

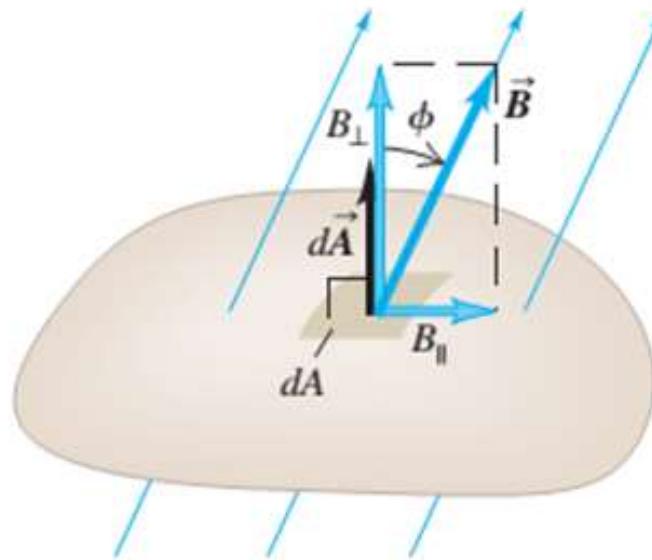
# QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO

Responda a cada pregunta sí o no. Suponga que los movimientos y las corrientes mencionadas están a lo largo del eje x y campos se encuentran en la dirección y.

- a) ¿Un campo eléctrico ejerce una fuerza sobre un objeto inmóvil cargado? **SI**
- b) ¿Un campo magnético puede hacerlo? **NO**
- c) ¿Un campo eléctrico ejerce una fuerza sobre un objeto que se mueve cargado? **SI**
- d) ¿Un campo magnético puede hacerlo? **SI, salvo que se mueva paralelamente al campo**
- e) ¿Un campo eléctrico ejerce una fuerza sobre un cable recto conductor de corriente? **NO**
- f) ¿Un campo magnético puede hacerlo? **SI, salvo que la corriente sea paralela al campo**
- g) ¿Un campo eléctrico ejerce una fuerza sobre un haz de electrones que se mueven? **SI**
- h) ¿Un campo magnético puede hacerlo?  
**SI, salvo que los electrones se muevan paralelos al campo**

# Repaso de clase anterior

2



Flujo magnético a través  
de un elemento de área  $d\vec{A}$ :  
 $d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_\perp dA = B dA \cos \phi$ .

Causa de la inducción electromagnética: cambio del **flujo magnético** en el tiempo a través de un circuito.

## Flujo magnético:

$$d\Phi_B = \vec{B} \cdot d\vec{A} = B_\perp dA = B dA \cos \phi$$

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

Si  $\vec{B}$  es uniforme sobre un área plana  $A$

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \phi$$

## Ley de Faraday de la inducción:

La fem inducida ( $\varepsilon$ ) en un circuito es igual a menos la derivada respecto al tiempo del flujo magnético ( $\Phi_B$ ) a través del circuito (es decir al negativo de la velocidad con que cambia con el tiempo el flujo magnético).

## Ley de Faraday

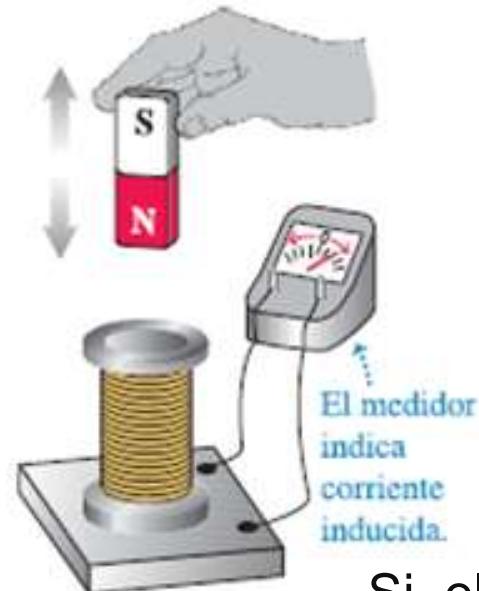
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

# Repaso de clase anterior

a) Un imán fijo NO induce una corriente en una bobina.



b) Mover el imán acercándolo o alejándolo de la bobina.



La corriente generada se llama **corriente inducida**, y la fem correspondiente que se requiere para generarla recibe el nombre de **fem inducida**.

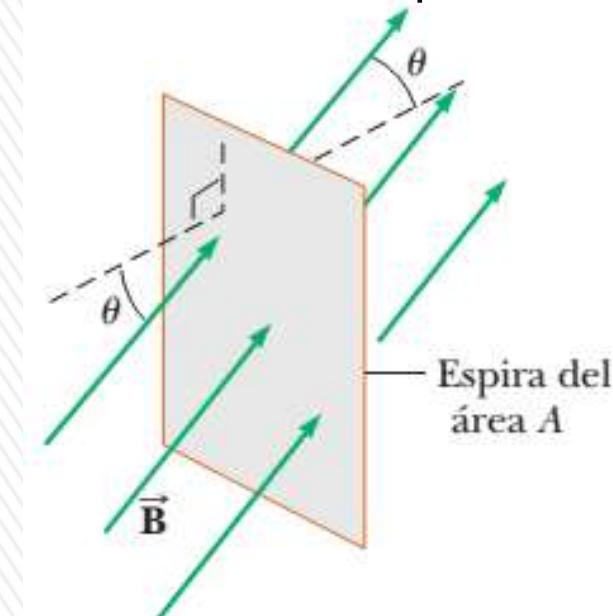
$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Si el campo B es uniforme en un área plana A:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt} (BA \cos \phi)$$

¿cómo se puede generar una fem?

- Variando el campo B
- Modificando el área A
- O variando el ángulo  $\theta$



# Repaso de clase anterior

Versión sencilla de un **alternador**, un dispositivo que genera una fem.

$$\Phi_B = \bar{B} \cdot \bar{A} = BA \cos \phi = BA \cos \omega t$$

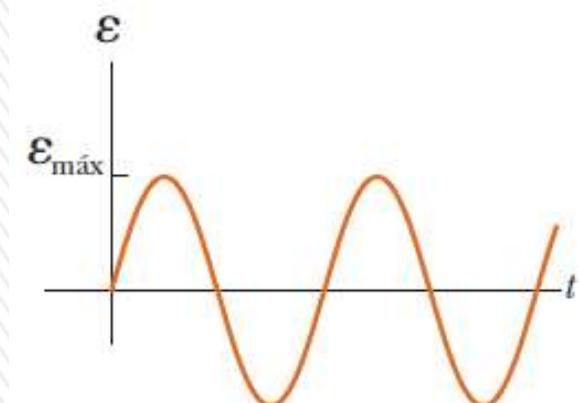
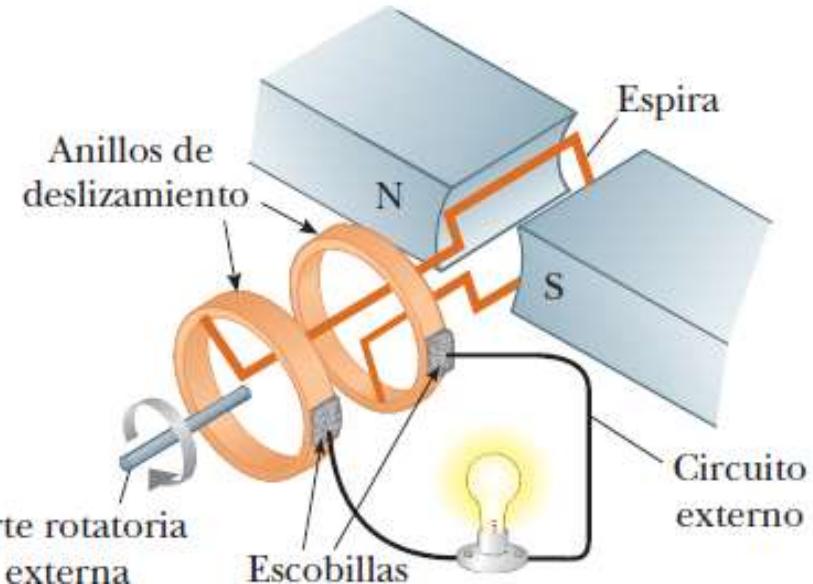
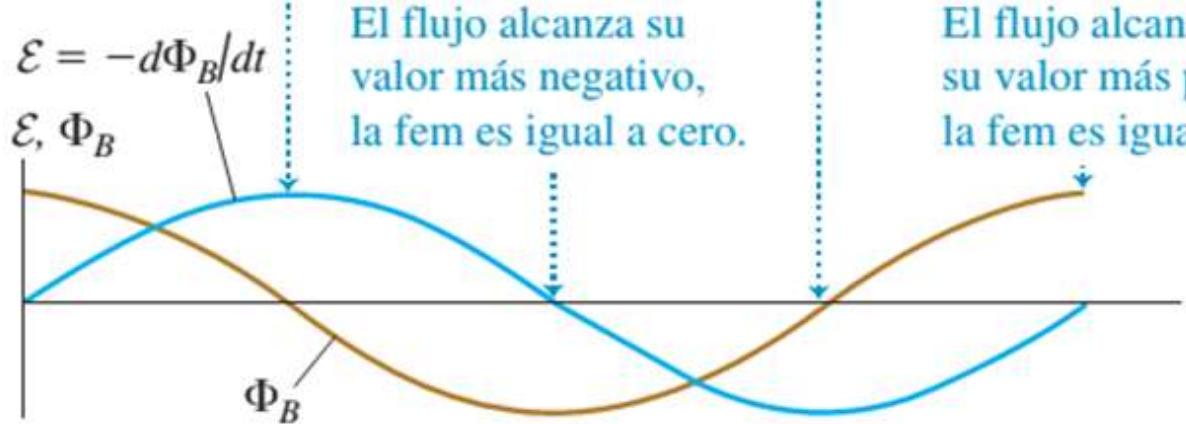
$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d}{dt}(BA \cos \omega t) = \omega BA \sin \omega t$$

$$\varepsilon_{MAX} = \omega BA$$



El flujo disminuye con máxima rapidez, fem positiva máxima.

El flujo aumenta con máxima rapidez, fem negativa máxima.



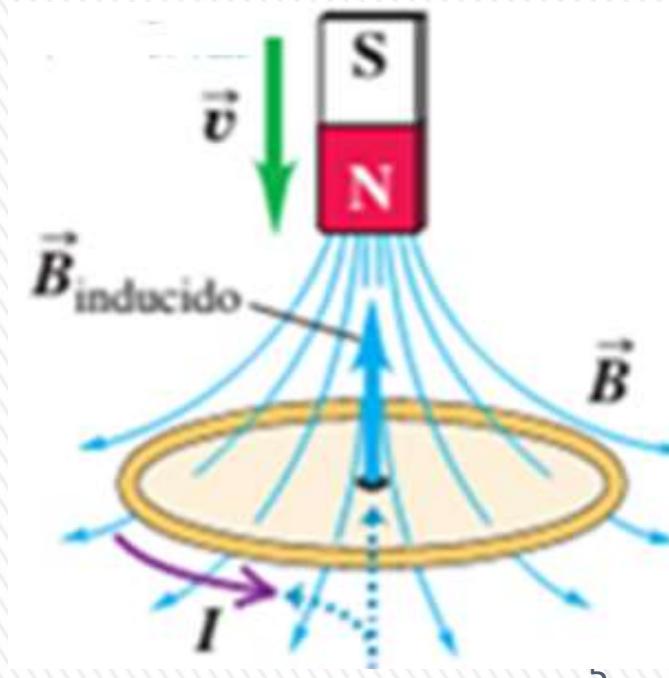
# Repaso de clase anterior

**Ley de Lenz:** Método alternativo conveniente para **determinar el sentido de una corriente o una fem inducidas**.

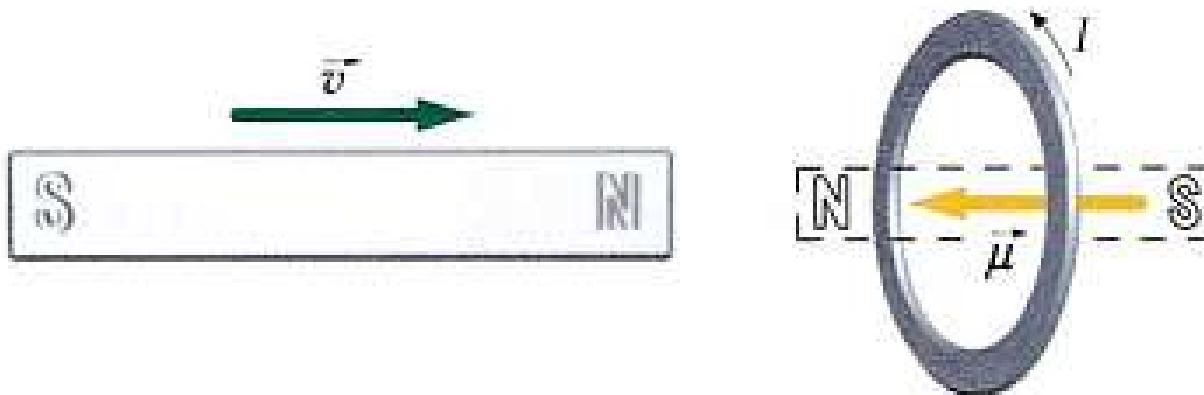
No es un principio independiente: se puede obtener de la ley de Faraday, pero es más fácil de usar y es consecuencia del principio de conservación de la energía.

**La dirección de cualquier efecto de la inducción magnética es la que se opone a la causa del efecto.**

La corriente o fem inducida siempre tiende a oponerse al cambio que la generó, o a cancelarlo.



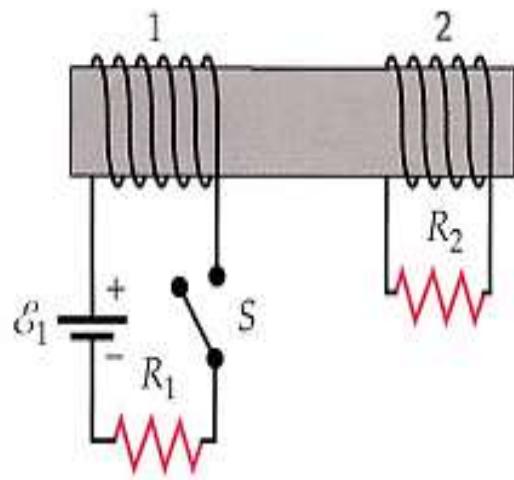
# LEY DE LENZ



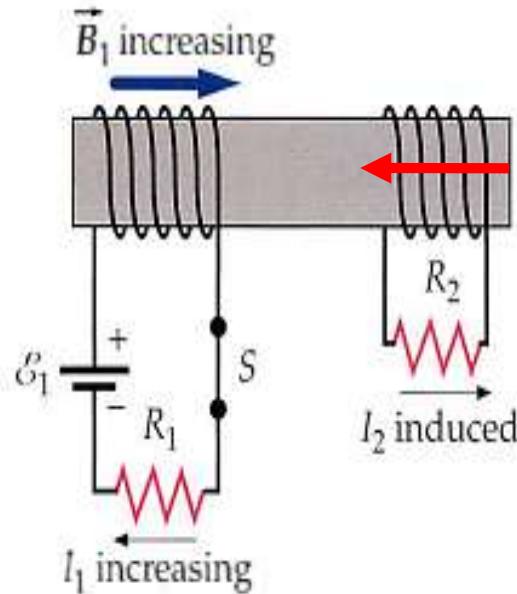
El momento magnético de la espira (mostrado en contorno como si fuera un imán de barra) debido a la corriente inducida es tal que se opone al movimiento de la barra imán. El imán de barra se está moviendo hacia la espira, el momento magnético inducido repele el imán de barra.



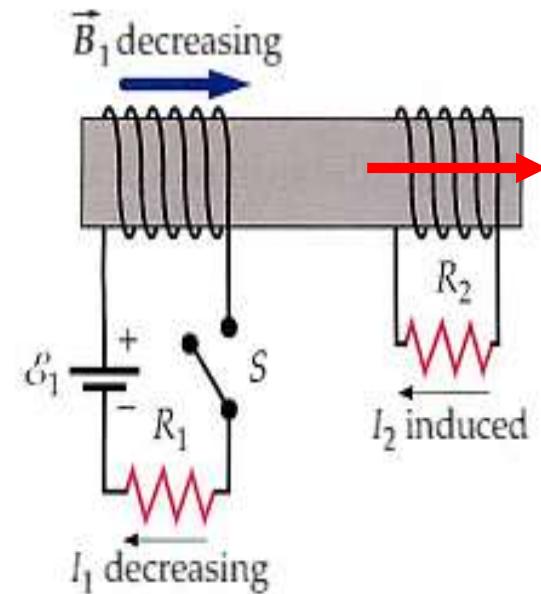
# LEY DE LENZ



(a)



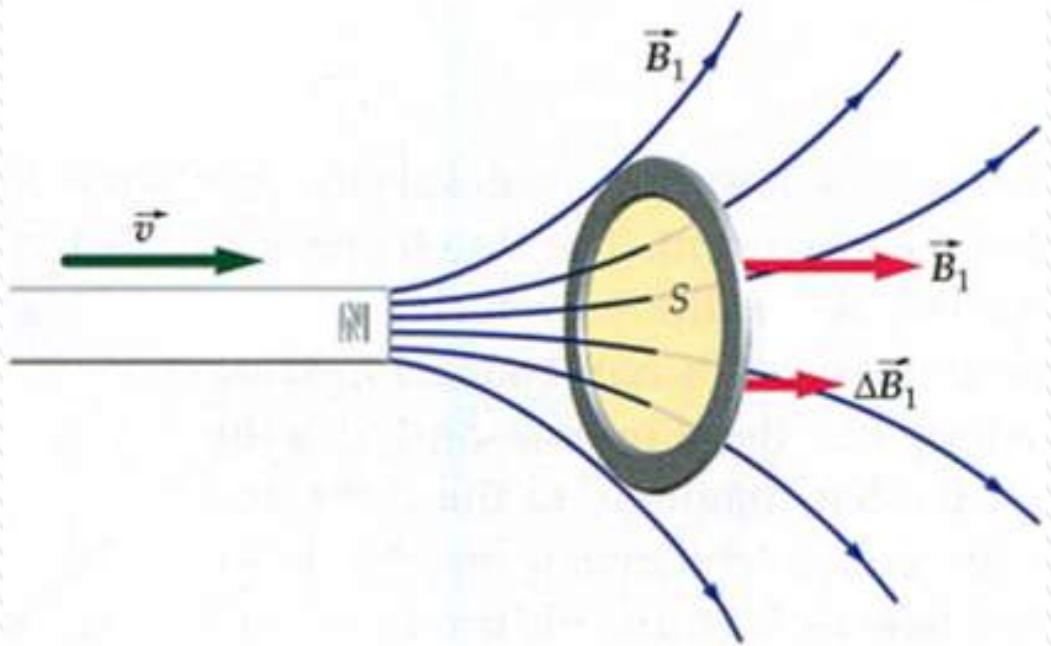
(b)



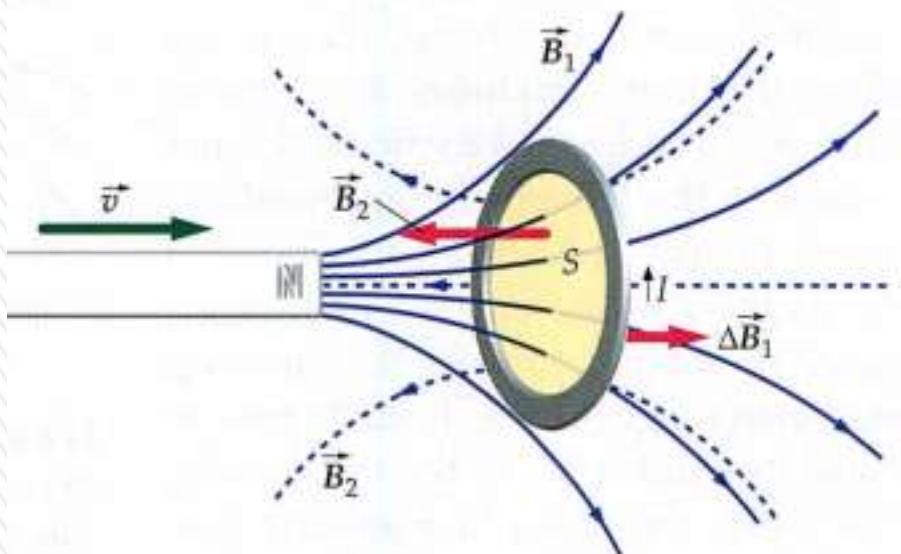
(c)

- a) Dos circuitos adyacentes.
- b) Justo después de que el interruptor se cierra,  $I_1$  crece en la dirección mostrada y crea un campo magnético  $B_1$  que aumenta desde 0. El cambio de flujo a través del circuito 2 induce la corriente  $I_2$ . de modo que genere un campo magnético inducido que se oponga a  $B_1$ .  
El flujo a través de circuito 2 debido a  $I_2$  se opone al cambio de flujo debido a  $I_1$
- c) A medida que se abre el interruptor, disminuye  $I_1$  y el flujo a través del circuito 2 cambia. La corriente inducida  $I_2$  entonces tiende a mantener el flujo a través del circuito 2, generando un campo inducido en el mismo sentido de  $B_1$ .

# QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO



Se acerca el polo norte de un imán de barra hacia una espira.  
¿Cuál es el sentido de la corriente inducida?



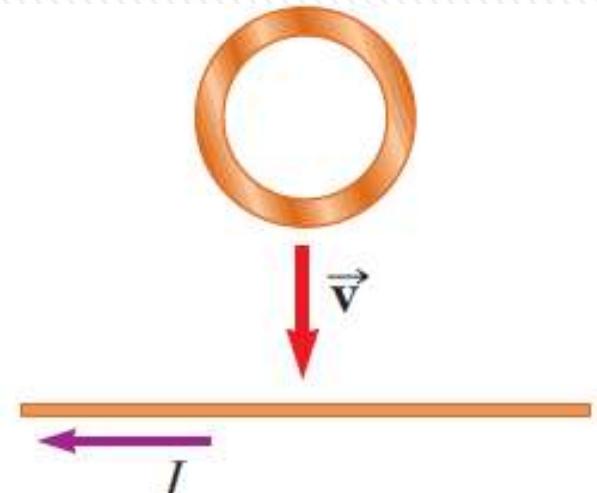
En sentido antihorario, como se muestra en la figura.  
El sentido de  $\vec{B}_2$  inducido se debe oponer al de  $\vec{B}_1$ , ya que el flujo magnético debido a éste va aumentando a medida que acerco el imán a la espira.



## QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO

La figura muestra una espira redonda de alambre que cae hacia un alambre que conduce corriente hacia la izquierda. La dirección de la corriente inducida en la espira es:

- a) en sentido de las manecillas del reloj,
- b) opuesta a las manecillas del reloj,
- c) cero,
- d) imposible de determinar.



El campo magnético que crea el alambre crece a medida que se está más cerca del mismo, y en la región donde está la espira es entrante. Por tanto a medida que cae la espira, aumenta el flujo magnético entrante en la espira.

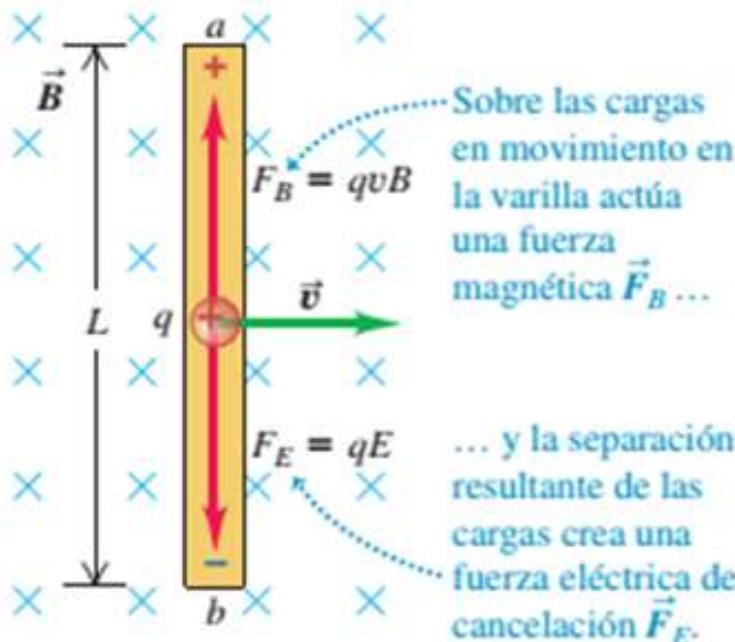
Por la ley de Lenz la corriente inducida se debe oponer a esto, por tanto debe producir un campo magnético saliente.

**El sentido de la corriente inducida en la espira debe tener sentido antihorario.**

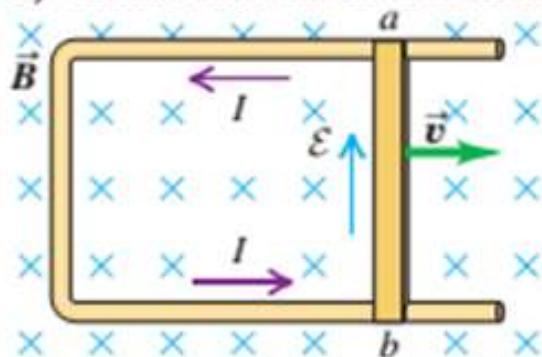
# FUERZA ELECTROMOTRIZ (fem) DE MOVIMIENTO

Conductor en U en **B** uniforme perpendicular al plano de la figura, dirigido *hacia la página*.

a) Varilla aislada en movimiento



b) Varilla conectada a un conductor fijo



Varilla de metal con longitud  $L$  entre los dos brazos del conductor forma un circuito, y se mueve la varilla hacia la derecha con velocidad **v** constante.

Una partícula cargada  $q$  (positiva) en la varilla experimenta una fuerza magnética

$$\bar{F} = q\bar{v} \times \bar{B}$$

Las cargas libres se mueven creando exceso de carga positiva en *a* y de carga negativa en *b*. Se crea un campo eléctrico **E** en el interior de la varilla. La carga  $q$  se sigue acumulando hasta que **E**:

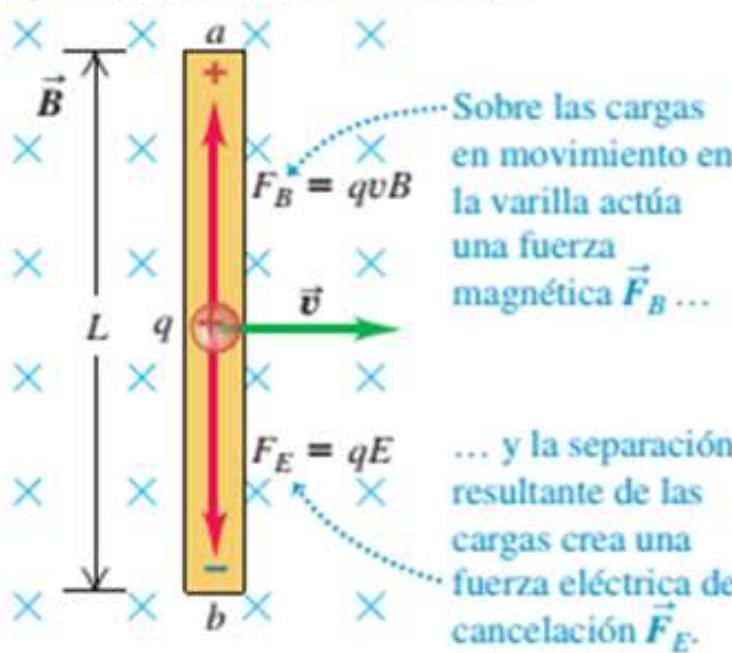
$$qE = qvB$$

Se crea una diferencia de potencial:  $V_{ab} = V_a - V_b$  igual a la magnitud del campo eléctrico **E** multiplicada por la longitud  $L$  de la varilla.

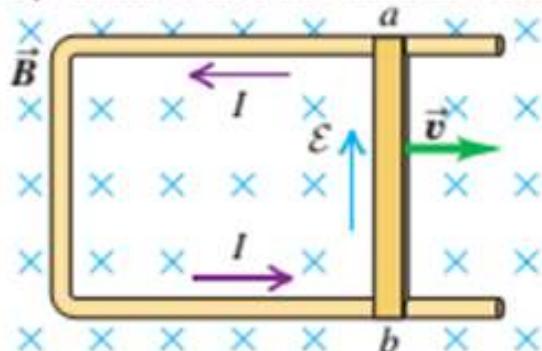
$$V_{ab} = V_a - V_b = E \cdot L = vBL$$

# FUERZA ELECTROMOTRIZ (fem) DE MOVIMIENTO

a) Varilla aislada en movimiento



b) Varilla conectada a un conductor fijo



El campo eléctrico establece una corriente en el sentido que se indica.

**La varilla móvil se ha vuelto una fuente de fuerza electromotriz**

Esta fem se denomina **fuerza electromotriz de movimiento**, y se denota con  $\epsilon$ .

$$\epsilon = vBL$$

(fem de movimiento; longitud y velocidad perpendiculares a  $\mathbf{B}$  uniforme)

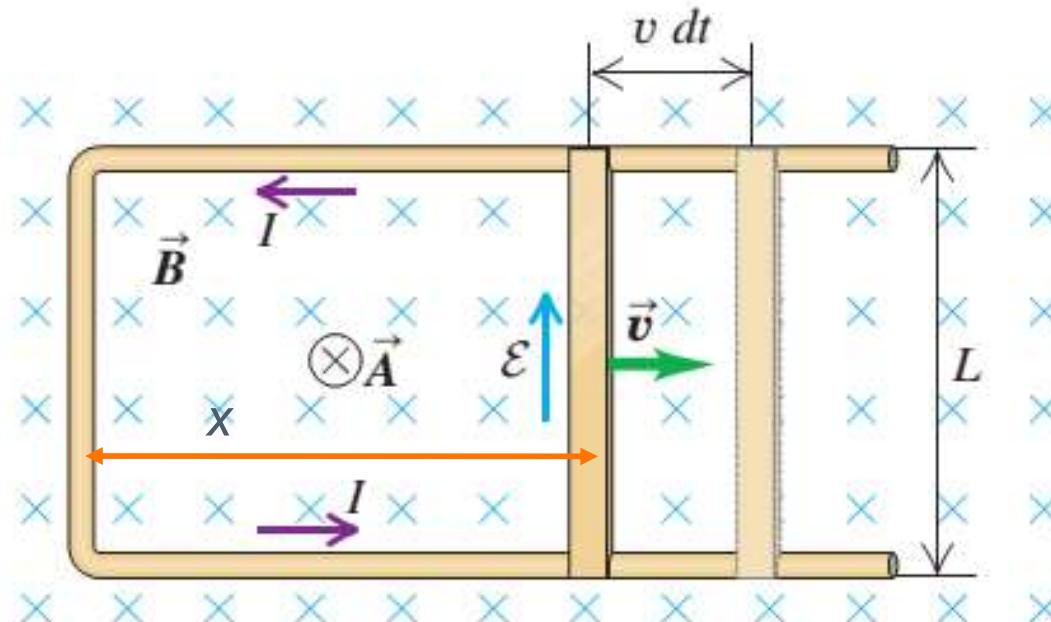


# FUERZA ELECTROMOTRIZ (fem) DE MOVIMIENTO

$$\Phi_B = B \cdot A = B \cdot (L \cdot x) \quad \text{lo único que varía es } x, \text{ ya que } v = dx/dt$$

Aplicando directamente la ley de Faraday:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -B \frac{dA}{dt} = -B \frac{d(L \cdot x)}{dt} = -BL \frac{dx}{dt} \quad \varepsilon = -BLv$$



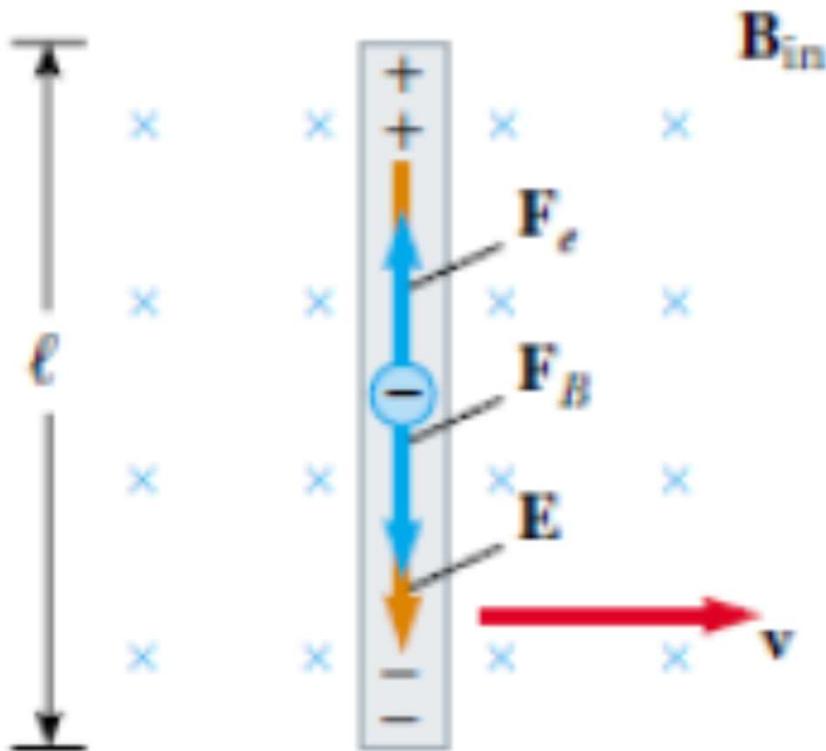
El sentido de la fem inducida se deduce mediante la ley de Lenz.

Aún si el conductor no forma un circuito completo se puede usar... en ese caso podemos completar el circuito mentalmente entre los extremos del conductor y aplicar la ley de Lenz para determinar el sentido de la corriente.



# FEM DE MOVIMIENTO O CINÉTICA

Se puede generalizar el concepto de fem de movimiento para un conductor de *cualquier* forma que se mueva en un campo magnético, uniforme o no.



Así como se genera una fem inducida se está generando un campo eléctrico inducido.

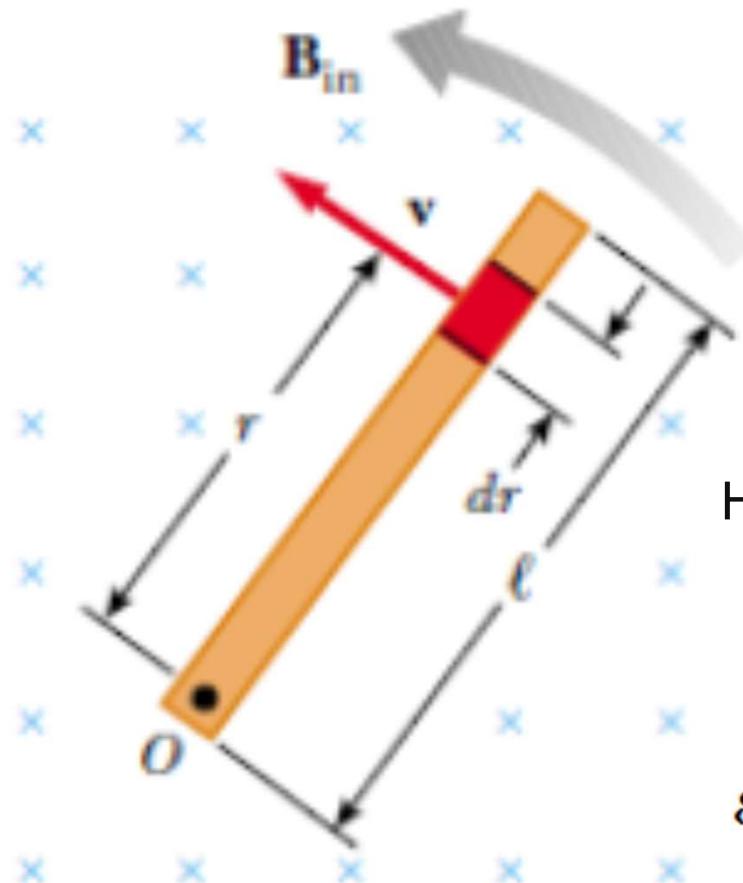
Barra conductora: longitud  $l$ , velocidad  $v$  a través campo magnético  $B$  ( $B$  y  $v$  perpendiculares).

Se induce en los extremos de la barra una fem igual a:

$$\varepsilon = B/lv$$

La diferencia de potencial se mantiene mientras existe movimiento a través del campo. Si se invierte el sentido de movimiento, se invierte la polaridad.

# Fuerza electromotriz de movimiento



## Fem de movimiento inducida en una barra giratoria

Considero un elemento diferencial de la barra de longitud  $dl$  que tiene una rapidez  $v$

$$d\varepsilon = v B dl$$

Haciendo  $dl = dr$  y considerando que  $v = \omega r$

$$d\varepsilon = B v dr = B \omega r dr$$

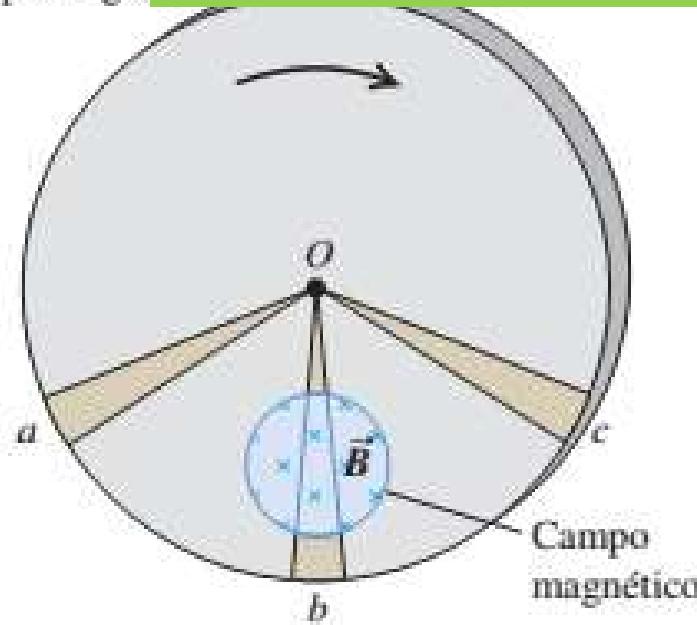
$$\varepsilon = \int d\varepsilon = B \omega \int_0^L r dr = \frac{1}{2} B \omega L^2$$

Si tenemos una barra conductora de longitud  $L$  que gira alrededor de un eje con una velocidad angular  $\omega$  en uno de sus extremos en un campo magnético uniforme  $B$  que es perpendicular al plano de rotación, se induce una fem entre los extremos de la barra dado por:

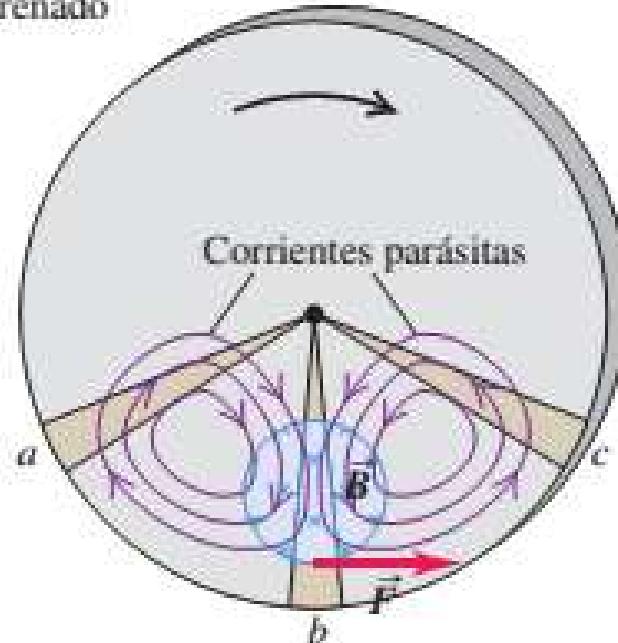
$$\varepsilon = \frac{1}{2} B \omega L^2$$

a) Disco metálico en un campo magnético

# CORRIENTES PARÁSITAS (EDDY CURRENT)



b) Corrientes parásitas resultantes y fuerza de frenado



Cuando masas de metal se mueven en campos magnéticos, o están situados en campos magnéticos cambiantes, surgen corrientes inducidas que circulan por todo el volumen del material.

Sus patrones de flujo recuerdan los remolinos en un río y reciben el nombre de **corrientes parásitas o de Foucault**.

Disco metálico gira en un  $B$  perpendicular al plano del disco, pero confinado a una porción limitada del área del disco.

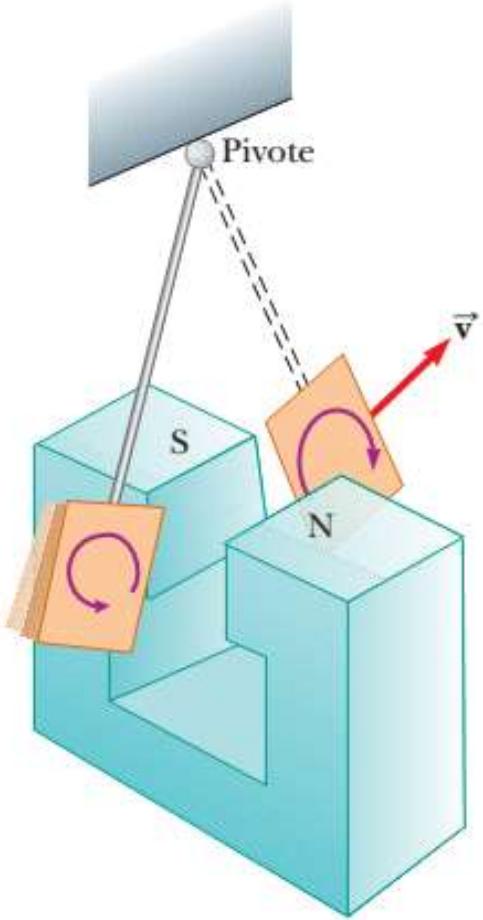
El sector  $Ob$  se desplaza a través del campo y tiene una fem inducida en él.

Los sectores  $Oa$  y  $Oc$  no están en el campo, pero constituyen trayectorias de retorno para que las cargas desplazadas a lo largo de  $Ob$  regresen de  $b$  a  $O$ .

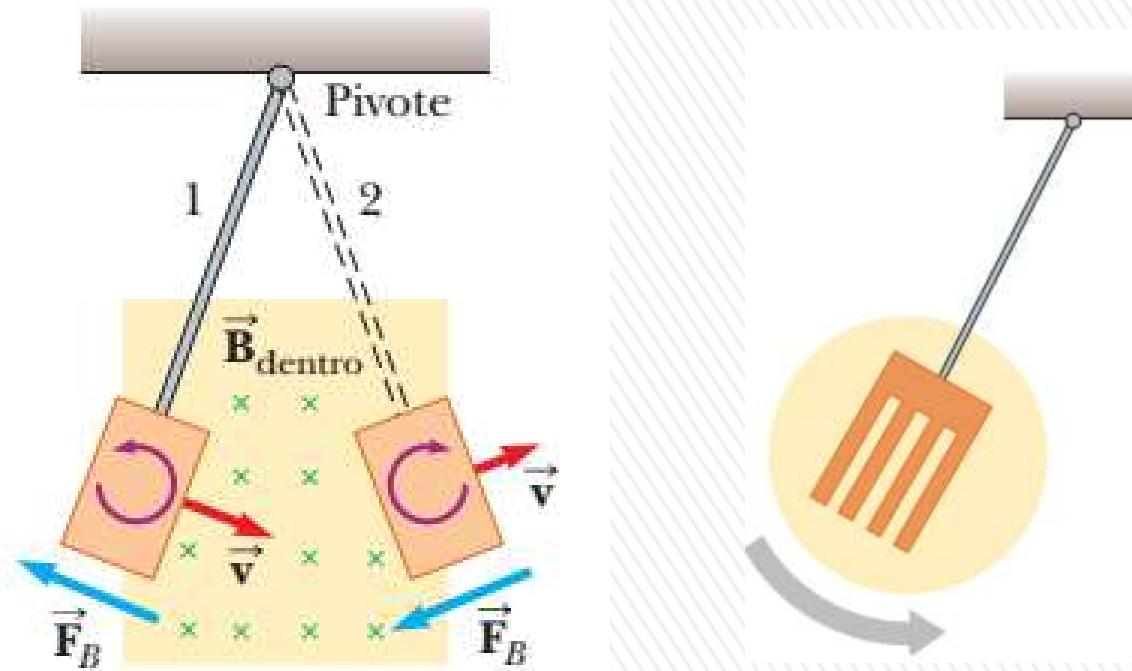
El resultado es una circulación de corrientes parásitas en el disco, en forma parecida a la que se muestra en la figura.

De acuerdo a la ley de Lenz el sentido de la corriente inducida en las inmediaciones del sector  $Ob$  debe ser tal que experimente una fuerza magnética que se opone a la rotación del disco.

# CORRIENTES PARÁSITAS (EDDY CURRENT)



**Figura 31.21** Formación de corrientes parásitas o de eddy en una placa conductora que se mueve a través de un campo magnético. Como la placa entra o sale del campo, el flujo magnético cambiante induce una fem, que es la que genera corrientes de eddy en la placa.

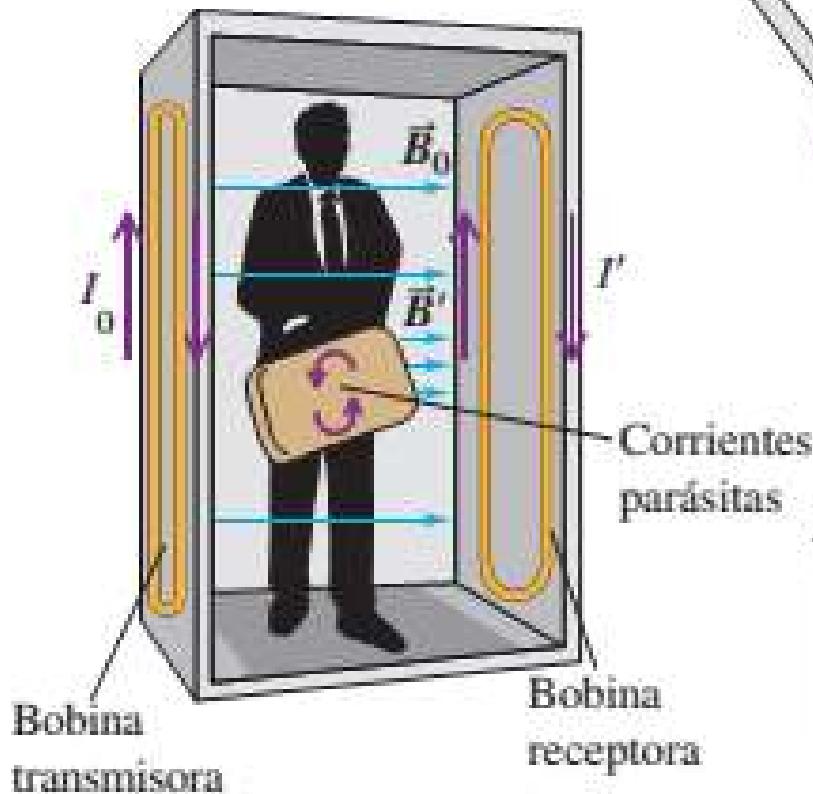


**Usos prácticos:** disco metálico en contador de corriente, hornos de inducción detectores de metal, frenos electromagnéticos.

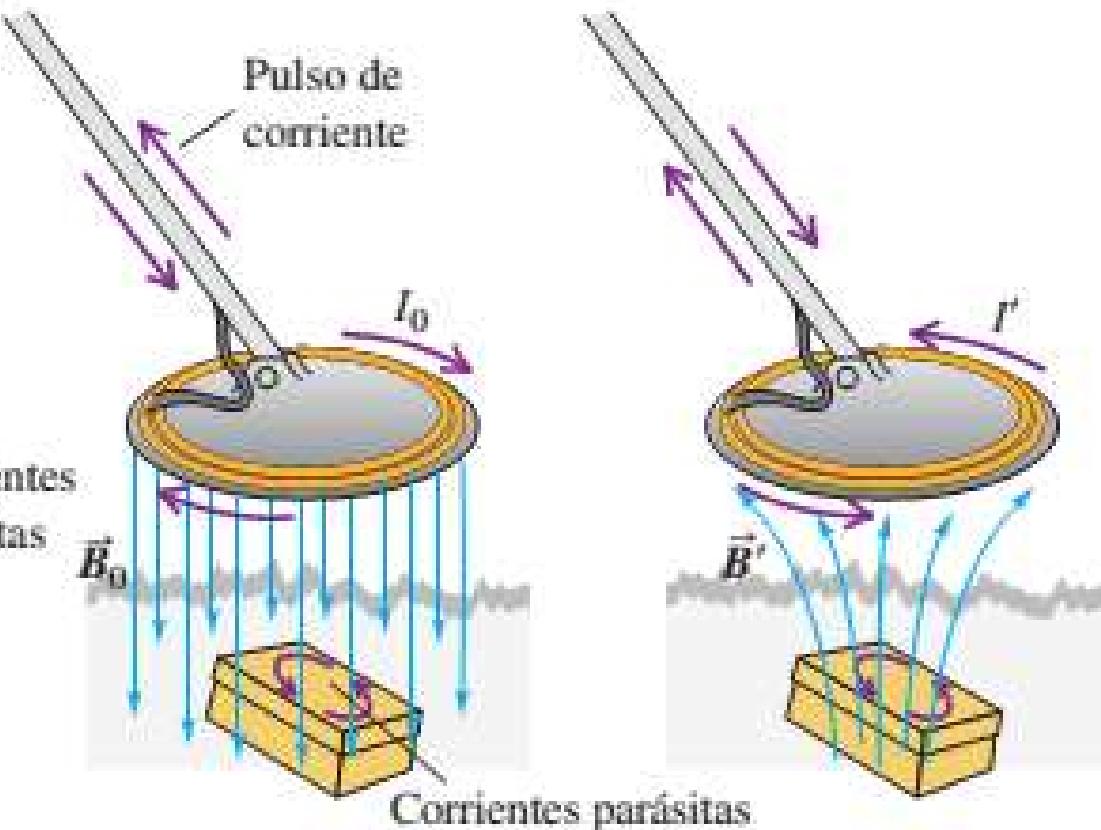
**Efectos indeseables:** transformador de corriente alterna, las bobinas enrolladas alrededor del núcleo conducen corriente que varía en forma sinusoidal, las corrientes eddys resultantes en el núcleo desperdician energía por calentamiento  $I^2R$  y establecen por sí mismas una fem opuesta indeseable en las bobinas.

# CORRIENTES PARÁSITAS (EDDY CURRENT)

a)

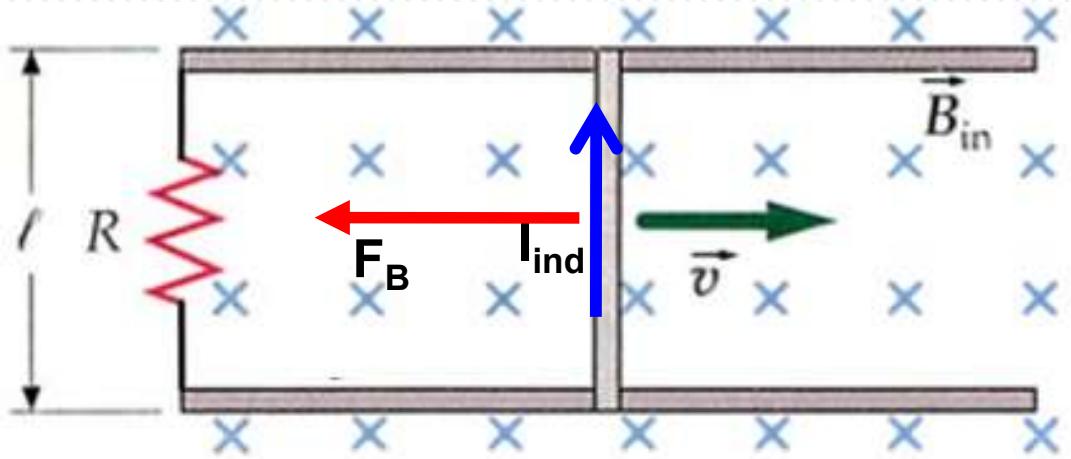


b)



- a) Un detector de metales en un punto de revisión en un aeropuerto genera un campo magnético alterante  $B_0$ . Esto induce corrientes parásitas en un objeto conductor que pase por el detector. A la vez, las corrientes parásitas producen un campo magnético alterante  $B'$ , el cual induce una corriente en la bobina receptora del detector.
- b) Los detectores de metal portátiles funcionan con el mismo principio.

# QUICK QUIZ - CUESTIONARIO RÁPIDO



Hay un campo magnético uniforme entrante a la pantalla, y la barra se desplaza hacia la derecha con rapidez  $v$ .

¿Cuál es el sentido de la corriente inducida por la barra?

En la barra es de abajo hacia arriba.

En la espira cerrada con  $R$ , la corriente inducida se mueve en sentido antihorario.

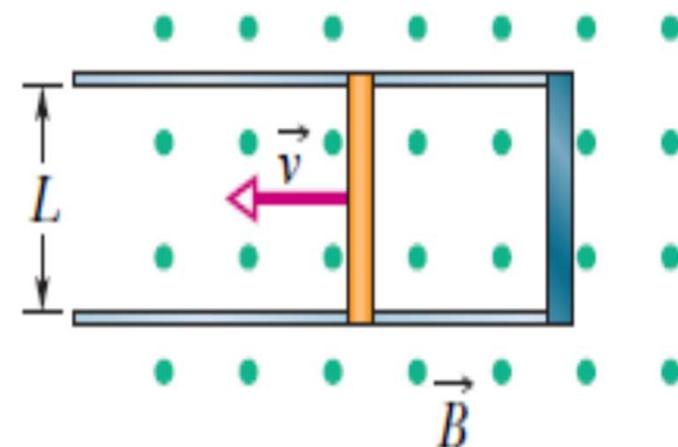
Genera una fuerza magnética que se opone al movimiento de la barra.



## EJEMPLO: ejercicio 3.2.6

3.2.6- La figura muestra una barra conductora de longitud  $L$  que, tirando de ella, es atraída a lo largo de rieles conductores horizontales, carentes de fricción, a una velocidad constante  $v$ . Un campo magnético vertical uniforme  $B$  ocupa la región en que se mueve la barra. Si  $L = 10,8$  cm,  $v = 4,86$  m/s y  $B = 1,18$  T.

- Halle la fem inducida en la barra.
- Calcule la corriente en la espira conductora. Suponga que la resistencia de la barra sea de  $415$  m $\Omega$  y que la resistencia de los rieles sea despreciablemente pequeña.
- Determine la fuerza que debe aplicarse por un agente externo a la barra para mantener su movimiento.
- ¿A qué velocidad se está generando la energía interna en la barra?
- ¿A qué velocidad esta fuerza realiza trabajo sobre la barra? Compare esta respuesta con la respuesta dada a d).



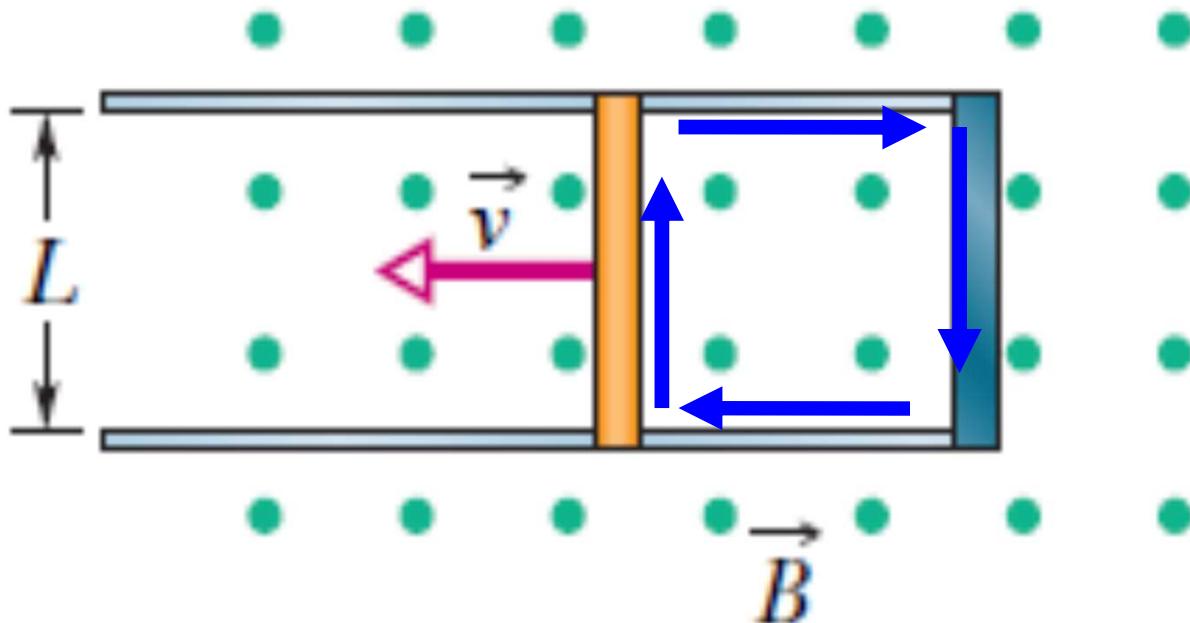
$$L=10,8 \text{ cm}, v = 4,86 \text{ m/s}, B = 1,18 \text{ T}, R = 415 \text{ m}\Omega$$

a)  $\varepsilon = BLv = (1,18)(0,108)(4,86) = 0,5826 \text{ V}$   **$\varepsilon = 0,583 \text{ V}$**

b)  $I = \varepsilon/R = 0,5826/0,415 = 1,3709 \text{ A}$   **$I = 1,37 \text{ A}$**

c)  $F = BIL = (1,18)(1,3709)(0,108) = 0,16552 \text{ N}$   **$F = 0,166 \text{ N}$**

## EJEMPLO: ejercicio 3.2.6



Supongo  $B$  saliente.  
El flujo magnético aumenta con el tiempo.  
Por lo que el  $B_{\text{inducido}}$  se debe oponer al existente.  
Por lo tanto la corriente en la espira debe ser en sentido horario.

La velocidad se está generando la energía interna en la barra es la misma que la velocidad que la fuerza realiza trabajo sobre la barra.

La velocidad se está generando la energía interna en la barra, es la potencia disipada por efecto Joule:

$$\mathcal{P}_{\text{dis.}} = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2}{R} = \frac{(BLv)^2}{R}$$

La velocidad que la fuerza realiza trabajo sobre la barra es la potencia entregada:

$$\mathcal{P}_{\text{ent.}} = F \cdot v = (B \cdot I \cdot L)v = B \left( \frac{BLv}{R} \right) Lv = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$$

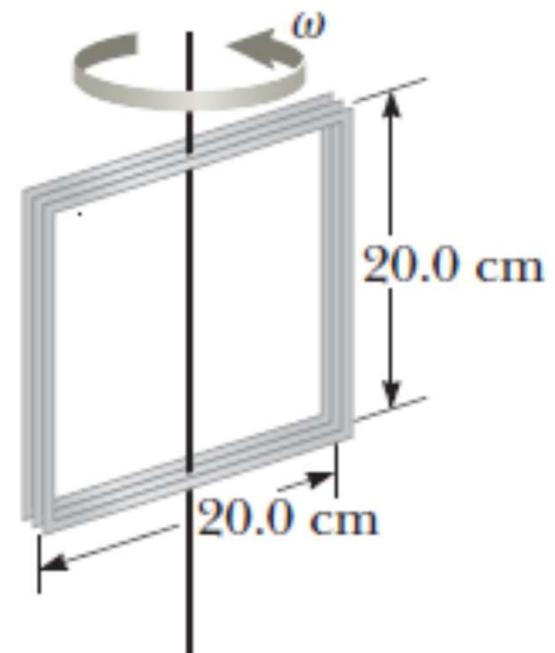
$$\mathcal{P}_{\text{dis.}} = \mathcal{P}_{\text{ent.}} = F \cdot v = (0,16552 \text{ N}) \left( 4,86 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) = 0,80443 \text{ W}$$

$$\mathcal{P} = 0,804 \text{ W}$$

## EJEMPLO: ejercicio 3.2.8

Una bobina cuadrada de  $20\text{ cm} \times 20\text{ cm}$  de 100 vueltas de alambre gira alrededor de un eje vertical a 1500 rpm. La componente horizontal del campo magnético terrestre en la posición de la bobina es  $2,00 \times 10^{-5}\text{ T}$ .

- Calcular la máxima fem inducida en la bobina por este campo.
- Si el alambre tiene una resistencia por unidad de longitud de  $0,10\text{ }\Omega/\text{cm}$ , hallar la amplitud de la corriente inducida.
- ¿Cuánto vale la potencia promedio disipada en calor por la resistencia?



$$\mathcal{E}_{\text{máx.}} = N\omega BA$$

$N = 100$  espiras.

$$A = L^2 = (0,20\text{ m})^2 = 0,040\text{ m}^2$$

$$\omega = \frac{2\pi(1500\text{ rpm})}{60} = 157,08\text{ rad/s}$$

$$\mathcal{E}_{\text{máx.}} = N\omega BA = 100(157,08)(2,00 \times 10^{-5})(0,040) = 0,012566\text{ V}$$

$$\mathcal{E}_{\text{máx.}} = 12,6\text{ mV}$$

La resistencia de la espira valdrá:  $R = 0,10\text{ }\Omega/\text{cm} \times (100 \times 4 \times 20,0)\text{ cm} = 800\text{ }\Omega$

$$I_{\text{máx.}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{máx.}}}{R} = \frac{0,012566}{800} = 1,57 \times 10^{-5}\text{ A}$$

$$I_{\text{máx.}} = 15,7\text{ }\mu\text{A}$$

$$\mathcal{P}_{\text{dis.}} = I^2 R = \frac{\mathcal{E}^2}{R} = \frac{(12,6 \times 10^{-3})^2}{800} = 1,97 \times 10^{-7}\text{ W}$$