



upcomillas *es*

upcomillas *es*

# Fundamentos Físicos de las Comunicaciones

## TEMA 8

### MAGNETOSTÁTICA

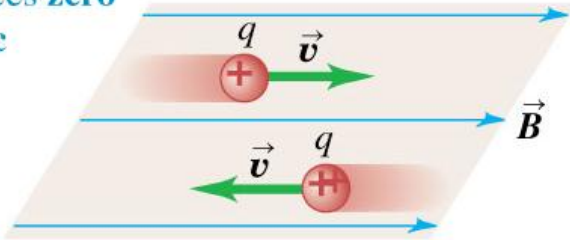
Francisco Fernández

*“La mayoría de la gente dice que el intelecto es lo que hace a un gran científico. Están equivocados: es el carácter.”*

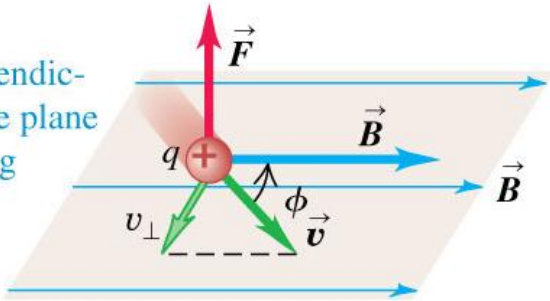
*A. Einstein*

# 1 Fuerza de Lorentz

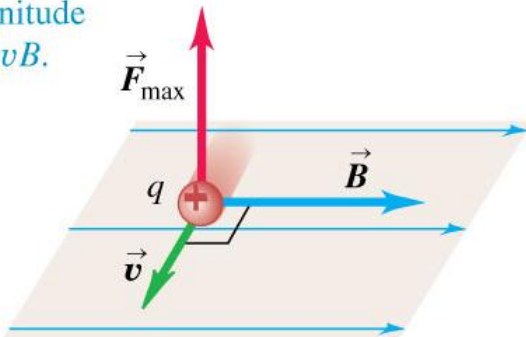
A charge moving **parallel** to a magnetic field experiences **zero magnetic force**.



$\vec{F}$  is perpendicular to the plane containing  $\vec{v}$  and  $\vec{B}$ .



A charge moving **perpendicular** to a magnetic field experiences a maximal magnetic force with magnitude  $F_{\max} = qvB$ .

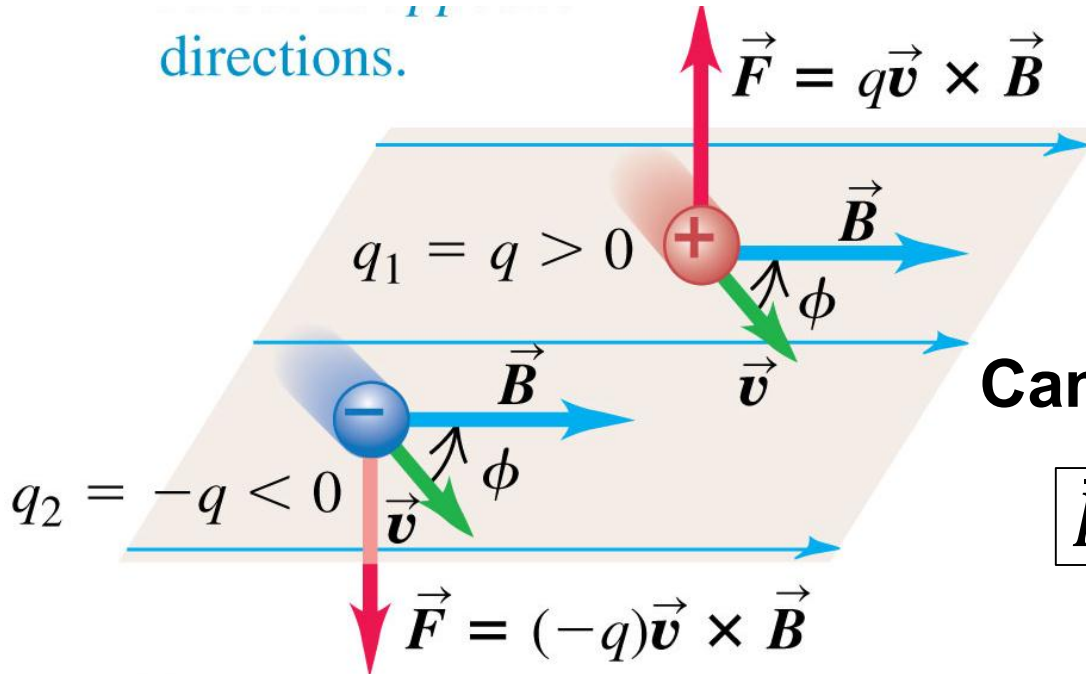


1. La fuerza que experimenta una partícula cargada en un campo magnético, es proporcional a la carga.
2. La magnitud de la fuerza que experimenta la partícula cargada también es proporcional a la intensidad del campo magnético.
3. La magnitud de la fuerza depende de la velocidad de la partícula (Nada que ver con el campo eléctrico)
4. La fuerza ejercida por el campo magnético sobre una partícula cargada es perpendicular a la velocidad y al campo magnético.

# 1 Fuerza de Lorentz

---

# 1 Fuerza de Lorentz



© 2012 Pearson Education, Inc.

## Campo Magnético

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

## Campo Electromagnético

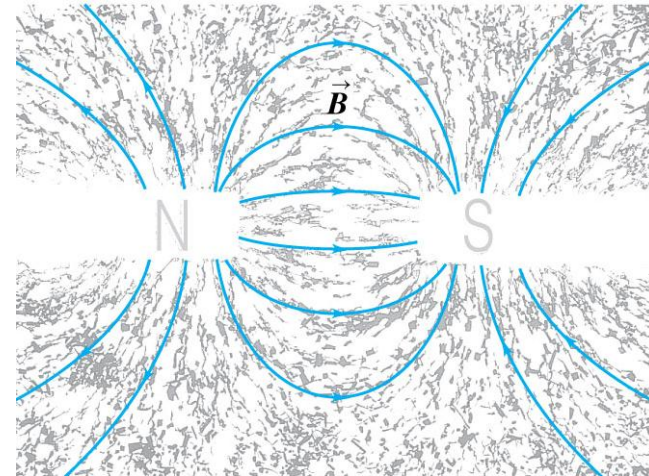
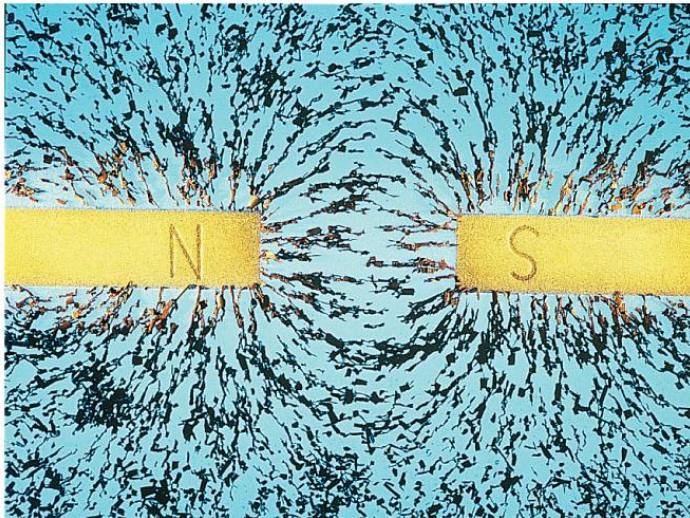
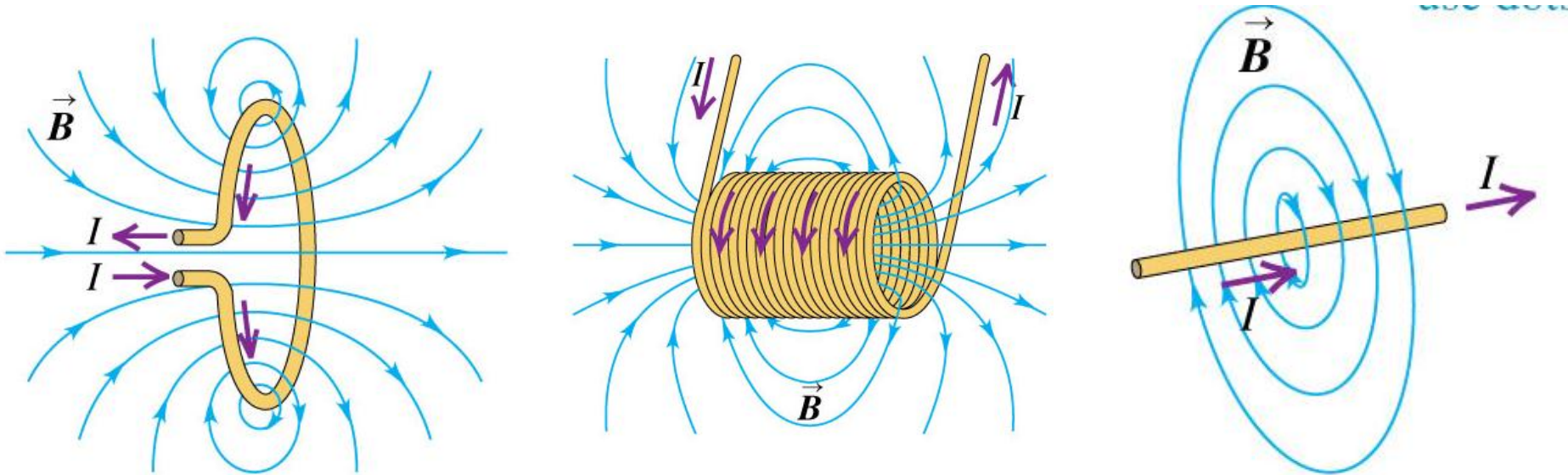
$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

$$B = \frac{\text{Fuerza}}{\text{Carga} \cdot \text{Velocidad}} = \frac{N}{C \cdot m/s} = \frac{N}{A \cdot m} = \text{Tesla}$$

# 1 Fuerza de Lorentz

---

# 2 Flujo Magnético y Ley de Gauss de Magnetismo



# 2 Flujo Magnético y Ley de Gauss de Magnetismo

---

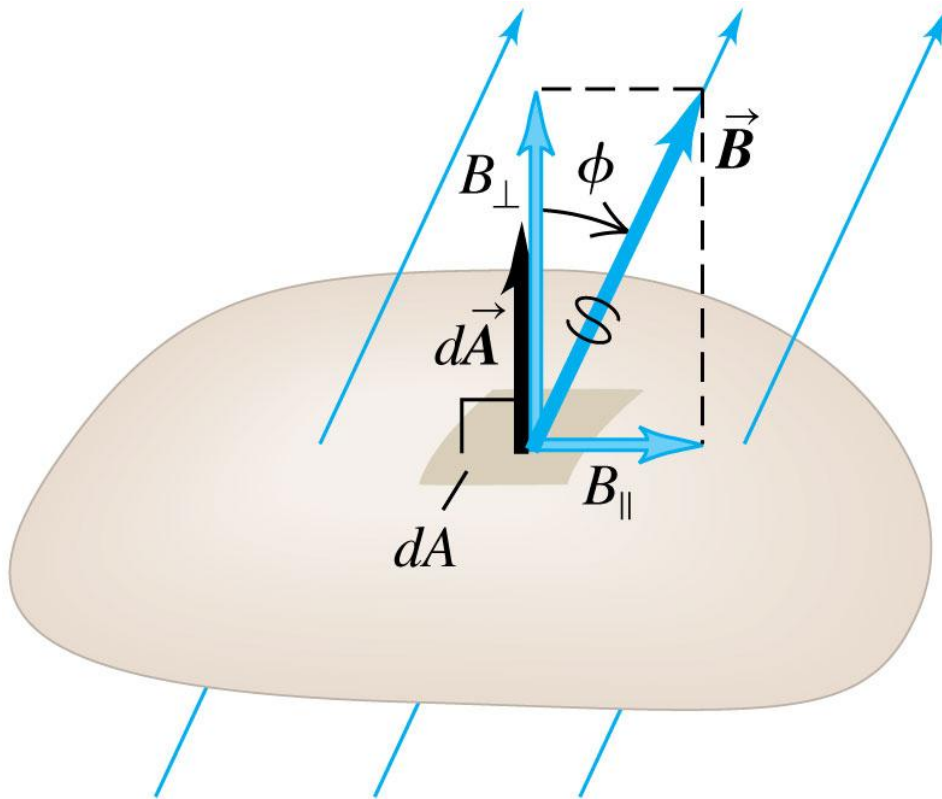
# 2 Flujo Magnético y Ley de Gauss de Magnetismo

## PREGUNTA

¿QUE CREEIS QUE OCURRE CUANDO SE PARTE UN IMAN? ¿PORQUE?



## 2 Flujo Magnético y Ley de Gauss de Magnetismo



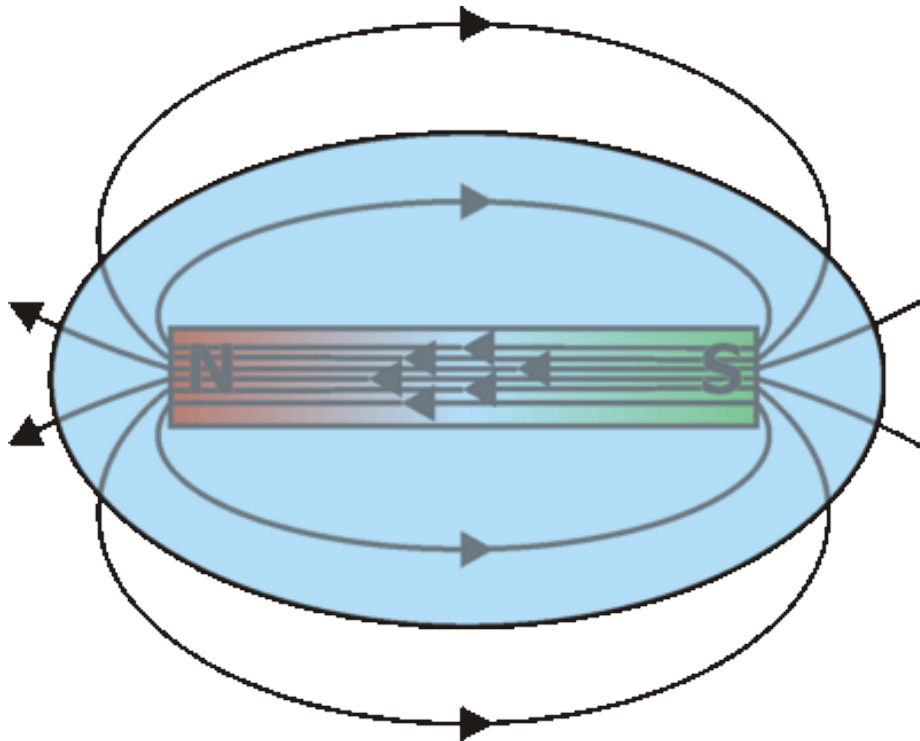
$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

$$\Phi_B = B \cdot A = T \cdot m^2 = \frac{N \cdot m}{A} = \text{Weber}$$

# 2 Flujo Magnético y Ley de Gauss de Magnetismo

---

## 2 Flujo Magnético y Ley de Gauss de Magnetismo



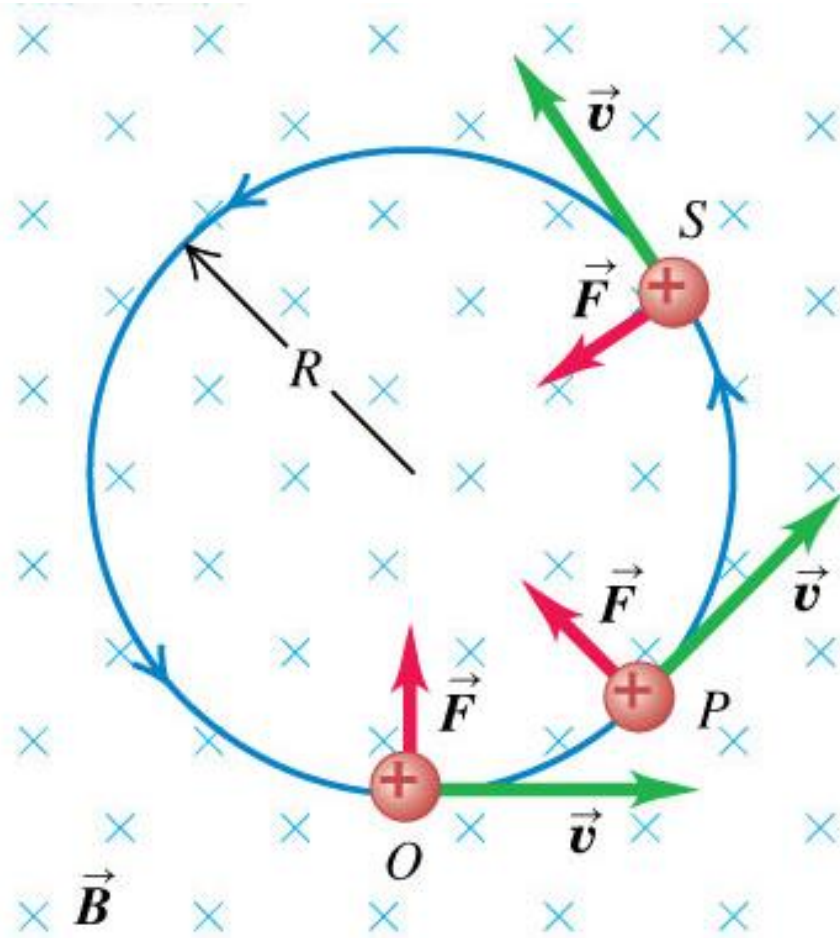
$$\Phi_B = \oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

# 2 Flujo Magnético y Ley de Gauss de Magnetismo

---

# 3 Movimiento de Partículas en un Campo Magnético



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

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

$$q \cdot (\vec{v} \times \vec{B}) = m \cdot \vec{a}$$

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

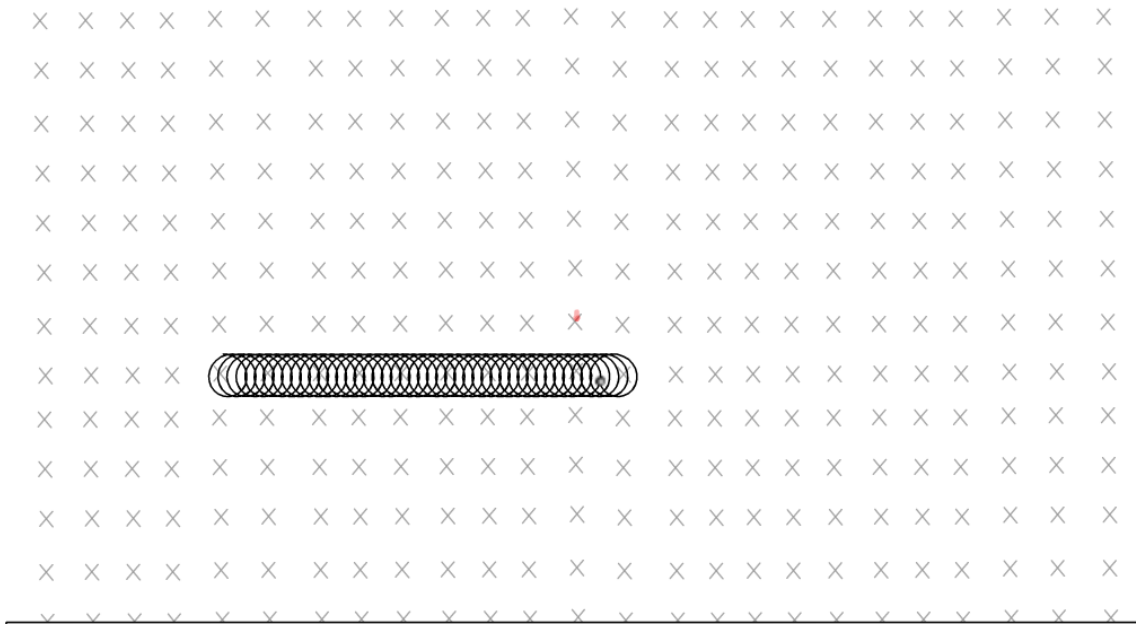
Radio Ciclotrónico

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

# 3 Movimiento de Partículas en un Campo Magnético

---

# 3 Movimiento de Partículas en un Campo Magnético



$$s = v \cdot t \quad [1]$$

$$q \cdot B = m \cdot \frac{v}{R} \quad [2]$$

$$[2] \rightarrow [1]$$

$$\frac{2\pi R}{t} = \frac{q \cdot B \cdot R}{m}$$

**Frecuencia Ciclotrónica**

$$\omega = \frac{q \cdot B}{m}$$

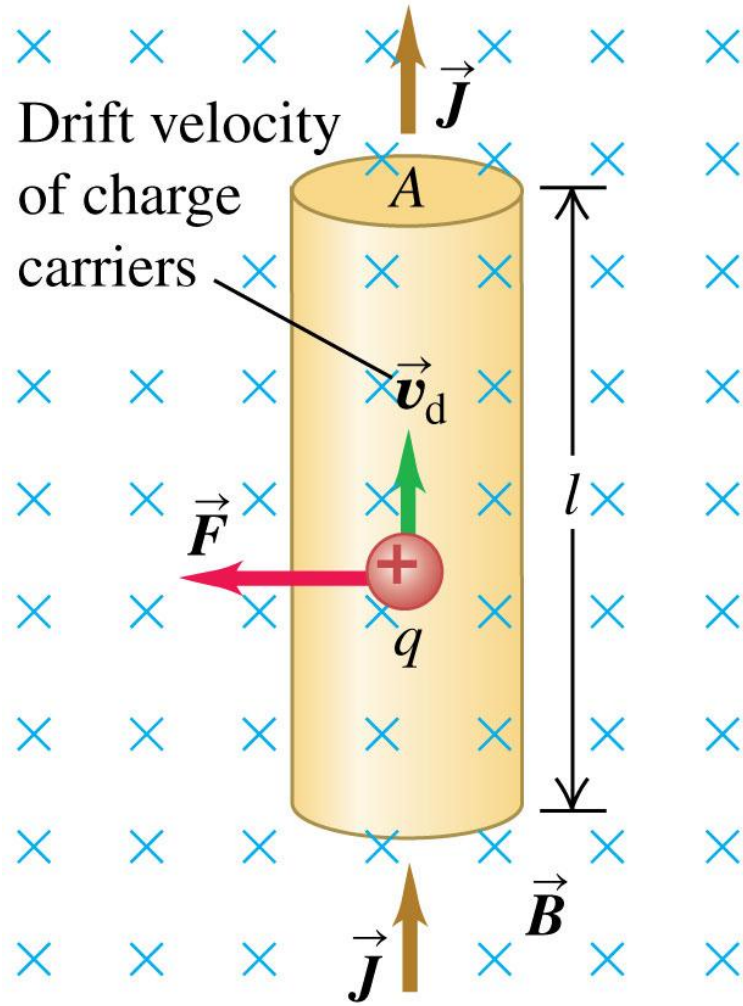
<http://www.kcvs.ca/site/projects/physics.html>

# 3 Movimiento de Partículas en un Campo Magnético

---



# 4 Fuerza Magnética Sobre un Conductor con Corriente



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

$$\vec{F} = (qnA\bar{l}\overline{v_d}) \times \vec{B}$$

$$\vec{J} = qn\overline{v_d} \quad I = \vec{J}A$$

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

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

# 4 Fuerza Magnética Sobre un Conductor con Corriente

---

# 4 Fuerza Magnética Sobre un Conductor con Corriente

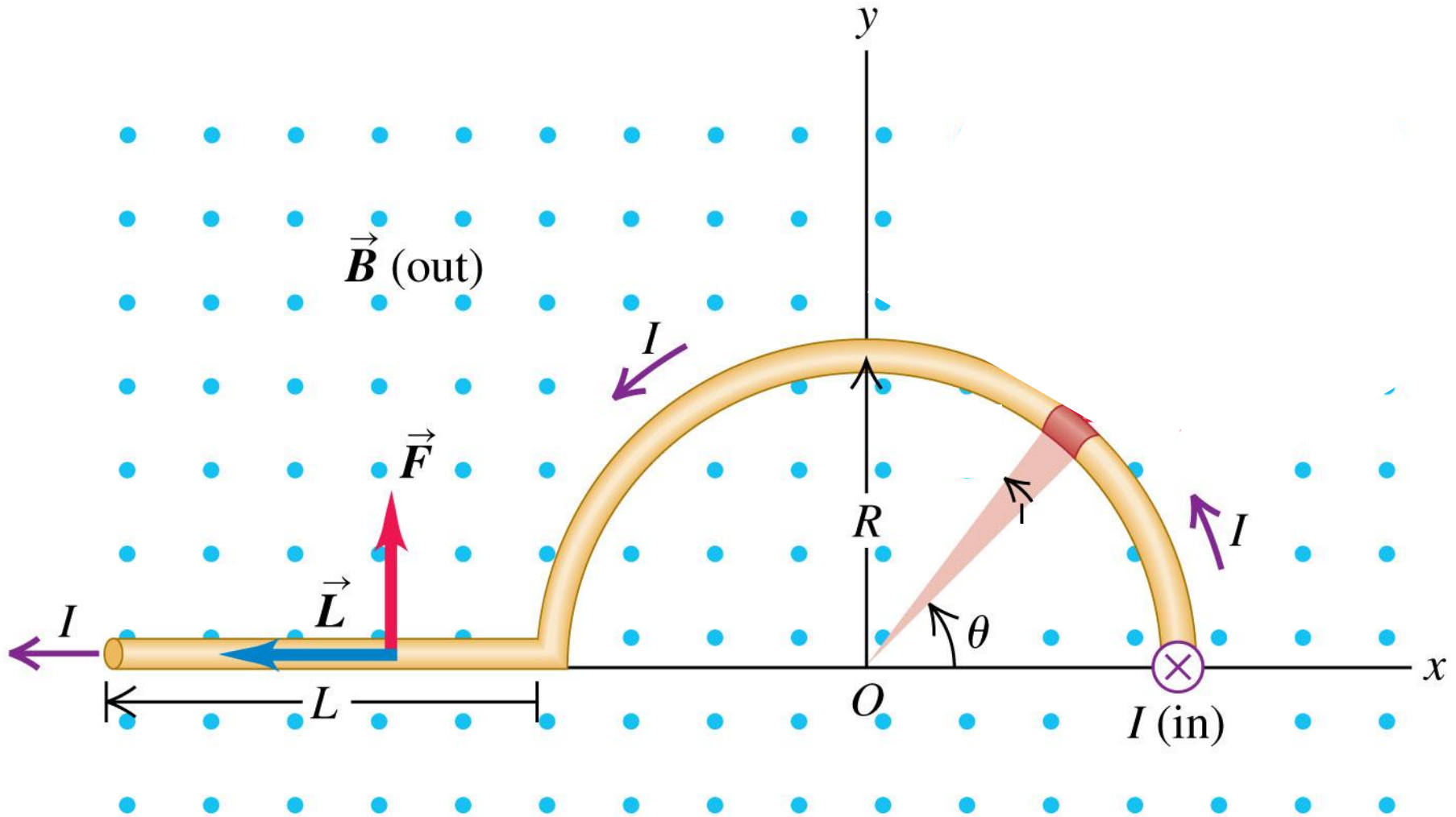
## Ejemplo 27.8

## Fuerza magnética en un conductor

En la figura 27.30, el campo magnético  $\vec{B}$  es uniforme y perpendicular al plano de la figura, apuntando hacia fuera. El conductor tiene un segmento rectilíneo con longitud  $L$  perpendicular al plano de la figura a la derecha, con la corriente en sentido opuesto a  $\vec{B}$ ; seguido de un semicírculo con radio  $R$  y, por último, otro segmento rectilíneo con longitud  $L$  paralelo al eje  $x$  (como se indica). El conductor transporta una corrien-

**27.30** ¿Cuál es la fuerza magnética total sobre el conductor?

# 4 Fuerza Magnética Sobre un Conductor con Corriente



© 2012 Pearson Education, Inc.

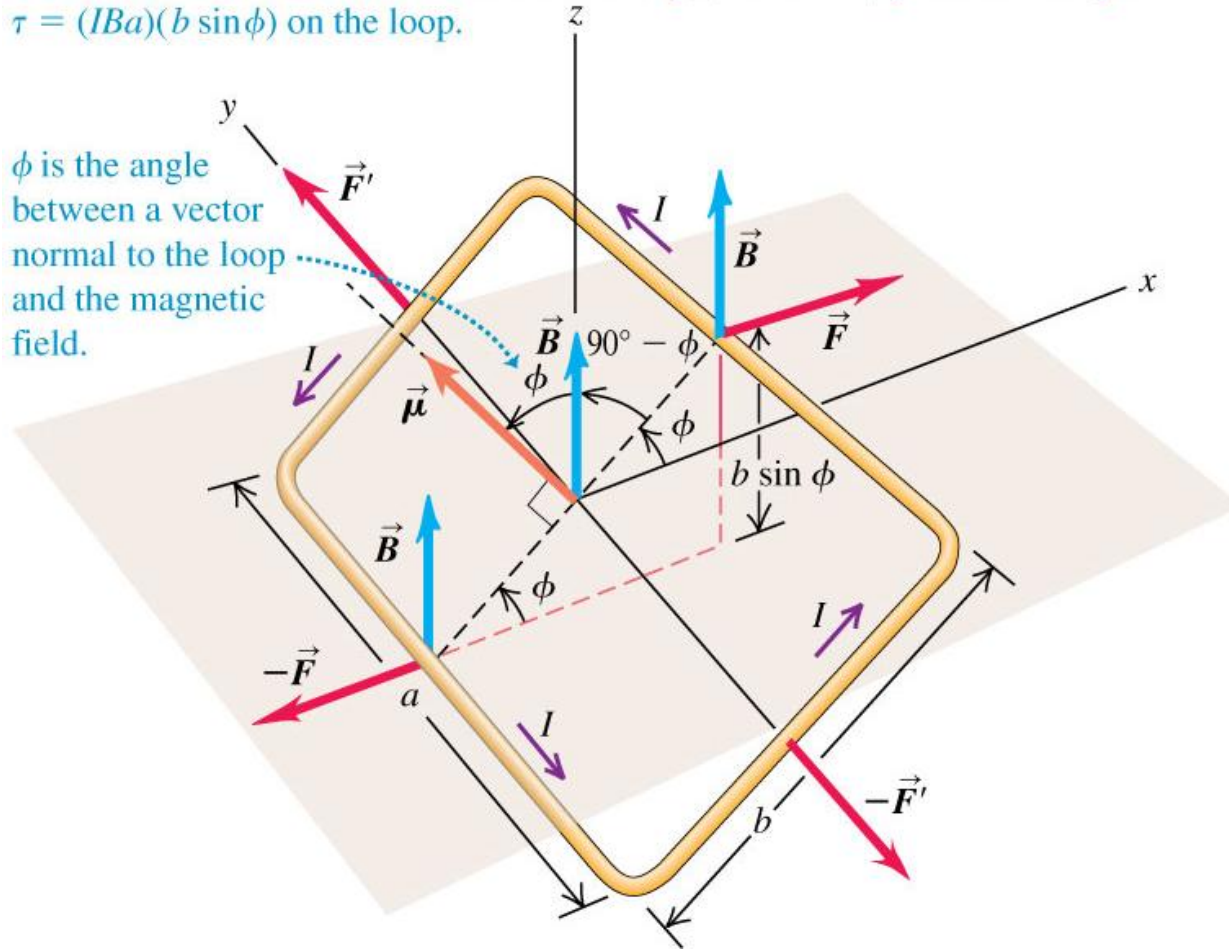
# 4 Fuerza Magnética Sobre un Conductor con Corriente

---

# 5 Fuerza Magnética Sobre una Espira

$\tau = (IBa)(b \sin \phi)$  on the loop.

$\phi$  is the angle between a vector normal to the loop and the magnetic field.



$$\vec{F} = I\vec{B}a$$

$$\vec{M} = I\vec{B}ab \sin \phi$$

$$\vec{M} = I\vec{B}\vec{A} \sin \phi$$

$$\boxed{\vec{\mu} = I\vec{A}}$$

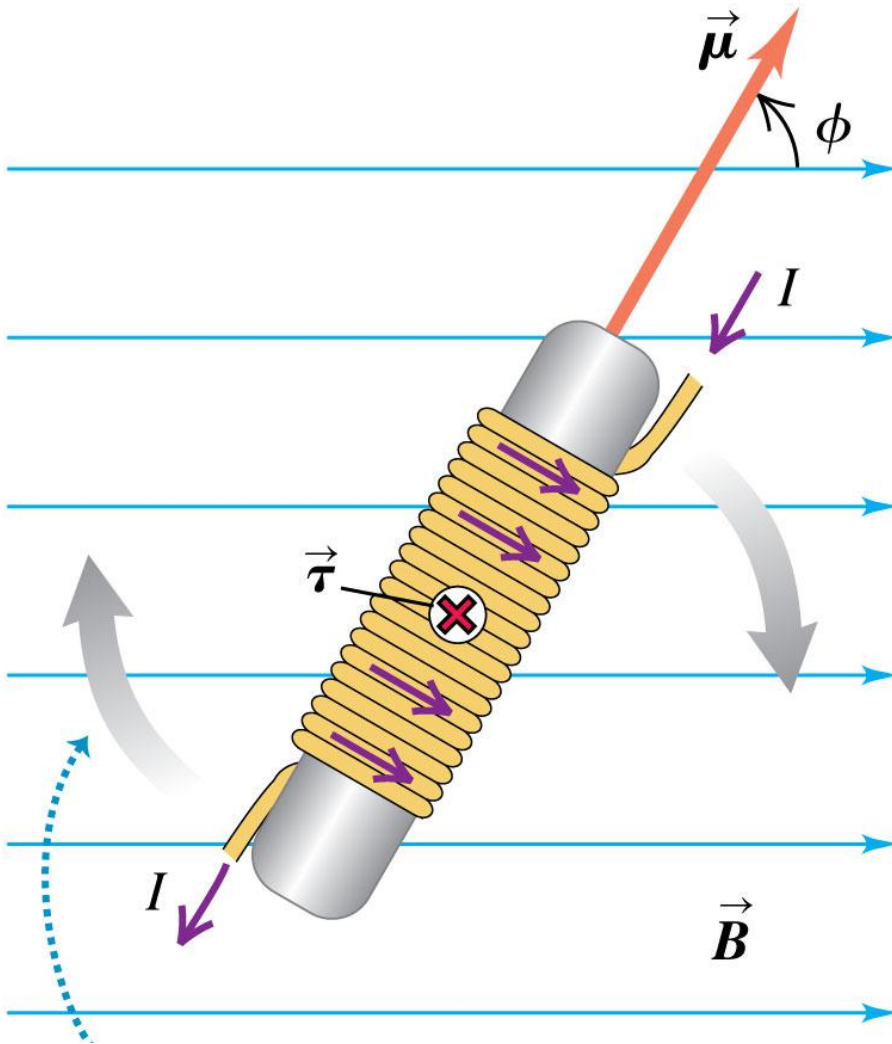
$$\vec{M} = \vec{\mu}\vec{B} \sin \phi$$

$$\boxed{\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B}}$$

# 5 Fuerza Magnética Sobre una Espira

---

# 5 Fuerza Magnética Sobre una Espira



$$\vec{\tau} = N(\vec{\mu} \times \vec{B})$$

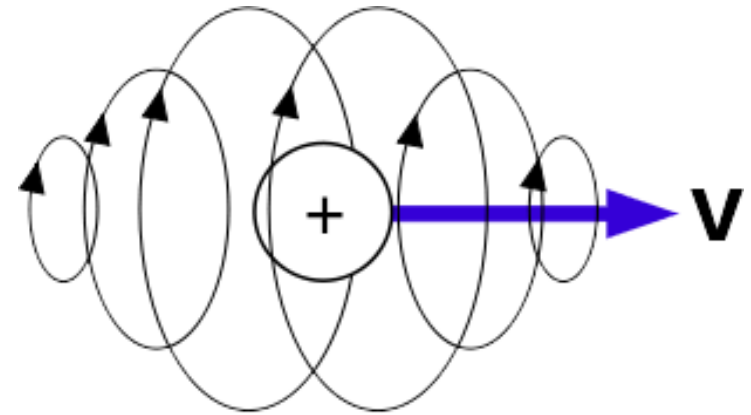
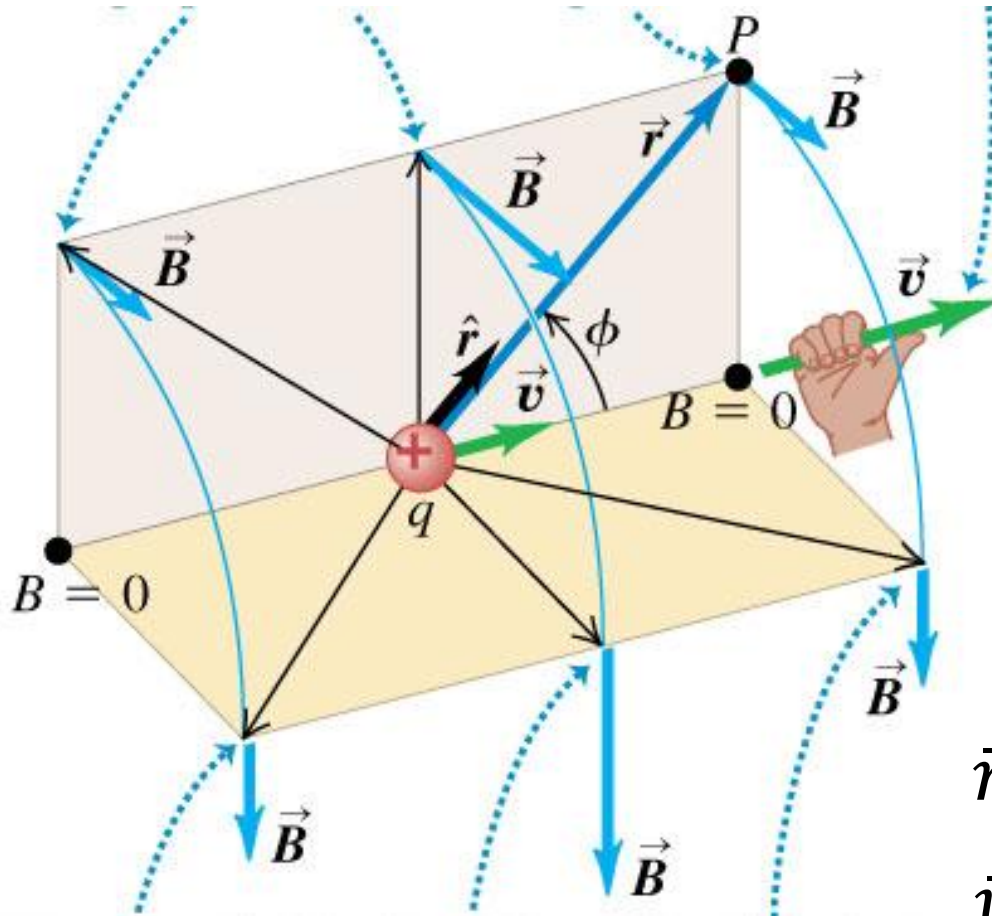
$$\tau = N \cdot \mu \cdot B \cdot \sin(\phi)$$



# 5 Fuerza Magnética Sobre una Espira

---

# 6 Ley de Biot-Savart



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

$\vec{r}$  → Vector de la fuente al campo

$\vec{v}$  → Vector velocidad de la partícula

# 6 Ley de Biot-Savart

---

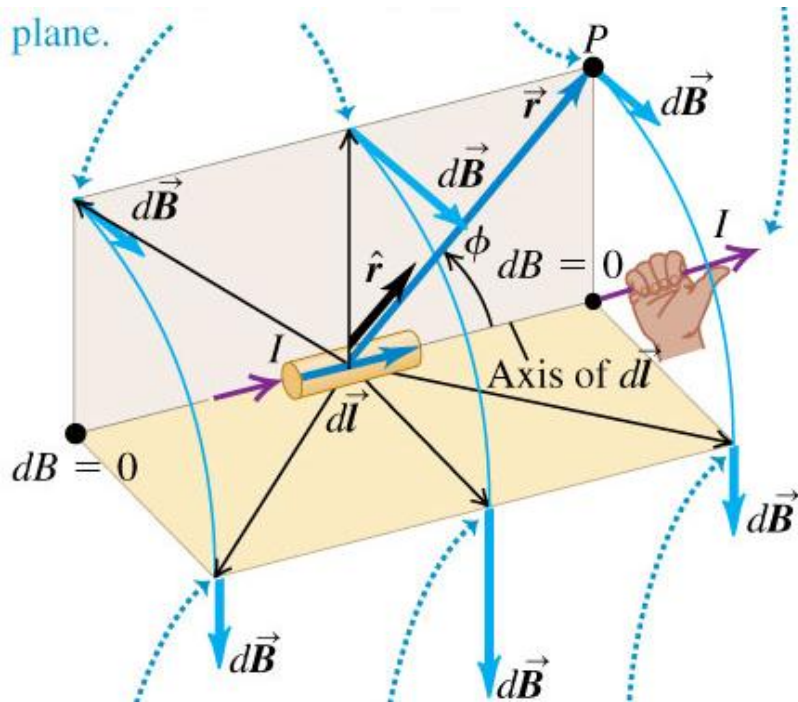
# 6 Ley de Biot-Savart

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dq(\vec{v} \times \hat{r})}{r^2}$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{dq \cdot v \cdot \sin\phi}{r^2}$$

$$dq = q \cdot n \cdot A \cdot dl$$

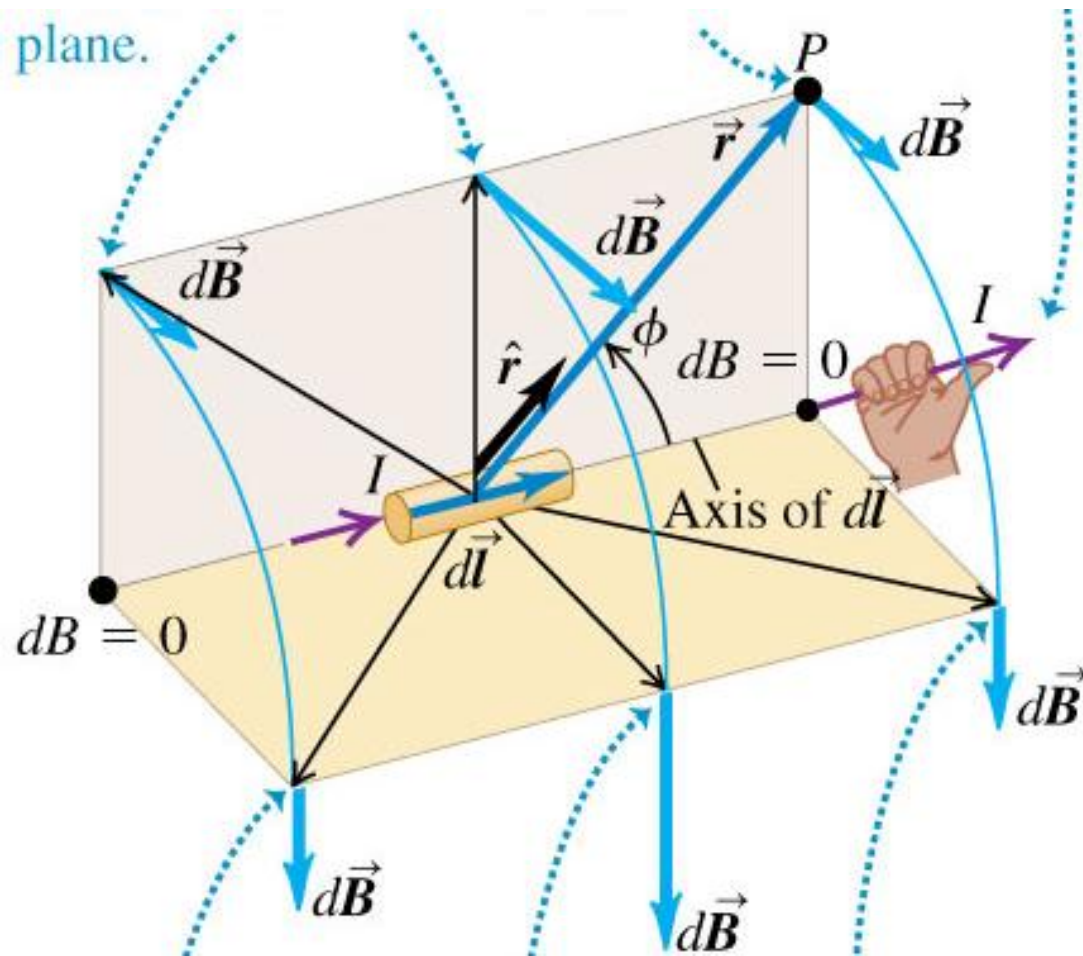
$$v = v_d$$



$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q \cdot n \cdot A \cdot dl \cdot v_d \cdot \sin\phi}{r^2}$$

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{J \cdot A \cdot dl \cdot \sin\phi}{r^2}$$

# 6 Ley de Biot-Savart



$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot dl \cdot \sin\phi}{r^2}$$

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cdot (d\vec{l} \times \hat{r})}{r^2}$$

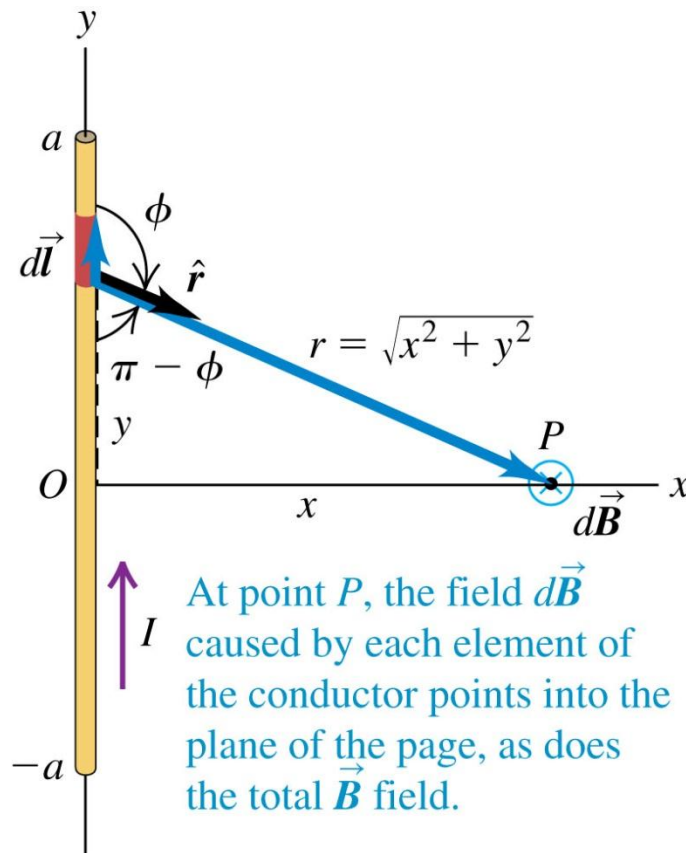
# 6 Ley de Biot-Savart

---

# 6 Ley de Biot-Savart

## EJEMPLO C1

Calcular el campo magnético en el punto P producido por un conductor de corriente recto con una corriente I y de longitud 2a tal y como indica la figura.



# 6 Ley de Biot-Savart

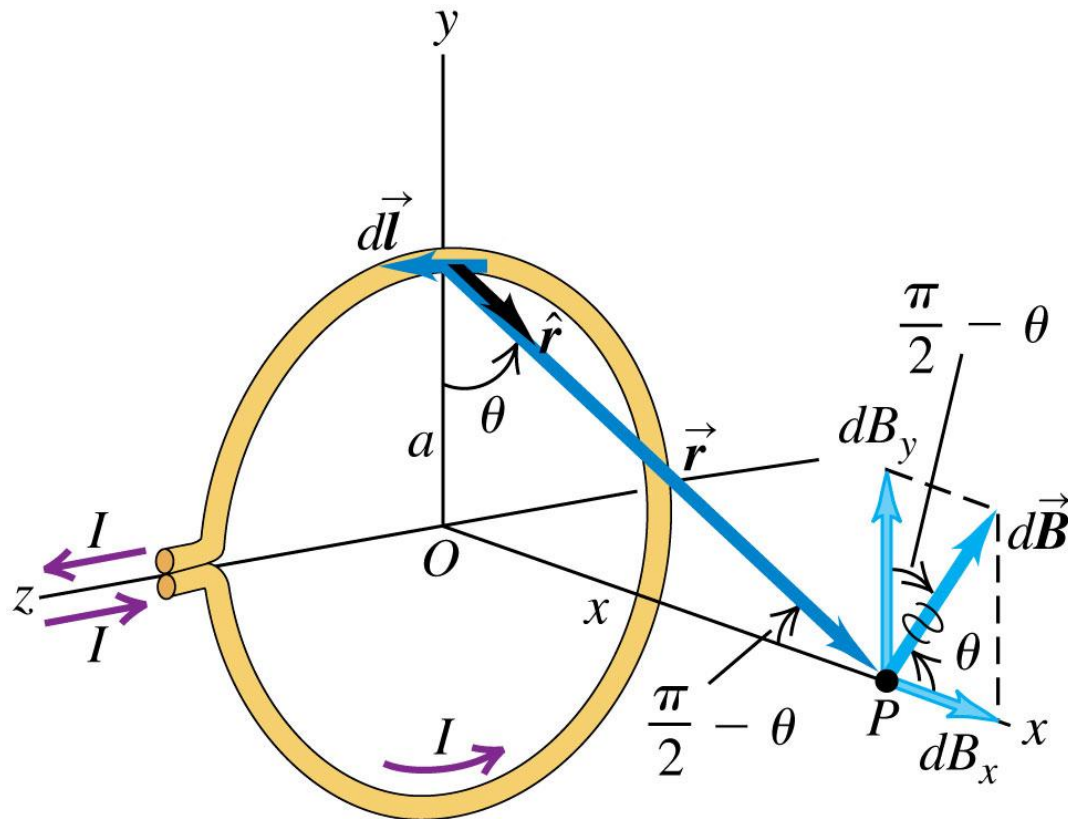
---



# 6 Ley de Biot-Savart

## EJEMPLO C2

Calcular el campo magnético en el punto P producido por una bobina conductora de una corriente I y de radio a tal y como indica la figura.



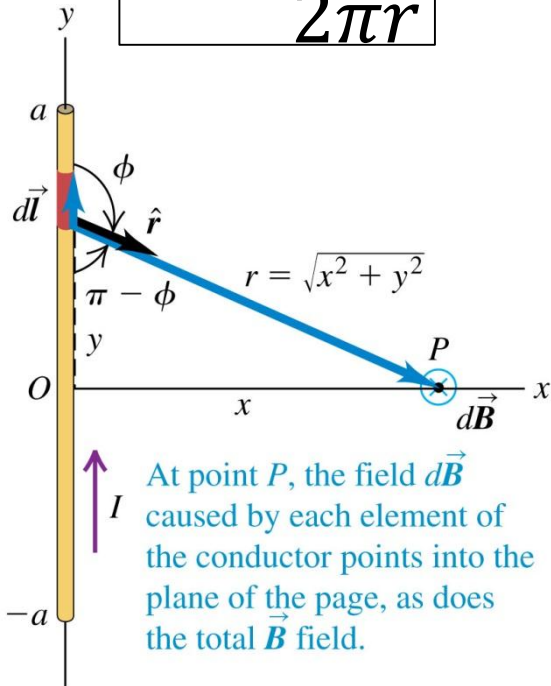
# 6 Ley de Biot-Savart

---

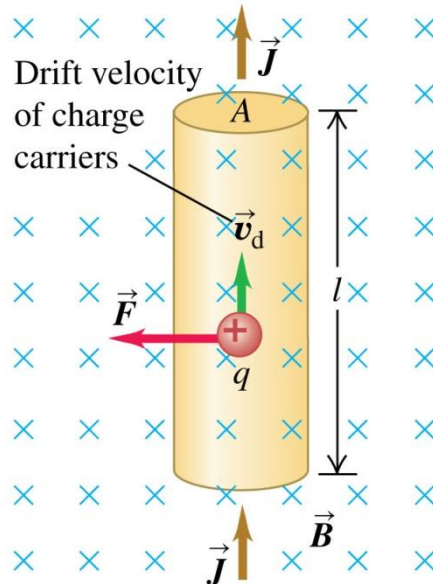
# 6.1 Fuerza Entre Alambres Paralelos

**AMPERE:** *Un ampere es la corriente invariable que, si está presente en dos conductores paralelos de longitud infinita y separados por una distancia de un metro de espacio vacío, provoca que cada conductor experimente una fuerza de exactamente  $2 \cdot 10^{-7}$  Newtons por metro de longitud.*

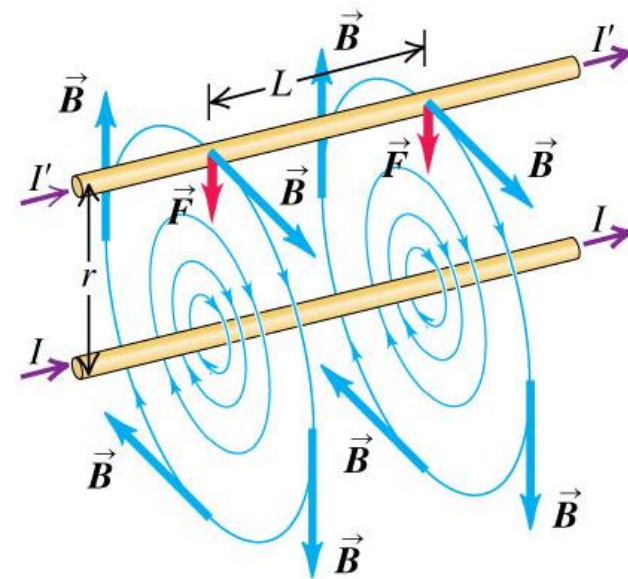
$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$



$$d\vec{F} = I'(\vec{dl} \times \vec{B})$$



$$\vec{F} = \frac{\mu_0 I I' l}{2\pi r}$$



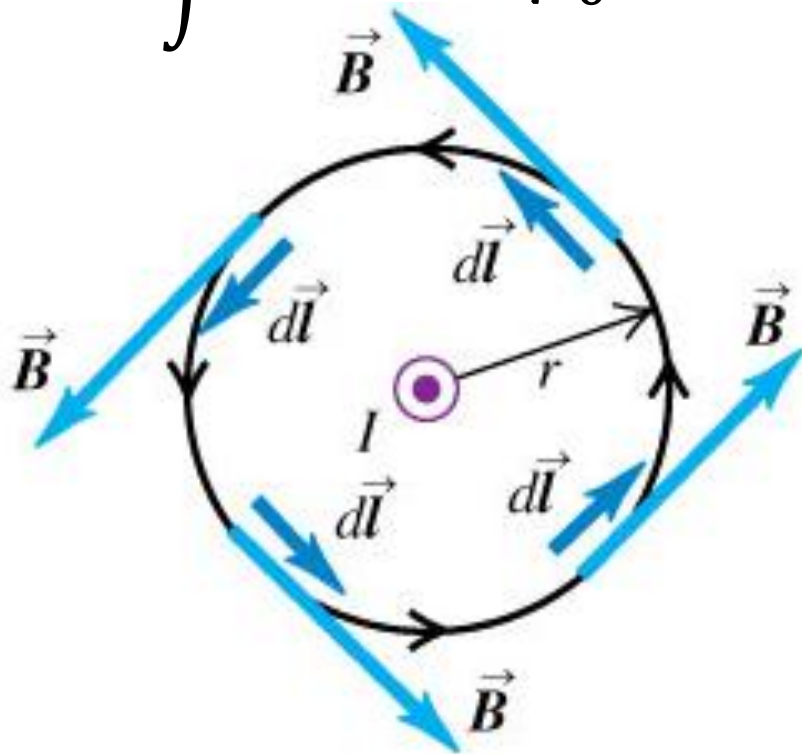
# 6.1 Fuerza Entre Alambres Paralelos

---

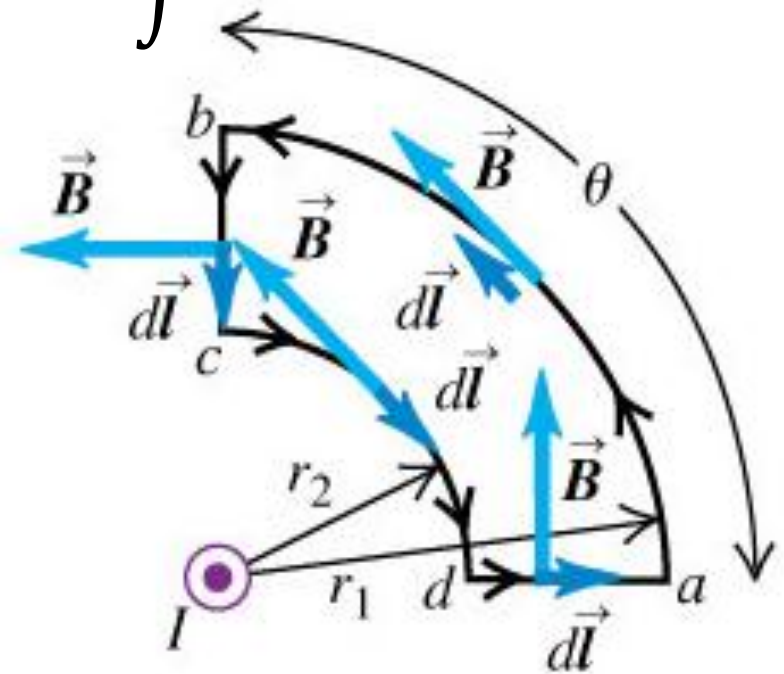
# 8 Ley de Ampère

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \oint |\vec{B}| |d\vec{l}| \cos\theta = |\vec{B}| \oint |d\vec{l}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} (2\pi r)$$

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I$$



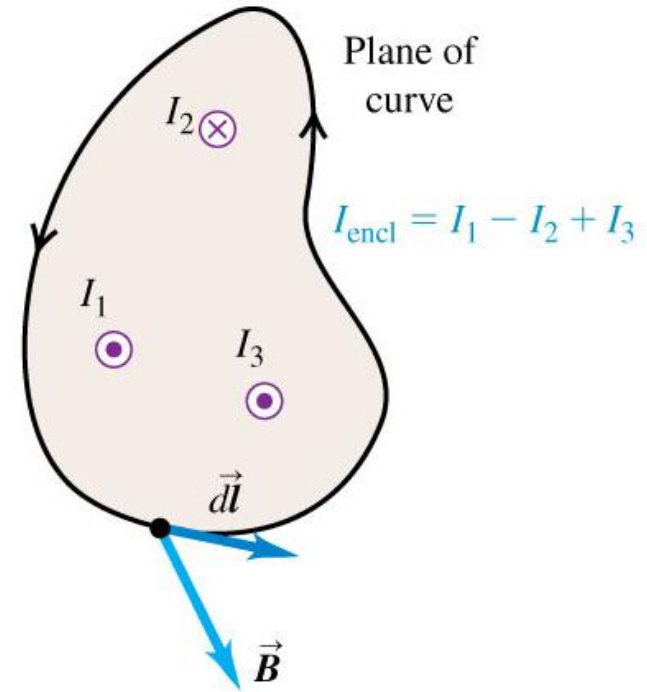
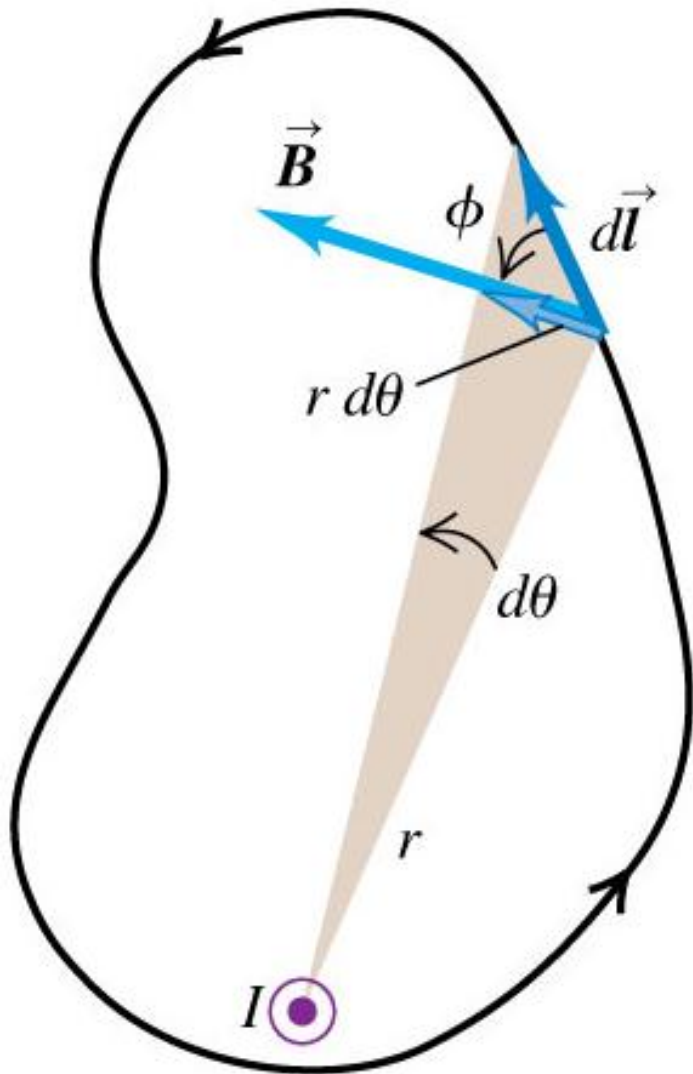
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = 0$$



# 8 Ley de Ampère

---

# 8 Ley de Ampère



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

# 8 Ley de Ampère

---

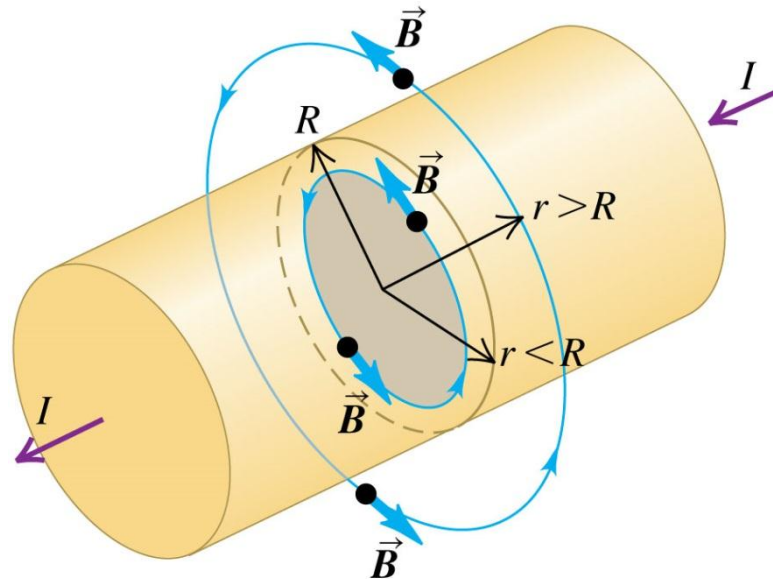


# 8 Ley de Ampère

## Ejemplo 28.8

## Campo en el interior de un conductor

Un conductor cilíndrico con radio  $R$  transporta una corriente  $I$  (figura 28.20). La corriente está distribuida de manera uniforme sobre la superficie de la sección transversal del conductor. Encuentre el campo magnético, como función de la distancia  $r$  desde el eje del conductor, de puntos situados tanto dentro ( $r < R$ ) como fuera ( $r > R$ ) del conductor.



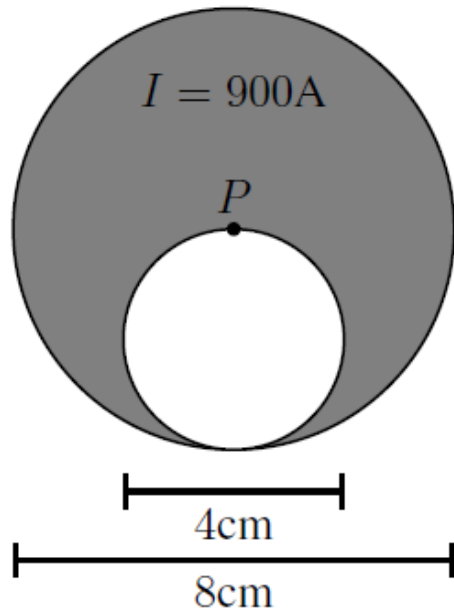
# 8 Ley de Ampère

---

# 8 Ley de Ampère

19. Una larga varilla de cobre de 8 cm de diámetro tiene un hueco cilíndrico no coaxial en toda su longitud, como se ve en el diagrama. Este conductor transporta una corriente de 900 A circulando hacia dentro del papel. Deseamos saber módulo, dirección y sentido del campo magnético en el punto  $P$  que está sobre el eje del cilindro exterior. Suponer que la densidad de corriente es constante.

**Solución:**  $B = 0,003$  T hacia la izquierda.



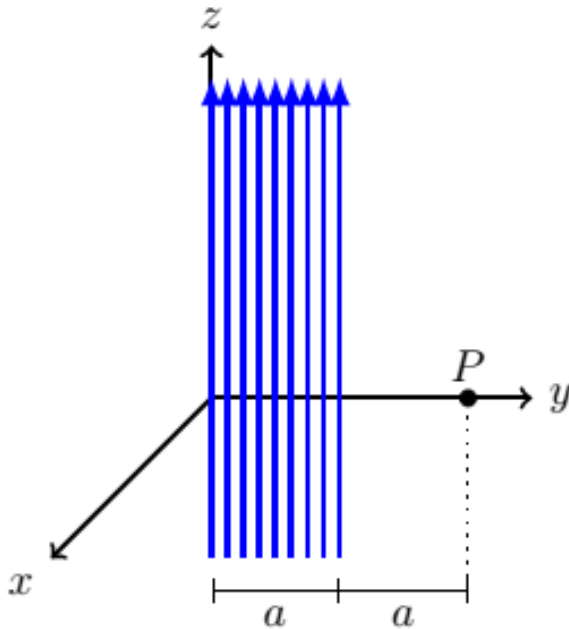
# 8 Ley de Ampère

---

# 8 Ley de Ampère

12. La figura representa un conjunto de hilos de longitud indefinida, paralelos al eje  $z$  y que ocupan la región indicada de anchura  $a$ . Los hilos están muy próximos unos de otros de forma que hay  $n$  hilos por unidad de longitud. Sabiendo que la intensidad que atraviesa cada hilo es  $I$  en el sentido señalado, determinar el vector campo magnético en un punto  $P$  situado a una distancia  $a$  del último hilo contenido en el mismo plano que los hilos.

**Solución:**  $B = \mu_0 n I \log(2) / 2\pi$

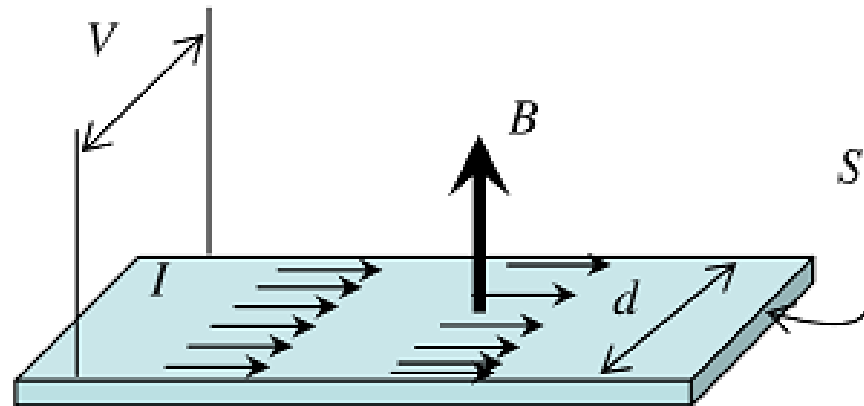


# 8 Ley de Ampère

---

# 8 Ley de Ampère

4. Una lámina rectangular delgada de sección transversal  $S$  y anchura  $d$  transporta una corriente  $I$  uniformemente distribuida. Entonces se aplica perpendicularmente un campo magnético uniforme  $B$ , como se muestra en la figura. Debido a su presencia, la intensidad pierde su uniformidad y aparece una diferencia de potencial entre las caras laterales de la lámina (efecto Hall). Si  $n$  es el número de electrones por unidad de volumen y  $e$  la carga del electrón, halla el valor la diferencia de potencial  $V$ . Este dispositivo permite discriminar entre una corriente de cargas positivas en un sentido y una corriente de cargas negativas con sentido opuesto. ¿Por qué? **Sugerencia:** las cargas se mueven en línea recta bajo la acción de fuerzas eléctricas y magnéticas transversales que se compensan.



# 8 Ley de Ampère

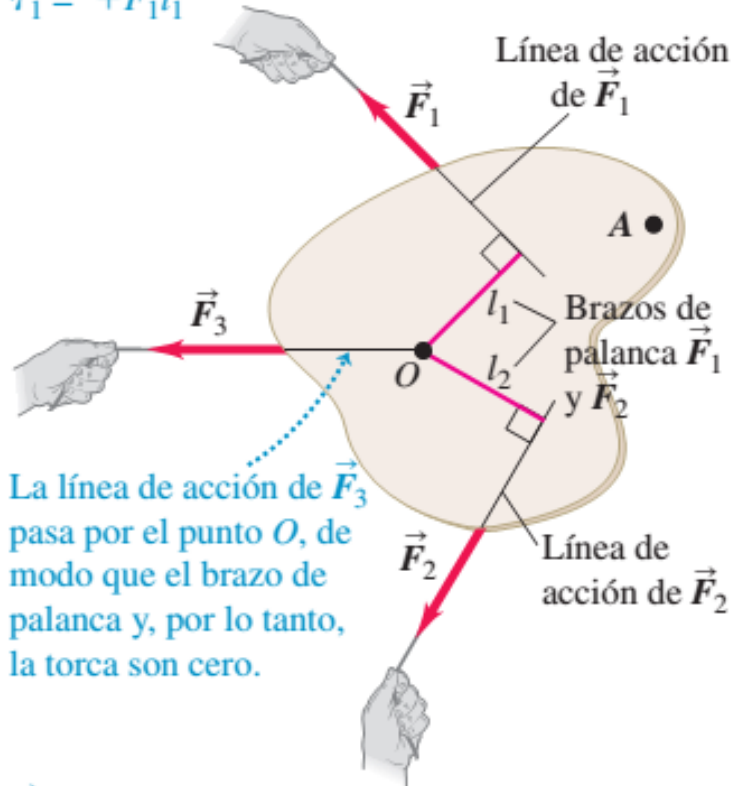
---



# A1 ANEXO 1: Repaso de Momento de una Fuerza

$\vec{F}_1$  tiende a provocar una rotación en *sentido antihorario* alrededor del punto  $O$ , por lo que su torca es *positiva*:

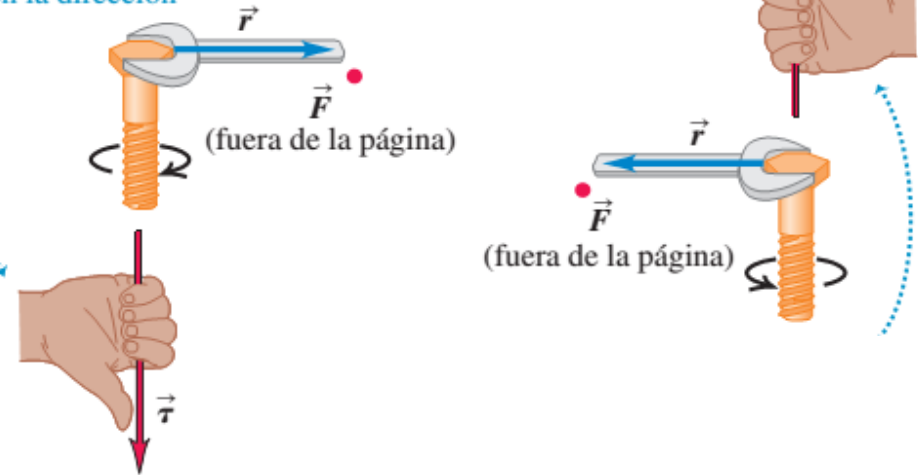
$$\tau_1 = +F_1 l_1$$



La línea de acción de  $\vec{F}_3$  pasa por el punto  $O$ , de modo que el brazo de palanca y, por lo tanto, la torca son cero.

$\vec{F}_2$  tiende a producir una rotación en *sentido horario* alrededor del punto  $O$ , por lo que su torca es *negativa*:  $\tau_2 = -F_2 l_2$

Si usted apunta con los dedos de la mano derecha en la dirección de  $\vec{r}$  y luego los enrosca en la dirección de  $\vec{F}$ , sus pulgares extendidos apuntarán en la dirección de  $\vec{\tau}$ .



$$|\vec{M}| = |\vec{r}||\vec{F}| \sin \phi$$

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

# 8 Ley de Ampère

---