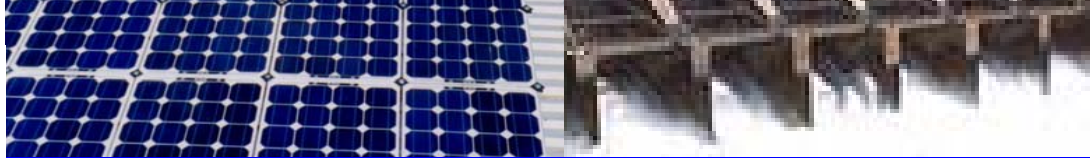


FI33A ELECTROMAGNETISMO

Clase 20

Campos Variables en el Tiempo I

LUIS S. VARGAS
Area de Energía
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Chile



INDICE

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



Repaso

Equilibrio electrostático
de las cargas

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \iiint_{\Omega} \frac{(\vec{r} - \vec{r}')}{\|\vec{r} - \vec{r}'\|^3} \rho(\vec{r}') dv' \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E}$$

1ª Ecuación de Maxwell

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho$$

2ª Ecuación de Maxwell

$$\nabla \times \vec{E} = 0$$

Equilibrio dinámico de las
corrientes

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

3ª Ecuación de Maxwell

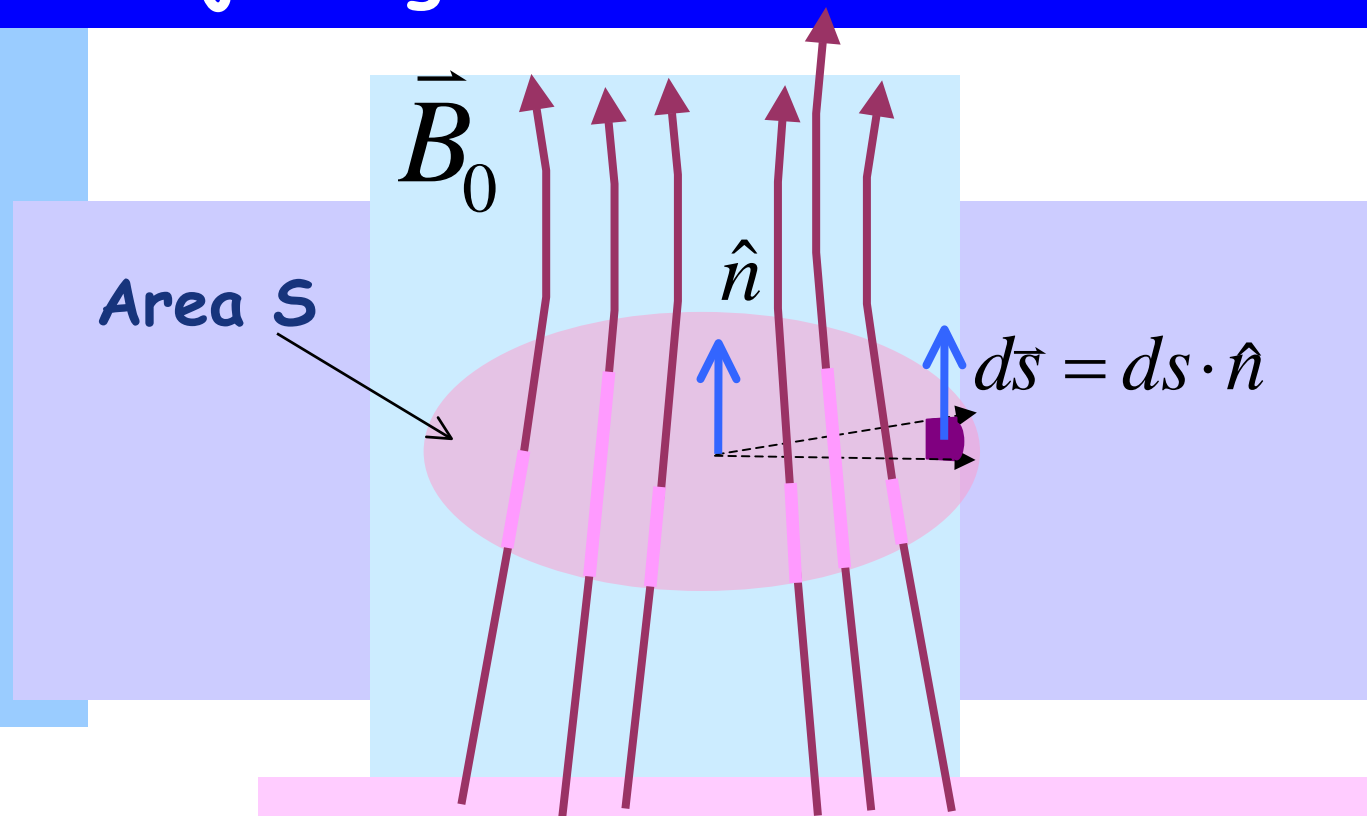
$$\nabla \cdot \vec{B} = 0$$

4ª Ecuación de Maxwell

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J}$$

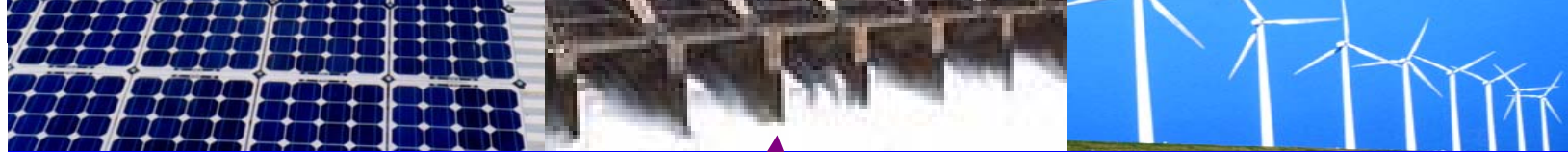


Flujo magnético

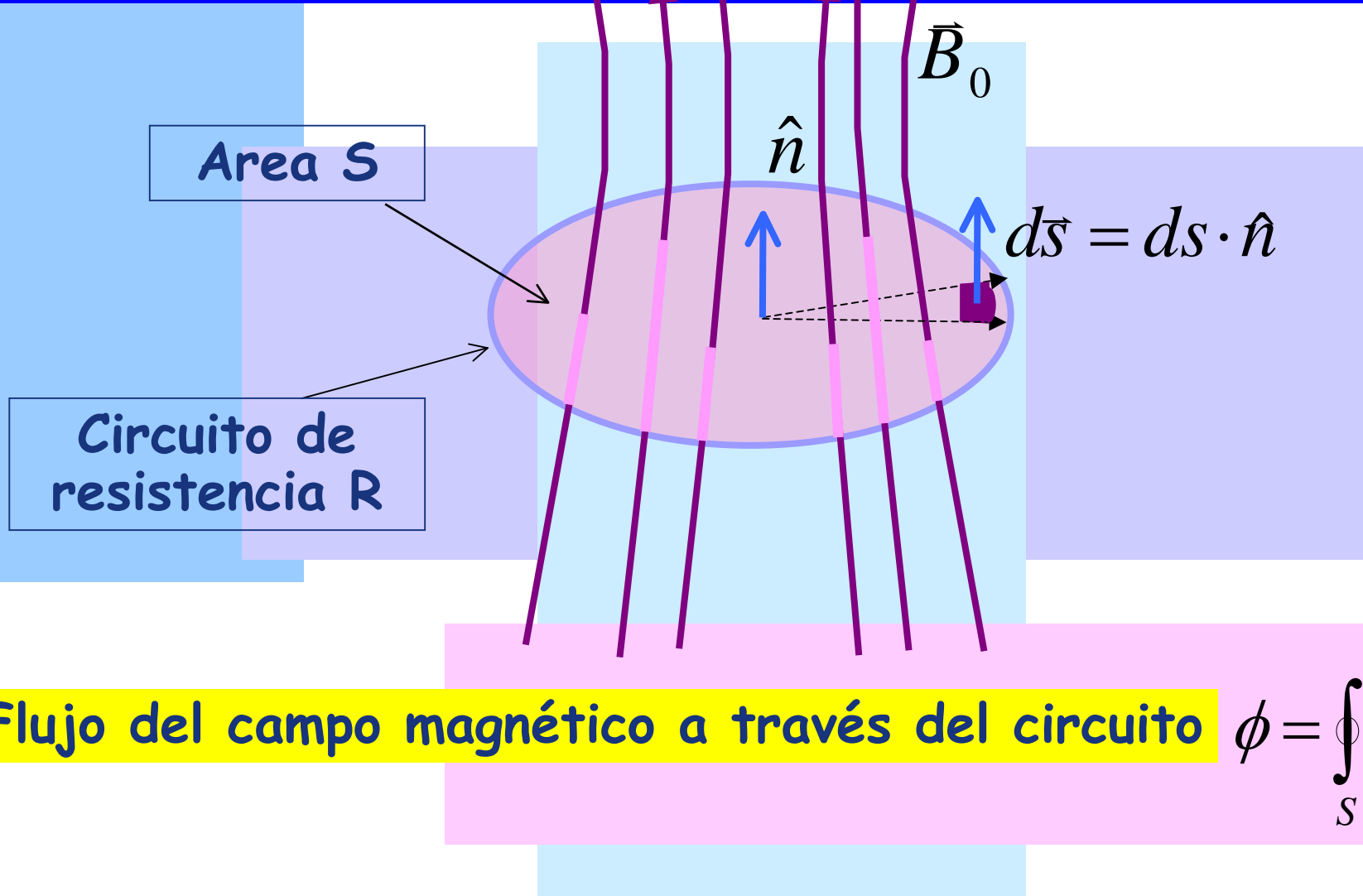


Flujo del campo magnético a través de área S $\phi = \oint_S \vec{B}_0 \cdot d\vec{s}$

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



Flujo magnético en un circuito



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



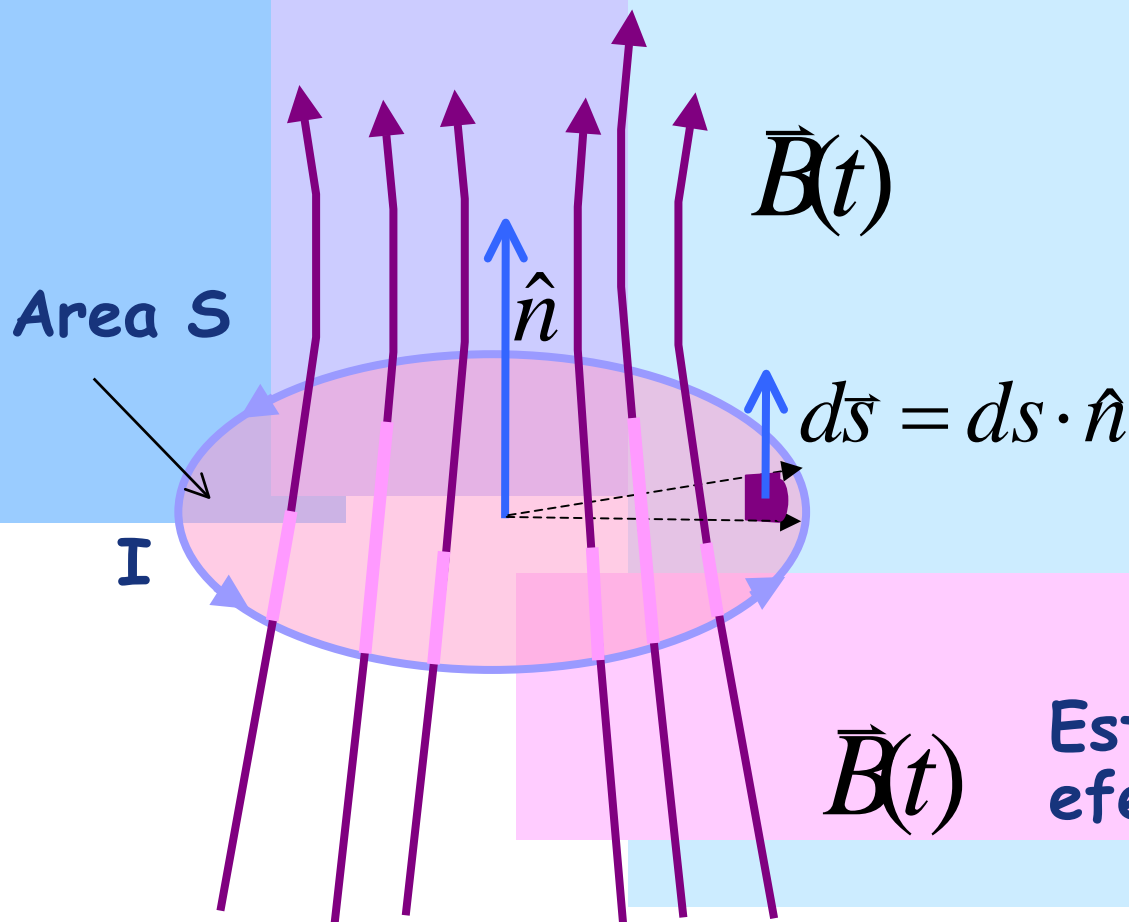
Ley de Faraday-Lenz

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

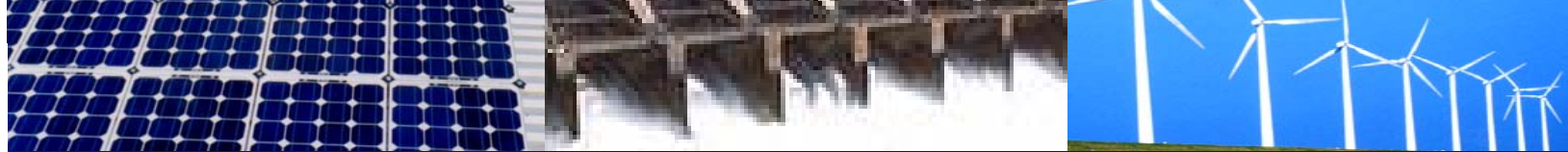
$$I = -\frac{\partial \phi}{\partial t} \cdot \frac{1}{R}$$

donde

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

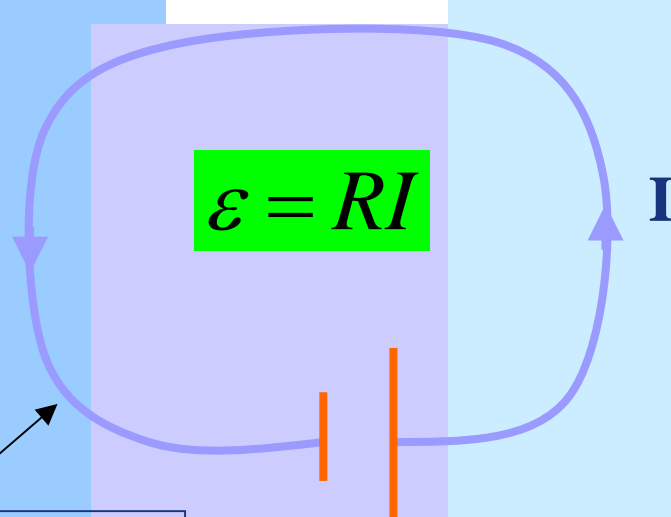


Este campo incluye el
efecto de la corriente I



Ley de Faraday-Lenz

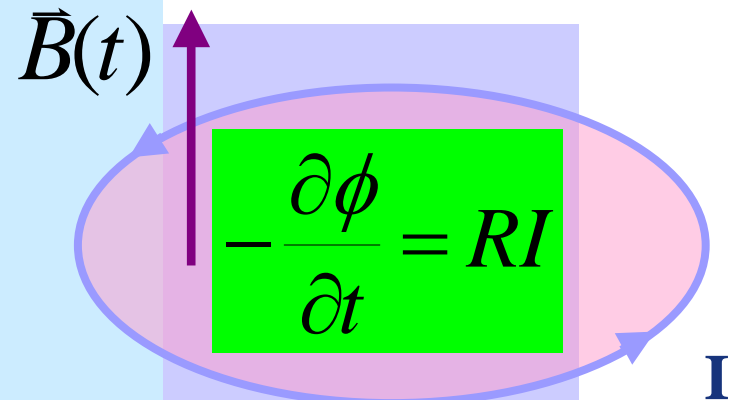
Recordemos que para un circuito resistivo se cumple $\varepsilon = RI$



Circuito de
resistencia
 R

Fem del
circuito

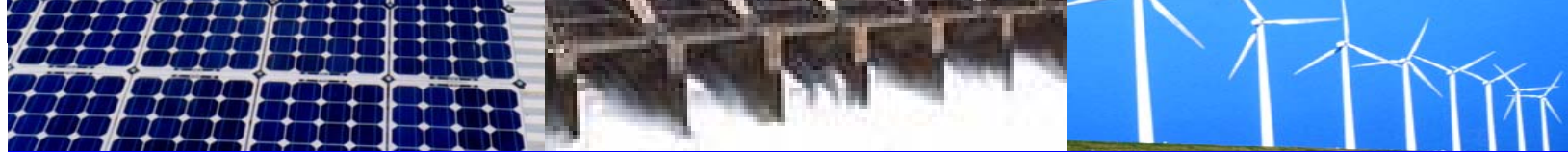
$-\varepsilon +$



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

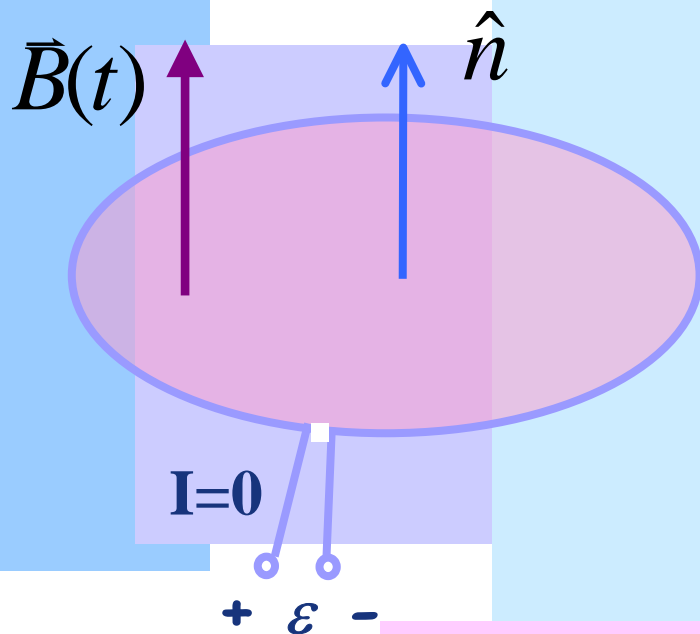
$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

**LEY DE
FARADAY-LENZ**



Ley de Faraday-Lenz

Un campo magnético variable genera o induce un FEM



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

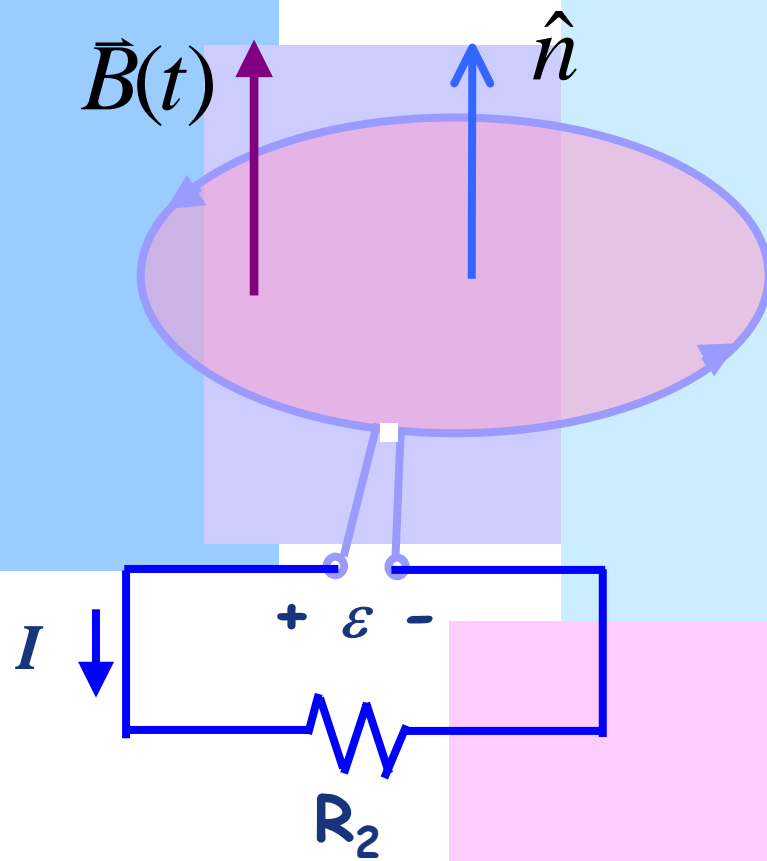
con $\phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$

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



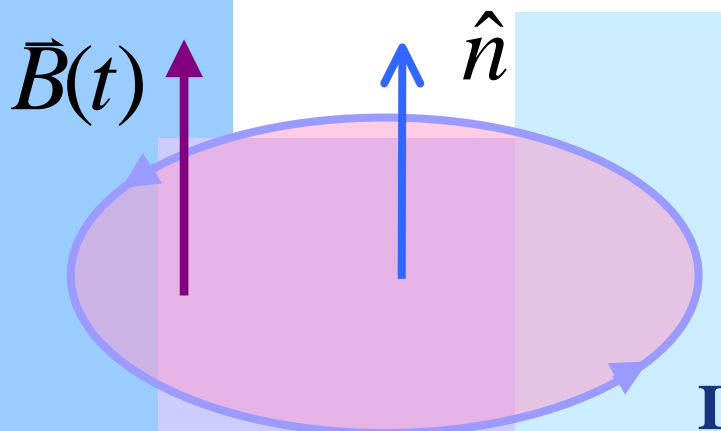
$$\varepsilon = - \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

con $\phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$

$$\varepsilon = R_2 I \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R_2}$$



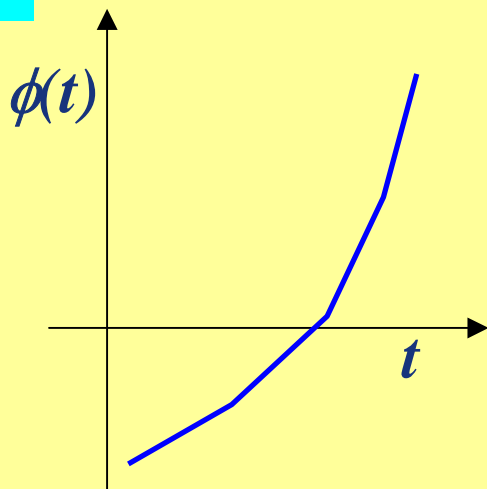
Ley de Faraday-Lenz



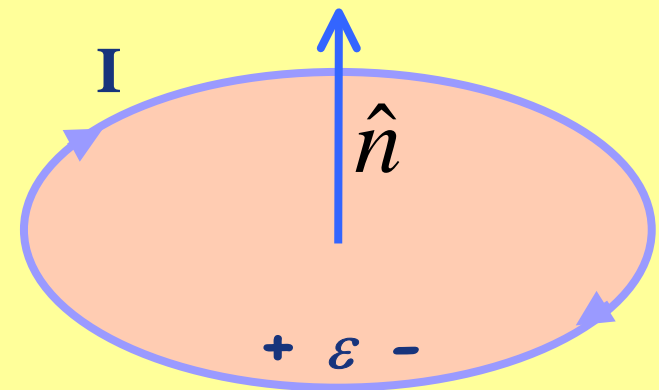
$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

con $\phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$

Si



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

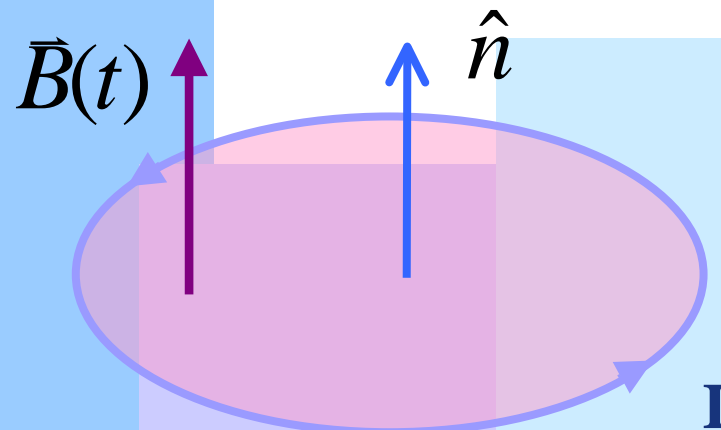


\vec{B} **crece** \Rightarrow

Corriente genera campo opuesto al crecimiento



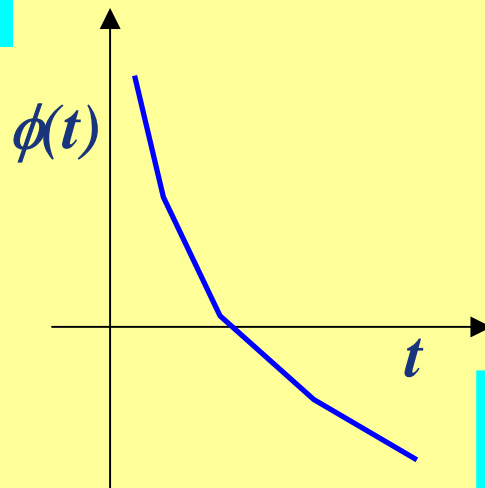
Ley de Faraday-Lenz



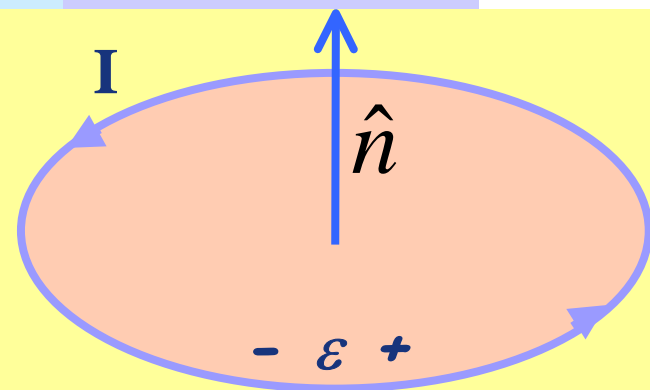
$$\varepsilon = - \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

con $\phi = \oint_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$

Si

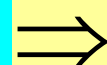


$$\dot{\phi} < 0 \Rightarrow \varepsilon > 0$$



\vec{B}

decrece

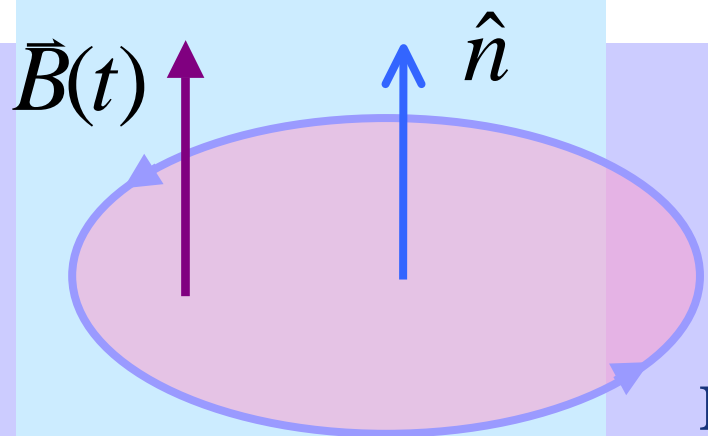


Corriente genera campo opuesto al decrecimiento

Ley de Faraday-Lenz

Un campo magnético variable genera o induce un FEM

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



$$\mathcal{E} = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

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

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

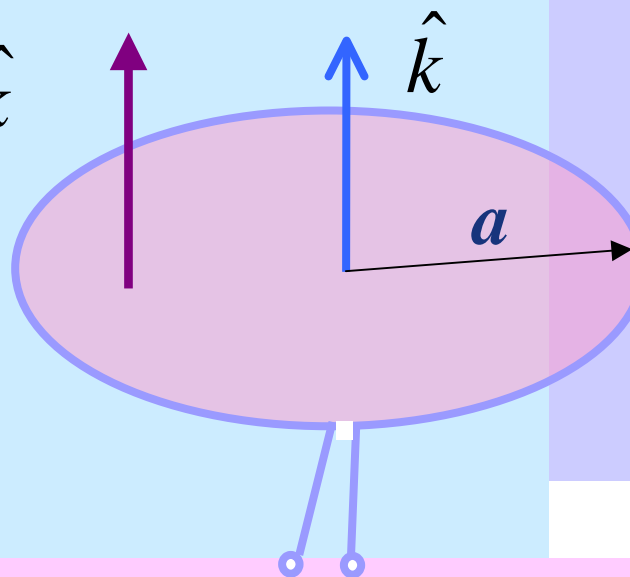
Ley de Faraday-Lenz

Ejemplo: flujo variable en el tiempo con un campo variable $B(t)$

Si

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

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



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

$$\mathcal{E} = - \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

$-\mathcal{E}+$

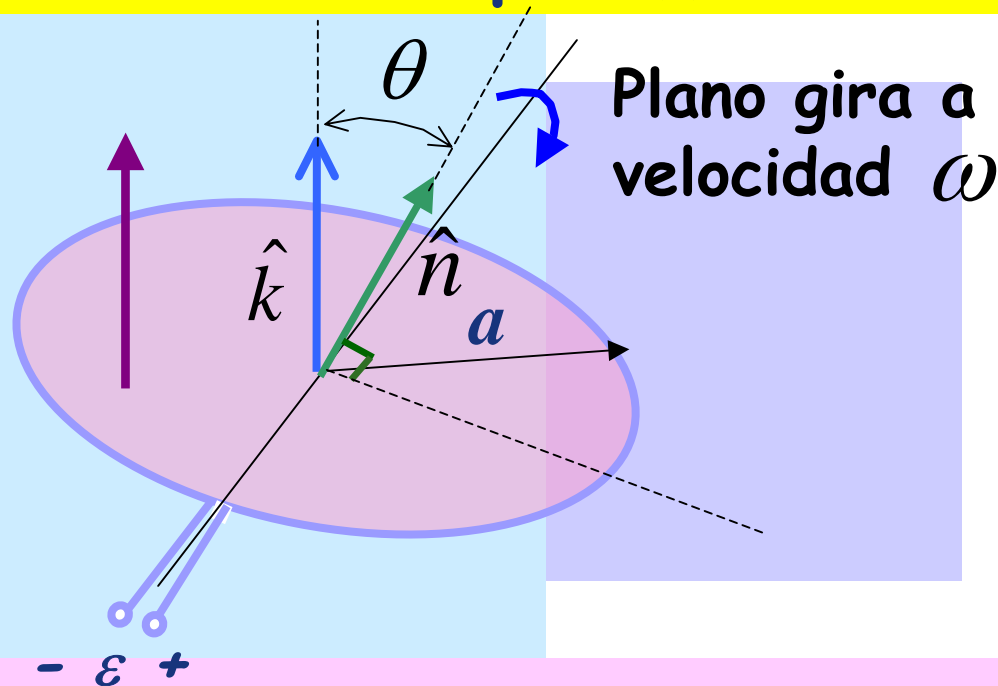
$$\mathcal{E}(t) = \frac{\pi a^2 B_0}{\tau} t e^{-t/\tau}$$

Ley de Faraday-Lenz

Ejemplo: área variable en el tiempo $B(t)$

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

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



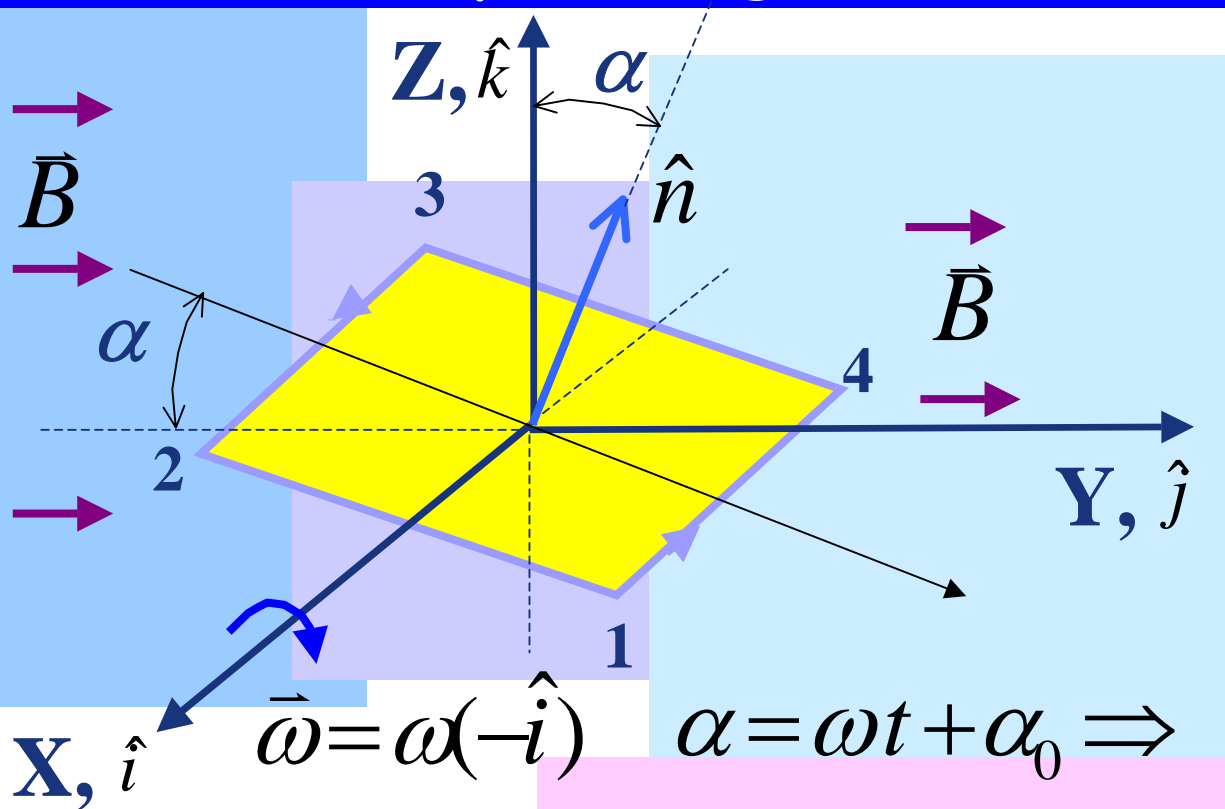
$$\phi(t) = B_0 A \cos \theta$$

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

$$\mathcal{E} = - \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

$$\mathcal{E}(t) = AB_0 \omega \sin(\omega t + \theta_0)$$

Principio del generador



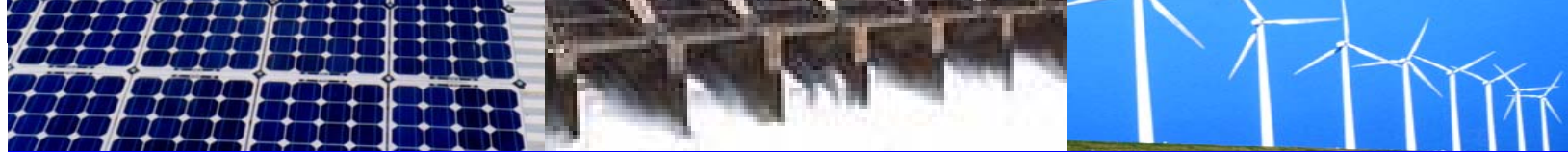
$$\phi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

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

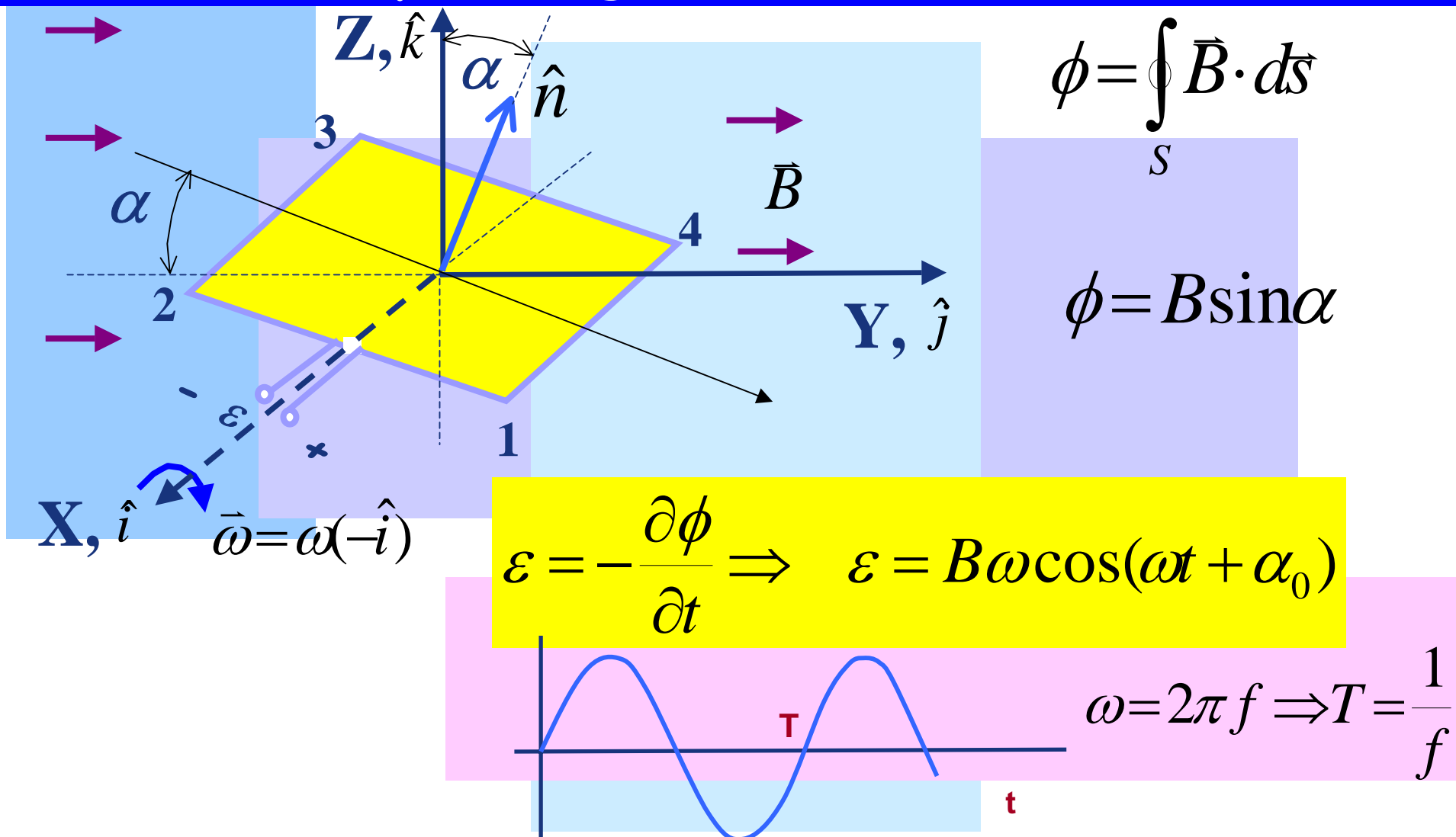
$$\alpha = \omega t + \alpha_0 \Rightarrow \phi = BA \sin(\omega t + \alpha_0)$$

**Ley de
Faraday-Lenz**

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

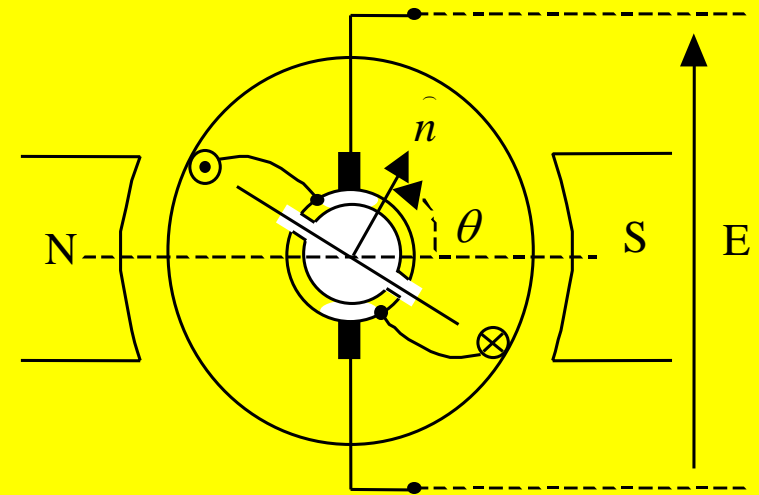
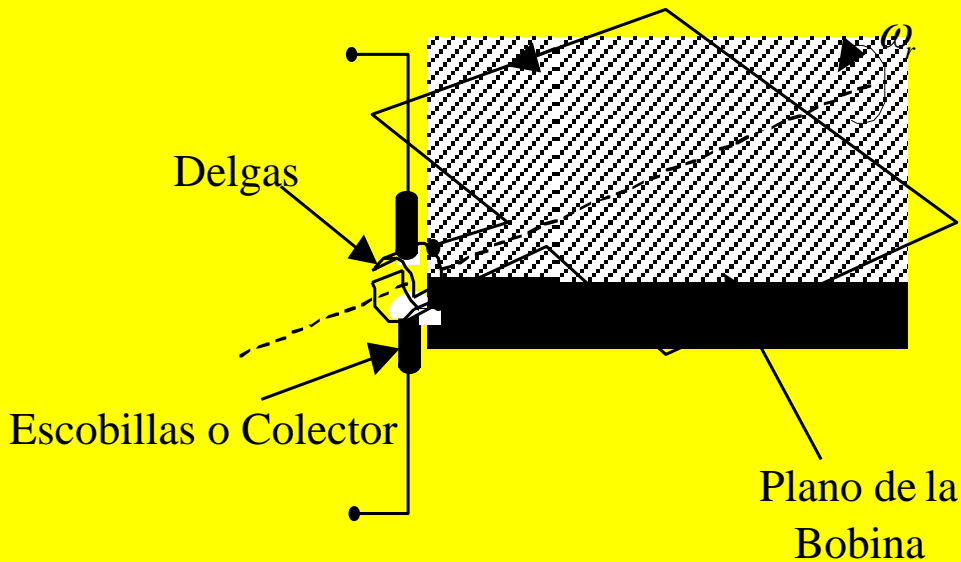


Principio del generador

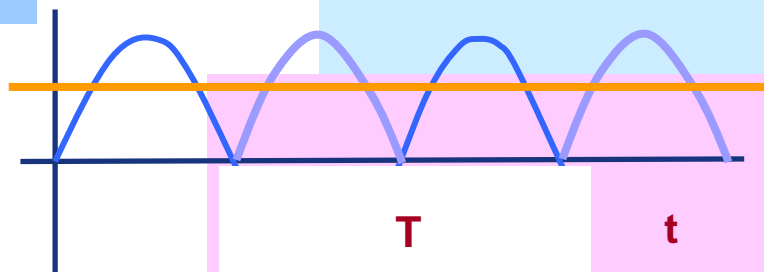




Principio del generador de Corriente Continua



Valor
medio no
nulo



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



Generador de Corriente Continua

