EL 6000
Generación de Energía Eléctrica con Fuentes Renovables

Clase 3: PRINCIPIOS BASICOS DE ELECTROMAGNETISMO II

Luis Vargas
AREA DE ENERGIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA

AGENDA

- Repaso
- Flujo magnético
- Ley de Faraday-Lenz
- Principio del generador

Repaso

Equilibrio electrostático de las cargas

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0} \iiint_{\Omega} \frac{(\vec{r} - \vec{r}\,')}{\|\,\vec{r} - \vec{r}\,'\,\|^3} \rho(\vec{r}\,')dv' \qquad \vec{D} = \varepsilon \vec{E}$$

1ª Ecuación de Maxwell $\nabla \bullet \vec{D} = \rho$

2ª Ecuación de Maxwell $\nabla \times \vec{E} = 0$

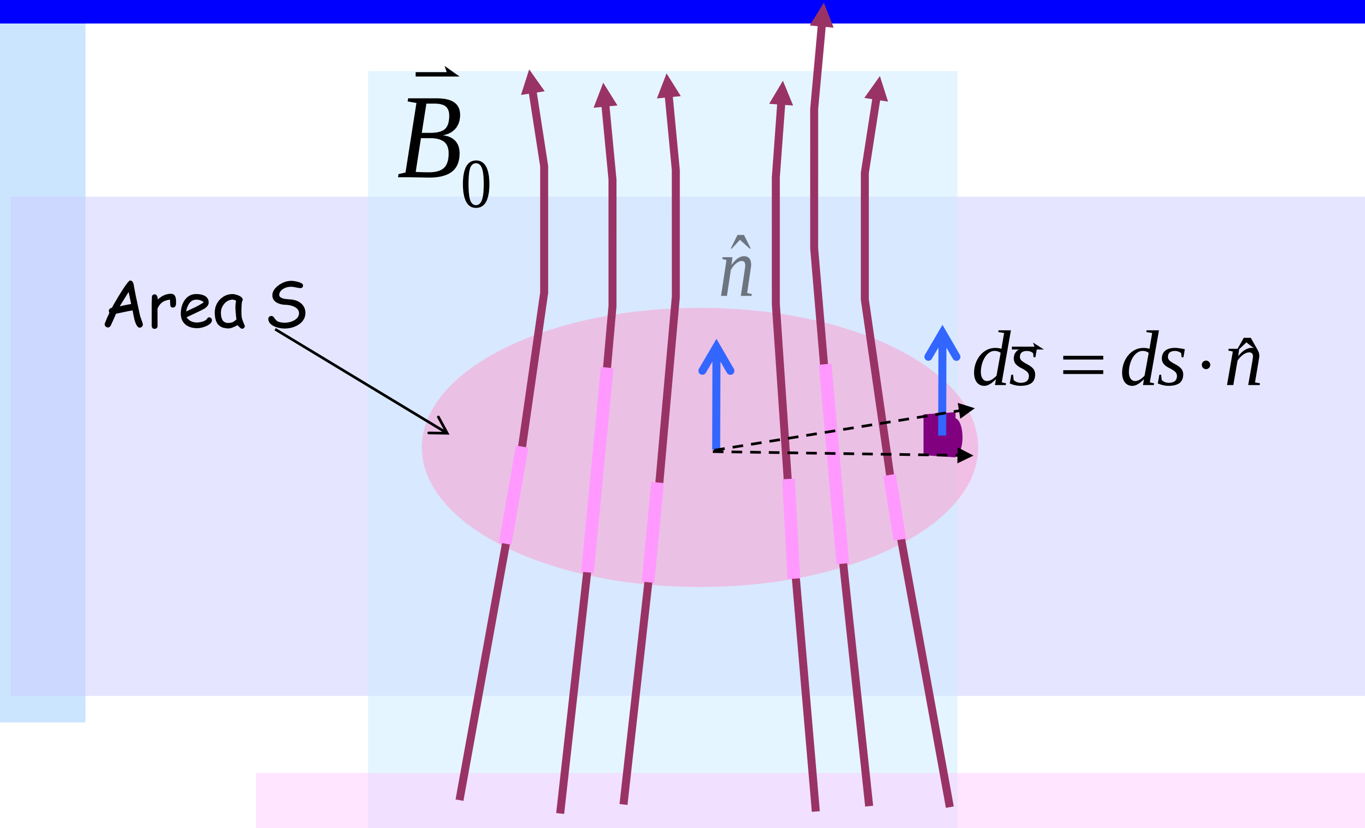
Equilibrio dinámico de las corrientes I=I$_0$

$$\vec{B} = \oint_{\Gamma'} \frac{\mu_0 I d\vec{l}\,' \times (\vec{r} - \vec{r}\,')}{4\pi \|\vec{r} - \vec{r}\,'\|^3} \qquad \vec{B} = \mu_R \mu_0 \vec{H}$$

3ª Ecuación de Maxwell $\nabla \cdot \vec{B} = 0$

4ª Ecuación de Maxwell $\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$

Flujo magnético

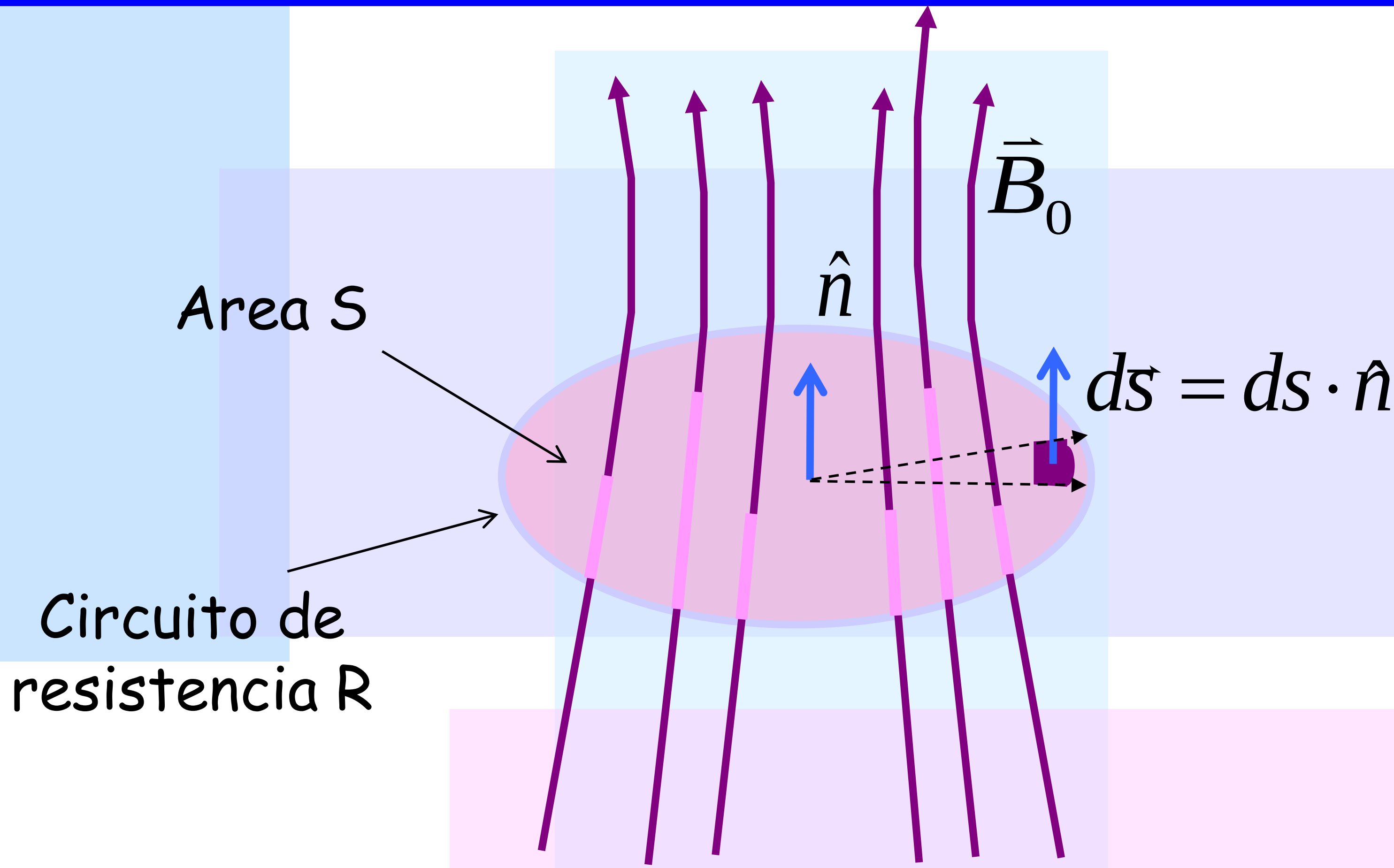


Flujo del campo magnético a través de área S

$$\phi = \iint_S \vec{B}_0 \cdot d\vec{s}$$

$$[\phi] = \left[Tesla \times m^2\right]$$

Flujo magnético en un circuito

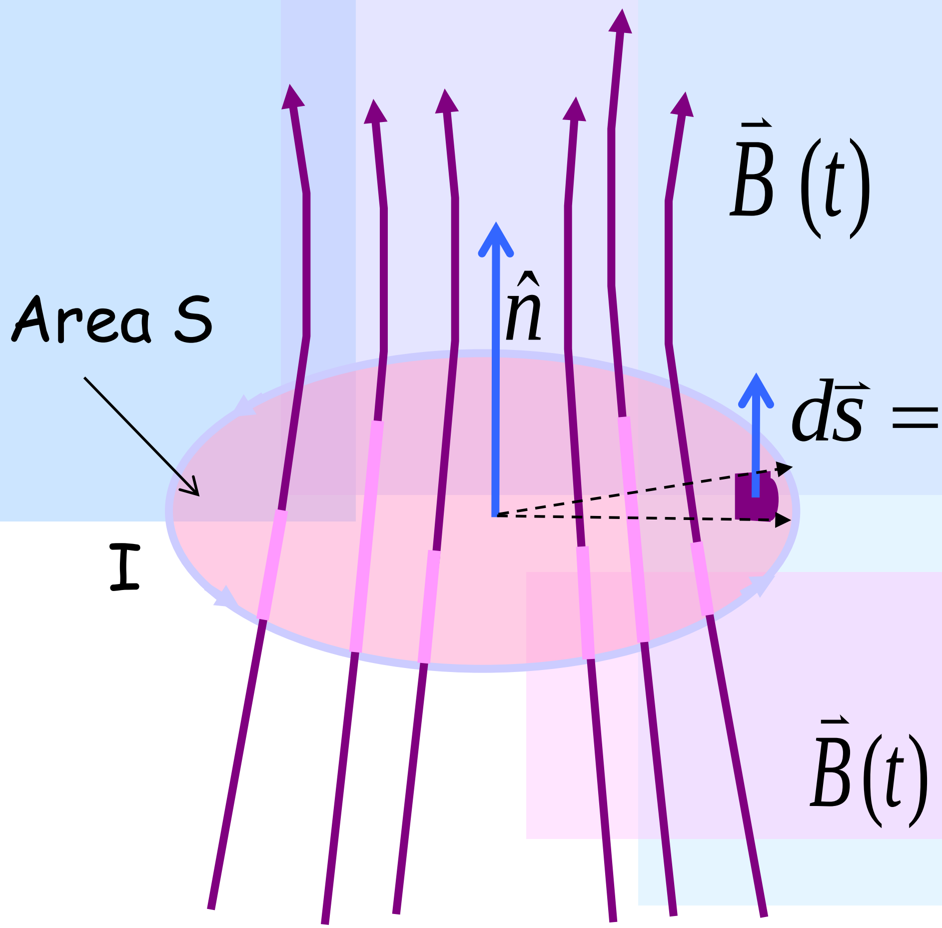


Flujo del campo magnético a través del circuito $\phi = \iint_S \vec{B}_0 \cdot d\vec{s}$

Ley de Faraday-Lenz

Se encuentra experimentalmente que si $\vec{B} = \vec{B}(t)$
entonces aparece una corriente I dada por la relación

$$I = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \cdot \frac{1}{R}$$



$$d\vec{s} = ds \cdot \hat{n}$$

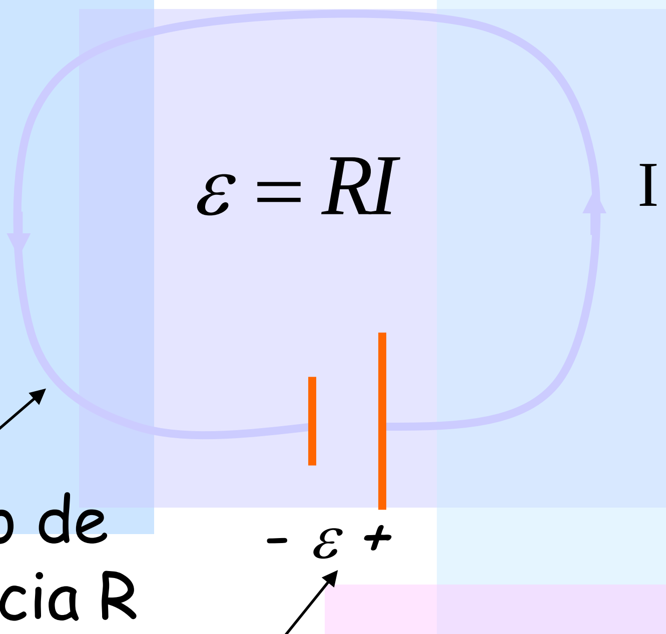
donde

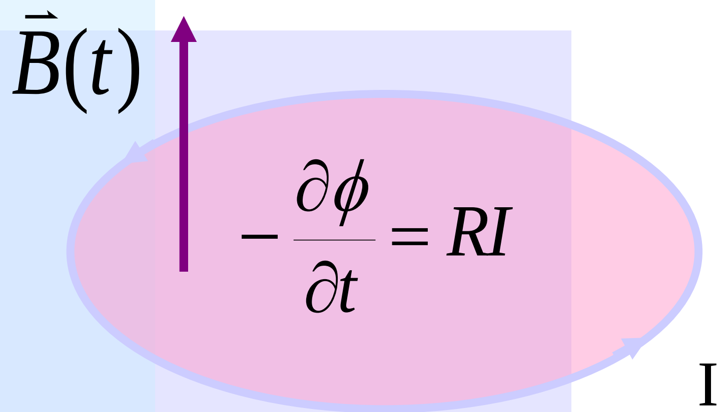
$$\phi = \iint_S \vec{B}(t) \cdot d\vec{s}$$

Este campo incluye el efecto de la corriente I

Ley de Faraday-Lenz

Recordemos que para un circuito resistivo se cumple $\varepsilon = RI$





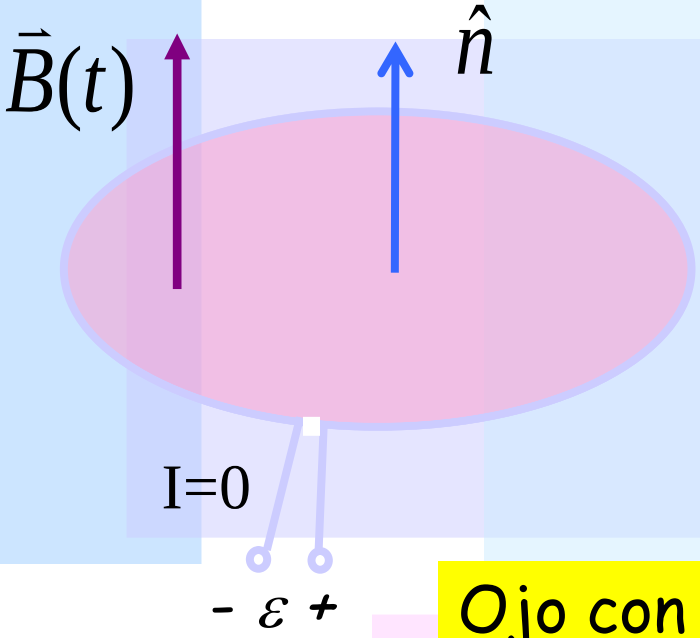
Un campo magnético variable genera o induce un FEM dada por la expresión

$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

LEY DE FARADAY-LENZ

Ley de Faraday-Lenz

Un campo magnético variable genera o induce un FEM



$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

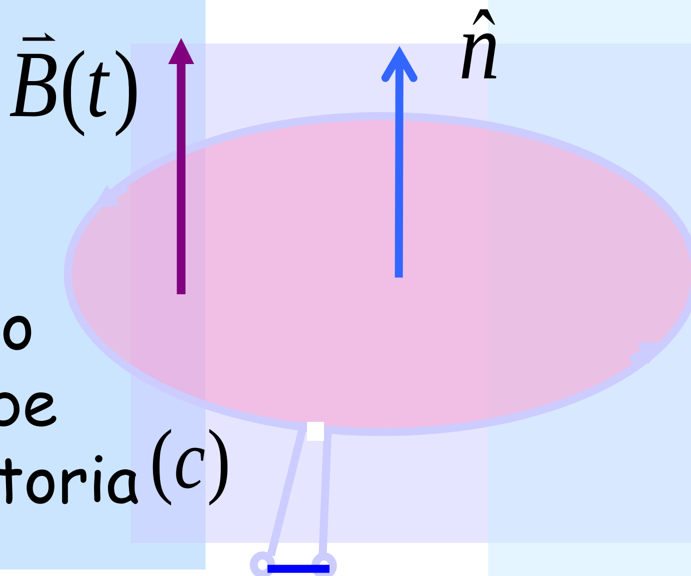
con $\phi = \iint_S \vec{B}(t) \cdot d\vec{s}$

Ojo con el sentido de la fem

Notar que si el flujo es variable en el tiempo la fem se induce independiente de la corriente I

Ley de Faraday-Lenz

Un campo magnético variable genera o induce un FEM



$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

Circuito describe trayectoria (c)

con $\phi = \iint_S \vec{B}(t) \cdot d\vec{s}$

Recordemos que la definición de fem es

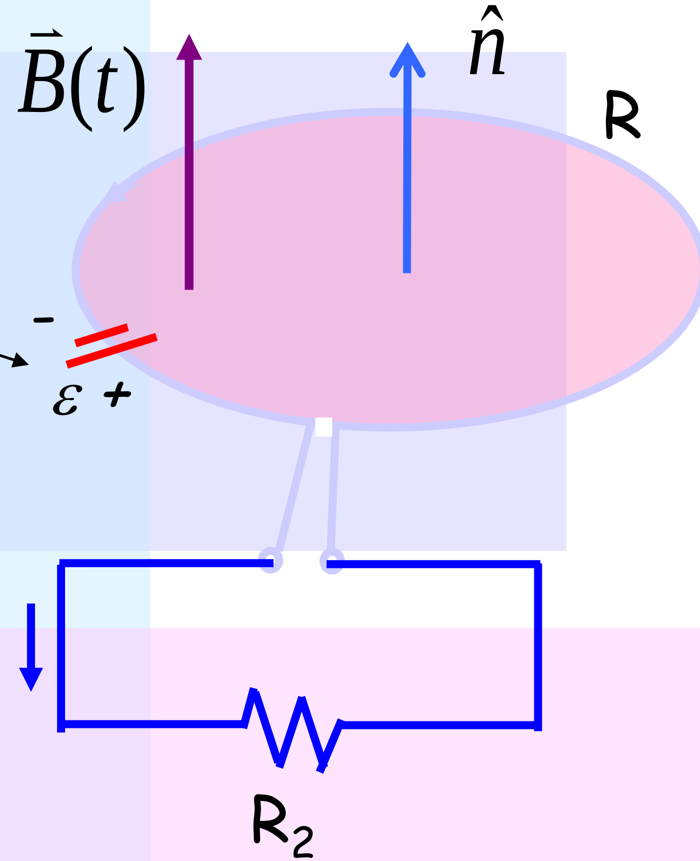
$$\varepsilon = \int_{(c)} \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$\varepsilon = RI \Rightarrow \quad I = \frac{\varepsilon}{R}$$

Ley de Faraday-Lenz

Un campo magnético variable genera o induce un FEM

La FEM inducida "aparece" en el circuito con campo variable

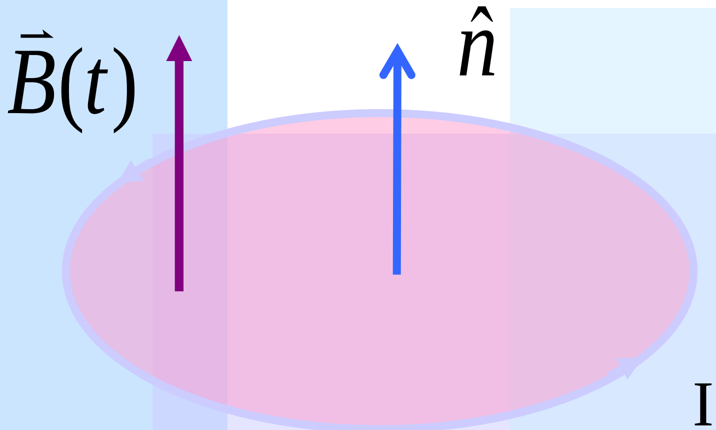


$$\phi = \iint_S \vec{B}(t) \cdot d\vec{s}$$

$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

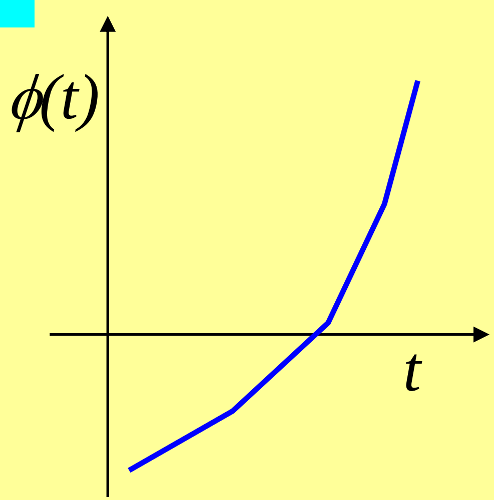
$$\varepsilon = (R_2 + R)I \Rightarrow \quad I = \frac{\varepsilon}{R_2 + R}$$

Ley de Faraday-Lenz



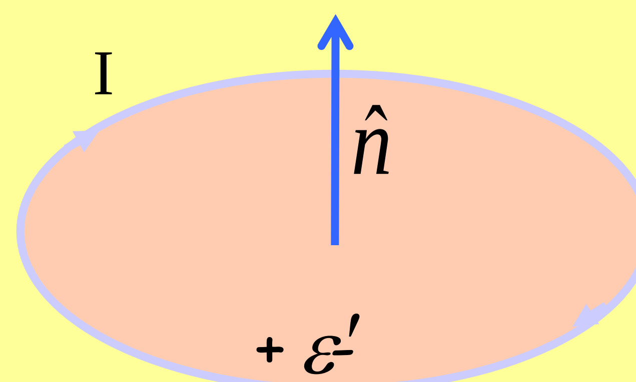
$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$ con $$\phi = \iint_S \vec{B}(t) \cdot d\vec{s}$$

Si



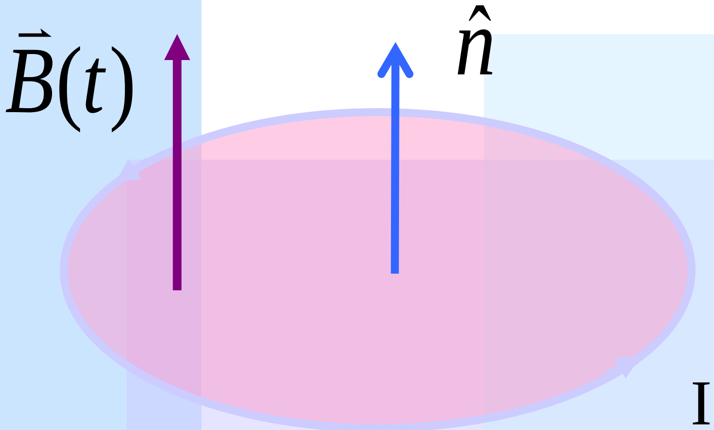
$$\dot{\phi} > 0 \Rightarrow \varepsilon < 0$$

$$\varepsilon' \equiv -\varepsilon$$



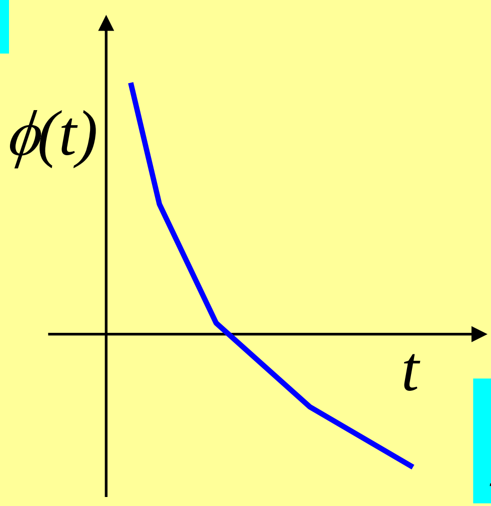
$\vec{B}$ crece $\Rightarrow$ Corriente genera campo opuesto al crecimiento

Ley de Faraday-Lenz

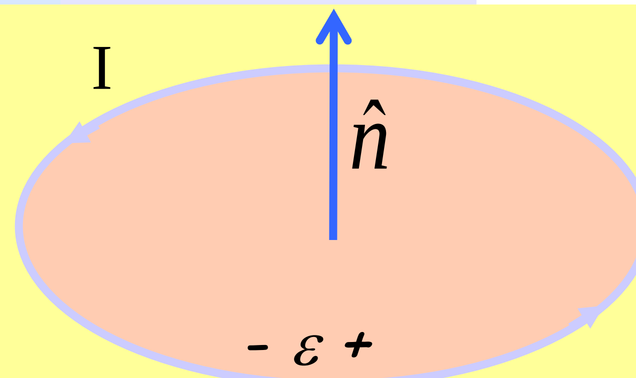


$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \quad \text{con} \quad \phi = \iint_S \vec{B}(t)\cdot d\vec{s}$$

Si



$$\dot{\phi} < 0 \Rightarrow \varepsilon > 0$$

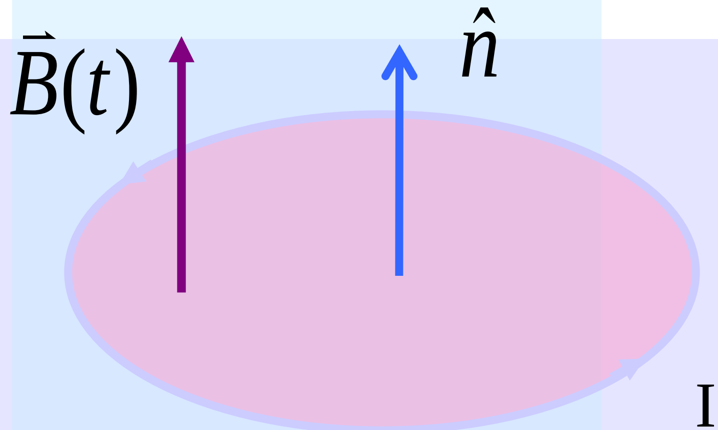


$\vec{B}$ decrece $\Rightarrow$ Corriente genera campo opuesto al decrecimiento

Ley de Faraday-Lenz

Un flujo magnético variable genera o induce un FEM

$$\phi = \iint_{S(t)} \vec{B}(t) \cdot d\vec{s}$$



$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

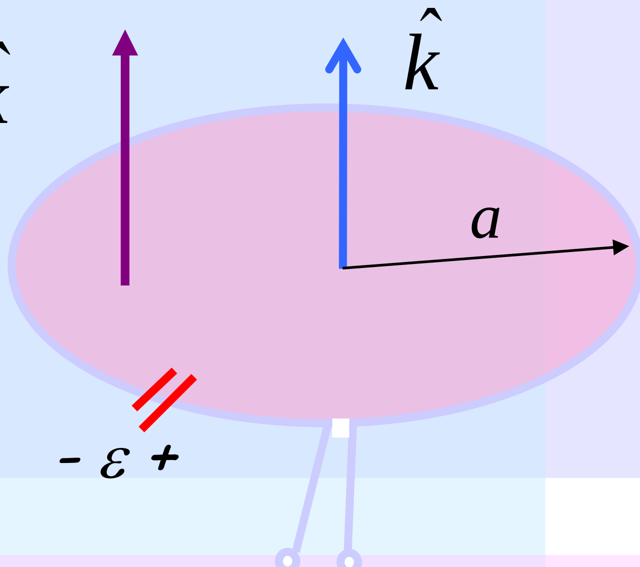
Notar que un flujo variable en el tiempo se puede lograr de dos formas:

- Con un campo variable *B(t)*
- Con una superficie variable *S(t)*

Ejemplo 1

Flujo variable producido por un campo variable *B(t)*

Si $$\vec{B}(t) = B_0 e^{-t/\tau}\hat{k}$$



$$\phi = \iint_S \vec{B}\cdot d\vec{s}$$

$$\phi(t) = B_0 e^{-t/\tau}\pi a^2$$

$$\varepsilon = -\frac{\partial\phi}{\partial t}$$

$$\varepsilon(t) = \frac{\pi a^2 B_0}{\tau} e^{-t/\tau}$$

Ejemplo 2

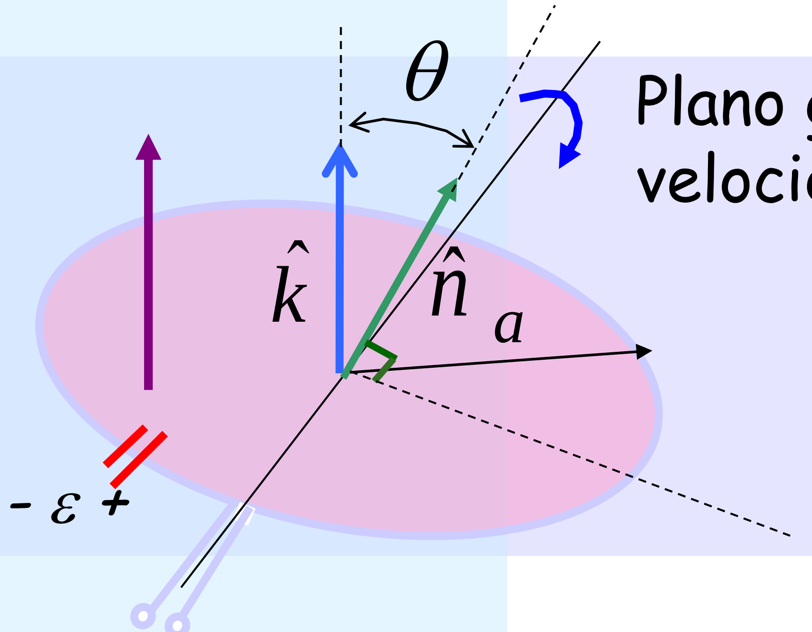
Area variable en el tiempo produce $B(t)$

Si $\vec{B}(t) = B_0 \hat{k}$

$$\phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

$$\phi(t) = B_0 A \cos\theta$$

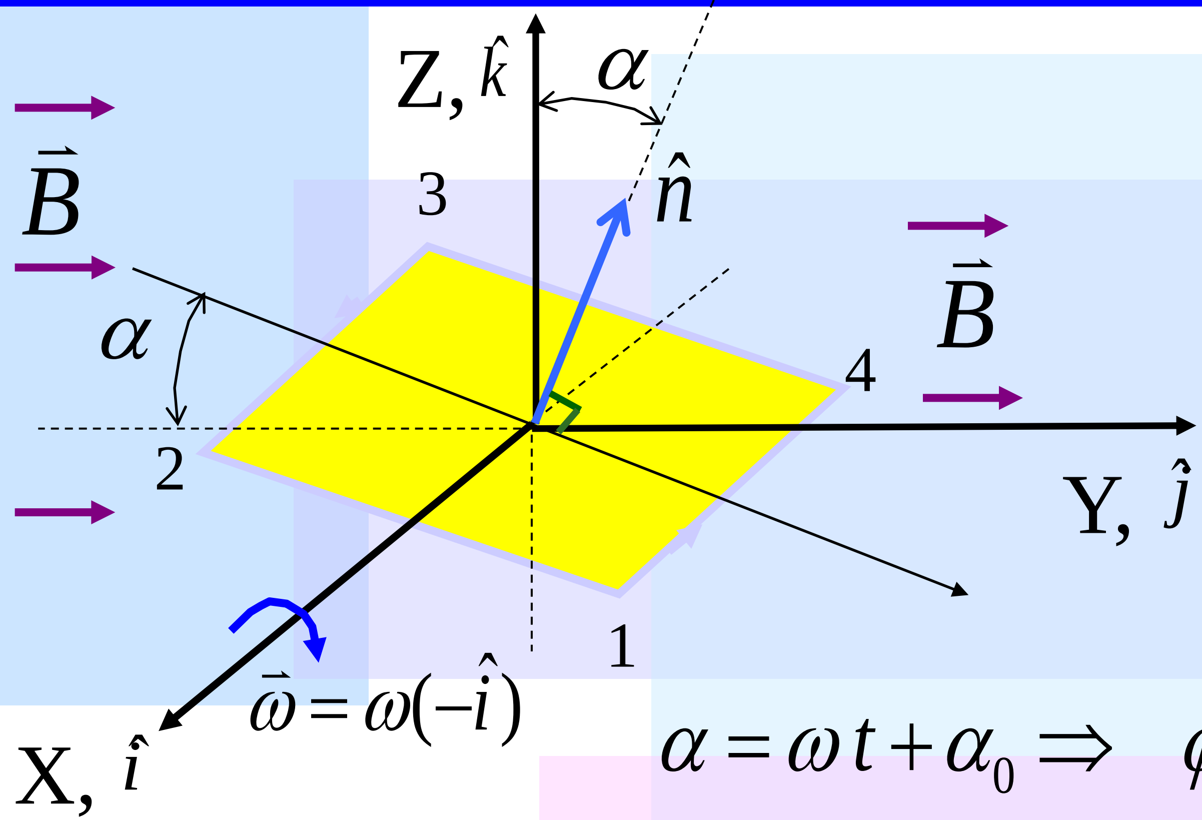
$$\theta = \omega t + \theta_0$$



Plano gira a velocidad ω

$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \Rightarrow \varepsilon(t) = A B_0 \omega \sin(\omega t + \theta_0)$$

Principio del generador



$$\phi = \iint_{S(t)} \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

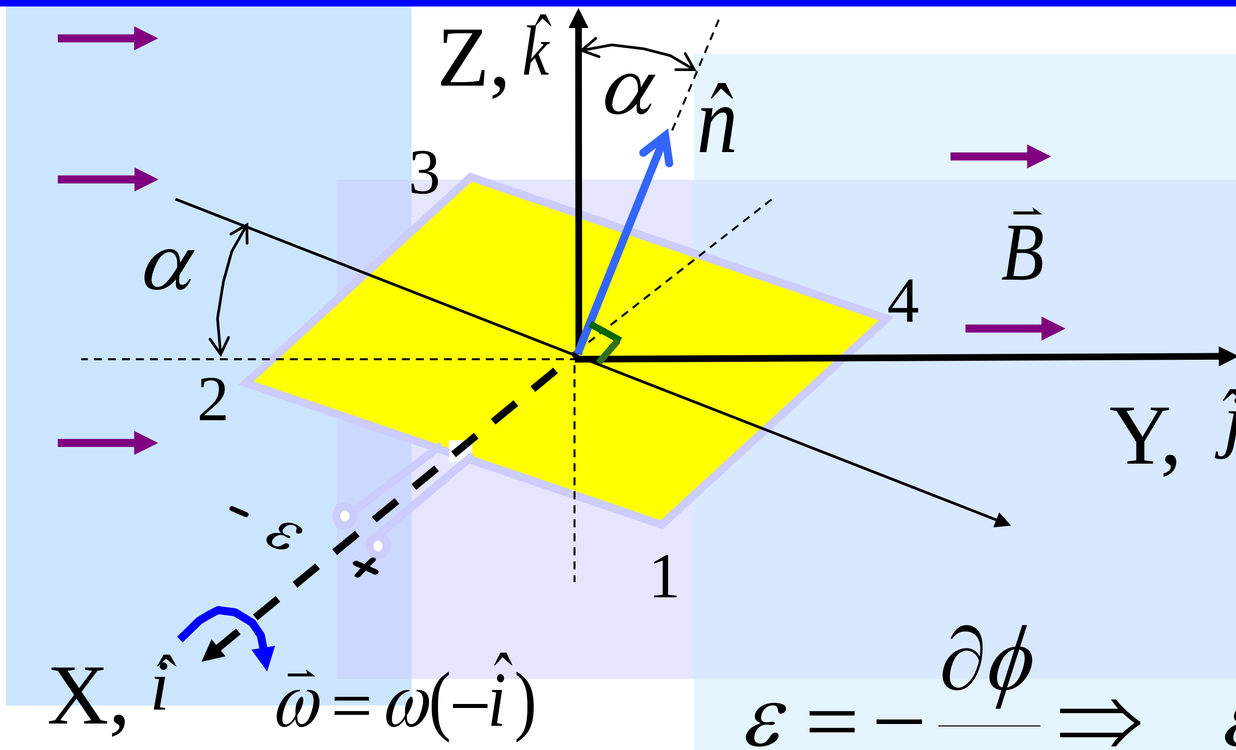
$$\phi = BA \sin\alpha$$

$$\alpha = \omega t + \alpha_0 \Rightarrow \quad \phi = BA\sin(\omega t + \alpha_0)$$

Ley de Faraday-Lenz

$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \Rightarrow \quad \varepsilon = B\omega\cos(\omega t + \alpha_0)$$

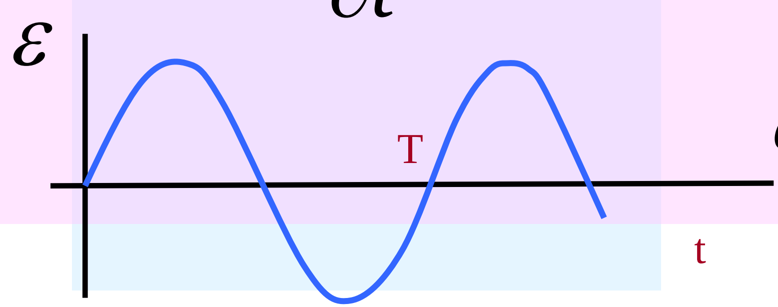
Principio del generador



$$\phi = \iint_{S(t)} \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

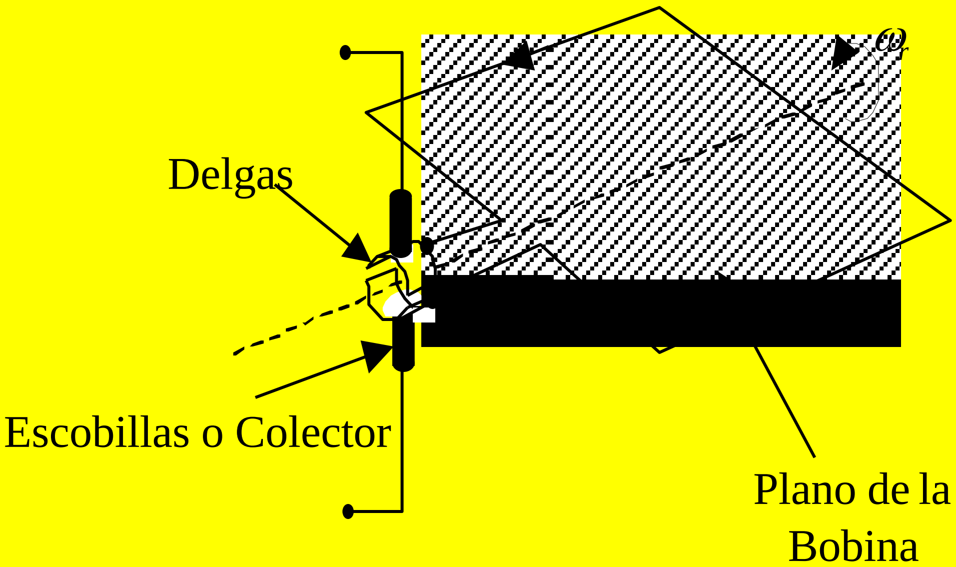
$$\phi = B \sin \alpha$$

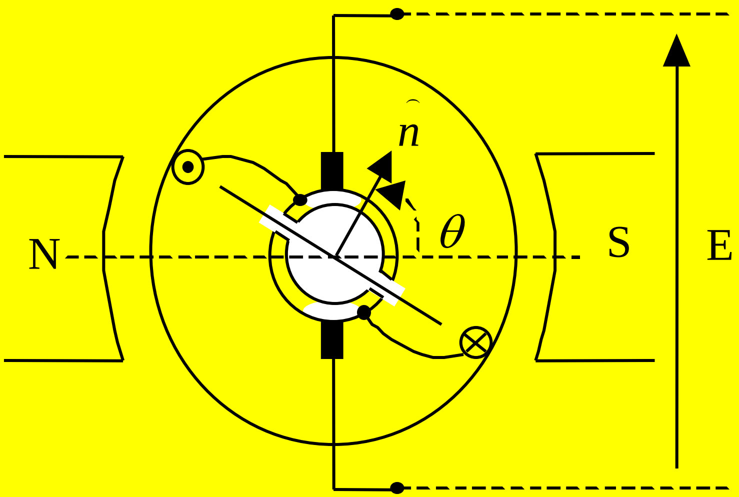
$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \Rightarrow \quad \varepsilon = B\omega \cos(\omega t + \alpha_0)$$



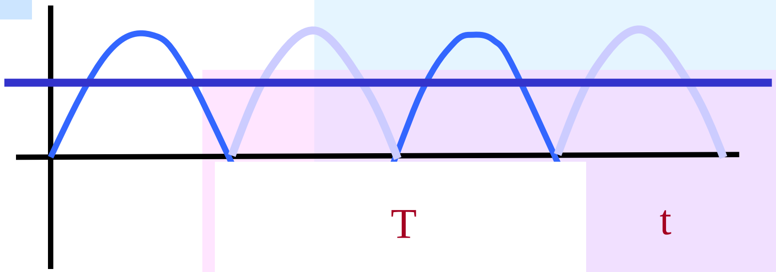
$$\omega = 2\pi f \Rightarrow T = \frac{1}{f}$$

Principio del generador de Corriente Continua



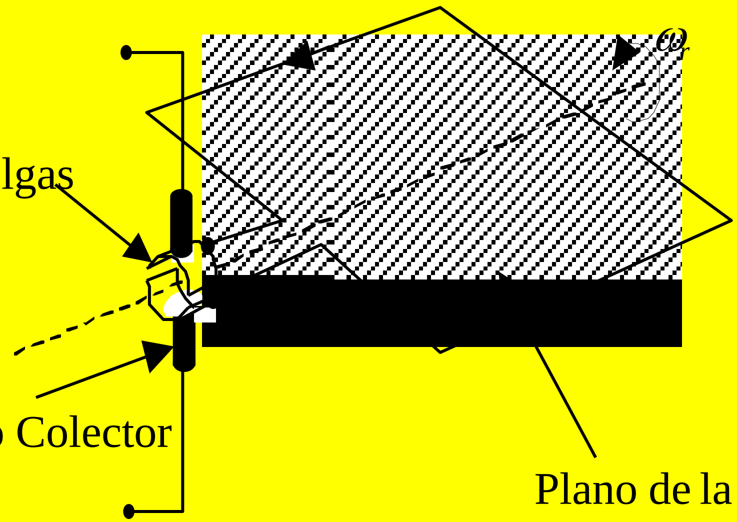


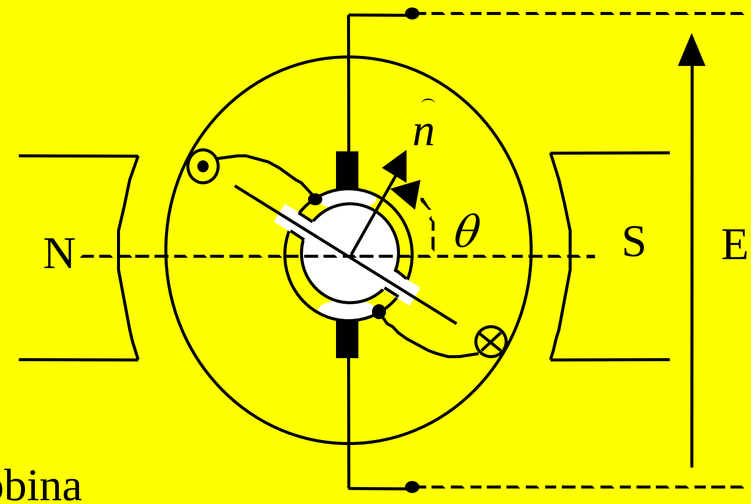
Valor medio no nulo

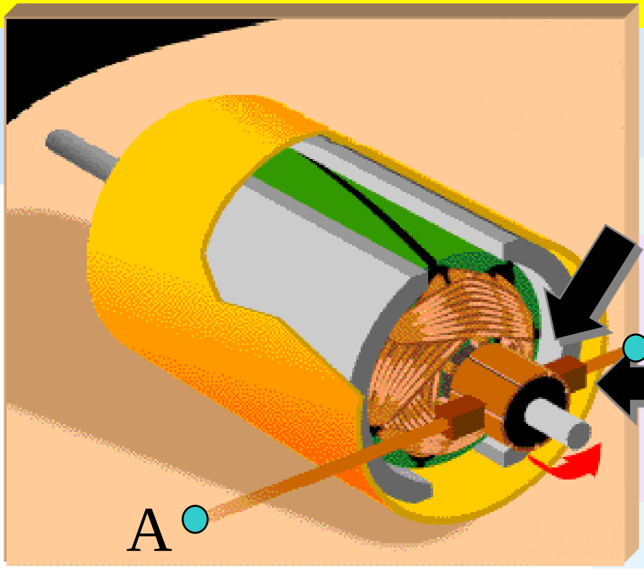


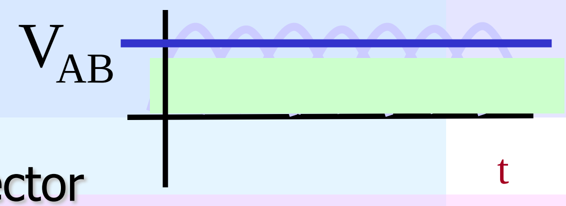
$$\omega = 2\pi f \Rightarrow T = \frac{1}{f}$$

Generador de Corriente Continua









Colector real