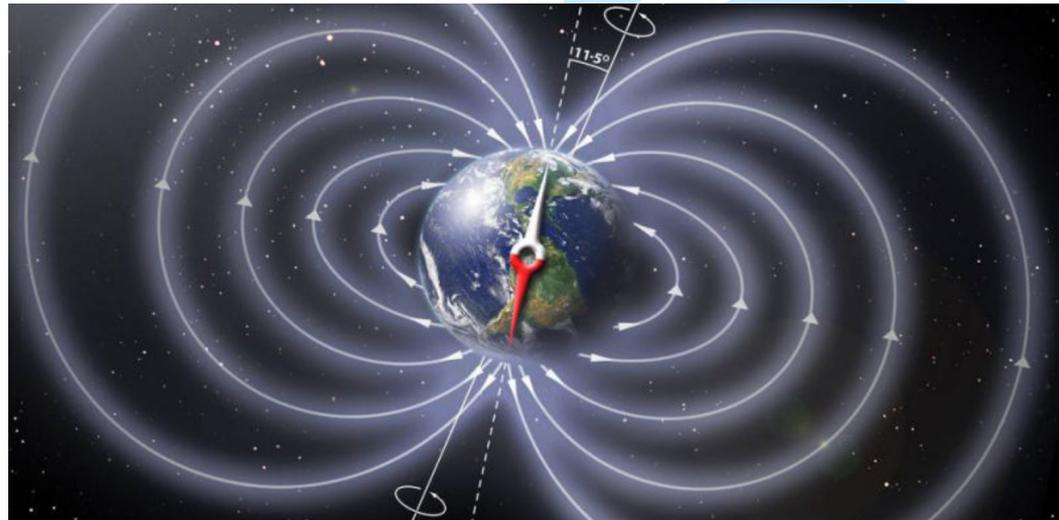


Tema 3.2:

Campo Magnético

- Fuerza magnética sobre cargas y corrientes
- Líneas de campo magnético
 - Movimiento de cargas en campos magnéticos
 - Fuentes del campo magnético
 - Ley de Gauss para el campo magnético
 - Ley de Ampere
 - Inducción magnética
 - Ley de Faraday



Campo Magnético. Fuerza sobre una carga puntual móvil

Fuerza magnética ejercida sobre una carga **móvil**

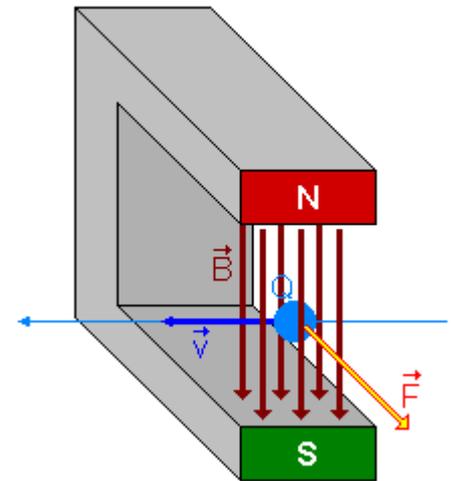
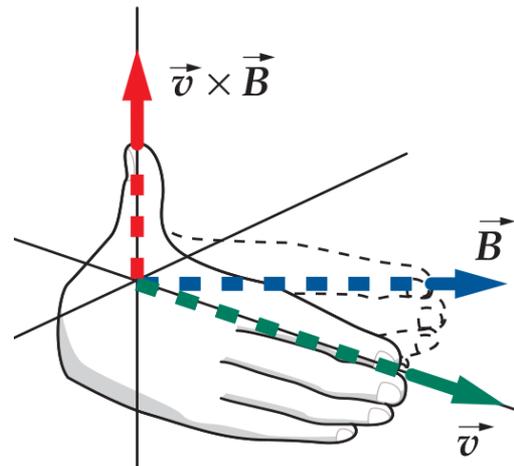
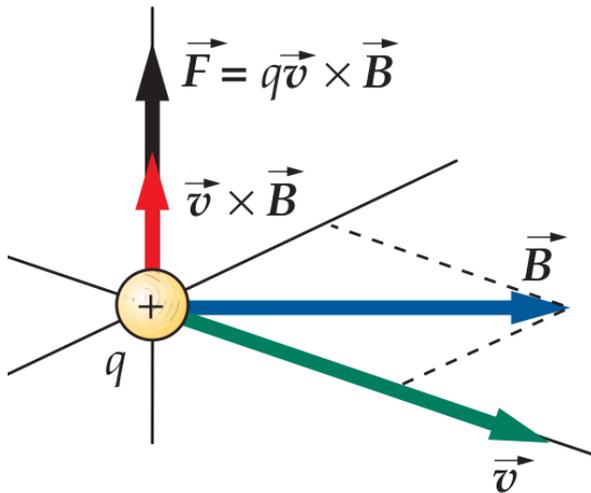
$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = qvB \sin \theta$$

Unidades:

Tesla $1 \text{ T} = 1 \frac{\text{N}}{\text{C} \cdot \text{m/s}} = 1 \text{ N}/(\text{A} \cdot \text{m})$

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

θ es el ángulo entre \mathbf{v} y \mathbf{B}



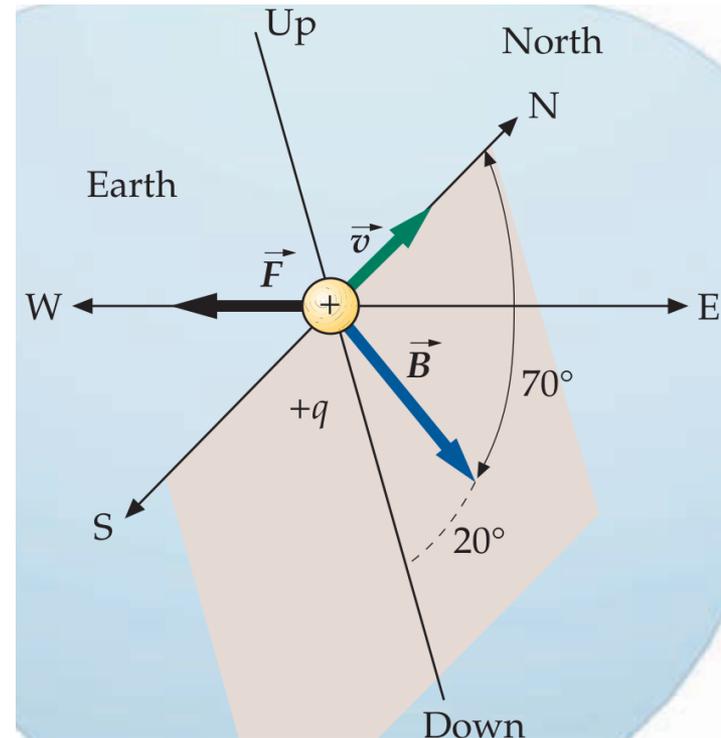
Campo Magnético. Fuerza sobre carga

EJEMPLO (Tipler 26.1 p889) Fuerza sobre un protón que se dirige hacia el norte

El campo magnético en un punto de la superficie de la tierra en el hemisferio norte tiene un valor de 0,6 G y está dirigido hacia abajo y hacía el norte, formando un ángulo de 70° con la horizontal.

Un protón se mueve horizontalmente en dirección norte con velocidad $v = 10^7$ m/s.

Calcular la fuerza magnética que actúa sobre el protón.



Campo Magnético. Fuerza sobre carga

Fuerza electromagnética **TOTAL** sobre una carga en movimiento en un campo eléctrico \mathbf{E} y un campo magnético \mathbf{B}

Fuerza de Lorentz

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

Campo Magnético. Fuerza sobre corriente

Fuerza magnética sobre un alambre conductor

v_d : velocidad desplazamiento cargas

n : cargas por unidad de volumen

$\Delta Q = qnAv_d \Delta t$ carga total que pasa por A en tiempo Δt

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = qnAv_d \quad \text{Intensidad de corriente}$$

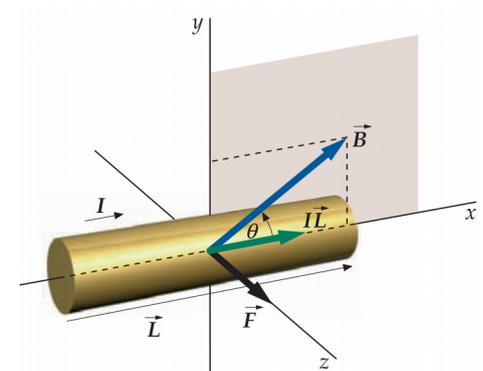
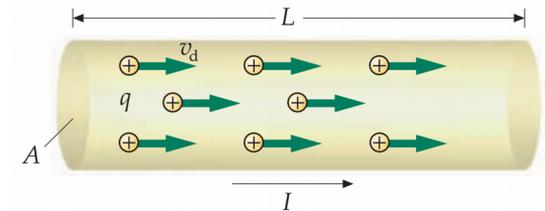
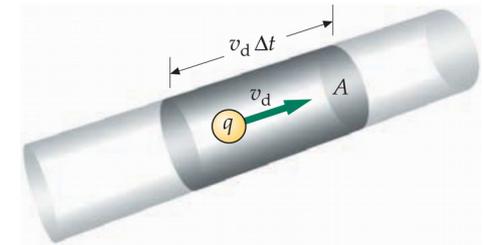
Fuerza sobre todas las cargas en un segmento de longitud L

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

$$\vec{F} = I\vec{L} \times \vec{B}$$

Fuerza magnética sobre un elemento de corriente

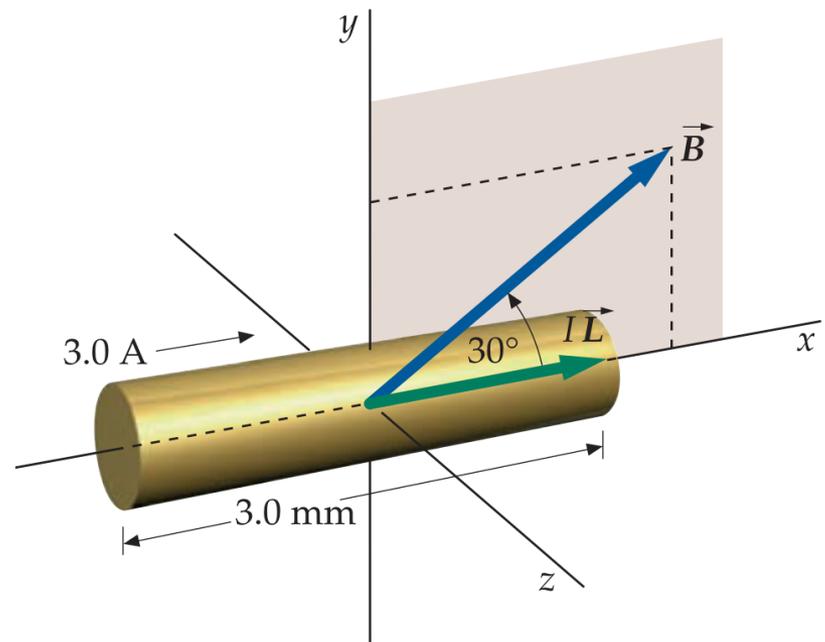
$$d\vec{F} = I d\vec{\ell} \times \vec{B}$$



Campo Magnético. Fuerza sobre corriente

EJEMPLO (Tipler 26.2 pp891) Fuerza sobre un cable recto

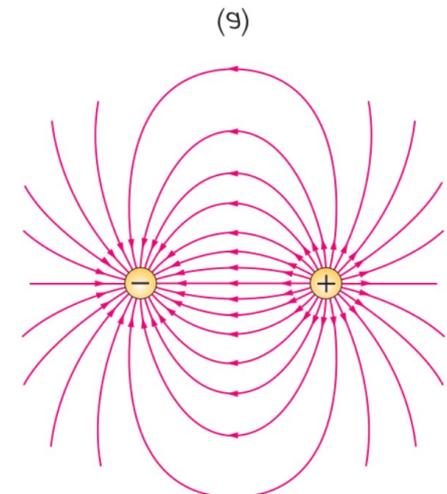
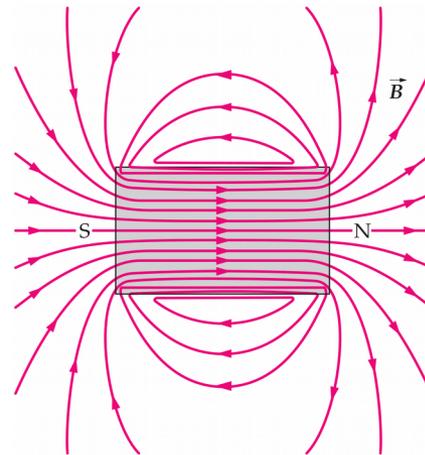
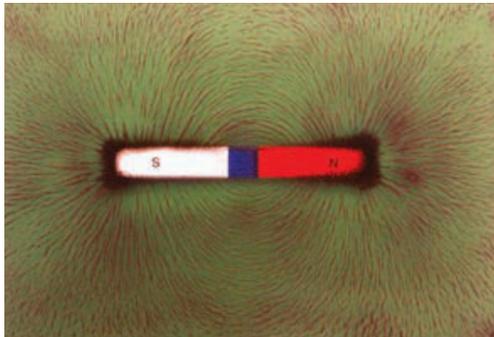
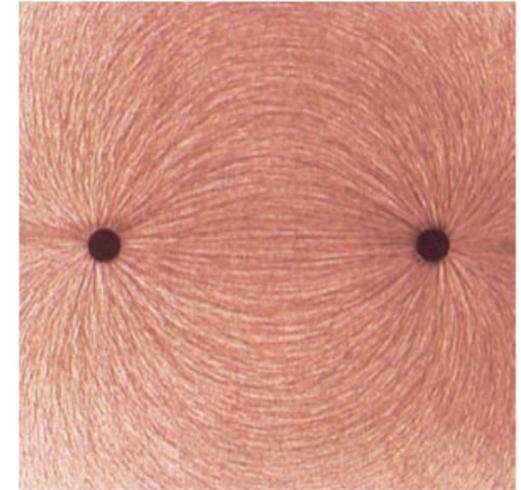
Un segmento de cable de 3 mm de longitud transporta una corriente de 3 A en la dirección $+x$. Se encuentra en el interior de un campo magnético de módulo 0,02 T cuya dirección es paralela al plano xy , formando un ángulo de 30° con el eje $+x$, como indica la figura 26.9. ¿Cuál es la fuerza magnética ejercida sobre el segmento de cable?



Campo Magnético. Líneas de campo

- Diferencias entre líneas de campo eléctrico E y magnético B

1. Las líneas de E tienen la dirección de la fuerza eléctrica, mientras que las líneas de B son perpendiculares a la fuerza magnética
2. Las líneas de E comienzan en las cargas positivas y terminan en las negativas, mientras que las líneas de B son cerradas



Campo Magnético. Movimiento de carga en campo magnético

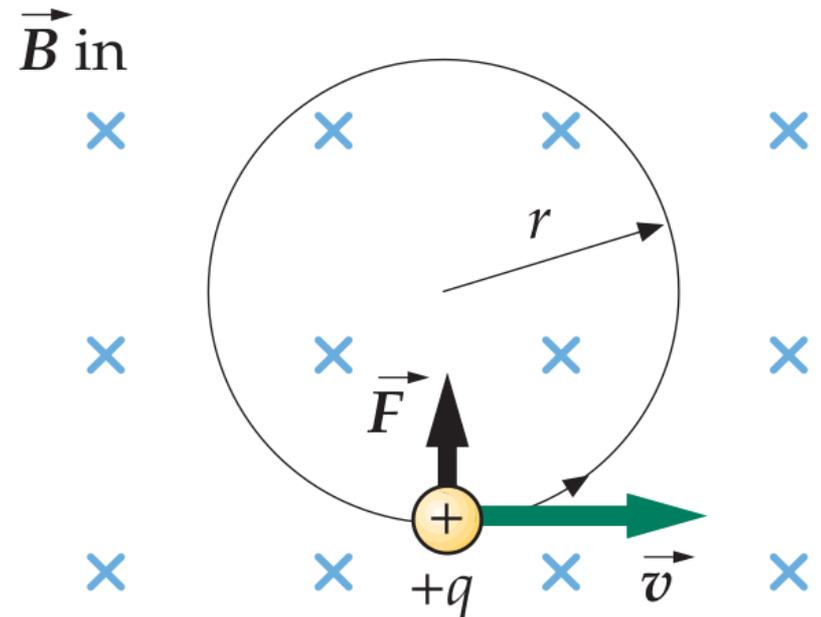
- F_m es siempre perpendicular a \mathbf{v} → modifica dirección pero no módulo: F_m
no realiza trabajo sobre la partícula y no modifican su energía cinética

- Si \mathbf{v} es perpendicular a \mathbf{B} uniforme la carga describe **órbita circular**

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

$$F = ma \qquad qvB = m\frac{v^2}{r}$$

- Radio de la órbita: $r = \frac{mv}{qB}$



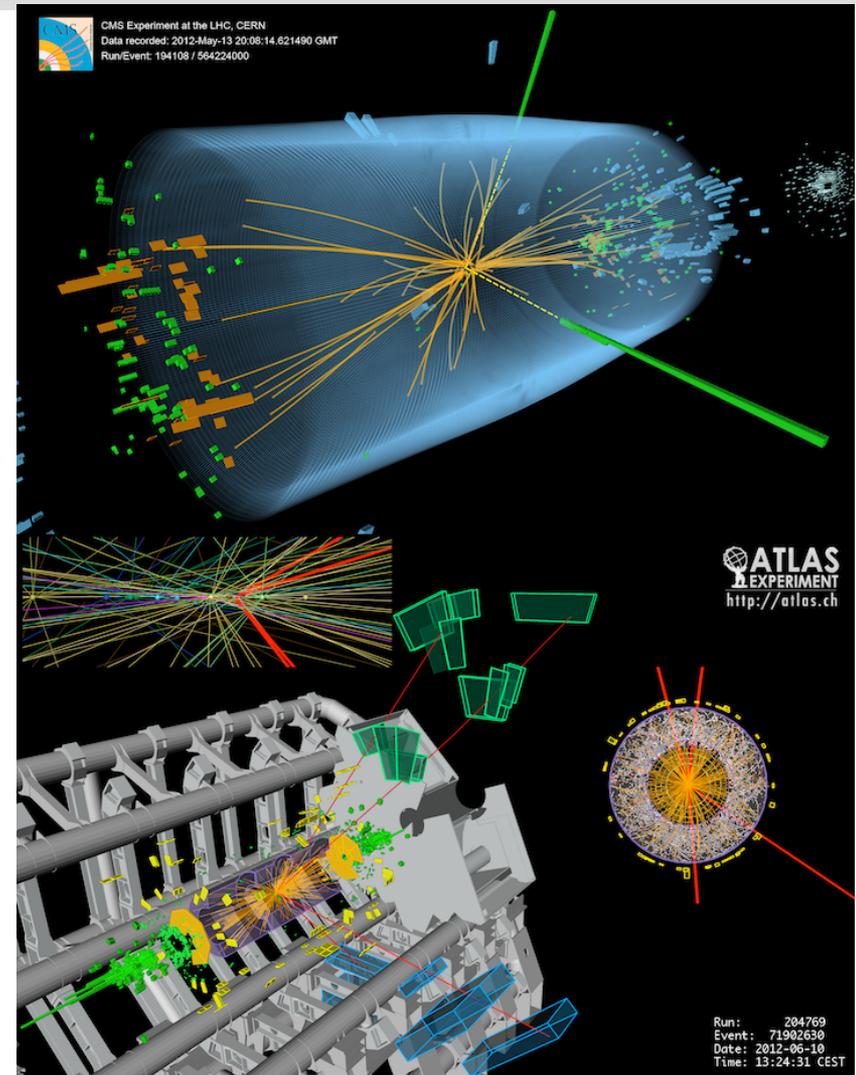
Campo Magnético. ciclotrón

- El periodo de la órbita se llama **Periodo de Ciclotrón**

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(mv/qB)}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Frecuencia de Ciclotrón

$$f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$



Campo Magnético. ciclotrón

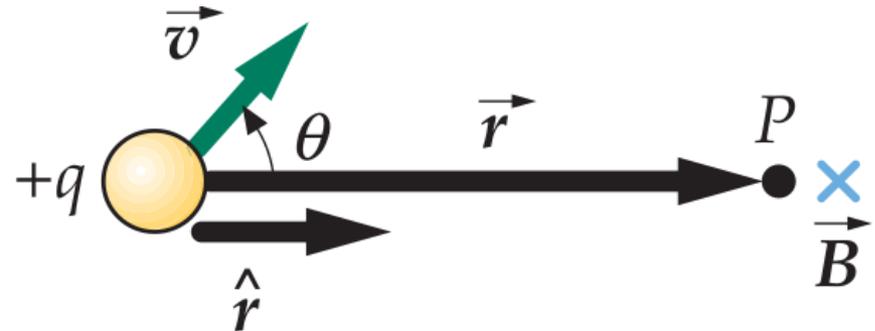
EJEMPLO (Tipler 26.4 p894) Periodo de ciclotrón

Un protón de masa $m = 1,67 \times 10^{-27}$ kg y carga $q = e = 1,6 \times 10^{-19}$ C se mueve en un círculo de radio $r = 21$ cm, perpendicularmente a un campo magnético $B = 4000$ G. Determinar (a) el periodo del movimiento y (b) la velocidad del protón.

Fuentes del Campo Magnético. Carga en movimiento

- Un campo magnético ejerce fuerza sobre una carga en movimiento
- A su vez **una carga en movimiento produce un campo magnético**

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



Permeabilidad magnética del vacío

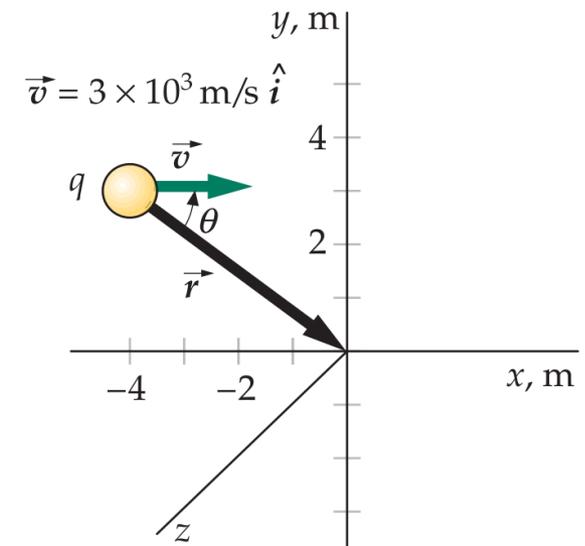
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m/A} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$$

Fuentes del Campo Magnético. Carga en movimiento

EJEMPLO (Tipler 27.1 p918)

Campo magnético creado por una carga puntual en movimiento

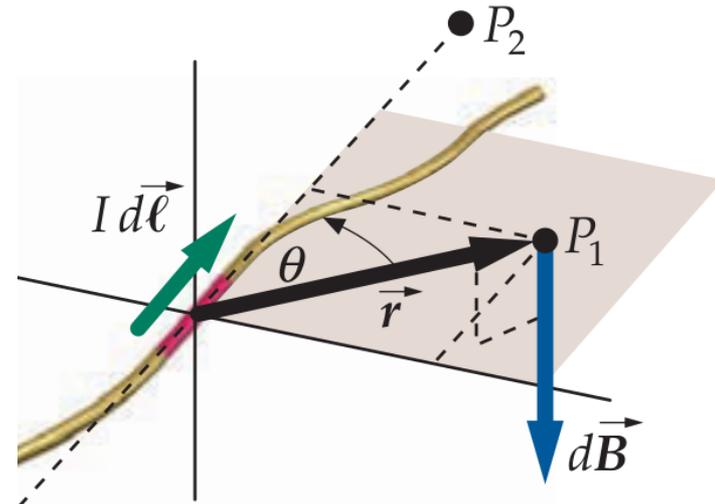
Una carga puntual de módulo $q = 4,5 \text{ nC}$ se mueve con velocidad $\vec{v} = 3,0 \text{ m/s } \hat{i}$ paralelamente al eje x a lo largo de la recta $y = 3 \text{ m}$. Determinar el campo magnético producido en el origen por esta carga cuando se encuentra en el punto $x = -4 \text{ m}$, $y = 3 \text{ m}$, como indica la figura 27.2.



Fuentes del Campo Magnético. Corriente

- Campo magnético $d\vec{B}$ producido por un elemento de corriente $d\vec{l}$:
Ley de Biot y Savart

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



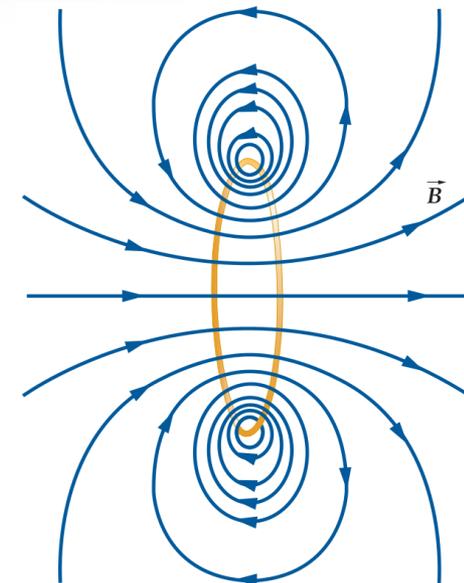
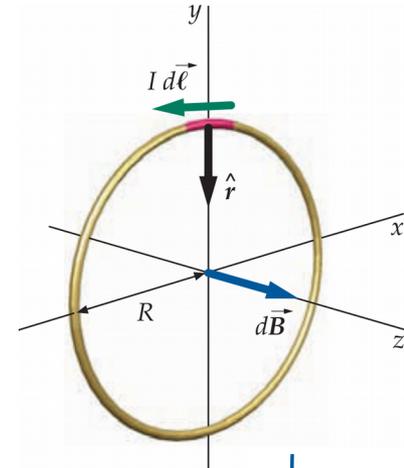
Fuentes del Campo Magnético. Corriente circular

- Campo magnético $d\mathbf{B}$ producido por un elemento de corriente $d\mathbf{l}$ en el centro de la espira circular:

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I d\mathbf{l} \sin\theta}{R^2}$$

donde $\theta = 90^\circ$ es el ángulo que forman $d\mathbf{l}$ y \mathbf{r} .
Por lo tanto el campo total en el centro es:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} \oint d\mathbf{l}$$
$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} 2\pi R = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

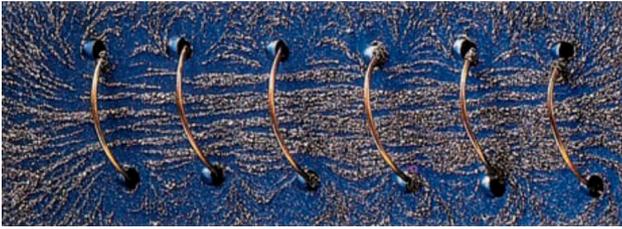


Fuentes del Campo Magnético. Corriente circular

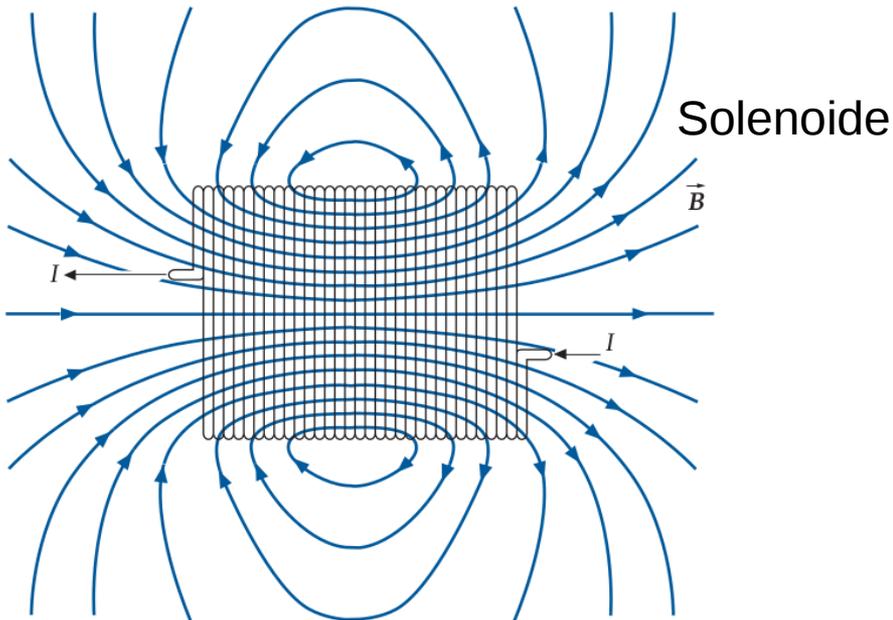
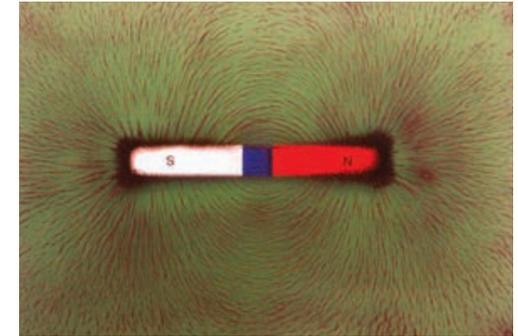
EJEMPLO (Tipler p920)

Hallar la corriente que debe circular en una espira circular de 8 cm de radio para que cree un campo magnético de 0,2 mT en su centro (respuesta: 25 A)

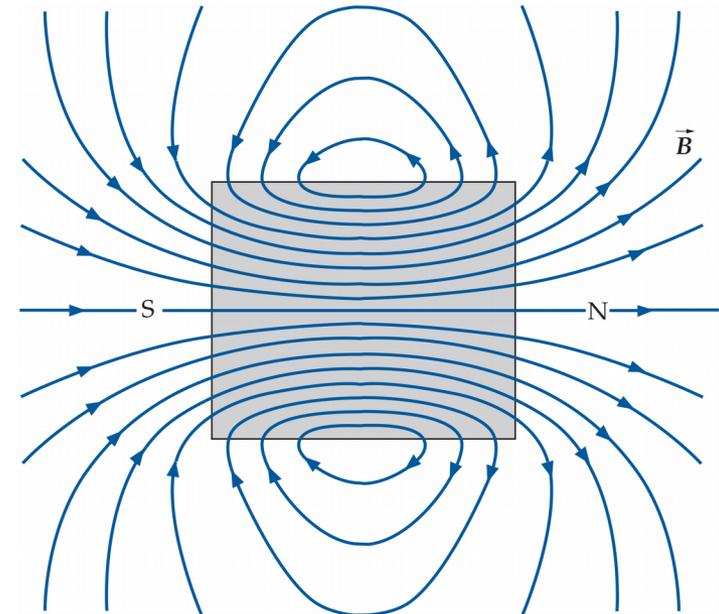
Fuentes del Campo Magnético. Ley de Gauss (líneas de B)



Las líneas de campo son **curvas cerradas** sin origen ni final



Imán



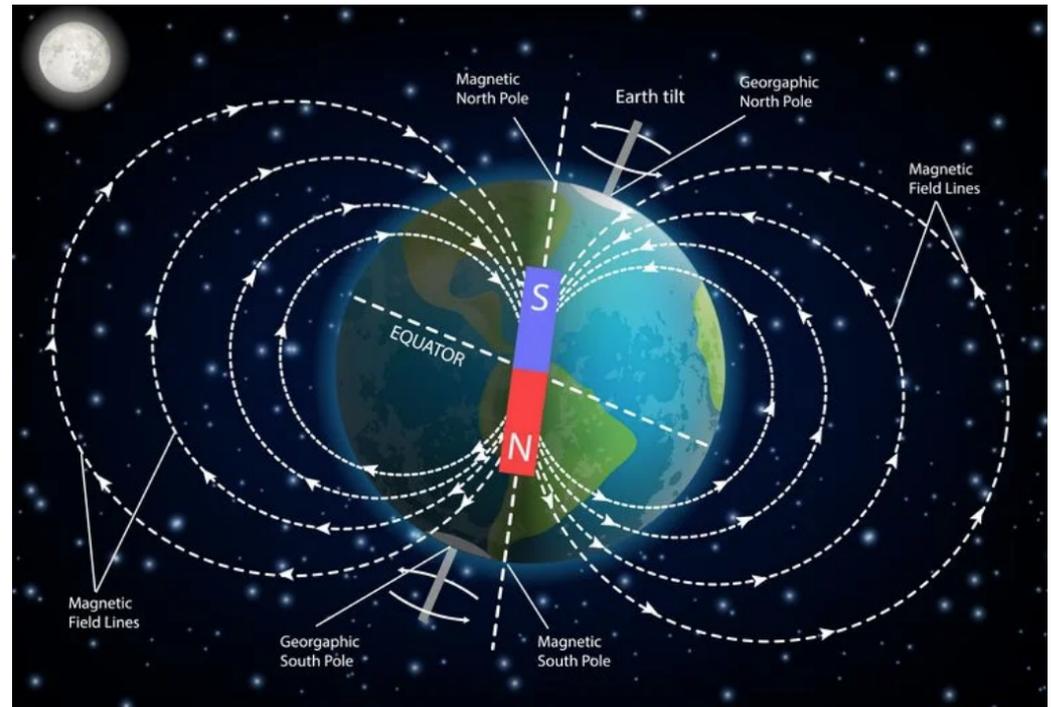
Fuentes del Campo Magnético. Ley de Gauss

Las líneas de campo son curvas cerradas sin origen ni final, luego el número de líneas que salen de una superficie cerrada es igual al número de las que entran:
El flujo neto del campo a través de cualquier superficie cerrada S es cero

$$\phi_{m \text{ net}} = \oint_S \vec{B} \cdot \hat{n} dA$$

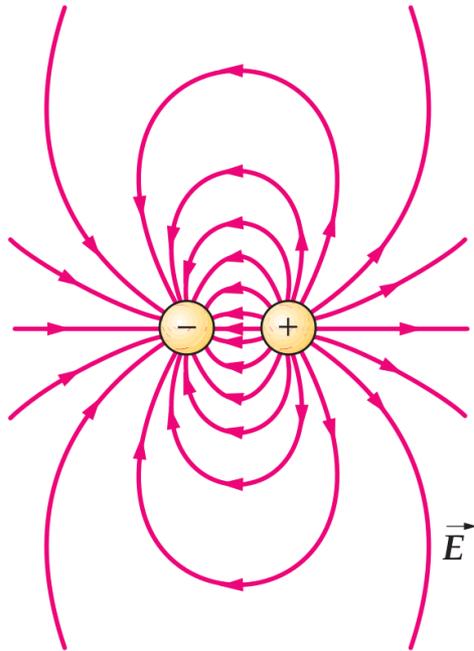
$$= \oint_S B_n dA = 0$$

Ley de Gauss para el campo magnético

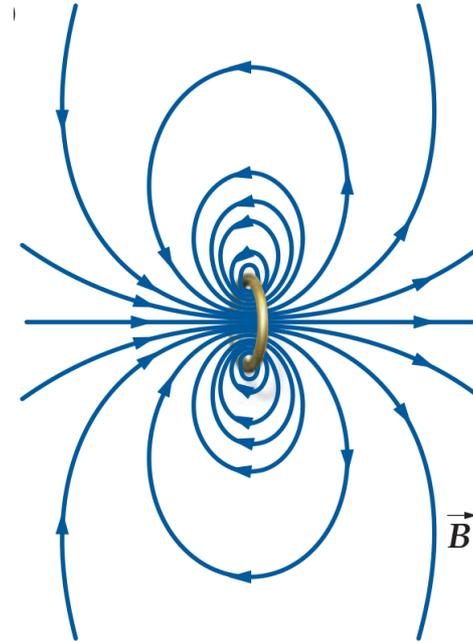


Fuentes del Campo Magnético. Ley de Gauss

El flujo neto del campo a través de cualquier superficie cerrada S es cero:
No existen los monopolos magnéticos. La unidad básica es el dipolo



La **carga** es la unidad básica creadora de **campo eléctrico**



El dipolo es la unidad básica creadora de **campo magnético**

Fuentes del Campo Magnético. Ley de Ampere

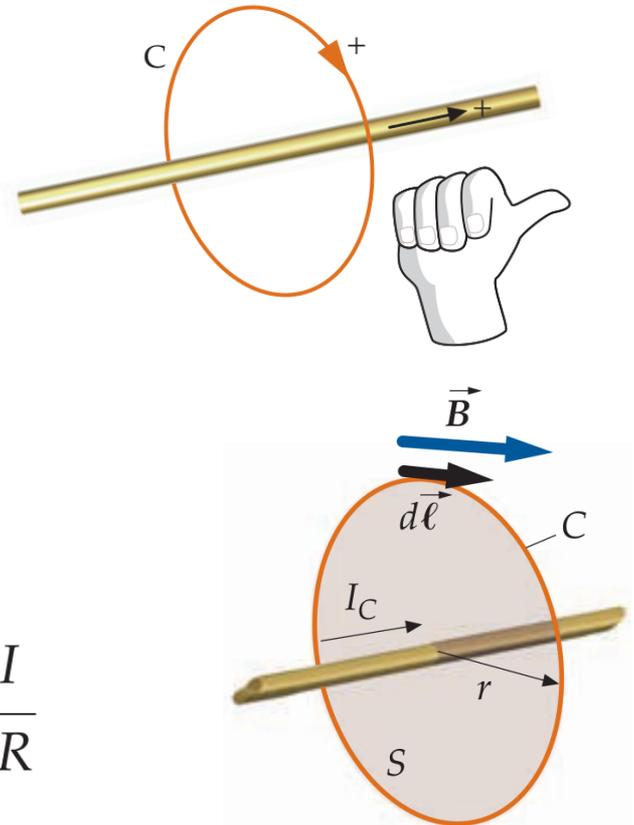
La **Ley de Ampere** relaciona la integral de línea de **componente tangencial del campo** B_t alrededor de una curva cerrada C con la **corriente** I_C que atraviesa la **superficie** limitada por dicha curva:

$$\oint_C B_t d\ell = \oint_C \vec{B} \cdot d\vec{\ell} = \mu_0 I_C$$

Válida cuando la I_C es **estacionaria** (no varía con el tiempo) y **continua** (no hay acumulación de carga)

EJEMPLO: calcular el campo magnético creado por un cable infinitamente largo y rectilíneo por el que circula una corriente

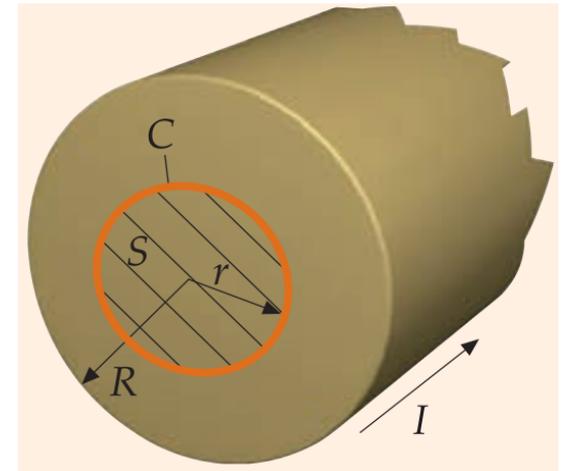
$$B \oint_C d\ell = \mu_0 I_C \quad B 2\pi R = \mu_0 I \quad B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R}$$



Fuentes del Campo Magnético. Ley de Ampere

EJEMPLO (Tipler 27.11 p934) \mathbf{B} en el interior de un alambre

Un alambre largo y recto de radio R transporta una corriente I uniformemente distribuida en toda el área transversal del conductor. Determinar el campo magnético dentro y fuera del alambre

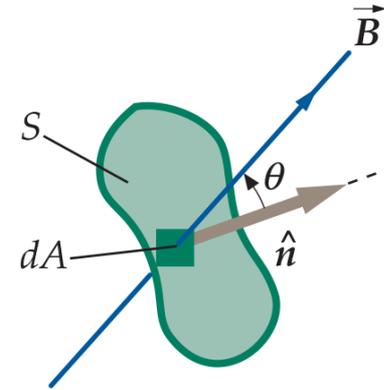


Inducción Magnética. Flujo magnético

Flujo magnético a través de una superficie A

$$\phi_m = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} dA = \int_S B_n dA$$

Unidades: **weber** $1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2$

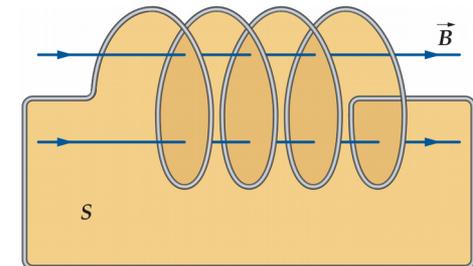
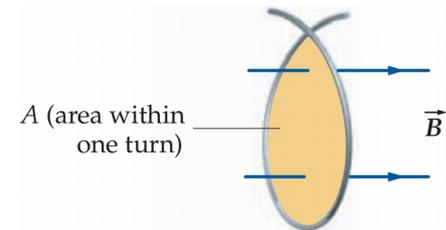


Superficie plana de área A y \vec{B} constante en módulo, dirección y sentido

$$\phi_m = \vec{B} \cdot \hat{n} A = BA \cos \theta = B_n A$$

Flujo a través de una **bobina con N vueltas**

$$\phi_m = NBA \cos \theta$$



Inducción Magnética. Flujo magnético

EJEMPLO (Tipler 28.1 p961) Flujo a través de un solenoide

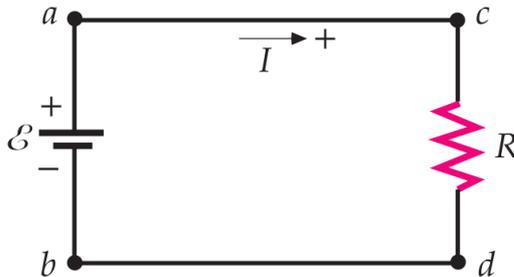
Determinar el flujo magnético a través de un solenoide de 40cm de longitud, 2,5cm de radio y 600 vueltas, cuando transporta una corriente de 7,5 A

Inducción Magnética. FEM

Fuente de FEM* o voltaje inducido:

Toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado

Ejemplo: batería o generador eléctrico)



$$I = \mathcal{E}/R$$

* FEM proviene de Fuerza Electromotriz, pero **no es una fuerza** y esta denominación ya no se usa

Inducción Magnética. FEM inducida y Ley de Faraday

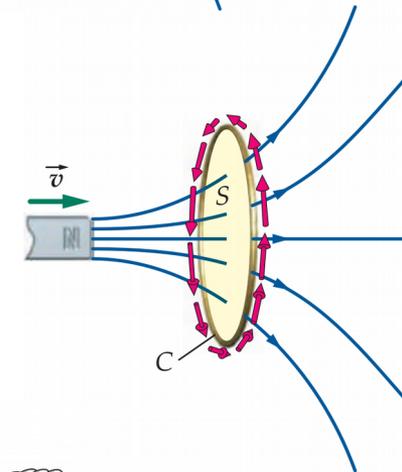
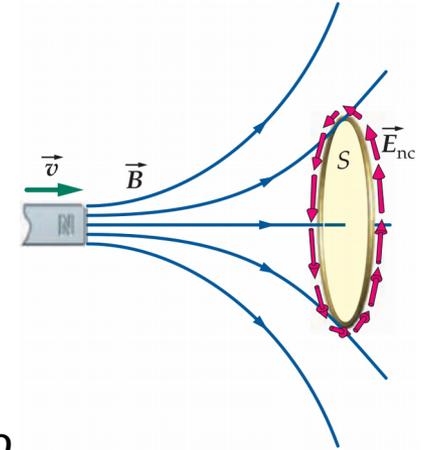
FEM inducida por la variación temporal del flujo magnético a través de una superficie cerrada

Ley de Faraday

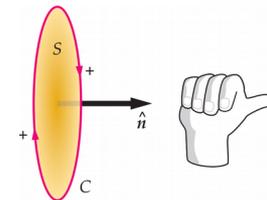
$$\mathcal{E} = - \frac{d\phi_m}{dt}$$

El trabajo de mover las cargas lo realiza un campo eléctrico *no conservativo* \vec{E}_{nc} producido por el campo magnético variable

$$\mathcal{E} = \oint_C \vec{E}_{nc} \cdot d\vec{\ell} = - \frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} dA = - \frac{d\phi_m}{dt}$$



Determinación del sentido tangencial positivo de a lo largo de C



Inducción Magnética. FEM inducida y Ley de Faraday

EJEMPLO (Tipler 28.2 p963) FEM inducida en una bobina circular I

Un campo magnético uniforme forma un ángulo de 30° con el eje de una bobina circular de 300 vueltas y un radio de 4cm. El campo varía a razón de 85 T/s, permaneciendo fija su dirección. Determinar el módulo de la FEM inducida en la bobina.

Inducción Magnética. FEM inducida y Ley de Faraday

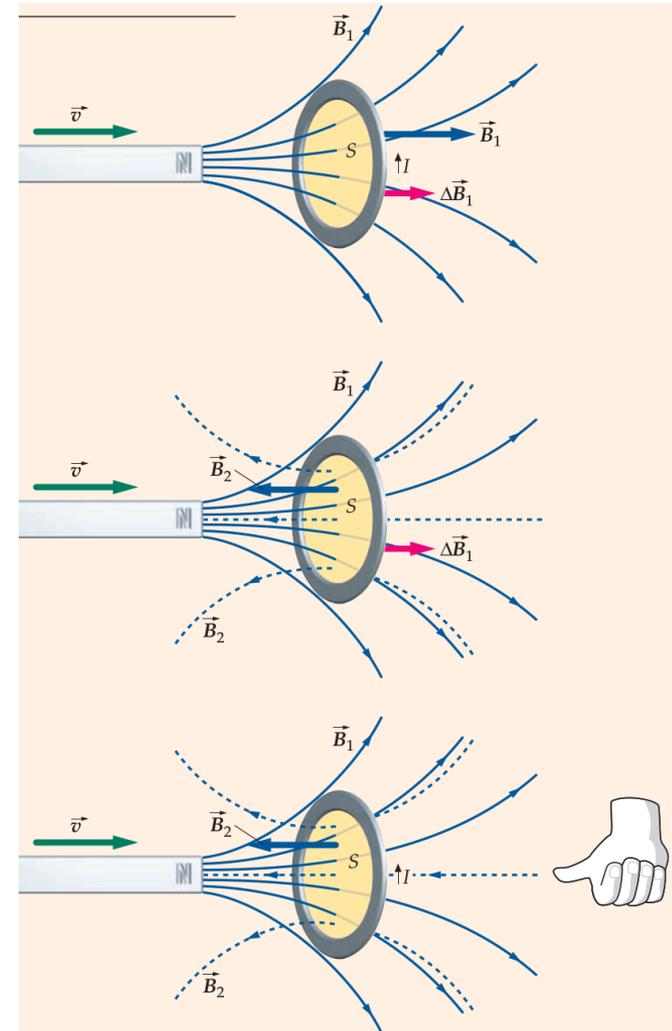
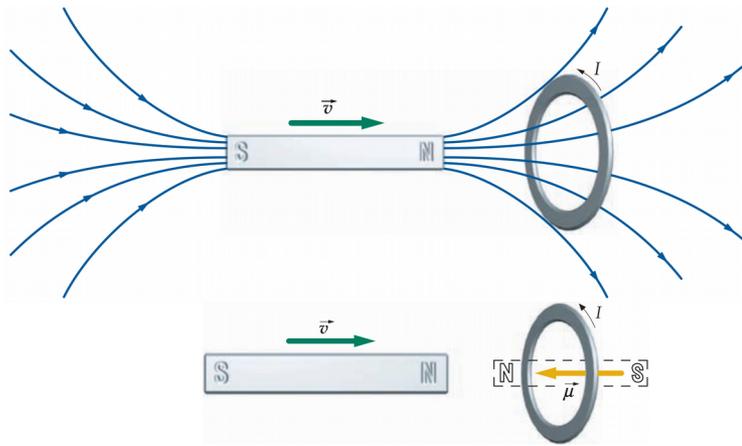
EJEMPLO (Tipler 28.3 p962) FEM inducida en una bobina circular I

Una bobina de 80 vueltas tiene un radio de 5cm y una resistencia de 30Ω . Determinar cuál debe ser el módulo de la variación de un campo magnético perpendicular al plano de la bobina para inducir en ésta una corriente de 4 A.

Inducción Magnética. Ley de Lenz

Ley de Lenz:

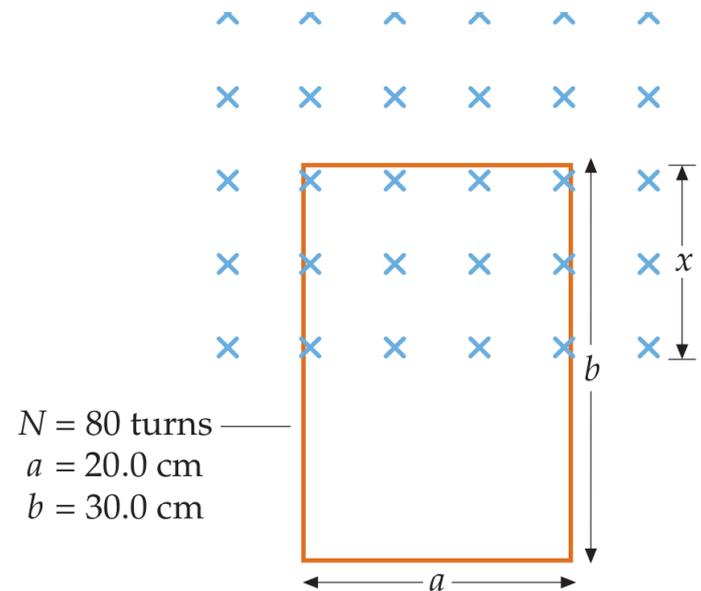
- La FEM y la corriente inducidas poseen una dirección y sentido tal que **tienden a oponerse a la variación que las produce**
- Cuando se produce una variación del flujo magnético que atraviesa una superficie, el campo magnético debido a la corriente inducida genera un flujo magnético sobre la misma superficie que se opone a dicha variación



Inducción Magnética. FEM inducida y Ley de Faraday

EJEMPLO (Tipler 28.6 p968) Ley de Lenz y bobina en movimiento

Una bobina rectangular de N vueltas de anchura a y longitud b , donde $N = 80$, $a = 20$ cm y $b = 30$ cm, está situada en un campo magnético $B = 0,8$ T dirigido hacia dentro de la página (figura 28.16). Como indica la figura, sólo la mitad de la bobina se encuentra en la región del campo magnético. La resistencia R de la bobina es de 30Ω . Determinar el módulo, dirección y sentido de la corriente inducida al desplazarse la bobina con una velocidad de 2 m/s (a) hacia la derecha, (b) hacia arriba y (c) hacia abajo.



Inducción Magnética. Flujo magnético

EJEMPLO (Tipler 28.1 p961) Flujo a través de un solenoide

Determinar el flujo magnético a través de un solenoide de 40cm de longitud, 2,5cm de radio y 600 vueltas, cuando transporta una corriente de 7,5 A