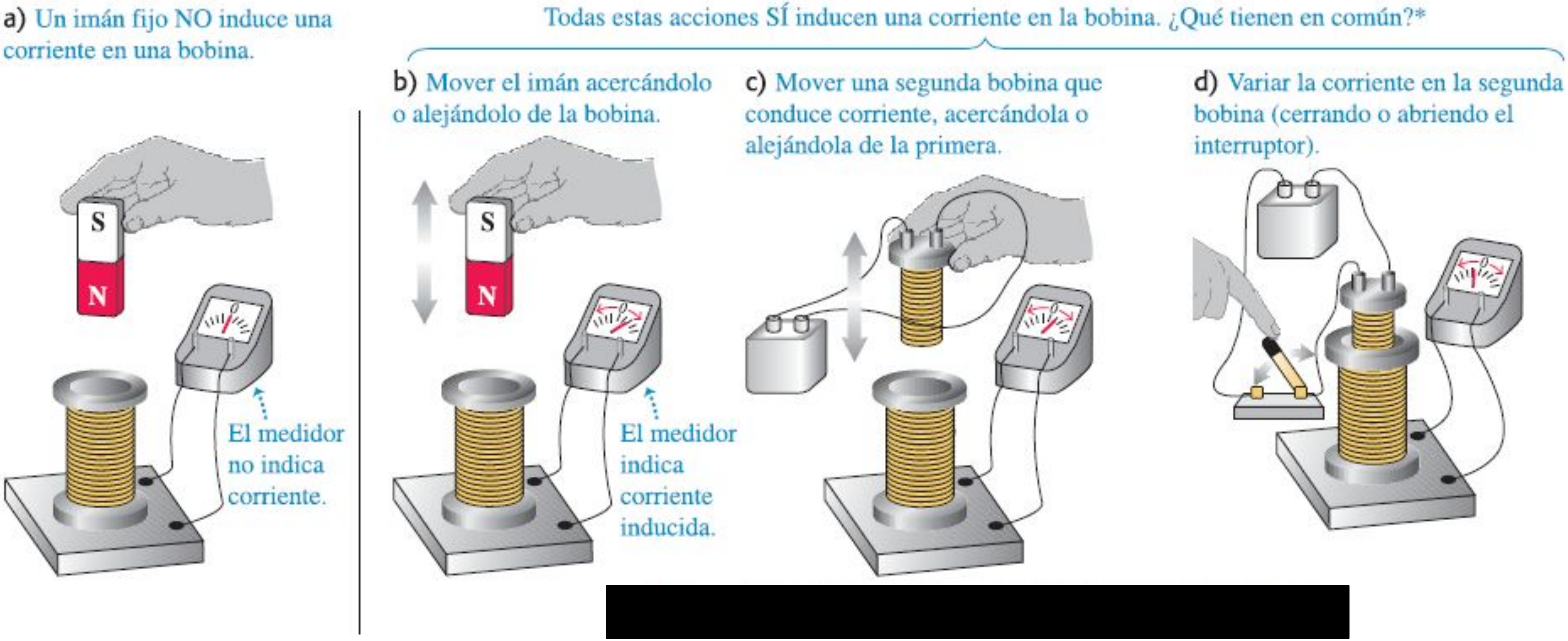
Repaso Clase 9

- Flujo de B
- Materiales magnéticos

Experimentos de Inducción Magnética

29.1 Demostración del fenómeno de la corriente inducida.



[redacted]

Todas estas acciones SÍ inducen una corriente en la bobina. ¿Qué tienen en común?*

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

c) Mover una segunda bobina que conduce corriente, acercándola o alejándola de la primera.

d) Variar la corriente en la segunda bobina (cerrando o abriendo el interruptor).

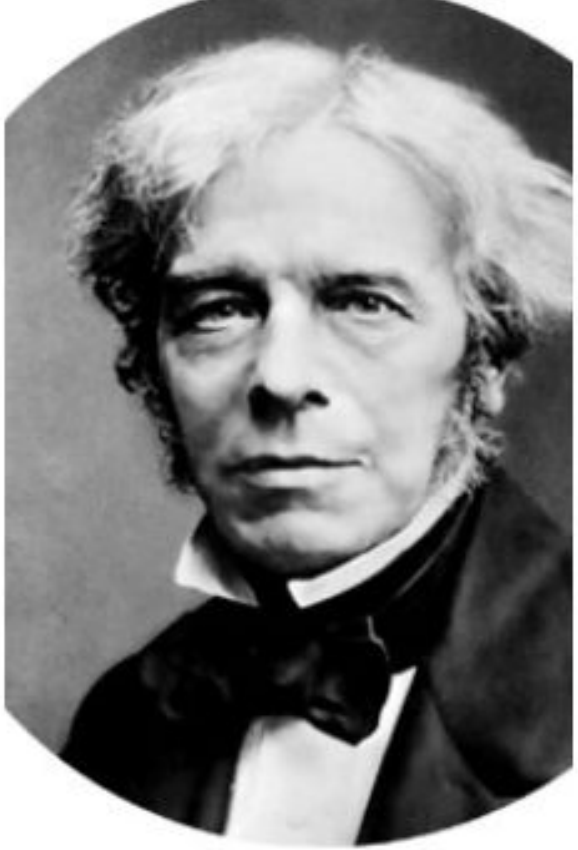
*Provocan que el campo magnético a través de la bobina *cambie*.

Conexión entre electricidad y magnetismo

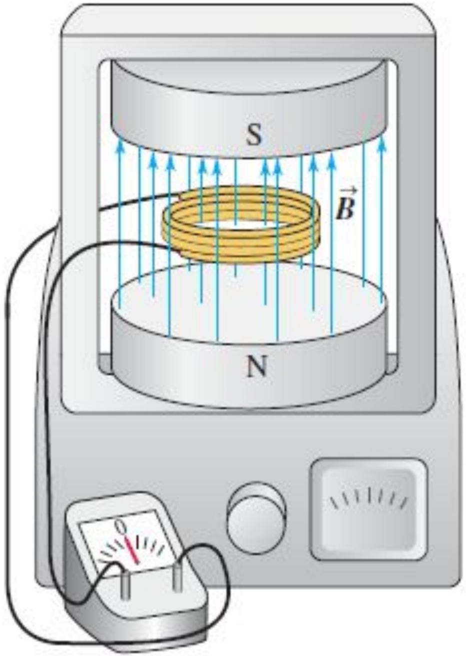
Oersted (1820)

Faraday (1821)

Hans Christian Oersted

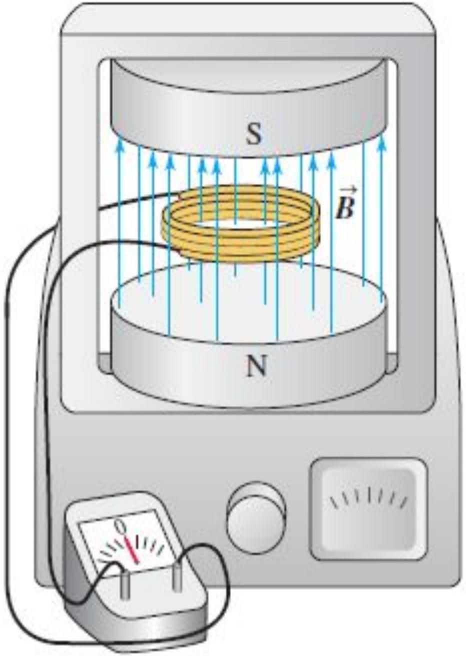


Michael Faraday



1. Cuando no hay corriente en el electroimán, por lo que $\vec{B} = \mathbf{0}$, el galvanómetro no indica corriente.
2. Cuando el electroimán se enciende, hay una corriente momentánea a través del medidor a medida que se incrementa $\vec{B}$.
3. Cuando $\vec{B}$ se nivela en un valor estable, la corriente cae a cero, sin importar qué tan grande sea $\vec{B}$.
4. Con la bobina en un plano horizontal, la comprimimos para reducir el área de su sección transversal. El medidor detecta corriente sólo *durante* la deformación, no antes ni después. Cuando aumentamos el área para que la bobina regrese a su forma original, hay corriente en sentido opuesto, pero sólo mientras el área de la bobina está cambiando.
5. Si se hace girar la bobina algunos grados en torno a un eje horizontal, el medidor detecta corriente durante la rotación en el mismo sentido que cuando se redujo el área. Cuando se hace girar de regreso la bobina, hay una corriente en sentido opuesto durante esta rotación.

6. Si se saca la bobina bruscamente del campo magnético, hay corriente durante el movimiento, en el mismo sentido que cuando se redujo el área.
7. Si reducimos el número de espiras de la bobina desenrollando una o más de ellas, hay corriente durante el proceso en el mismo sentido que cuando se redujo el área. Si enrollamos más espiras en la bobina, hay una corriente en sentido opuesto al enrollar.
8. Cuando se desconecta el electroimán, hay una corriente momentánea en el sentido opuesto al de la corriente cuando fue activado.
9. Cuanto más rápido se efectúen estos cambios, mayor es la corriente.
10. Si se repiten todos estos experimentos con una bobina que tenga la misma fo
ma pero diferente material y resistencia, la corriente en cada caso es inversa
mente proporcional a la resistencia total del circuito. Esto demuestra que la
fem inducidas que ocasionan la corriente no dependen del material de la bobi
na, sino sólo de su forma y del campo magnético.



(1831) Michael Faraday:

En todos los casos lo que está cambiando(en tiempo o espacio) es el flujo magnético Φ_B a través de la bobina

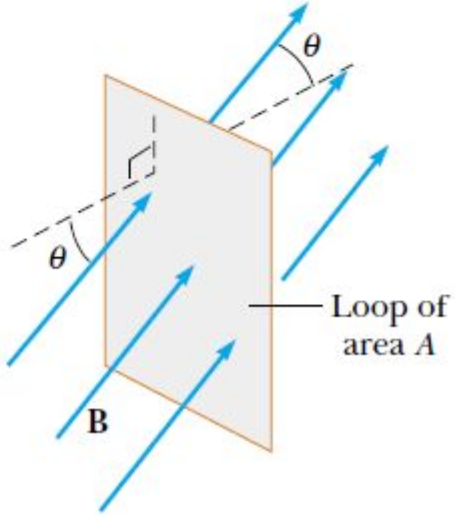
La **ley de Faraday de la inducción** establece lo siguiente:

La fem inducida en una espira cerrada es igual al negativo de la tasa de cambio del flujo magnético a través de la espira con respecto al tiempo.

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \qquad \text{(ley de Faraday de la inducción)}$$

Ley de Faraday

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



Si la superficie forma un ángulo θ con el campo magnético, tendremos:

$$\mathcal{E} = -\frac{d}{dt}(BA\cos\theta)$$

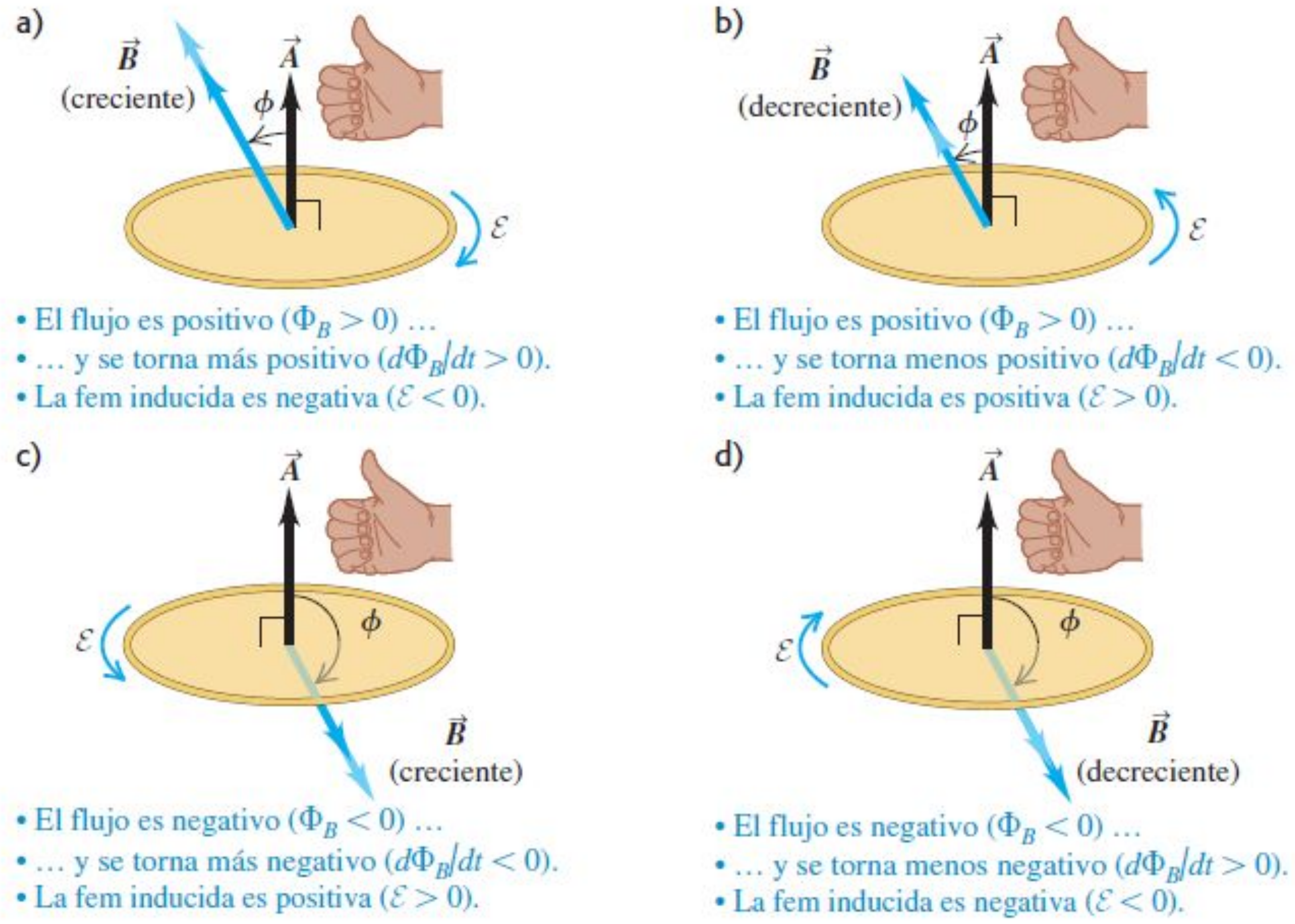
La fem entonces puede inducirse por variaciones temporales en:

- El campo B
- El área A
- El ángulo θ
- Cualquier combinación de las anteriores

Dirección de la Fem Inducida

La dirección de una fem o corriente inducida se calcula con la ecuación (29.3) y con algunas reglas sencillas para los signos. El procedimiento es el siguiente:

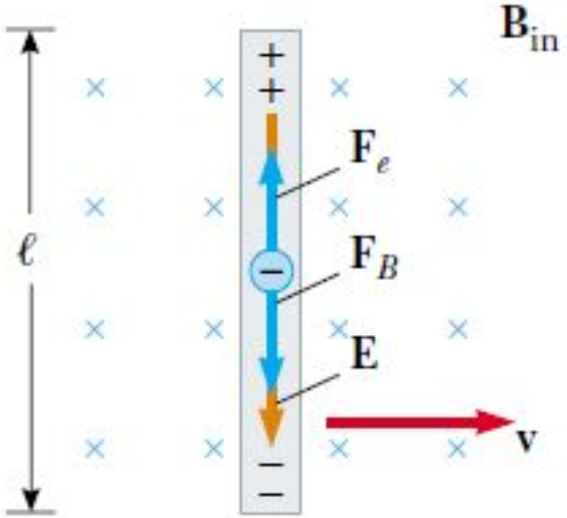
1. Defina una dirección positiva para el vector de área $\vec{A}$.
2. A partir de las direcciones de $\vec{A}$ y del campo magnético $\vec{B}$, determine el signo del flujo magnético Φ_B y su tasa de cambio $d\Phi_B/dt$. La figura 29.6 presenta varios ejemplos.
3. Determine el signo de la fem o corriente inducida. Si el flujo es creciente, de manera que $d\Phi_B/dt$ es positiva, entonces la fem o corriente inducida es negativa; si el flujo es decreciente, entonces $d\Phi_B/dt$ es negativa y la fem o corriente inducida es positiva.
4. Por último, determine la dirección de la fem o corriente inducida con la ayuda de su mano derecha. Doble los dedos de la mano derecha alrededor del vector $\vec{A}$, con el pulgar en dirección de $\vec{A}$. Si la fem o corriente inducida en el circuito es *positiva*, está en la misma dirección de los dedos doblados. Si la fem o corriente inducida es *negativa*, se encuentra en la dirección opuesta.



29.6 El flujo magnético se hace **a)** más positivo, **b)** menos positivo, **c)** más negativo y **d)** menos negativo. Por lo tanto, Φ_B es creciente en los incisos **a)** y **d)**, y decreciente en **b)** y **c)**. En **a)** y **d)**, las fem son negativas (opuestas a la dirección de los dedos doblados de la mano derecha cuando el pulgar apunta a lo largo de $\vec{A}$). En **b)** y **c)**, las fem son positivas (en la misma dirección que los dedos enrollados).

Ley de Faraday: Conductor en movimiento en un campo magnético uniforme

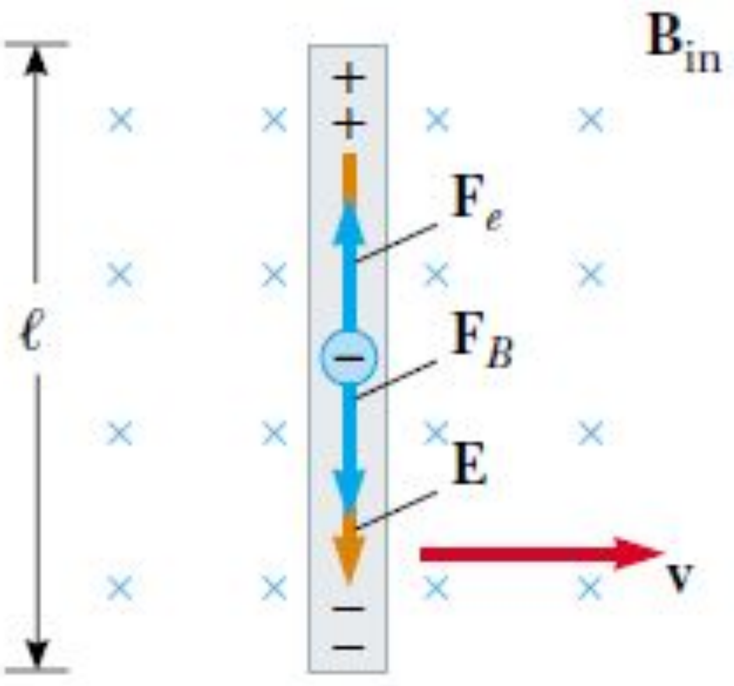
Consideramos una varilla conductora en movimiento en **B** uniforme



Los electrones experimentan una fuerza magnética hacia abajo.
Se produce una acumulación de carga negativa en la parte inferior y un exceso de carga positiva en la parte superior.
Esto genera un campo eléctrico que a su vez genera una fuerza eléctrica que termina compensando la fuerza magnética:

$$qE = qvB \longrightarrow E = vB$$

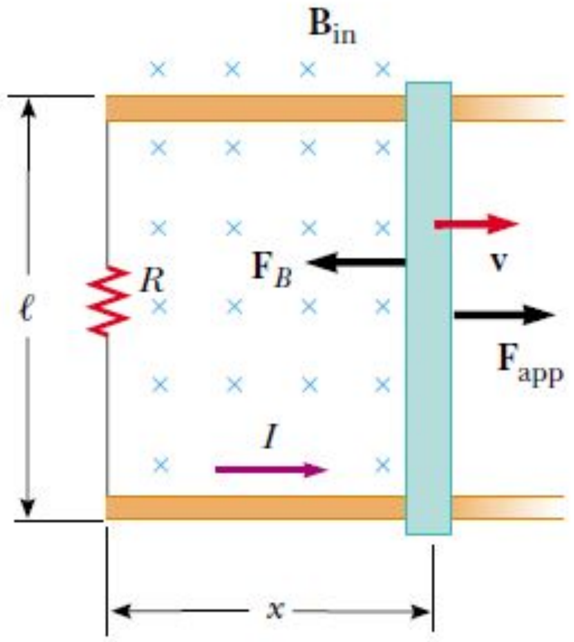
Al haber un campo eléctrico tendremos también una diferencia de potencial entre los dos extremos de la varilla:



$$\boxed{\Delta V = E\ell = B\ell v}$$

La diferencia de potencial desaparece si la varilla se detiene ⇒ es un efecto dinámico.

Consideramos la misma varilla pero **cerramos** el *circuito* con una **resistencia R**



El flujo del campo magnético cuando la barra está a una distancia x del extremo será Φ = BA

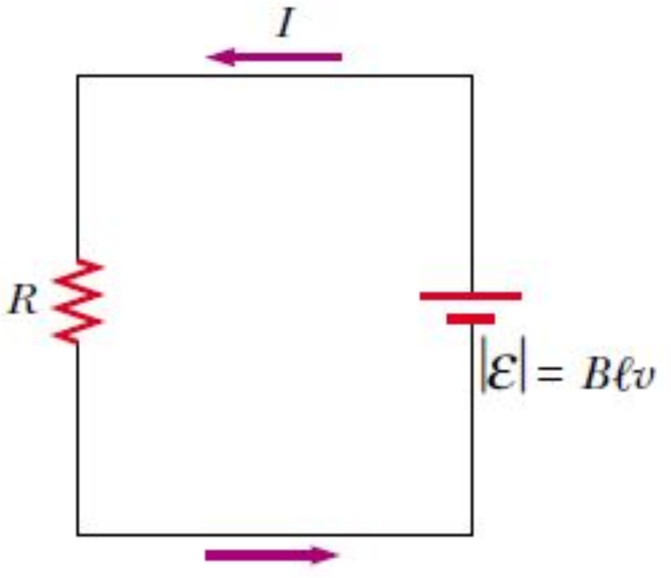
En este caso será: $\Phi_B = B\ell x$

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

$$\mathcal{E} = -B\ell\frac{dx}{dt}$$

$$\boxed{\mathcal{E} = -B\ell v}$$

Este sistema es eléctricamente equivalente a

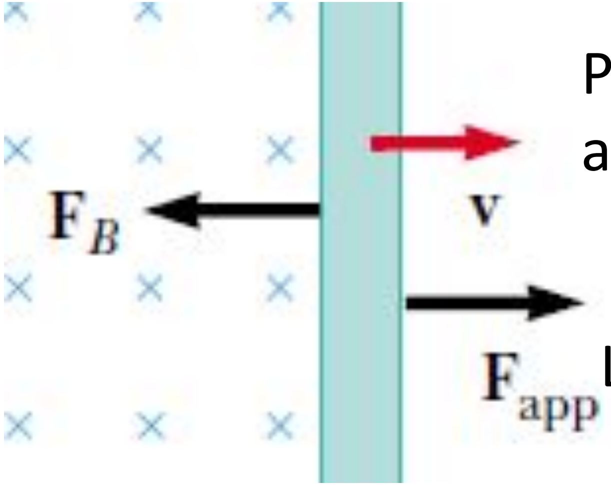


La corriente que circula será entonces:

$$I = \frac{|\boldsymbol{\mathcal{E}}|}{R} = \frac{B\ell v}{R}$$

¿De dónde viene la energía que permite que I circule?

Si la barra circula con v constante se genera una corriente por eso aparece una fuerza magnética de magnitud $\boxed{I\ell B}$



Para que la barra circule con v constante, hay que aplicar una fuerza externa igual y de sentido opuesto $F_{\text{app}} = I\ell B$

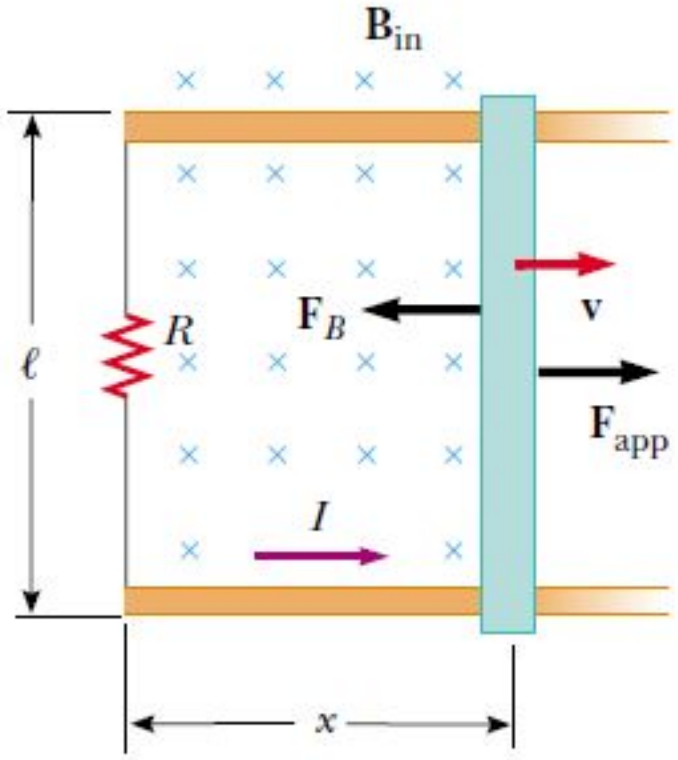
La potencia que entrega esta fuerza externa será:

$$\mathcal{P} = F_{\text{app}} v = (I\ell B) v$$ pero $$I = \frac{|\mathcal{E}|}{R} = \frac{B\ell v}{R}$$ $$\mathcal{P} = \frac{B^2 \ell^2 v^2}{R} = \frac{\mathcal{E}^2}{R}$$

Ley de Lenz

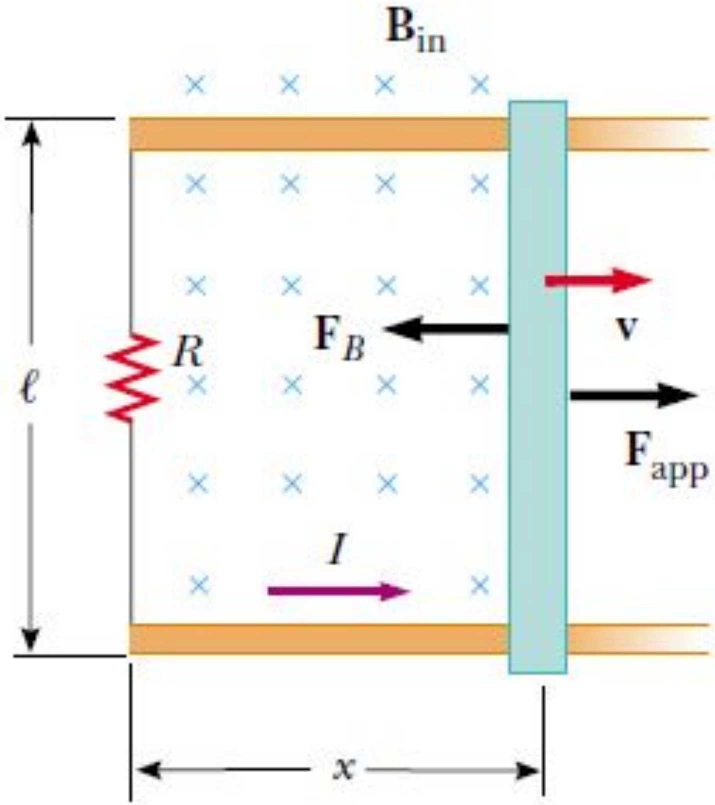
¿De donde sale el signo menos en la ley de Faraday?

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



Para el ejemplo de la barra que desliza, **la corriente** que se induce **circula en sentido antihorario**.

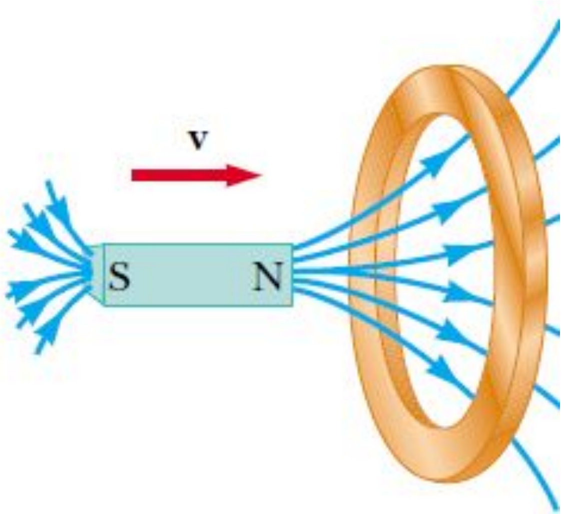
Esto genera un **campo propio** que **sale de la hoja**, lo que contrarresta el aumento del flujo magnético por el movimiento de la barra.

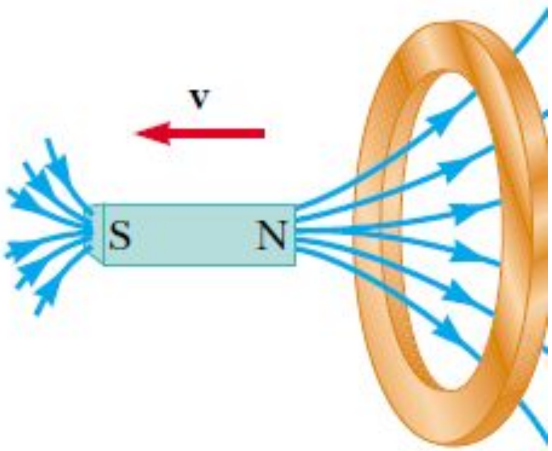


Si la corriente se indujera en sentido horario, la variación de flujo magnético sería más grande, lo que generaría más corriente, y más variación de flujo, etc.

No se respetaría el principio de conservación de la energía.

La corriente inducida por Faraday circula en el sentido que permite generar un campo magnético que contrarresta la variación de flujo magnético.





Tenemos otra expresión para la ley de Faraday

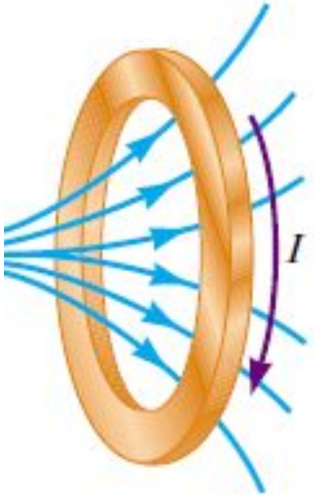
Ley de Faraday

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

Donde ε es la diferencia de potencial que aparece en la frontera de la superficie a través de la cual calculamos el flujo.

La diferencia de potencial en un circuito cerrado es la circulación del campo eléctrico en ese circuito:

$$\epsilon = \oint \vec{E}.d\vec{s}$$



Utilizando el teorema de Stokes: $\Rightarrow$ $\epsilon = \int\int \vec{\nabla} \times \vec{E}.d\vec{s}$

Integrado sobre una superficie cuya frontera sea el circuito en donde tenemos la fem inducida.

El flujo de B se calcula sobre la misma superficie: $\phi_B = \int\int \vec{B}.d\vec{s}$

$$\epsilon = -\frac{d(\int\int \vec{B}.d\vec{s})}{dt}$$

$$= -\left(\int\int \left(\frac{d\vec{B}}{dt}\right).d\vec{s}\right)$$

Tenemos entonces:

$$\epsilon = -\left(\int\int\left(\frac{d\vec{B}}{dt}\right).d\vec{s}\right) \qquad \epsilon = \int\int\vec{\nabla}\times\vec{E}.d\vec{s}$$

$$\int\int\vec{\nabla}\times\vec{E}.d\vec{s} = -\int\int\frac{d\vec{B}}{dt}.d\vec{s}$$

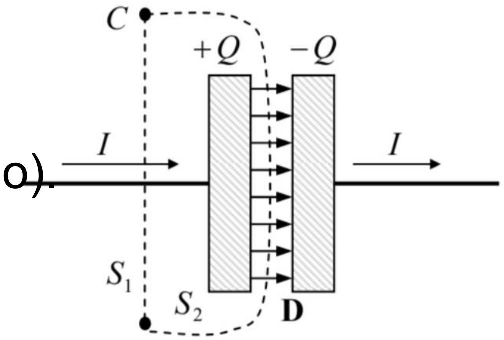
Esto debe cumplirse para toda superficie por lo que se obtiene:

Fuera del régimen electrostático, un B que varía localmente en el tiempo genera un campo eléctrico.

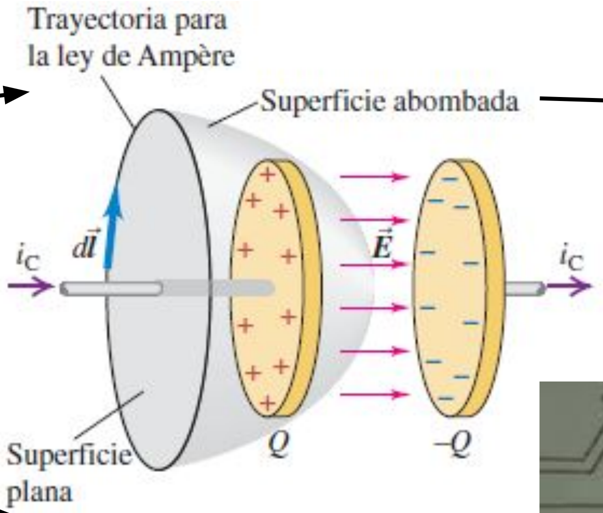
$$\boxed{\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{d\vec{B}}{dt}}$$

Corriente de Desplazamiento

Si **B** varía en el tiempo eso genera un campo eléctrico, **E** (inducido).
Veamos que un campo **E** variable generará un campo **B**



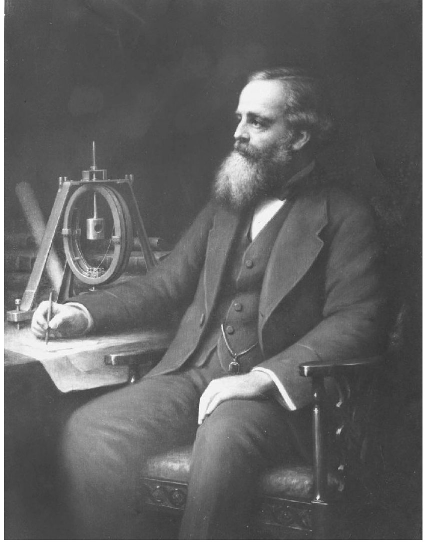
$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{enc}$$



$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_{S_1} \vec{J} \cdot d\vec{s} > 0$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \int_{S_2} \vec{J} \cdot d\vec{s} = 0$$

Paradoja de Maxwell



Se dio cuenta de que a medida que el capacitor se carga E y el flujo de E (Φ_E) aumentan.

La carga instantánea es: $\boxed{q = C.v}$

Donde v es la diferencia de potencial instantánea.

Recordemos que en un capacitor: $C = \varepsilon_0 A/d$ y $v = E.d$

Asumimos un material en el medio

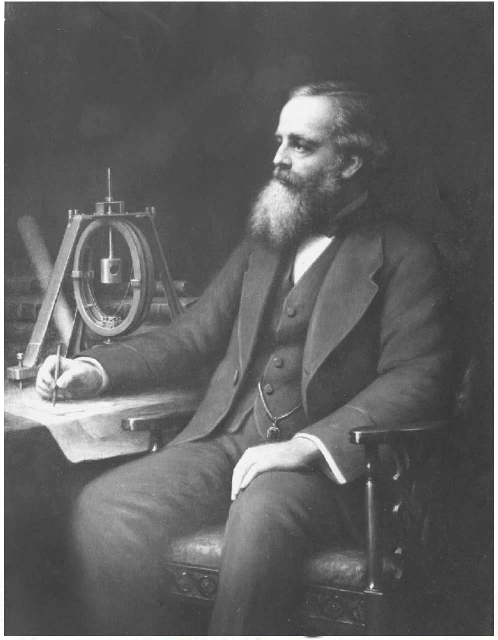
Reemplazando estas dos expresiones en q tenemos: $q = \varepsilon_0 .A.E = \boldsymbol{\varepsilon}.\Phi_E$

A medida que el capacitor se carga, la tasa de cambio de q es la corriente de conducción, $i_C = dq/dt$. De la derivada de la ecuación (29.12) con respecto al tiempo se obtiene

$$i_C = \frac{dq}{dt} = \epsilon \frac{d\Phi_E}{dt} \qquad (29.13)$$

Ahora, con un pequeño esfuerzo de imaginación, inventamos una **corriente de desplazamiento** ficticia, i_D, en la región entre las placas, definida como

$$i_D = \epsilon \frac{d\Phi_E}{dt} \qquad \text{(corriente de desplazamiento)} \qquad (29.14)$$



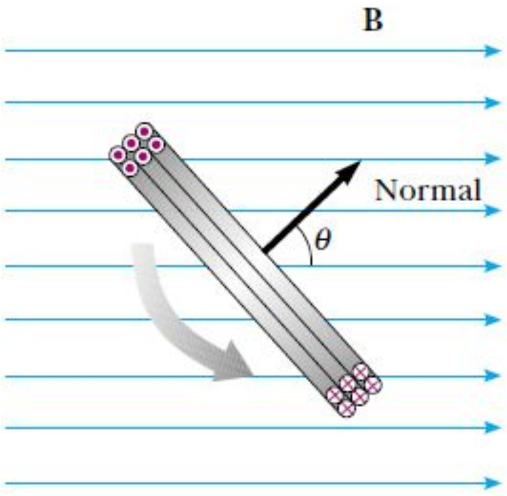
flujo cambiante a través de la superficie curva en la figura 29.22 es en cierto modo equivalente, en la ley de Ampère, a una corriente de conducción a través de esa superficie. Incluimos esta corriente ficticia, junto con la corriente real de conducción, i_C, en la ley de Ampère:

$$\boxed{\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 (i_C + i_D)_{enc} \qquad \text{(ley de Ampère generalizada)}} \qquad (29.15)$$

La corriente ficticia i_D fue inventada en 1865 por el físico escocés James Clerk Maxwell (1831-1879), quien la llamó corriente de desplazamiento. Hay una *densidad de corriente de desplazamiento* correspondiente $j_D = i_D/A$; a partir de $\Phi_E = EA$ y dividiendo la ecuación (29.14) entre A, se encuentra

$$j_D = \epsilon \frac{dE}{dt} \qquad (29.16)$$

Generadores y motores eléctricos



Una bobina con N vueltas y área A que gira con velocidad ω. El flujo es:

$$\theta = \omega t$$

$$\Phi_B = BA\cos(\theta)$$

$$+$$

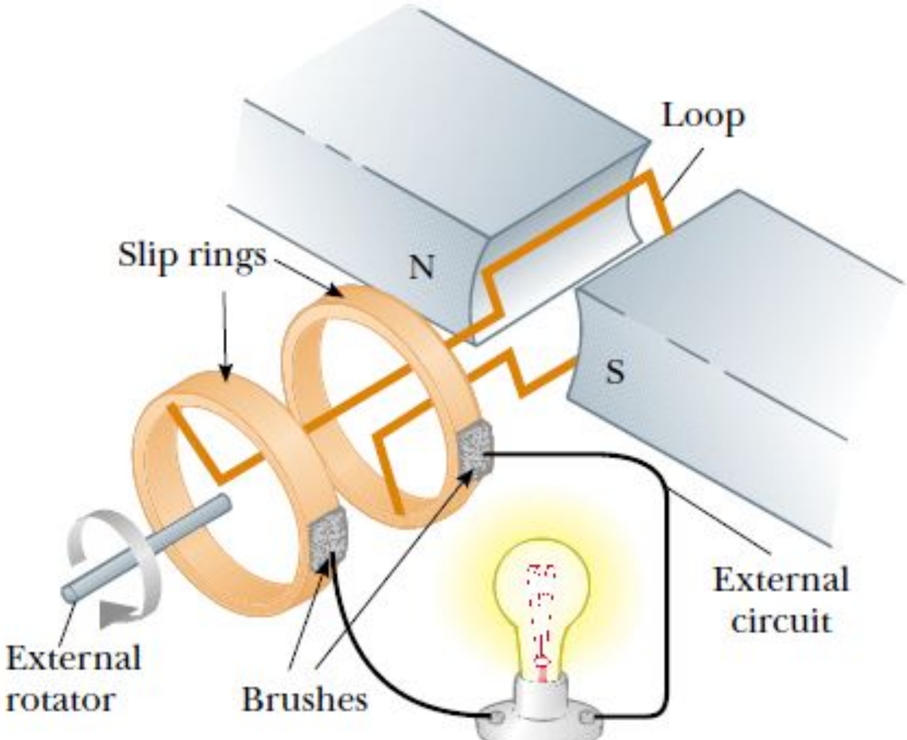
$$\epsilon = -N\frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$\epsilon = -\frac{d(ANB\cos(\omega t))}{dt} \longrightarrow \epsilon = \omega ANB\sin(\omega t)$$

Alcanza su máximo si wt=π/2:

$$\mathcal{E}_{max} = NAB\omega$$

La ley de Faraday permite transformar energía de movimiento en energía eléctrica

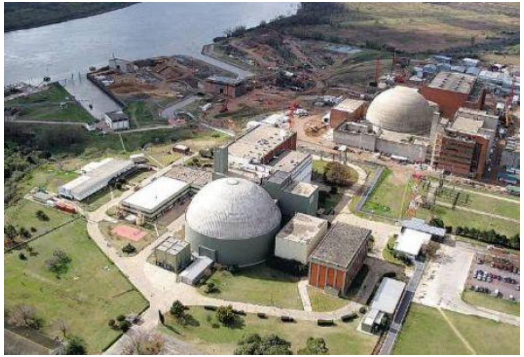


Generadores y motores eléctricos

Las turbinas de generación eléctrica responden a este principio. La energía utilizada para poner en movimiento la turbina determina el tipo de central eléctrica

Hidroeléctrica

Termoeléctrica



Nuclear