



**EL 6000**

# Generación de Energía Eléctrica con Fuentes Renovables

**Clase 3: PRINCIPIOS GENERADORES**



## AGENDA

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



## DEFINICION GENERADOR

**ENERGÍA MECÁNICA,  
Química, etc.**

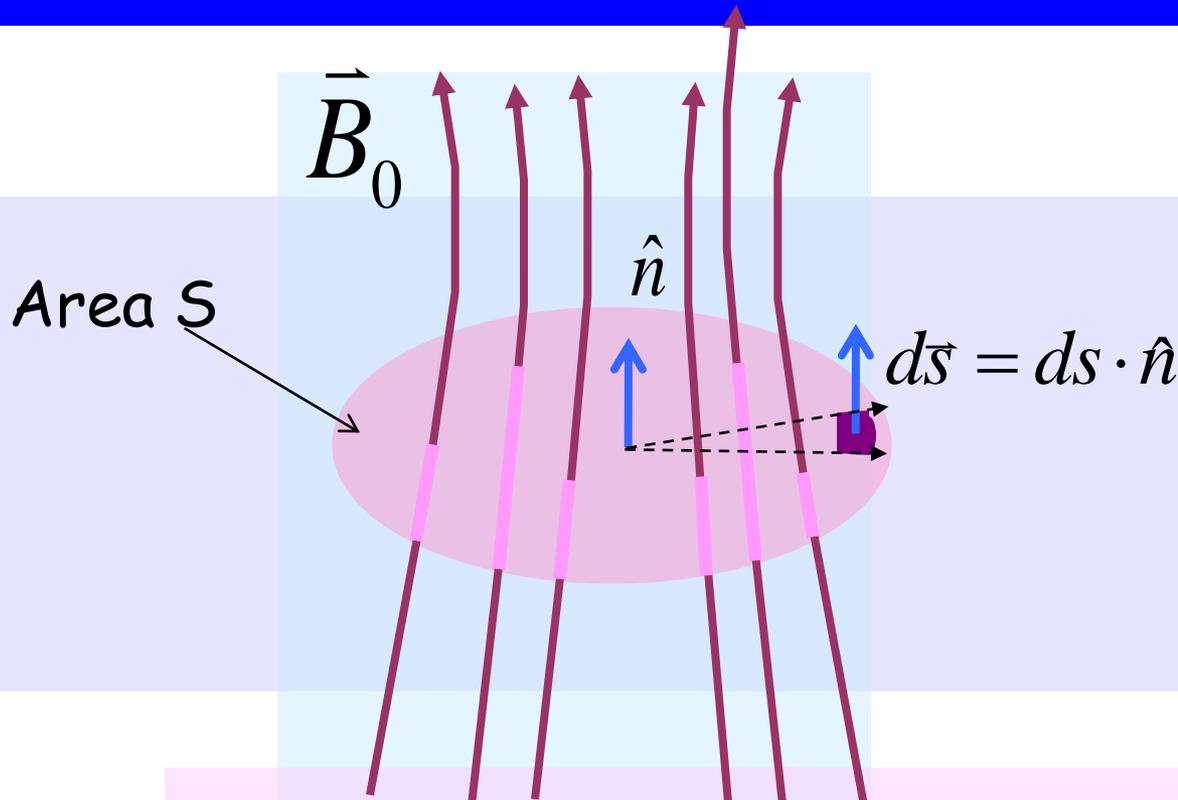


**ENERGÍA  
ELÉCTRICA**

En un generador, la variación en el tiempo de la geometría de un circuito magnético (energía mecánica) produce una variación en el tiempo del flujo magnético que induce voltajes en los circuitos eléctricos que lo enlazan (energía eléctrica).



## Flujo magnético



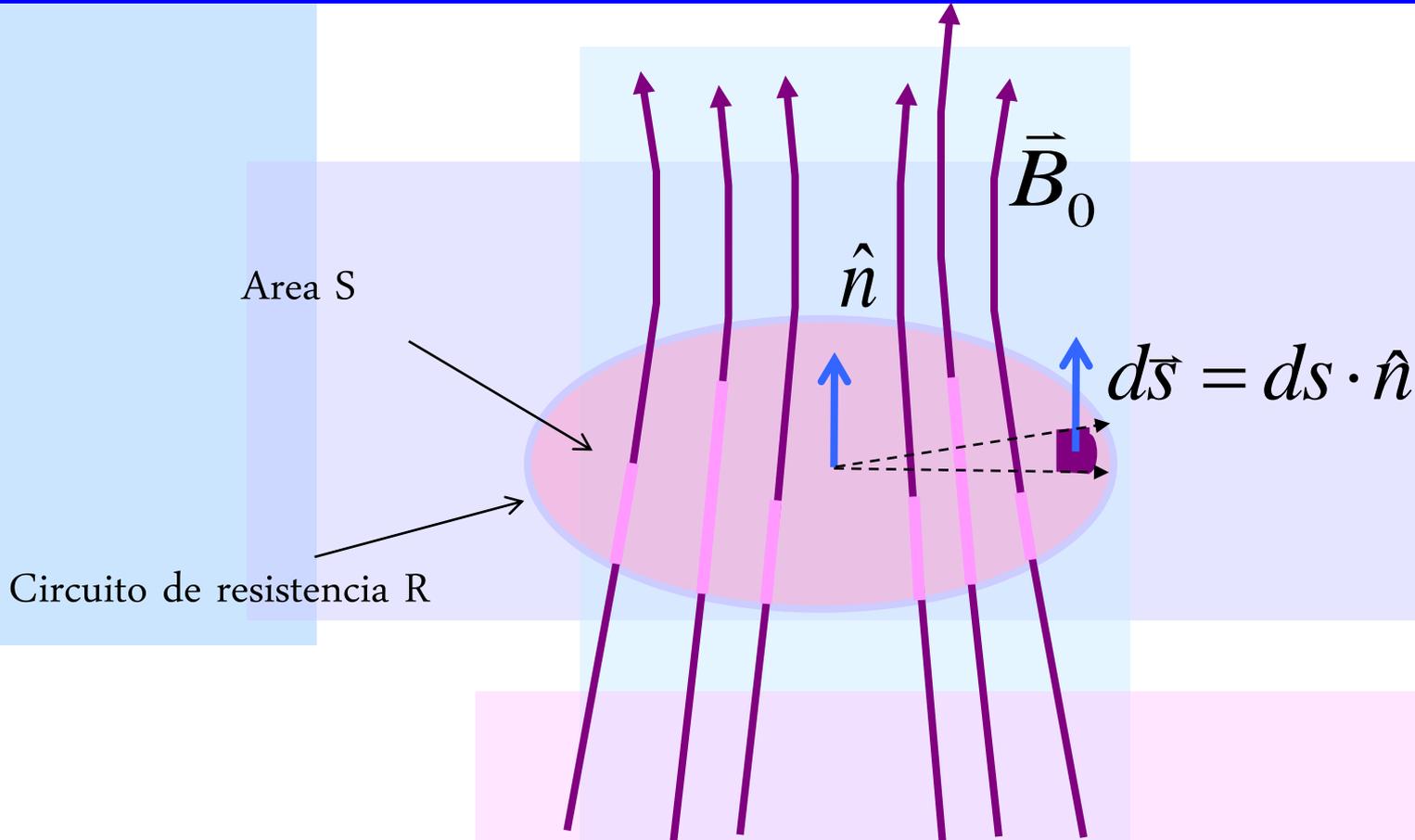
Flujo del campo magnético a través de  
área S

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

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



## Flujo magnético en un circuito



Flujo del campo magnético a través del circuito

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

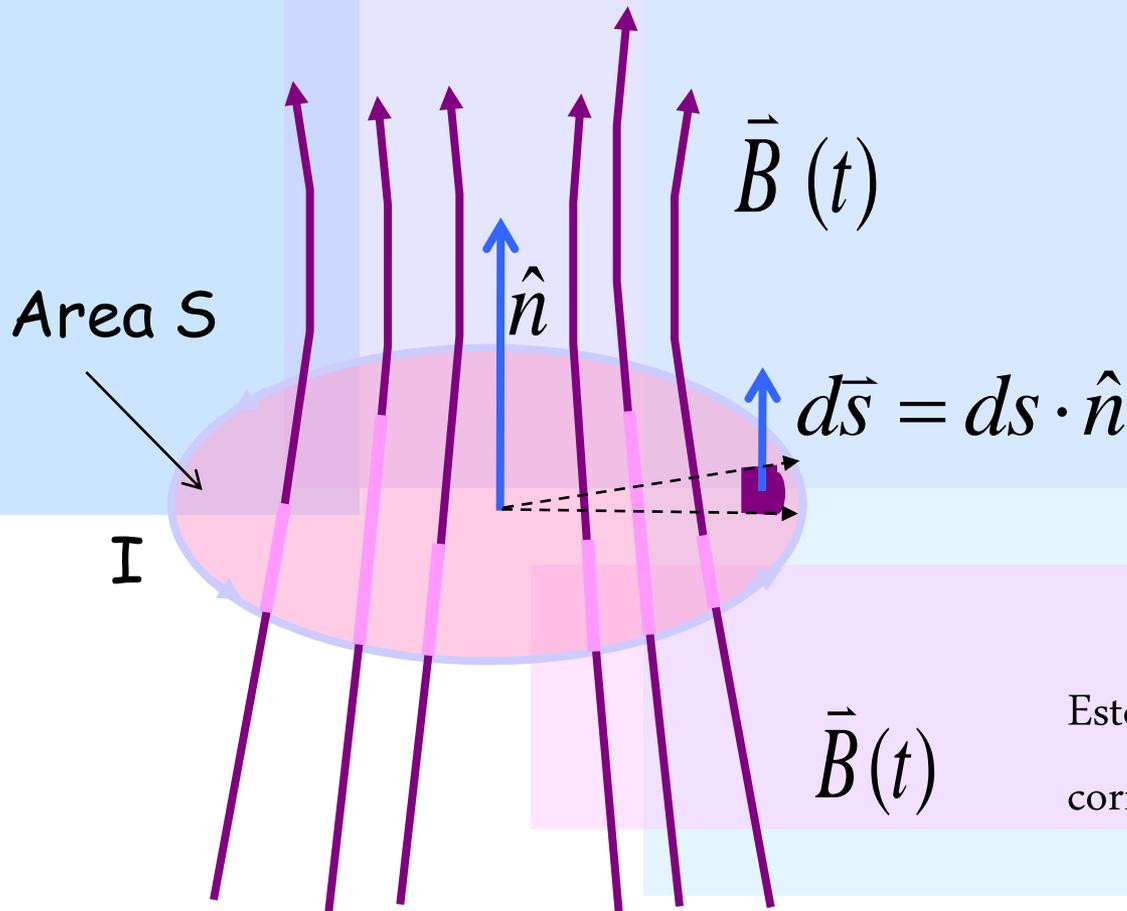


# Ley de Faraday-Lenz

Se encuentra experimentalmente que si  
entonces aparece una corriente  $I$  dada por la relación

$$\vec{B} = \vec{B}(t)$$

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



donde

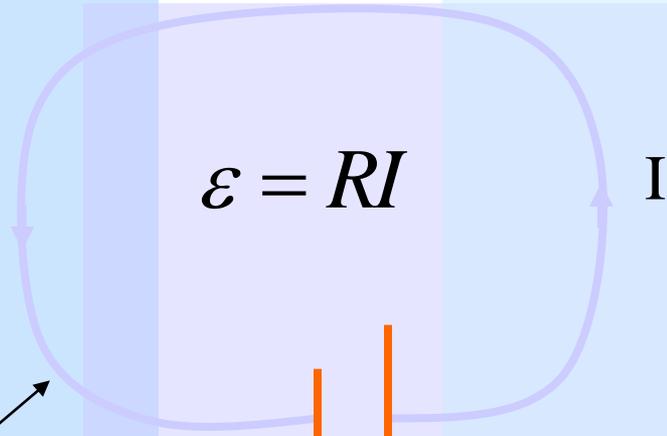
$$\phi = \iint_S \vec{B}(t) \cdot d\vec{s}$$

Este campo incluye el efecto de la corriente  $I$



# Ley de Faraday-Lenz

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



Circuito de resistencia R

Fem del circuito

$$\vec{B}(t)$$

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

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

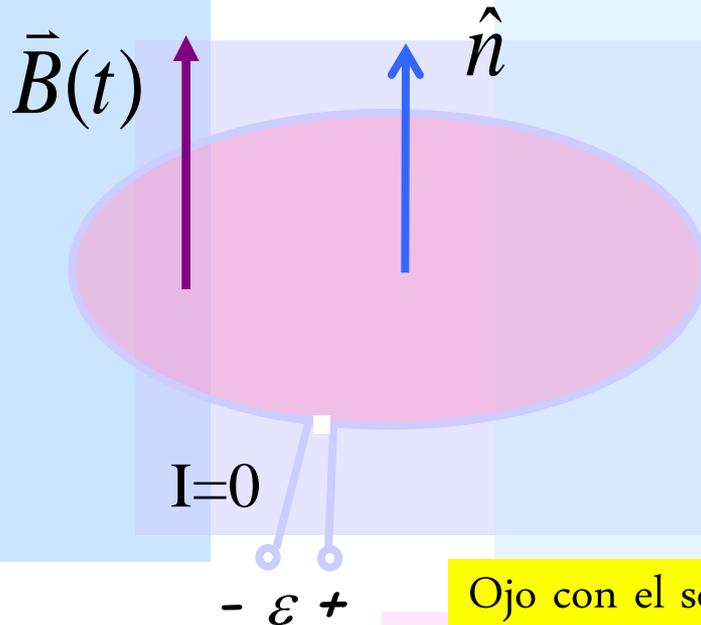
$$\varepsilon = -\frac{\partial \phi}{\partial t}$$

**LEY DE FARADAY-LENZ**



# Ley de Faraday-Lenz

Un campo magnético variable genera o induce un FEM



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

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

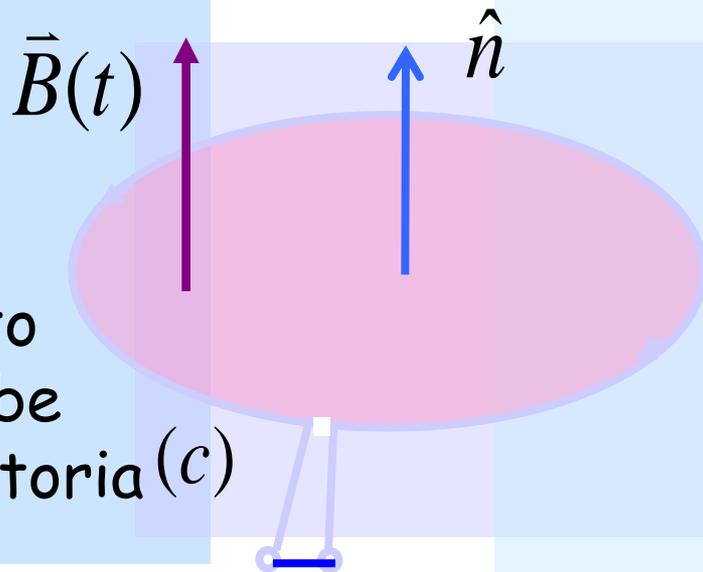
Ojo con el sentido de la fem

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



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

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

Circuito describe trayectoria (c)

Recordemos que la definición de fem es

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

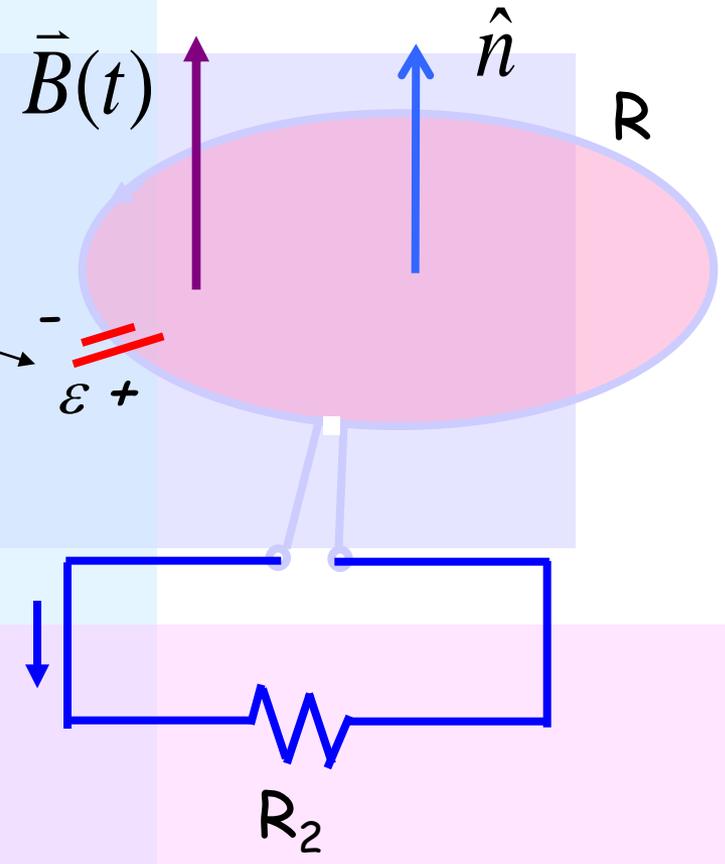
$$\varepsilon = RI \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R}$$



# Ley de Faraday-Lenz

Un campo magnético variable genera o induce un FEM

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



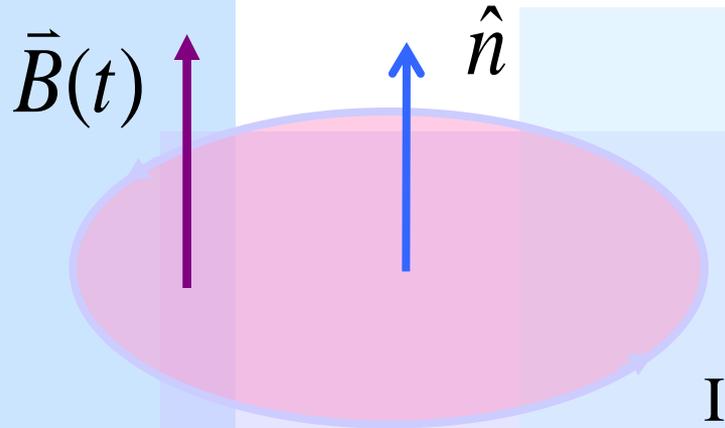
$$\phi = \iint_S \vec{B}(t) \cdot d\vec{s}$$

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

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



# Ley de Faraday-Lenz

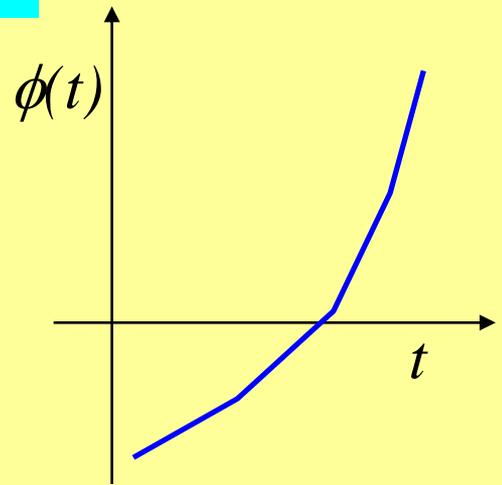


$$\varepsilon = - \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

con

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

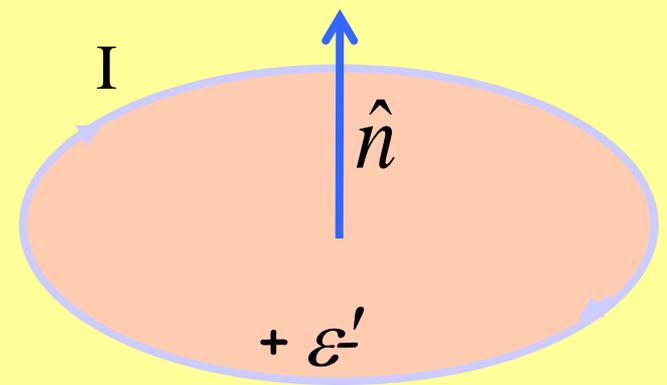
Si



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

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

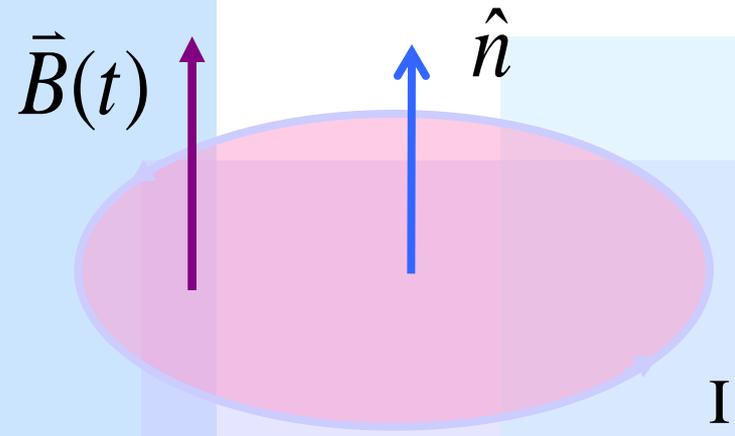
$\vec{B}$  crece  $\Rightarrow$



Corriente genera campo opuesto al crecimiento



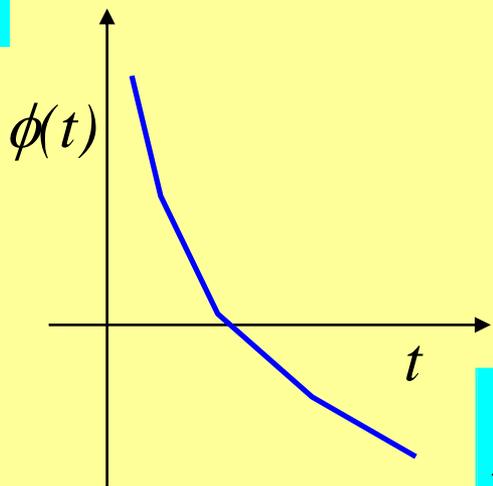
# Ley de Faraday-Lenz



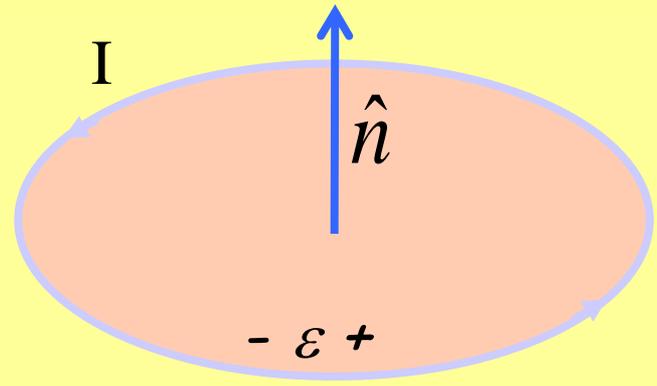
$$\varepsilon = - \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

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

Si



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



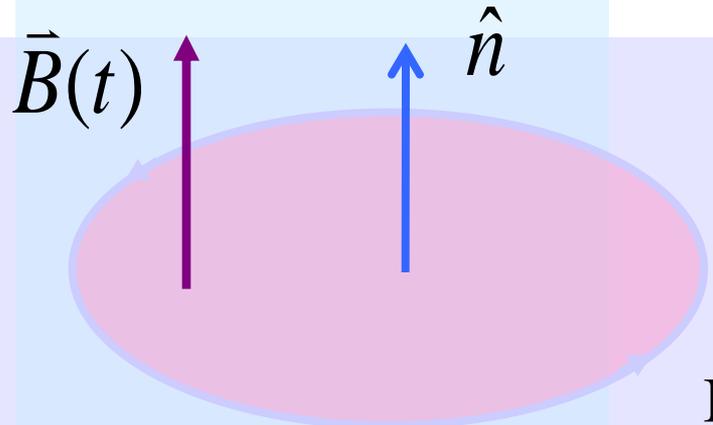
$\vec{B}$  decrece  $\Rightarrow$  Corriente genera campo opuesto al decrecimiento



## 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  $S(t)$



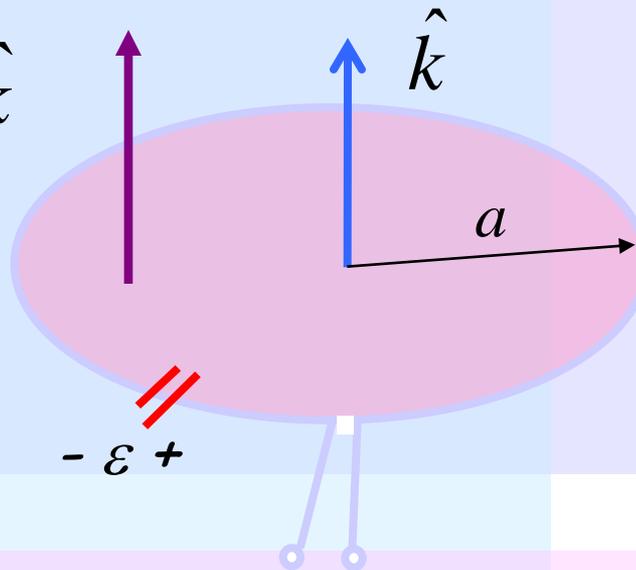
## Ejemplo 1

### Flujo variable producido por un campo variable $B(t)$

Si

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

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



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

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

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



## Ejemplo 2

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

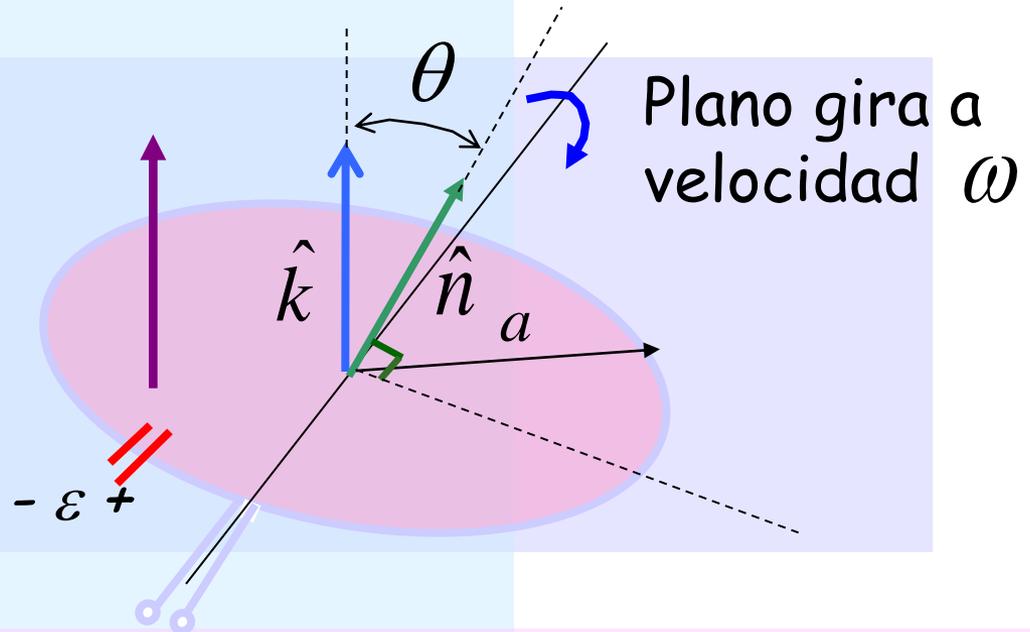
Si

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

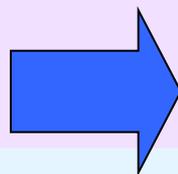
$$\phi = \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{s}$$

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

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



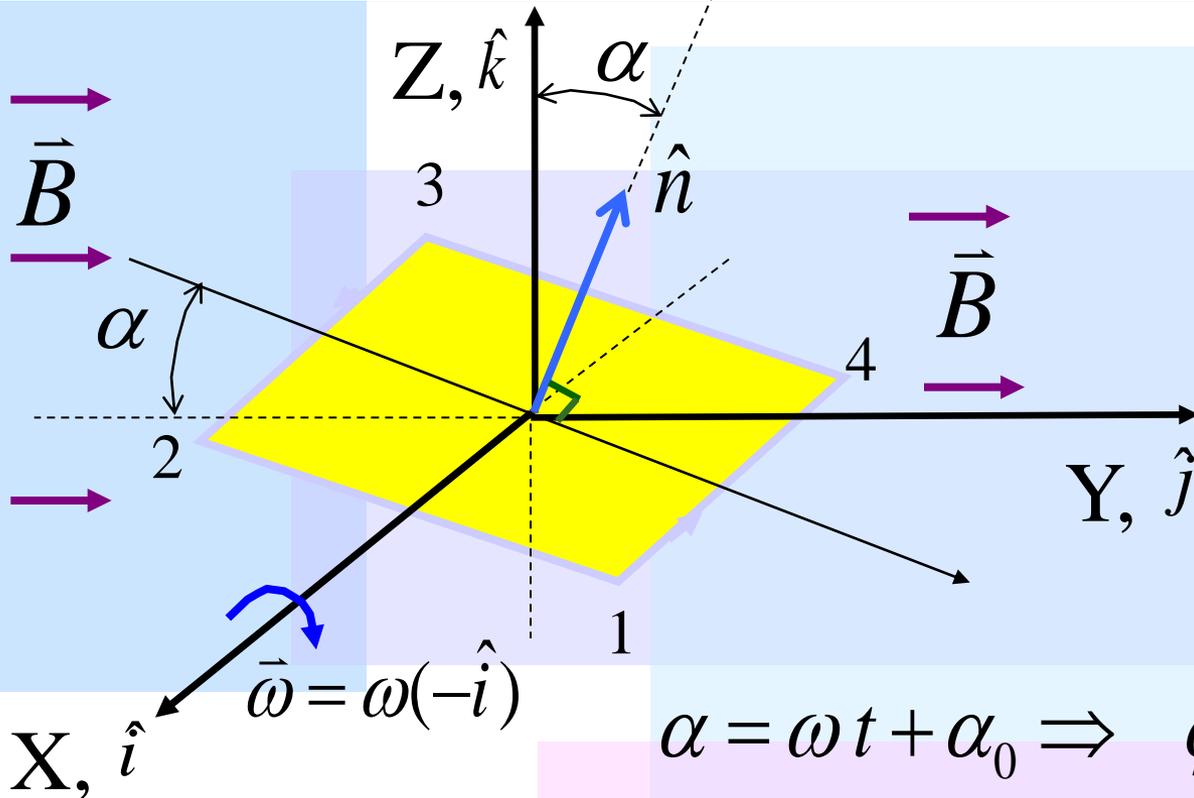
$$\varepsilon = - \frac{\partial \phi}{\partial t}$$



$$\varepsilon(t) = AB_0 \omega \sin(\omega t + \theta_0)$$



# Principio del generador



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

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

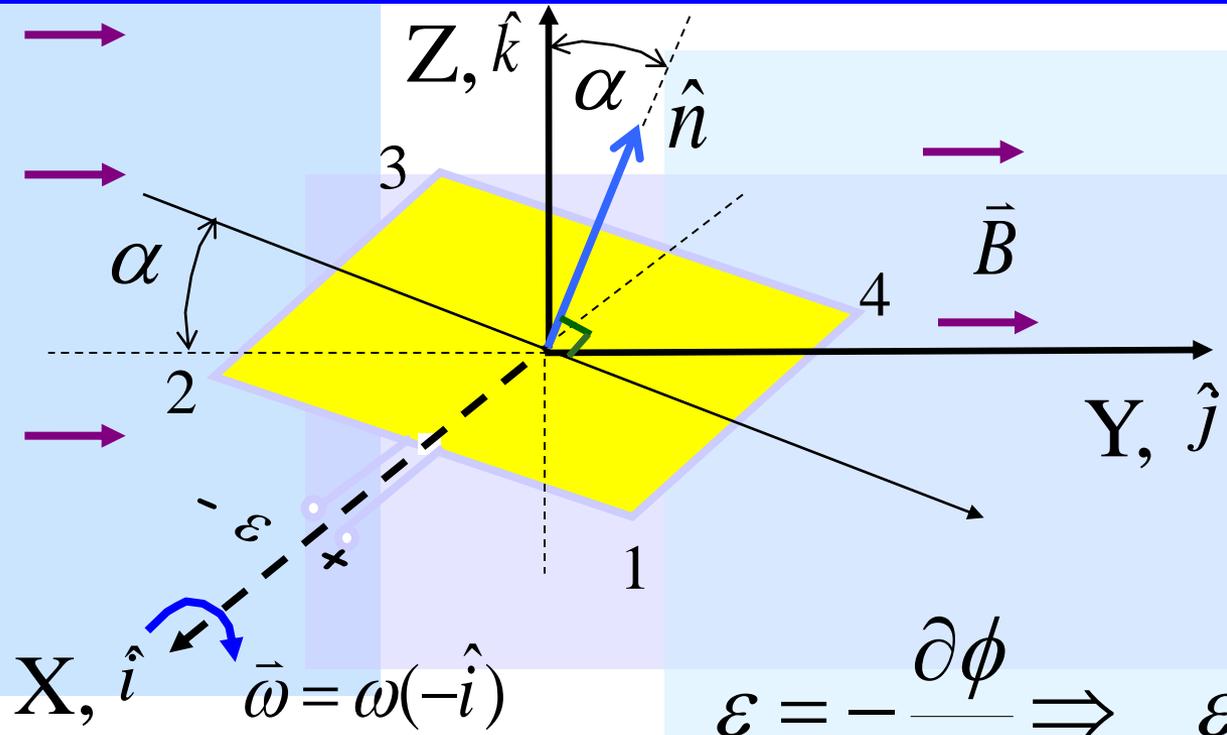
$$\alpha = \omega t + \alpha_0 \Rightarrow \phi = BA \sin(\omega t + \alpha_0)$$

Ley de Faraday-Lenz

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



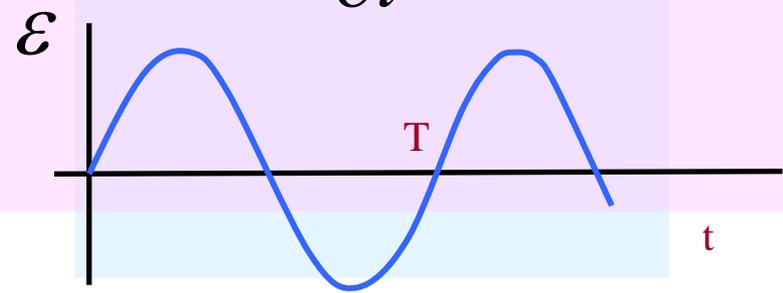
# Principio del generador de corriente alterna



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

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

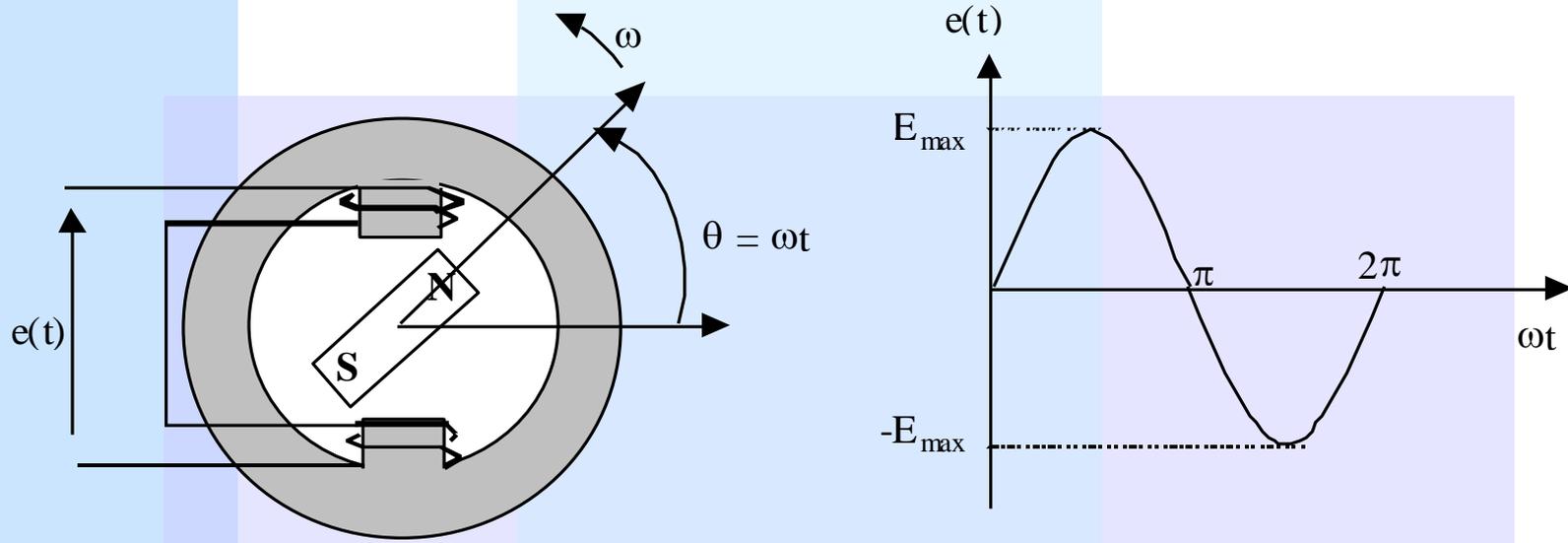
$$\epsilon = - \frac{\partial \phi}{\partial t} \Rightarrow \epsilon = B \omega \cos(\omega t + \alpha_0)$$



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



# Funcionamiento del generador sincrónico



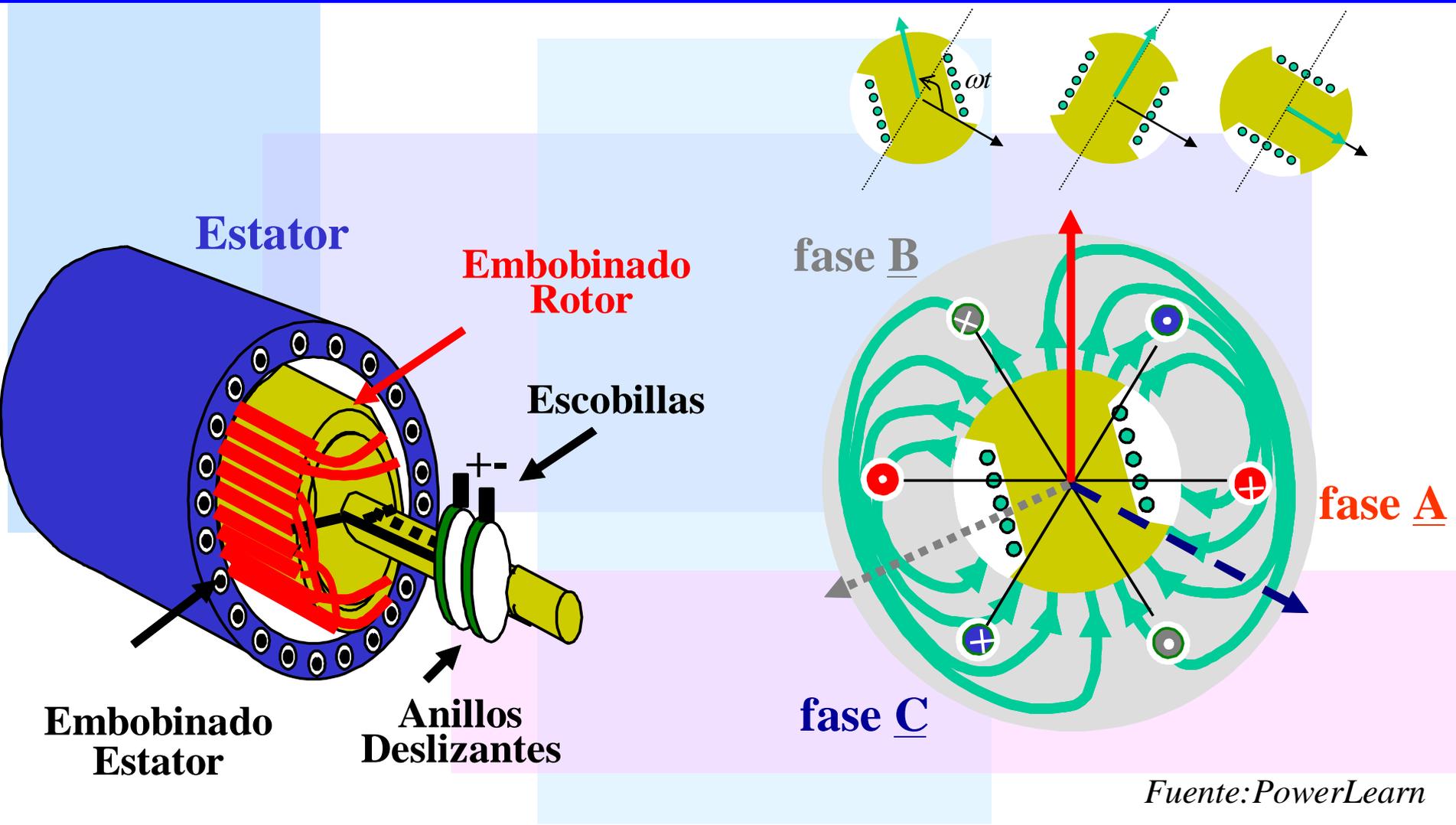
En un generador monofásico, de rotor de imán permanente que gira a velocidad  $\omega$ , la tensión generada en el estator, debida al flujo enlazado, es:

$$e(t) = k \cdot B \cdot \omega \cdot \text{sen}(\omega t) = E_{max} \text{sen}(\omega t)$$

con  $k$  constante de diseño.



# Funcionamiento del Generador Sincrónico



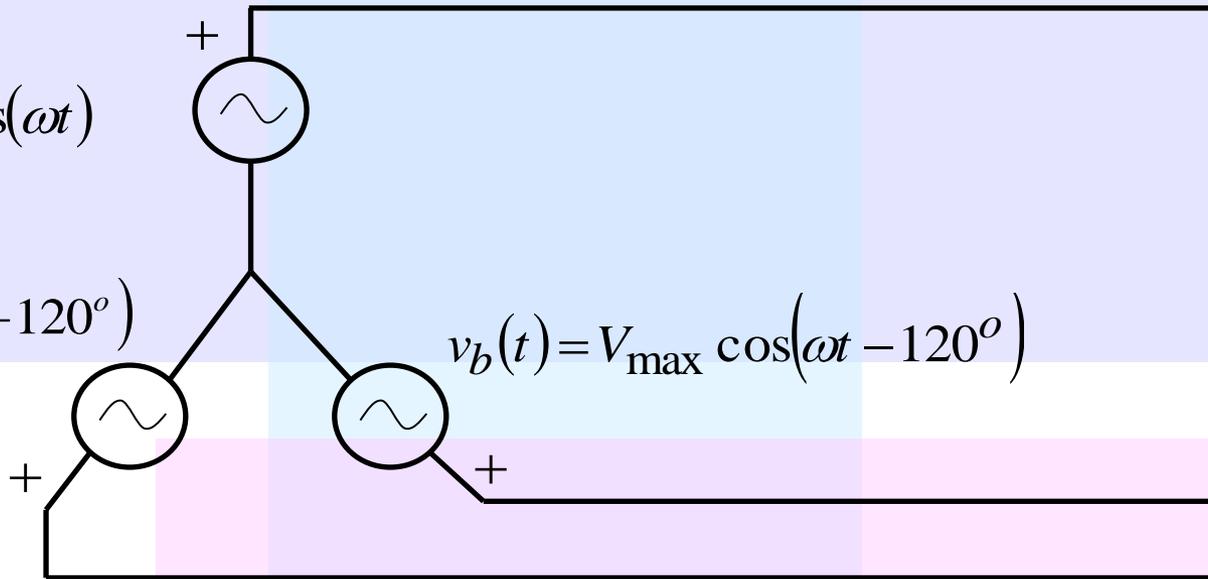


# Sistema Trifásico Equilibrado

$$v_a(t) = V_{\max} \cos(\omega t)$$

$$v_c(t) = V_{\max} \cos(\omega t + 120^\circ)$$

$$v_b(t) = V_{\max} \cos(\omega t - 120^\circ)$$



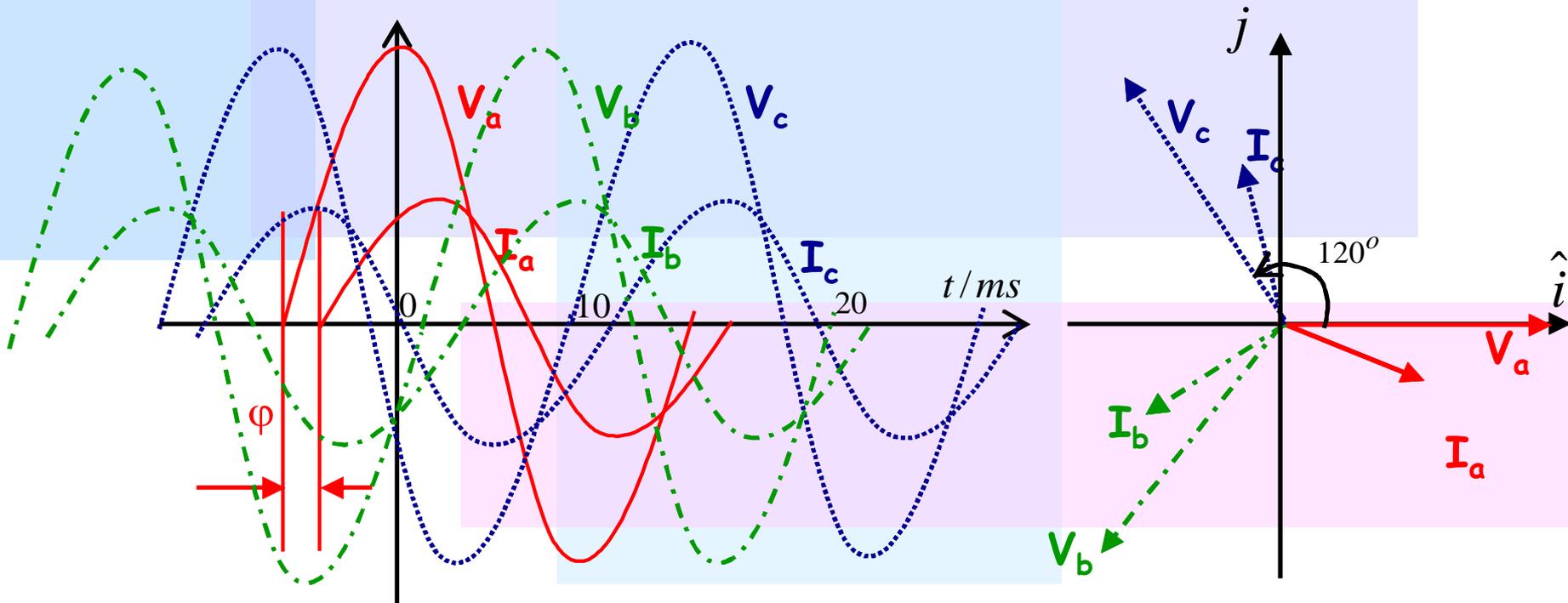


# Sistemas de Corriente Alterna, Términos y Modelos

## Generación en sistemas trifásicos

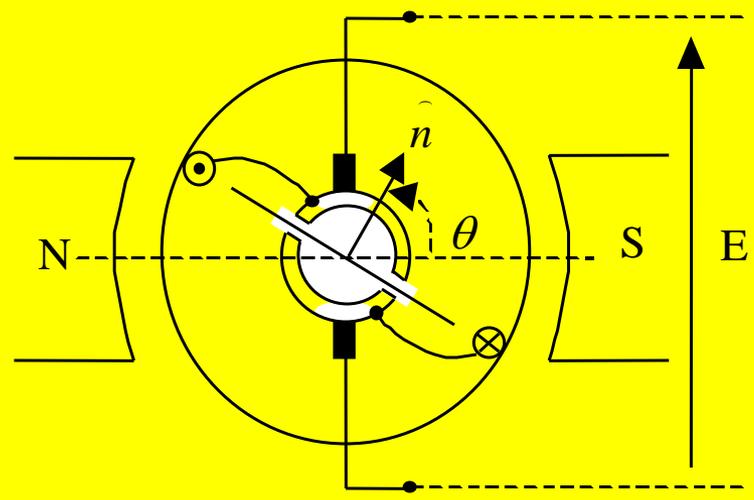
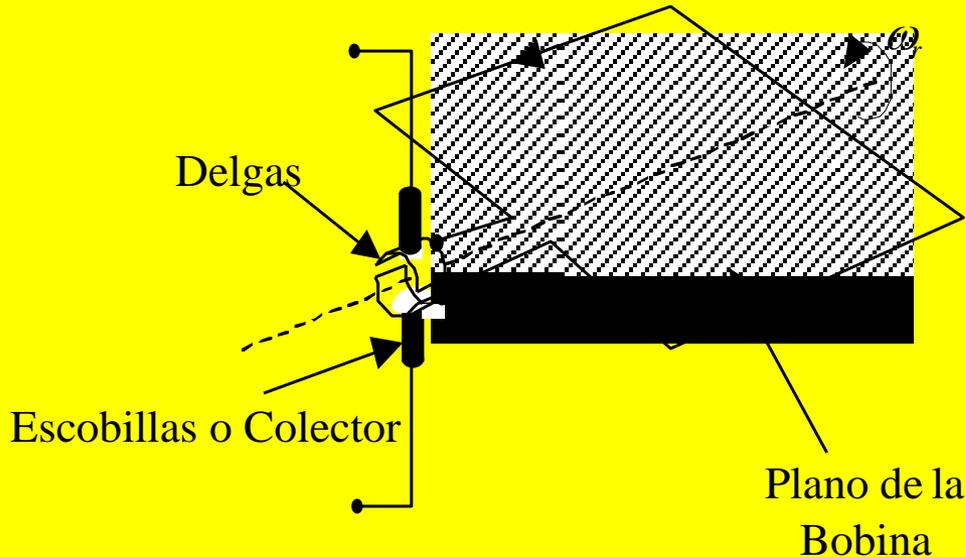
- 3 tensiones de igual magnitud desfasadas en  $120^\circ$
- Carga simétrica --> tres corrientes de igual magnitud y desfasadas en  $120^\circ$

$$v_a(t) = V_{\max} \cos(\omega t) \quad v_b(t) = V_{\max} \cos(\omega t - 120^\circ) \quad v_c(t) = V_{\max} \cos(\omega t + 120^\circ)$$

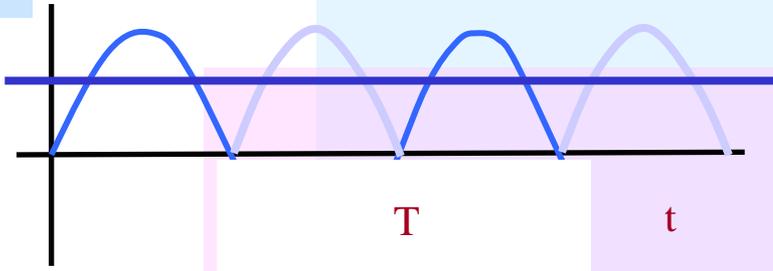




# Principio del generador de Corriente Continua



Valor medio no nulo



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



# Generador de Corriente Continua

