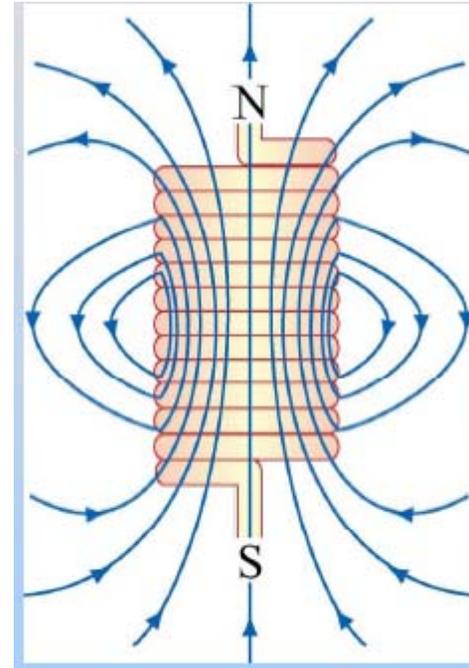
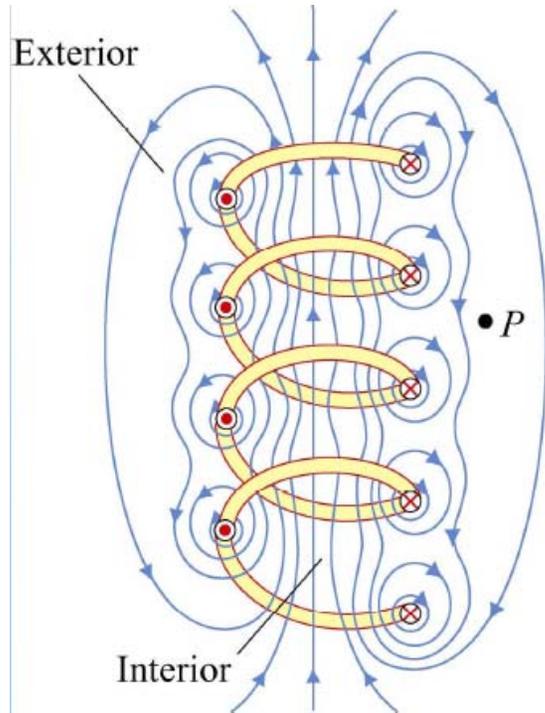
2 espiras más
próximas



3 espiras

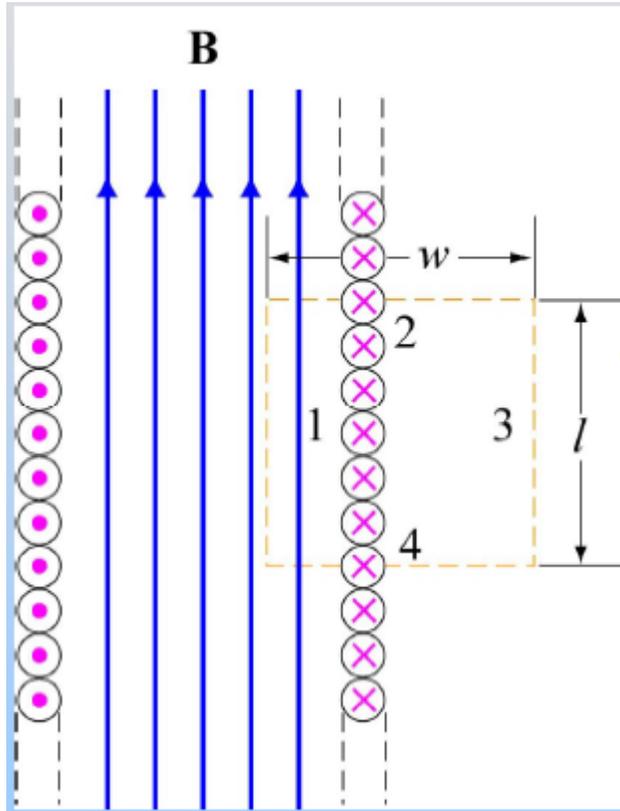


Muchas espiras: **SOLENOIDE**



SOLENOIDE IDEAL: \mathbf{B} es uniforme adentro y cero afuera

CAMPO MAGNÉTICO DEBIDO A UN SOLENOIDE IDEAL



$$\begin{cases} \vec{\mathbf{B}} \perp d\vec{\mathbf{s}} & \text{en 2 y 4} \\ \vec{\mathbf{B}} = 0 & \text{en 3} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} &= \int_1 \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} + \int_2 \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} + \int_3 \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} + \int_4 \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} \\ &= Bl + 0 + 0 + 0 \end{aligned}$$

$$I_{enc} = n l I$$

n número de
vueltas por unidad
de longitud

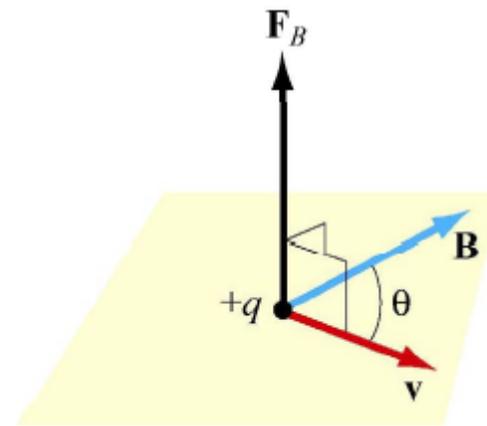
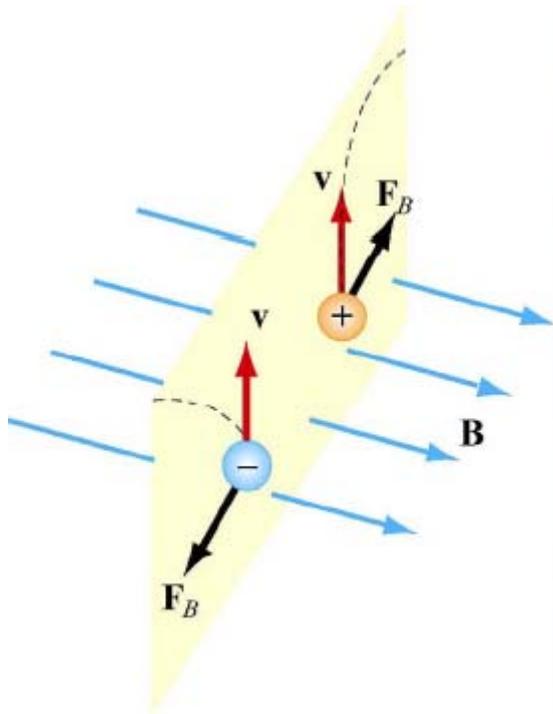
$$n = N / L$$

$$\oint \vec{\mathbf{B}} \cdot d\vec{\mathbf{s}} = Bl = \mu_0 n l I$$

$$B = \frac{\mu_0 n l I}{l} = \mu_0 n I$$

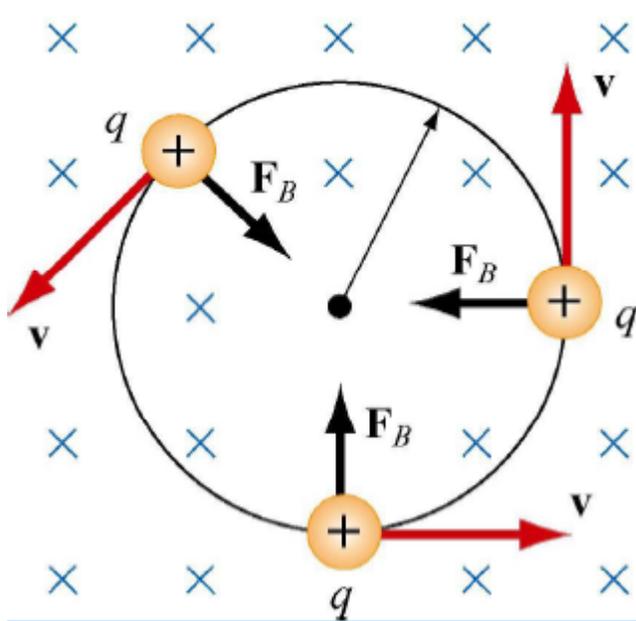
FUERZA MAGNÉTICA

Fuerzas magnéticas sobre cargas



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

Movimiento de una carga en un campo magnético uniforme



Como F_B es perpendicular a la velocidad de la carga no cambia la magnitud de la velocidad sino sólo su dirección. La partícula sigue un movimiento circular, F_B es la fuerza radial.

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

Período

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

Velocidad angular

Fuerza de Lorentz

Carga en un campo eléctrico:

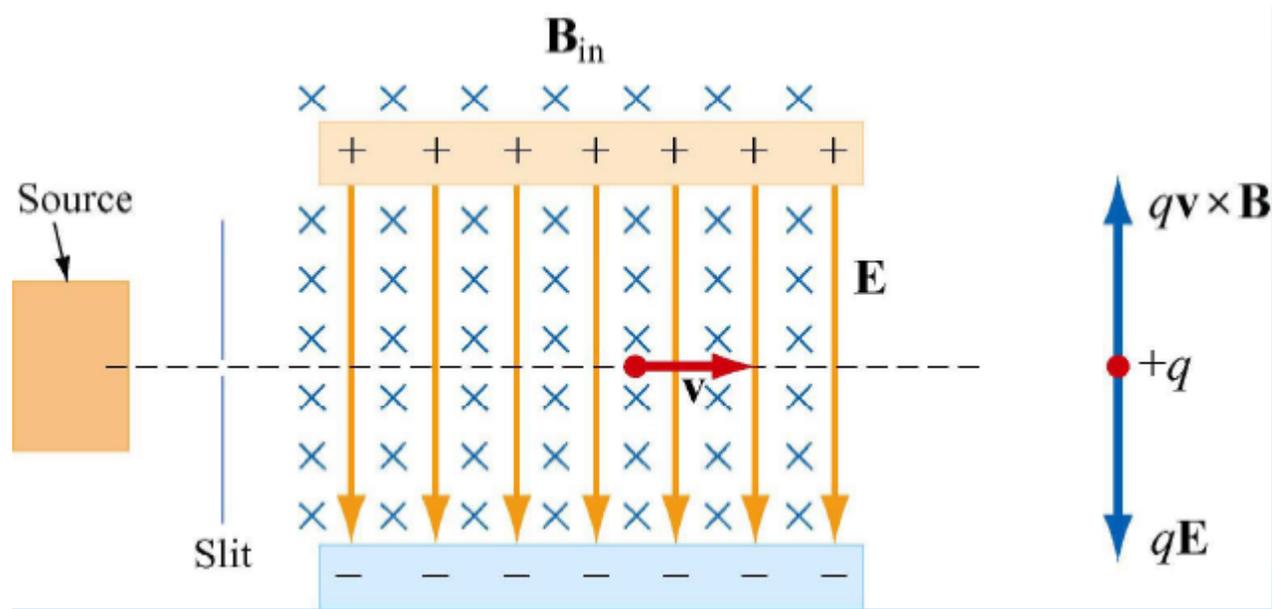
$$\vec{\mathbf{F}}_E = q\vec{\mathbf{E}}$$

Carga en un campo magnético

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

$$\vec{\mathbf{F}} = q\left(\vec{\mathbf{E}} + \vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}}\right)$$

APLICACIONES: Selector de velocidades

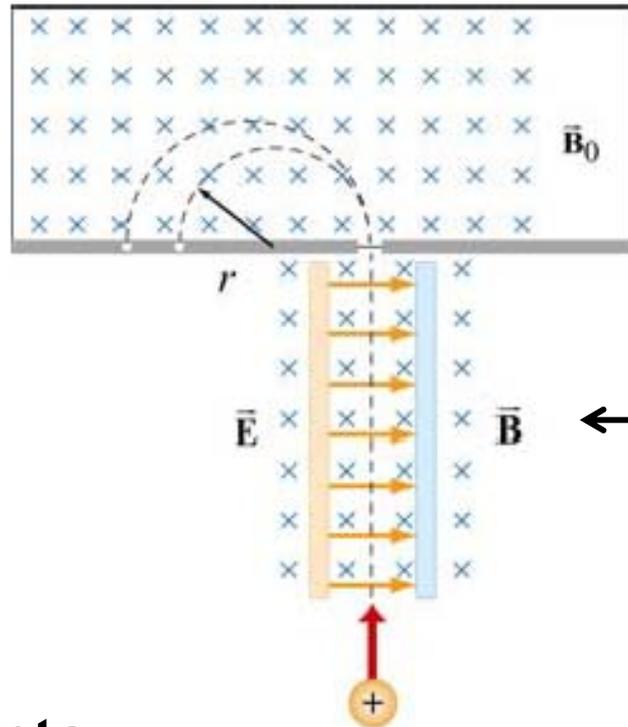


Las fuerzas eléctrica y magnética tienen sentido opuesto. Cuando la magnitud de $\mathbf{F}_E =$ magnitud de \mathbf{F}_B , la fuerza neta será cero y la carga seguirá una trayectoria rectilínea.

$$eE = evB \quad v = \frac{E}{B}$$

APLICACIONES: Espectrómetro de masas

Región con sólo campo magnético



Selector de velocidades

$$r = \frac{mv}{qB_0}$$

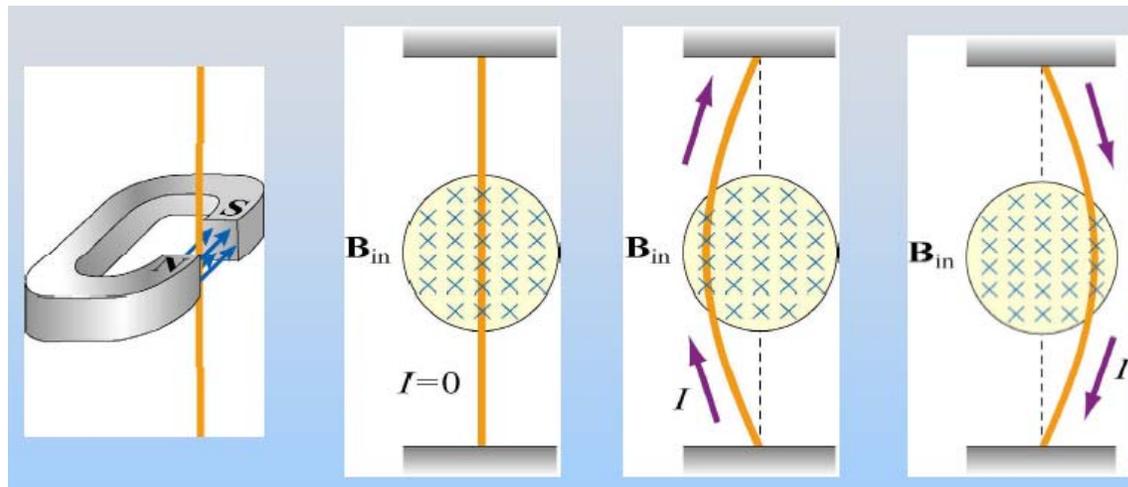
Cargas con distinta masa, tendrán trayectorias con distinto radio

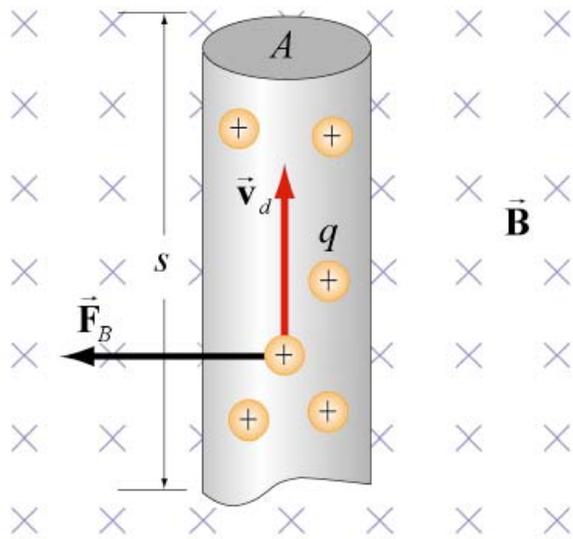
Fuerza magnética sobre cables que conducen corriente

Vimos que un campo magnético \mathbf{B} ejerce una fuerza sobre una carga q que se mueve a velocidad \mathbf{v} :

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

La corriente eléctrica es carga en movimiento por lo tanto, en presencia de un campo magnético un conductor sentirá una fuerza:





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

$$d\vec{F}_B = dq \vec{v} \times \vec{B}$$

$$dq \vec{v} = dq \frac{\Delta \vec{s}}{dt}$$

La fuerza sobre un elemento de corriente será:

$$d\vec{F}_B = I d\vec{s} \times \vec{B}.$$

La fuerza total:

$$\vec{F}_B = I \int_a^b d\vec{s} \times \vec{B},$$

$$\vec{F}_B = I \left(\int_a^b d\vec{s} \times \vec{B} \right) = I \left(\int_a^b d\vec{s} \right) \times \vec{B} = I \vec{L} \times \vec{B},$$

L vector que va de *a* hasta *b*

PC 4- Considere dos conductores paralelos que conducen corriente en la misma dirección. La fuerza entre ellos es:

1. Repulsiva

2. Atractiva

3. No ha fuerza

