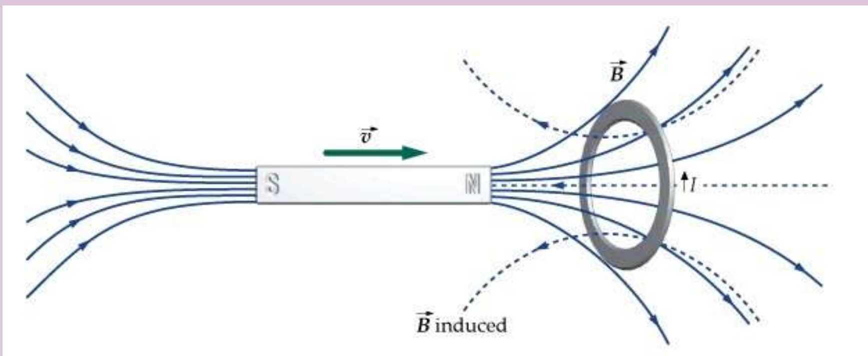
Departamento de Física
Universidad de Jaén

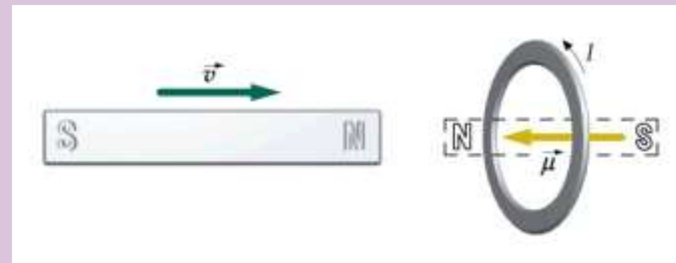
Electro-Magnetismo

- **Campo Eléctrico**
- **Campo Magnético**
- Inducción Electromagnética

1- Introducción

- Faraday y Henry (s. XIX), por separado, observan el siguiente fenómeno:





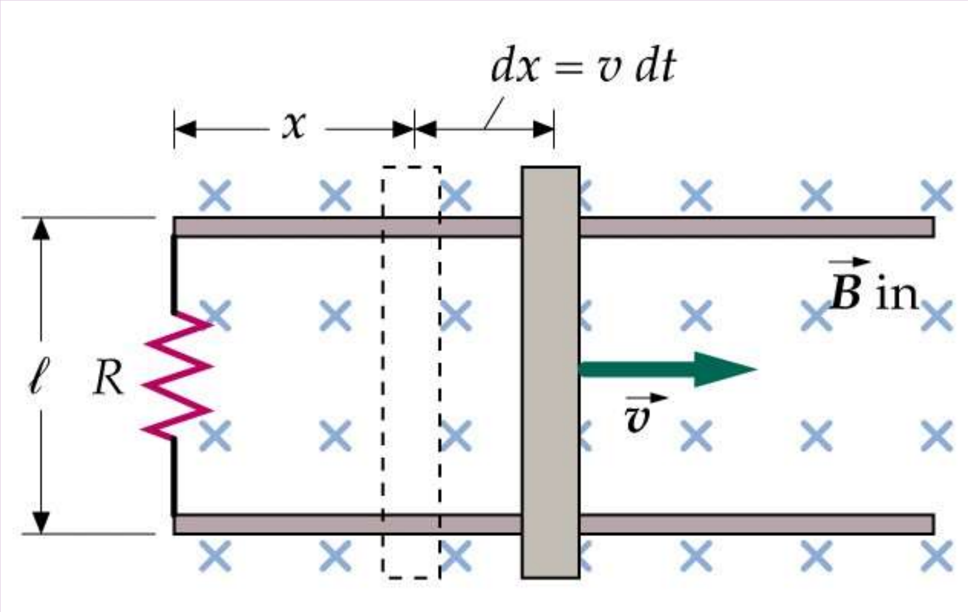
Simulación

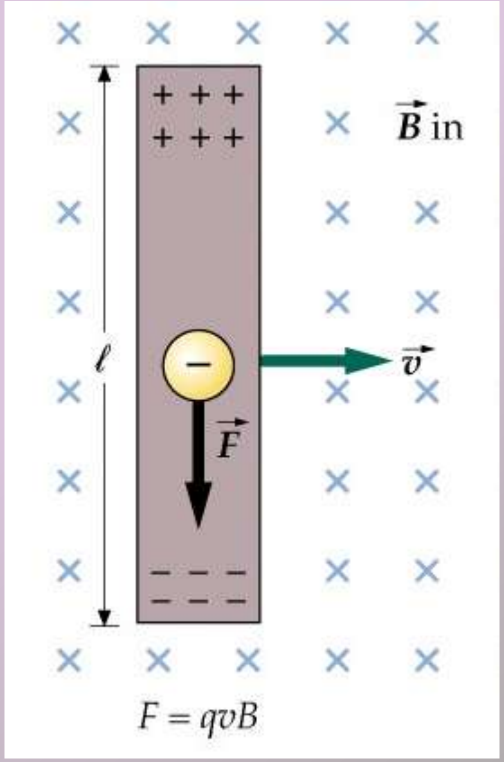
Simulación phet

- "Un campo magnético variable induce corriente eléctrica en un conductor". O mejor dicho, la variación del número de líneas de campo que atraviesan la espira.

2 – Ley de Faraday

- Para calcular esa corriente inducida, consideramos el circuito siguiente con una parte móvil:





Simulación

$$\bar{f}_m = -e\,\bar{v} \wedge \bar{B}$$

2 – Ley de Faraday

- La fuerza ejercida por el campo magnético sobre los electrones los desplaza hasta la parte baja de la barra, produciendo una diferencia de potencial ε, al realizar la fuerza trabajo sobre las cargas:

$$\varepsilon = \frac{Ep}{q} \qquad Ep = W = \vec{F}\cdot\vec{l} = q\,v\,B\,l \quad \Rightarrow \quad \boxed{\varepsilon = l\,v\,B}$$

- Esta ε constituye una fuerza electromotriz inducida por la variación del flujo magnético en el interior del circuito que podemos expresar como:

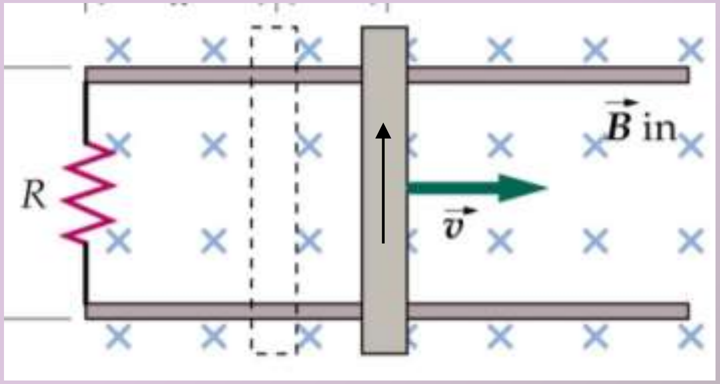
$$\varepsilon = l\,v\,B = l\frac{dx}{dt}B = \frac{dS}{dt}B \quad \Rightarrow \quad \varepsilon = \frac{B\,dS}{dt}$$

$$\boxed{\varepsilon = \frac{d\phi}{dt}}$$ **Ley de Faraday**

2 – Ley de Faraday

- La corriente inducida, como toda corriente en una espira, produce un campo magnético que, por el sentido que hemos visto, se opone al externo.

Este efecto es contrario a su causa, que aumentaba el flujo que atraviesa la espira. Por tanto, la corriente inducida intenta mantener el flujo dentro de la espira como estaba (Inercia Magnética).

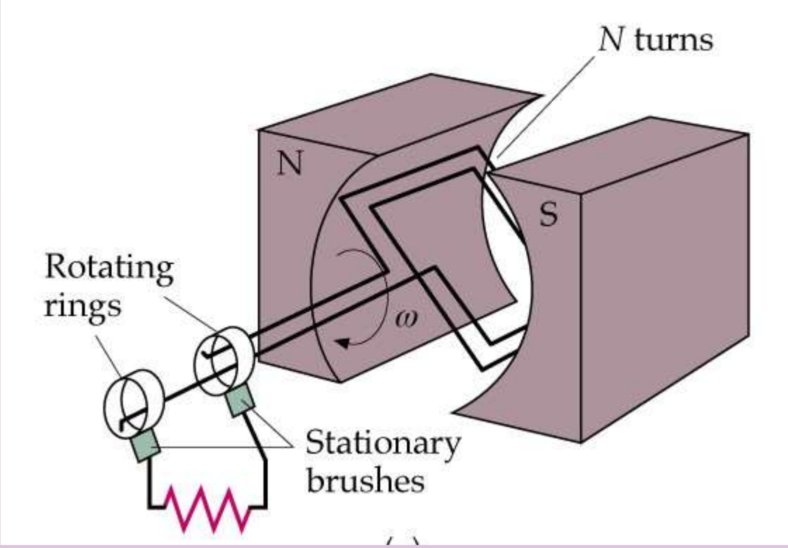


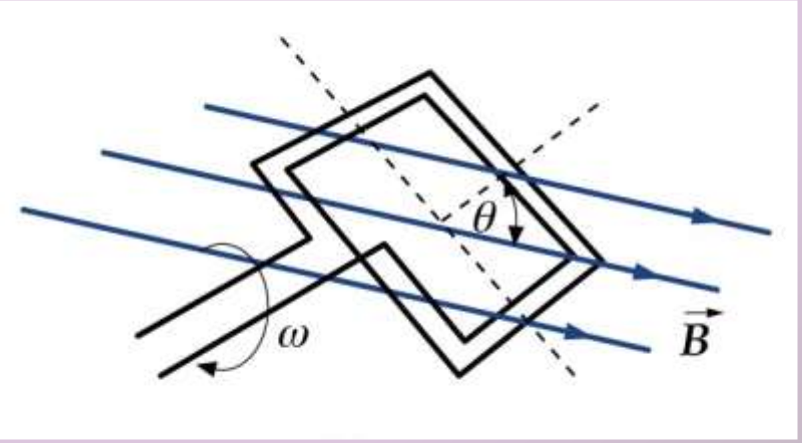
- Por supuesto, si la causa es contraria, también lo es el efecto.

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

Ley de Lenz

3 – Generador simple de c. a.





$$\theta = w\,t \qquad \vec{v} = \vec{w} \cdot \vec{R} = w\,\frac{b}{2}$$

- Aplicamos la Ley de Faraday:

$$\varepsilon = \frac{d\phi}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{B} \cdot \vec{S}) = \frac{d}{dt}(B\,S\,\mathrm{Cos}\,\theta) = \frac{d}{dt}(B\,S\,\mathrm{Cos}\,w\,t)$$

$$\boxed{\varepsilon = w\,B\,S\,\mathrm{Sen}\,w\,t}$$

3 – Generador simple de c. a.

- Este sistema constituye un Generador simple de c.a.:

$$\boxed{\varepsilon = \varepsilon_{max} \ \mathrm{Sen}\, w\, t} \qquad \varepsilon_{max} = w\, S\, B$$

- Al contrario, si hacemos pasar una c.a. por la espira dentro de un B

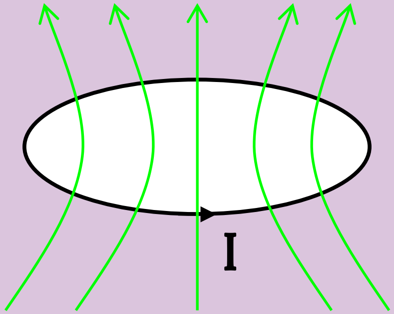
$\Rightarrow$ esta se moverá con una cierta velocidad angular w

$\Rightarrow$ será un Motor simple de c.a.

http://www.ree.es/operacion/curvas_demanda.asp

4 – Autoinducción

- Si por una espira circula una intensidad de corriente variable, el B producido también será variable, y este a su vez, inducirá corriente.



$$B_T = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

$\phi \propto B$

$B \propto I$

$\Rightarrow \quad \phi \propto I \qquad \phi = L\,I$

- $L \rightarrow$ Coeficiente de Autoinducción o Inductancia

$L = \phi / I \rightarrow 1$ wb / 1 A = 1 Henrio

Ejemplo: Solenoide $B = \mu_0\, n\, I$

$$\phi = N\,B\,S = n\,l\,B\,S = \mu_0\, n^2\, S\, l\, I \quad \Rightarrow \quad L = \mu_0\, n^2\, S\, l$$

4 – Autoinducción

- Podemos reescribir la Ley de Lenz:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}\,L\,I = -L\frac{dI}{dt} - I\frac{dL}{dt}$$

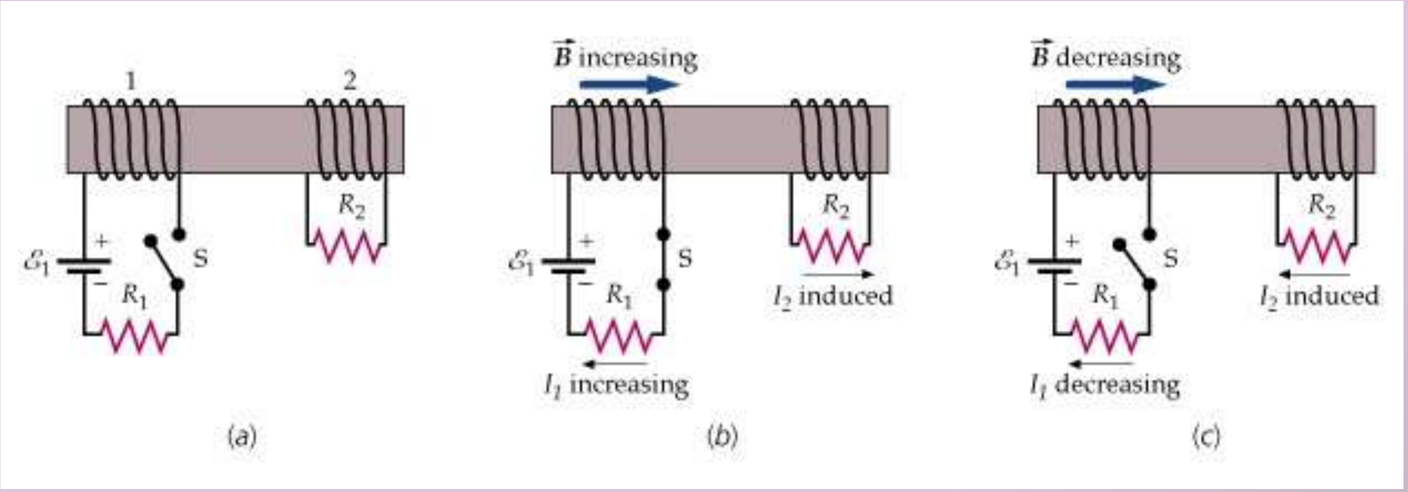
Si L es constante:

$$\boxed{\varepsilon = -L\frac{dI}{dt}}$$

fem autoinducida

5 – Inducción mútua

- El flujo magnético de una bobina puede llegar a otra cercana:



$\phi_2 \propto I$ $\quad$ $\phi_2 = M\,I$

- M $\rightarrow$ Coeficiente de Inducción mútua (sólo depende de la geometría)

- Si M es constante:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi_2}{dt} = -\frac{d}{dt}\,M\,I \Rightarrow \boxed{\varepsilon = -M\,\frac{dI}{dt}}$$

6 – Energía en un Inductor

- La f.e.m. inducida por una corriente variable se puede considerar mantenida por una fuente de energía (o de Potencia):

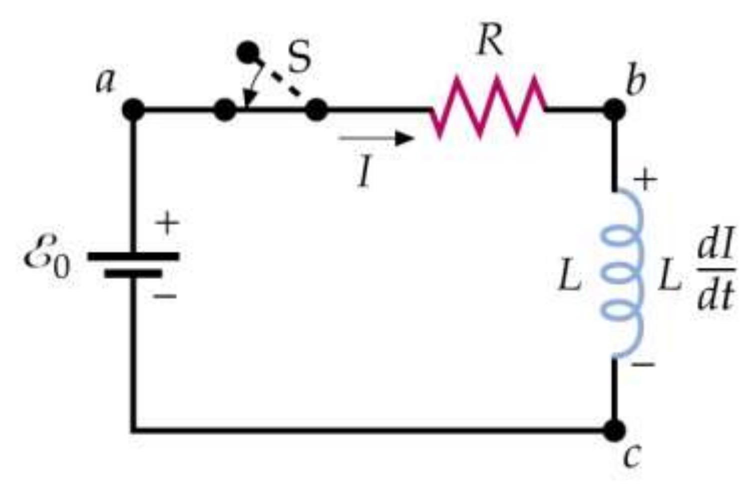
$$\varepsilon = L\,\frac{dI}{dt} \qquad P = \varepsilon\, I = L\, I\,\frac{dI}{dt} = \frac{dW}{dt} \quad \Rightarrow \quad dW = L\,I\,dI$$

$$W = \int_0^I L\,I\,dI \quad \Longrightarrow \quad \boxed{W = \frac{1}{2}\,L\,I^2}$$

- **Ejemplo:** Solenoide $L = \mu_0\, n^2\, S\, l \;\rightarrow\; W = (1/2)\,\mu_0\, n^2\, S\; l\; I^2$

7 – Circuito RL

- Al conectar el interruptor la corriente aumenta desde cero, por tanto se producirá fem:



$$\varepsilon = -L\,\frac{dI}{dt}$$

- Aplicamos la Ley de Ohm:

$$V - L\,\frac{dI}{dt} = IR \;\Rightarrow\; V - IR = L\,\frac{dI}{dt} \;\Rightarrow\; \int_0^I \frac{dI}{V - IR} = \int_0^t \frac{dt}{L}$$

$$\frac{-1}{R}\left[\ln(V - IR) - \ln V\right] = \frac{t}{L} \;\Rightarrow\; \ln\left(\frac{V - IR}{V}\right) = -\frac{R}{L}\,t$$

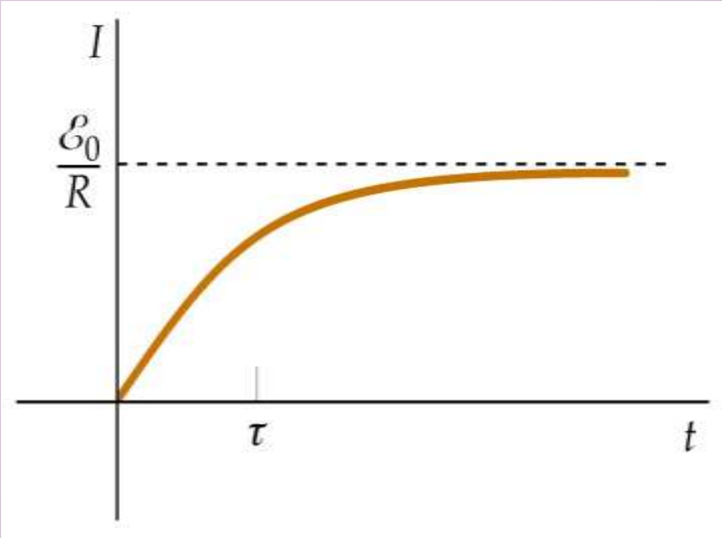
$$\Rightarrow\; \frac{V - IR}{V} = e^{-\frac{R}{L}t}$$

7 – Circuito RL

- La expresión que resulta para la corriente: $$I(t)=\frac{V}{R}\left(1-e^{-\frac{R}{L}t}\right)$$
- Denominamos Constante de tiempo inductiva:

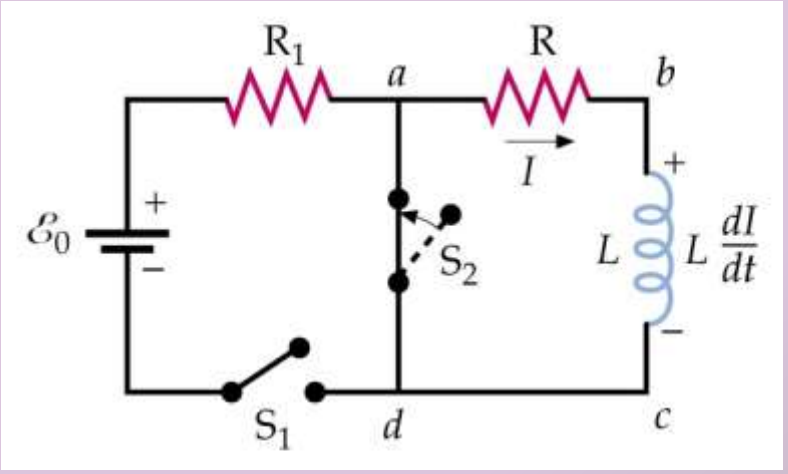
$$\boxed{\tau=\frac{R}{L}}$$

$$I(t)=\frac{V}{R}\left(1-e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$



7 – Circuito RL

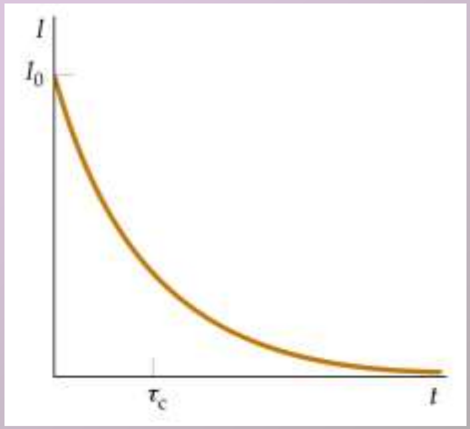
- Si desconectamos la fuente y conectamos S_2, ahora la corriente cae de su valor máximo hasta cero:



$$L\frac{dI}{dt} + IR = 0$$

$$\int_{I_o}^{I} \frac{dI}{I} = -\int_0^t \frac{R}{L}\,dt$$

$$\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -\frac{R}{L}\,t \quad \Rightarrow \quad I(t) = I_0\,e^{-t/\tau}$$



- Siendo τ, la Cte. de tiempo (L/R).

Simulación