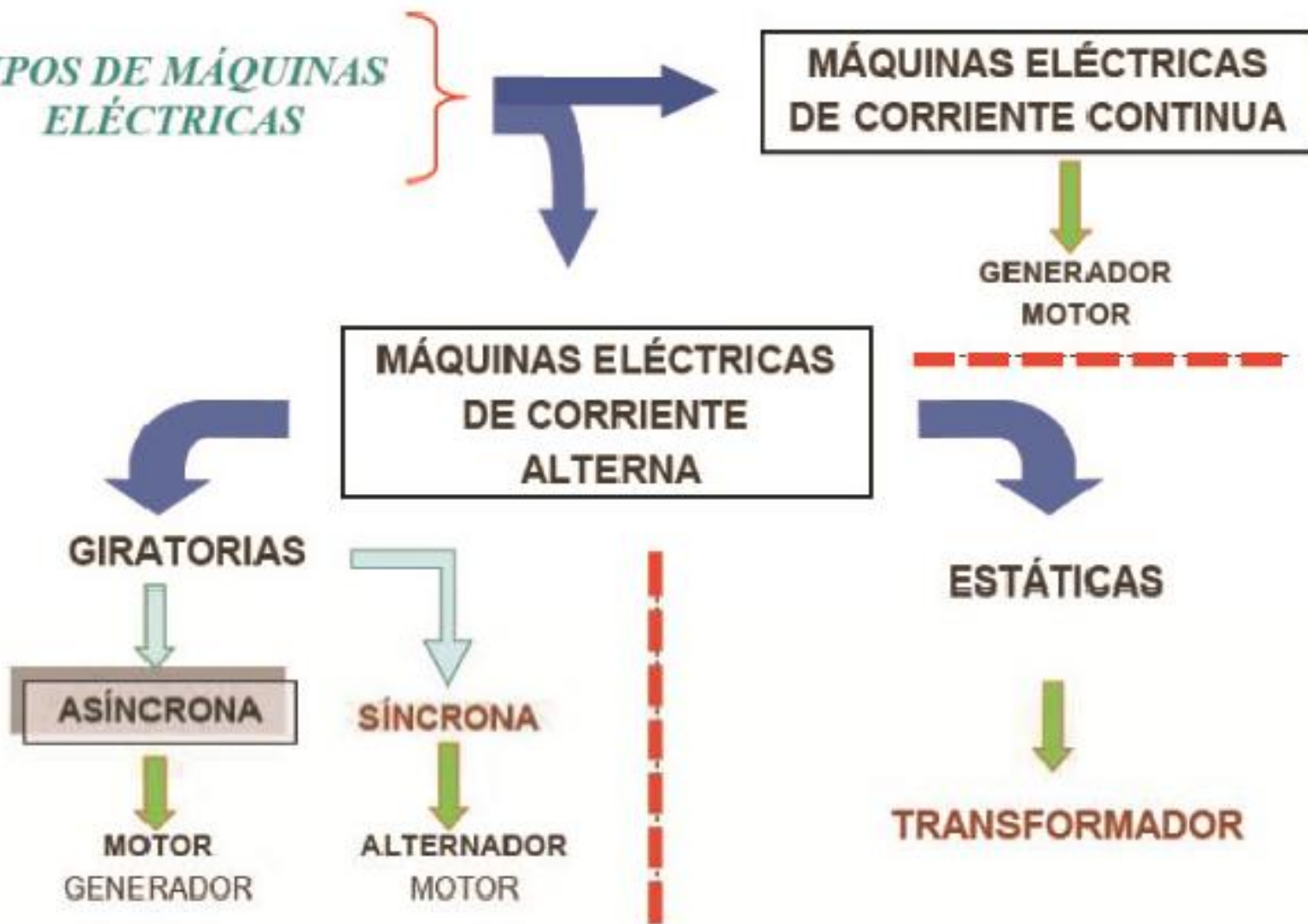
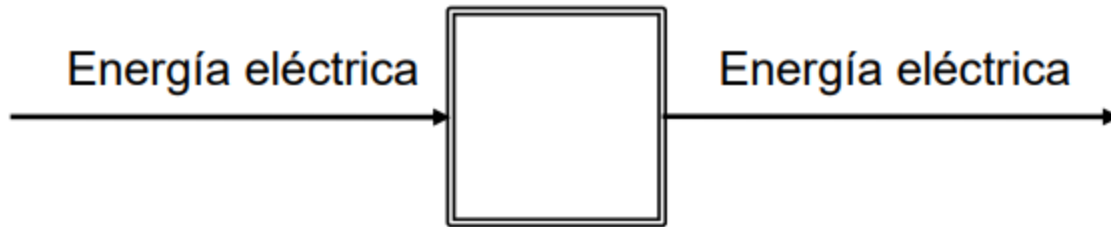


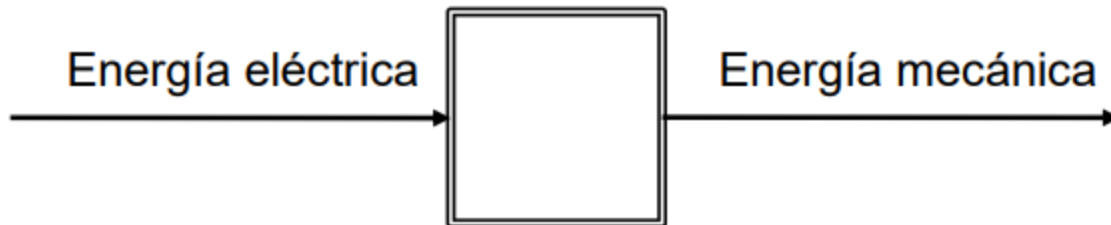
# MÁQUINAS ELÉCTRICAS

*TIPOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS*

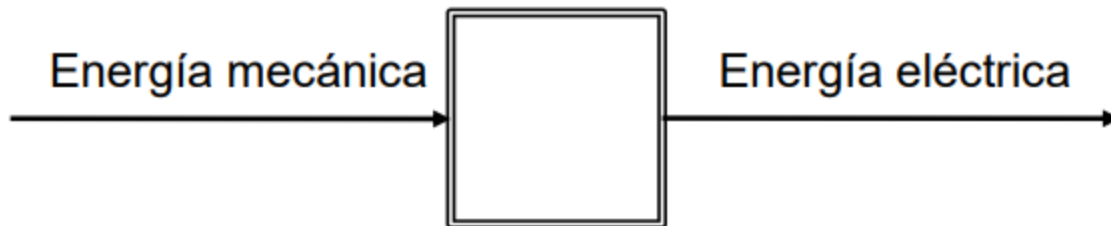




Transformador



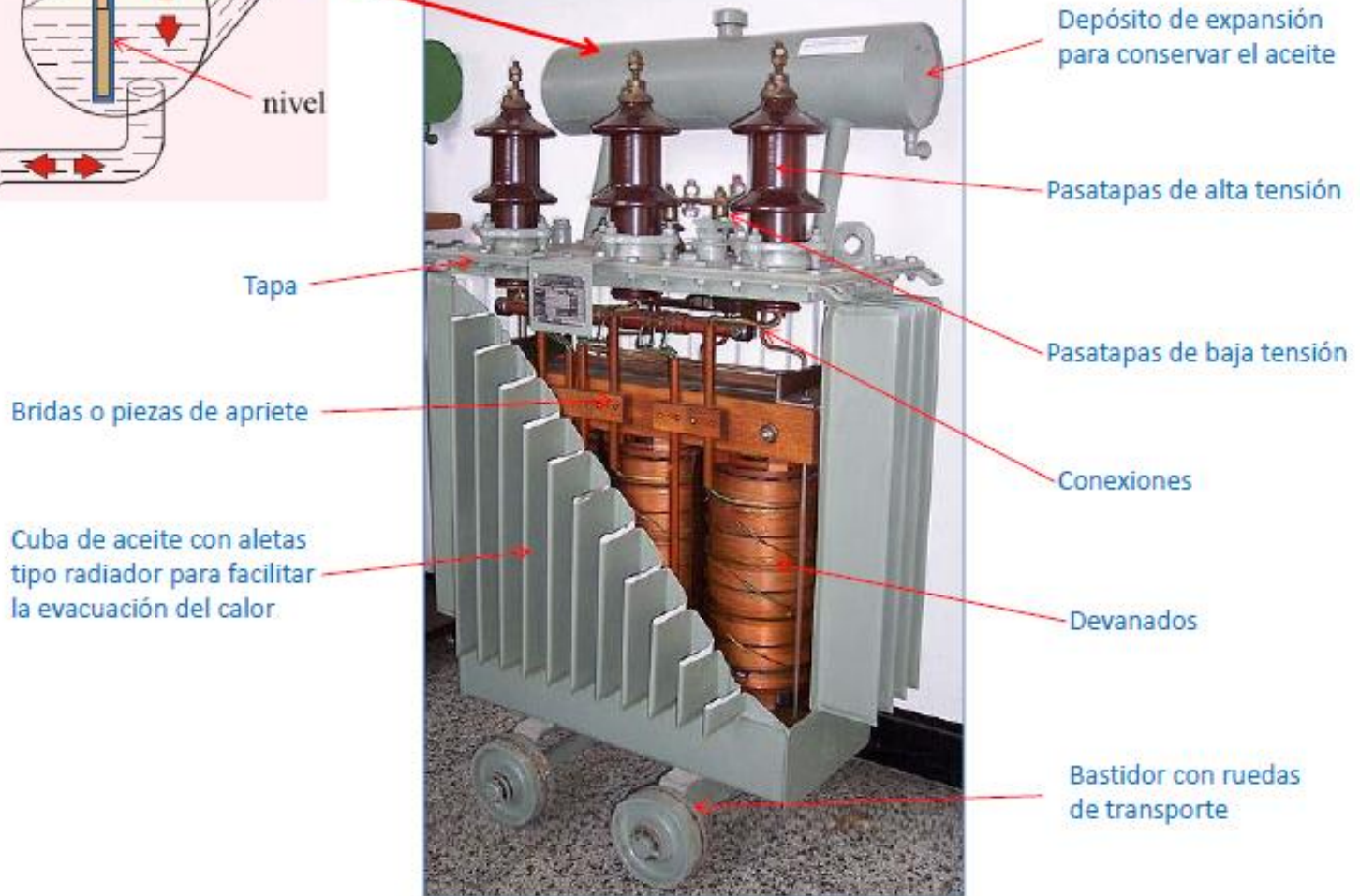
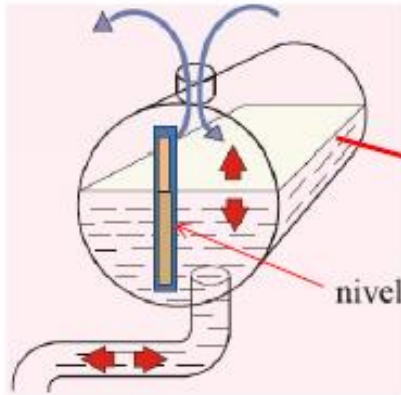
Motor



Generador

# TRANSFORMADORES

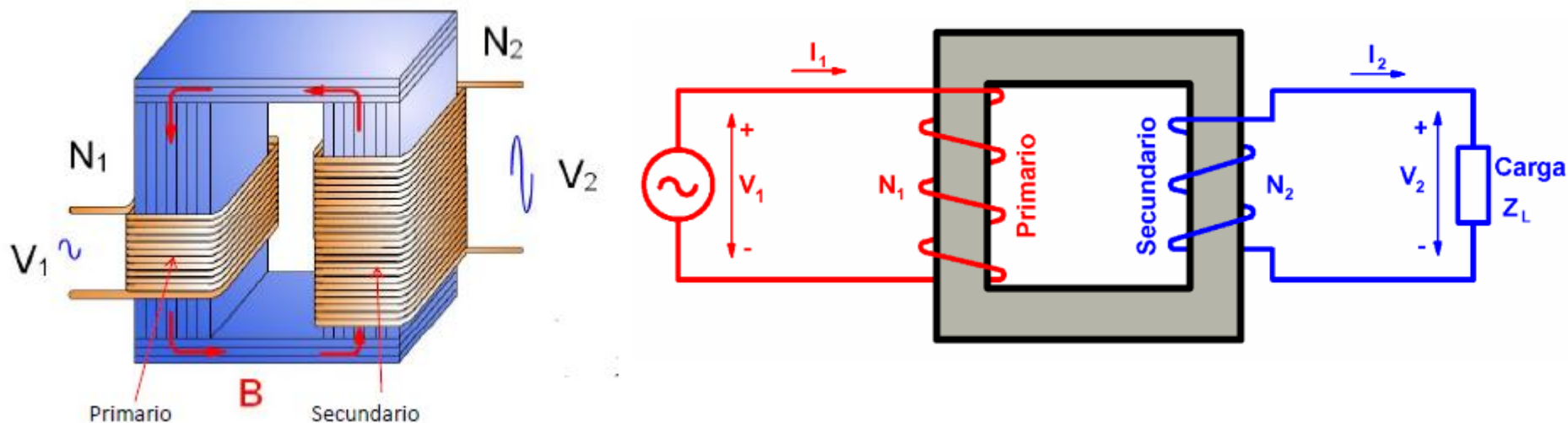
# TRANSFORMADORES



# Descripción de un transformador monofásico

Los transformadores son máquinas estáticas con dos devanados de corriente alterna arrollados sobre un núcleo magnético.

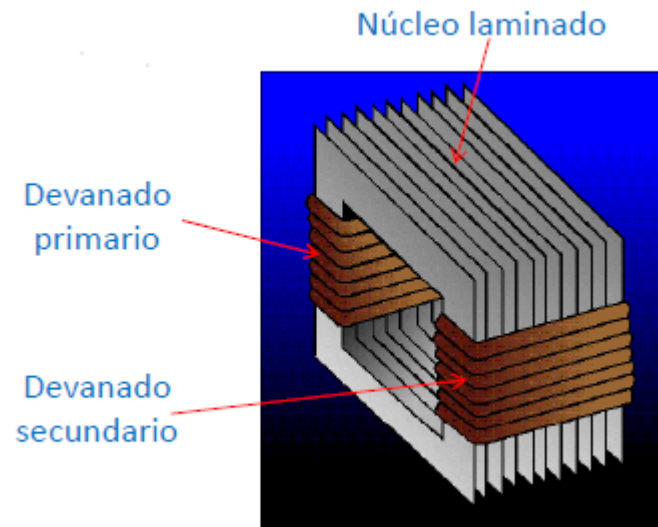
El devanado por donde entra energía al transformador se denomina primario y el devanado por donde sale energía hacia las cargas que son alimentadas por el transformador se denomina secundario.



# Descripción de un transformador monofásico

El devanado primario tiene  $N_1$  espiras y el secundario tiene  $N_2$  espiras.

El circuito magnético de esta máquina lo constituye un núcleo magnético, el cual no está realizado con hierro macizo sino con chapas de acero al silicio apiladas y aisladas entre sí.



# Descripción de un transformador monofásico

Relaciones que se cumplen en un transformador ideal:

*Relación de transformación :*

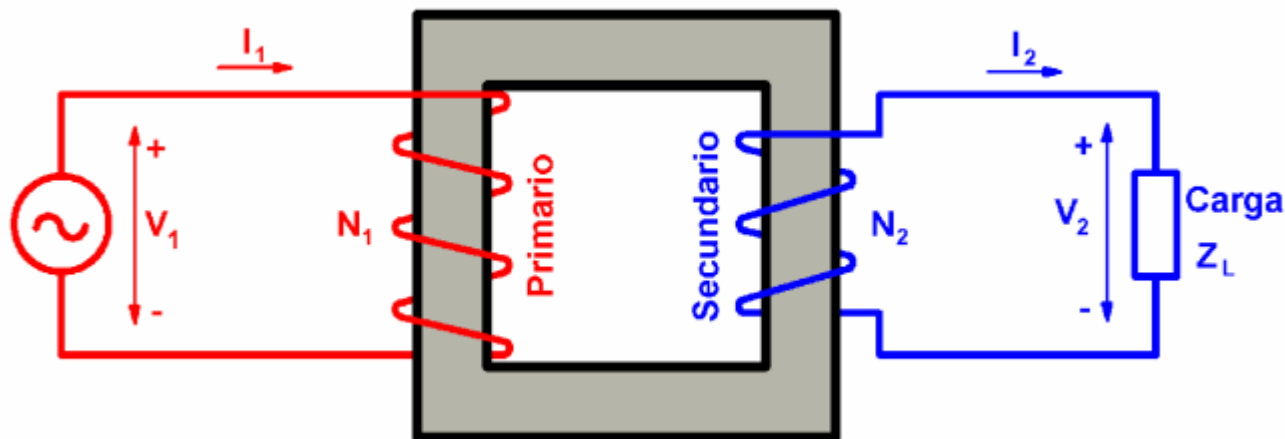
$$m = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

*Potencias:*

Activa:  $P_1 = P_2 = U_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos \varphi$

Reactiva:  $Q_1 = Q_2 = U_1 \cdot I_1 \cdot \sin \varphi = U_2 \cdot I_2 \cdot \sin \varphi$

Aparente:  $S_1 = S_2 = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$





Un transformador monofásico de 400/230V proporciona energía a un motor de 10kW,  $\cos\phi=0,6$ . Suponiendo despreciables todas las pérdidas.

- Calcular la relación de transformación del transformador
- Calcular la intensidad en el primario y el secundario.

$$\text{a) } m = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow m = \frac{400V}{230V} = 1,73$$

$$\text{b) } P = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi = 230V \cdot I_2 \cdot 0,6 \Rightarrow I_2 = \frac{P}{U_2 \cdot \cos\phi} = \frac{10000W}{230V \cdot 0,6} = 72,46A$$

$$m = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow I_1 = \frac{I_2}{m} = \frac{72,46A}{1,73} = 41,67A$$

# Circuito equivalente aproximado de un transformador reducido al primario

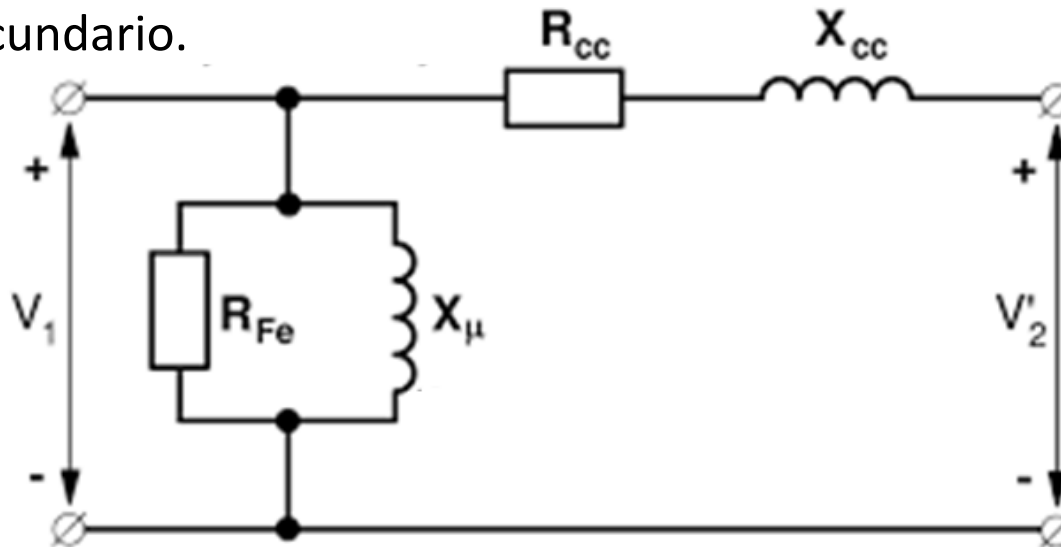
Sirve para representar el comportamiento de un transformador real:

**$R_{FE}$** : Resistencia que se debe a las pérdidas por las corrientes parásitas en el núcleo (Foucault).

**$X_{\mu}$** : Reactancia que se debe a la corriente de magnetización.

**$R_{cc}$** : Resistencia de cortocircuito debida a las pérdidas en el cobre en los devanados primario y secundario.

**$X_{cc}$** : Reactancia de cortocircuito debida al flujo de dispersión en los devanados primario y secundario.



# Ensayo de vacío

Con el secundario en vacío (es decir, sin carga conectada) se alimenta el primario con la tensión nominal de primario.

Se conectan los siguientes aparatos de medida: un voltímetro ( $U_1$ ), un watímetro ( $P_0$ ) y un amperímetro ( $I_0$ ).

Se cumple que:

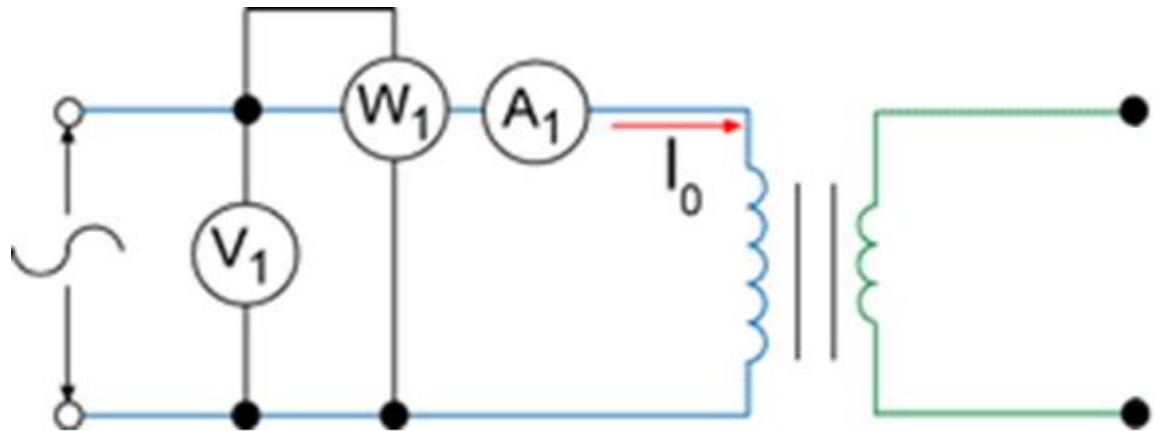
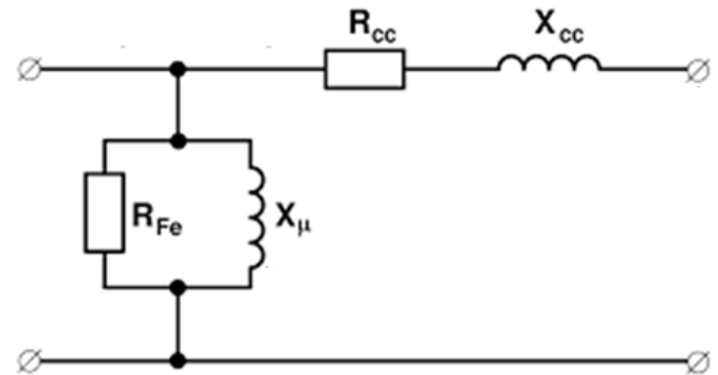
$$P_0 = U_1 \cdot I_0 \cdot \cos\varphi_0 \Rightarrow \cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_1 \cdot I_0}$$

$$I_{FE} = I_0 \cdot \cos(\varphi_0)$$

$$R_{FE} = \frac{U_1}{I_{FE}}$$

$$I_{\mu} = I_0 \cdot \sin(\varphi_0)$$

$$X_{\mu} = \frac{U_1}{I_{\mu}}$$



# Ensayo de cortocircuito

Se va subiendo la tensión  $U_1$  con el secundario en cortocircuito hasta que el amperímetro indique que se ha alcanzado la intensidad nominal (Se alcanza la intensidad nominal a la tensión de cortocircuito  $U_{cc}$ ).

Se conectan los siguientes aparatos de medida: un voltímetro ( $U_{cc}$ ), un watímetro ( $P_{cc}$ ) y un amperímetro ( $I_1$ ).

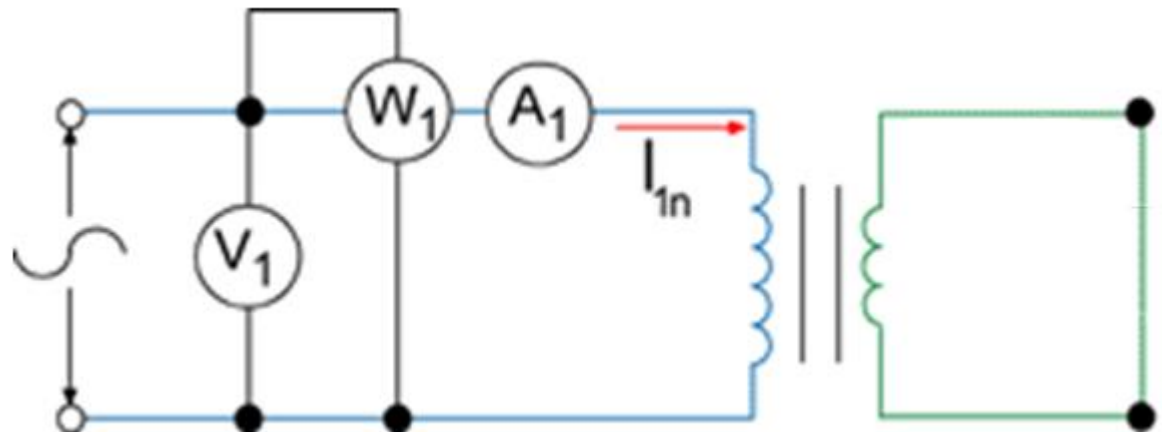
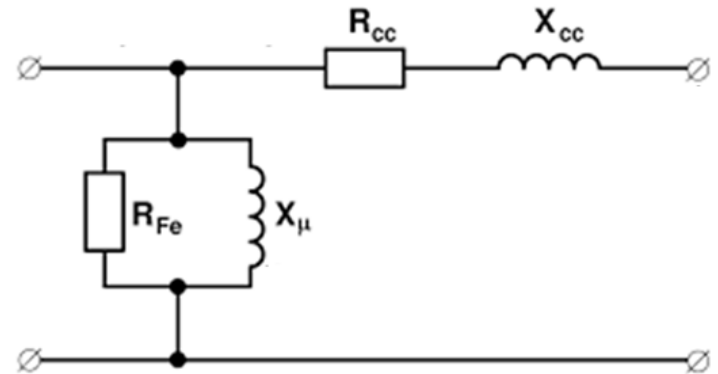
Se cumple que:

$$P_{cc} = U_{cc} \cdot I_1 \cdot \cos\varphi_{cc} \Rightarrow \cos\varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{U_{cc} \cdot I_1}$$

$$Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_1}$$

$$R_{cc} = Z_{cc} \cdot \cos\varphi_{cc}$$

$$X_{cc} = Z_{cc} \cdot \sin\varphi_{cc}$$



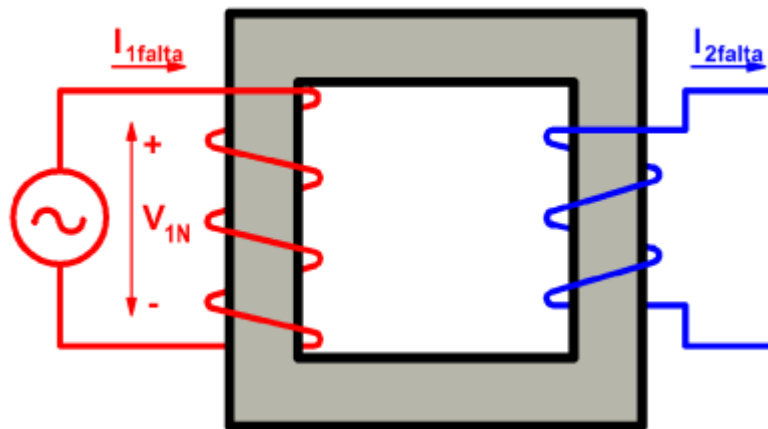
# Cálculo de corriente de cortocircuito accidental

Si se produce un cortocircuito en el secundario del transformador aplicando tensión nominal en el primario, tendremos una intensidad en el primario y en el secundario que se calcula de la siguiente manera:

$$u_{cc} (\%) = \frac{U_{cc}}{U_1} \cdot 100$$

$$I_{1falta} = \frac{I_{1n}}{u_{cc} (\%)} \cdot 100$$

$$I_{2falta} = \frac{I_{2n}}{u_{cc} (\%)} \cdot 100$$



# Cálculo de caída de tensión en un transformador

Teniendo en cuenta la caída de tensión producida por la  $R_{cc}$  (resistencia de los devanados) y la  $X_{cc}$  (reactancia debida al flujo de dispersión), se produce una caída de tensión en el secundario del transformador que se calcula de la siguiente manera:

$$u_{R_{cc}} (\%) = u_{cc} (\%) \cdot \cos\varphi_{cc}$$

$$u_{X_{cc}} (\%) = u_{cc} (\%) \cdot \sen\varphi_{cc}$$

$$\varepsilon = u_{R_{cc}} (\%) \cdot \cos\varphi + u_{X_{cc}} (\%) \cdot \sen\varphi$$

$$\Delta U = \frac{U_{2n}}{100} \cdot \varepsilon \cdot C$$

$\varepsilon$ : Coeficiente de regulación

$\Delta U$ : Caída de tensión

$C$ : Factor de carga (relación entre la corriente y la corriente nominal ( $\frac{I}{I_n}$ ))

**Transformador monofásico  $S_n=100\text{kVA}$ ,  $1000/400\text{V}$ .**

**Ensayo de Vacío:  $U_{1n}=1000\text{V}$ ,  $I_0=2\text{A}$ ,  $P_0=1500\text{W}$**

**Ensayo de Cortocircuito:  $U_{cc}=60\text{V}$ ,  $I_{1n}$ ,  $P_{cc}=750\text{W}$**

- a) Calcular  $R_{FE}$ ,  $X_\mu$ ,  $R_{cc}$  y  $X_{cc}$**
- b) Calcular la corriente de cortocircuito accidental al cortocircuitar el secundario cuando se aplica tensión nominal en el primario**
- c) Calcular la caída de tensión que se produce al conectar una carga con un  $\cos\phi=0,8$  y  $C=0,5$**

$$\text{a) } \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1n} \cdot I_0} = \frac{1500\text{W}}{1000\text{V} \cdot 2\text{A}} = 0,75$$

$$\sin \varphi_0 = 0,66$$

$$I_{FE} = I_0 \cdot \cos(\varphi_0) = 2\text{A} \cdot 0,75 = 1,5\text{A}$$

$$R_{FE} = \frac{U_1}{I_{FE}} = \frac{1000\text{V}}{1,5\text{A}} = 666,66\Omega$$

$$I_\mu = I_0 \cdot \sin(\varphi_0) = 1,32\text{A}$$

$$X_\mu = \frac{U_{1n}}{I_\mu} = \frac{1000\text{V}}{1,32\text{A}} = 755,93\Omega$$

$$S = I_{1n} \cdot U_{1n} \Rightarrow I_{1n} = \frac{100000\text{VA}}{1000\text{V}} = 100\text{A}$$

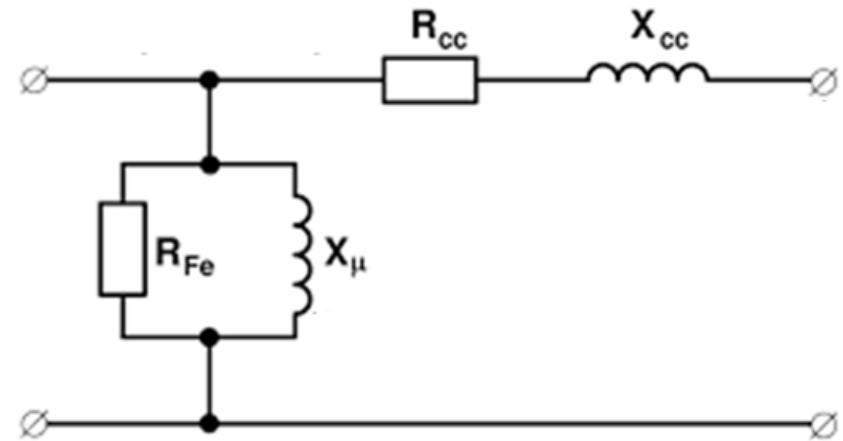
$$\cos \varphi_{cc} = \frac{P_{cc}}{U_{cc} \cdot I_{1n}} = \frac{750\text{W}}{60\text{V} \cdot 100\text{A}} = 0,125$$

$$\sin \varphi_{cc} = 0,99$$

$$Z_{cc} = \frac{U_{cc}}{I_{1n}} = \frac{60\text{V}}{100\text{A}} = 0,6\Omega$$

$$R_{cc} = Z_{cc} \cdot \cos \varphi_{cc} = 0,6 \cdot 0,125 = 0,075\Omega$$

$$X_{cc} = Z_{cc} \cdot \sin \varphi_{cc} = 0,6 \cdot 0,99 = 0,595\Omega$$





$$b) u_{cc} (\%) = \frac{U_{cc}}{U_{1n}} \cdot 100 = \frac{60V}{1000V} \cdot 100 = 6\%$$

$$S = I_{1n} \cdot U_{1n} \Rightarrow I_{1n} = \frac{100000VA}{1000V} = 100A$$

$$I_{1falta} = \frac{I_{1n}}{u_{cc} (\%)} \cdot 100 = \frac{100A}{6\%} \cdot 100 = 1666,67A$$

$$S = I_{2n} \cdot U_{2n} \Rightarrow I_{2n} = \frac{100000VA}{400V} = 250A$$

$$I_{2falta} = \frac{I_{2n}}{u_{cc} (\%)} \cdot 100 = \frac{250A}{6\%} \cdot 100 = 4166,67A$$

$$c) u_{Rcc} (\%) = u_{cc} (\%) \cdot \cos\varphi_{cc} = 6\% \cdot 0,125 = 0,75\%$$

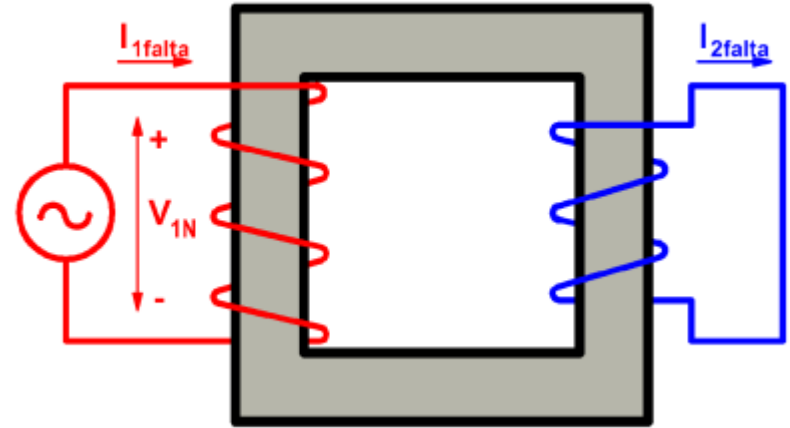
$$u_{Xcc} (\%) = u_{cc} (\%) \cdot \sin\varphi_{cc} = 6\% \cdot 0,99 = 5,95\%$$

$$\cos\varphi = 0,8 \Rightarrow \sin\varphi = 0,6$$

$$\varepsilon = u_{Rcc} (\%) \cdot \cos\varphi + u_{Xcc} (\%) \cdot \sin\varphi = 0,75\% \cdot 0,8 + 5,95\% \cdot 0,6 = 4,17\%$$

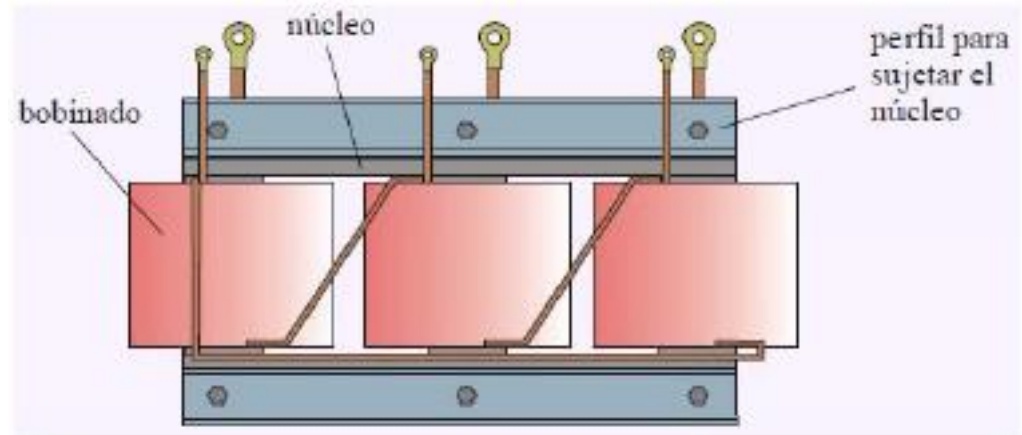
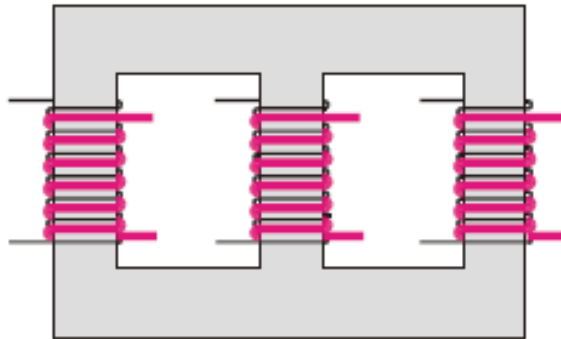
$$\Delta U = \frac{U_{2n}}{100} \cdot \varepsilon \cdot C = \frac{400V}{100} \cdot 4,17\% \cdot 0,5 = 8,34V \Rightarrow$$

La tensión en el secundario sería:  $400V - 8,34V = 391,66V$



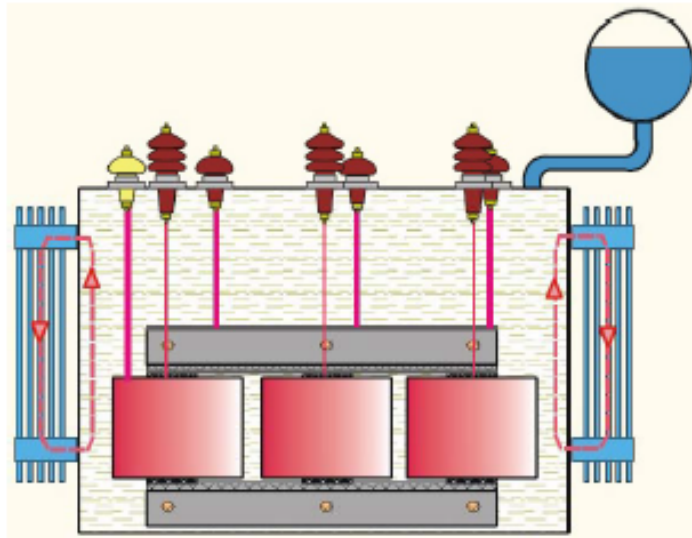
# Transformador trifásico

Los sistemas trifásicos se pueden “transformar” mediante un transformador monofásico por cada fase (banco de transformadores monofásicos), sin embargo la forma más común es emplear el transformador trifásico, que básicamente consiste en tres transformadores monofásicos integrados en uno.

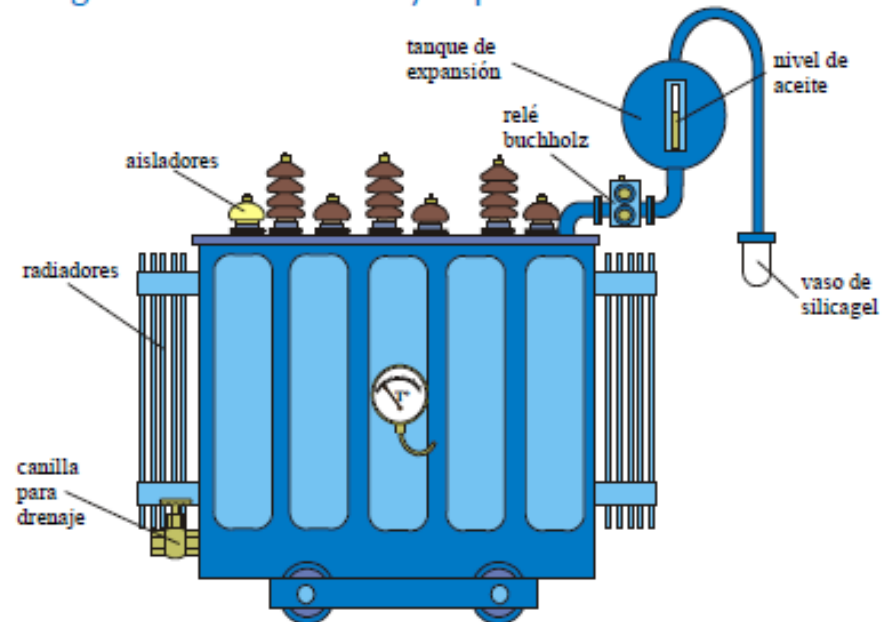


Aspecto de un transformador trifásico en el aire

# TRANSFORMADOR TRIFÁSICO



Aspecto de un transformador trifásico en una cuba de aceite con radiadores para evacuar el calor, el depósito de expansión y los bornes (pasatapas) de alta y baja tensión.



Aspecto general de un transformador trifásico con sus elementos principales de refrigeración y protección

# MAQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS

# Partes de las máquinas eléctricas rotativas

Las máquinas rotativas están formadas por una parte fija llamada estátor y una parte móvil llamada rotor.

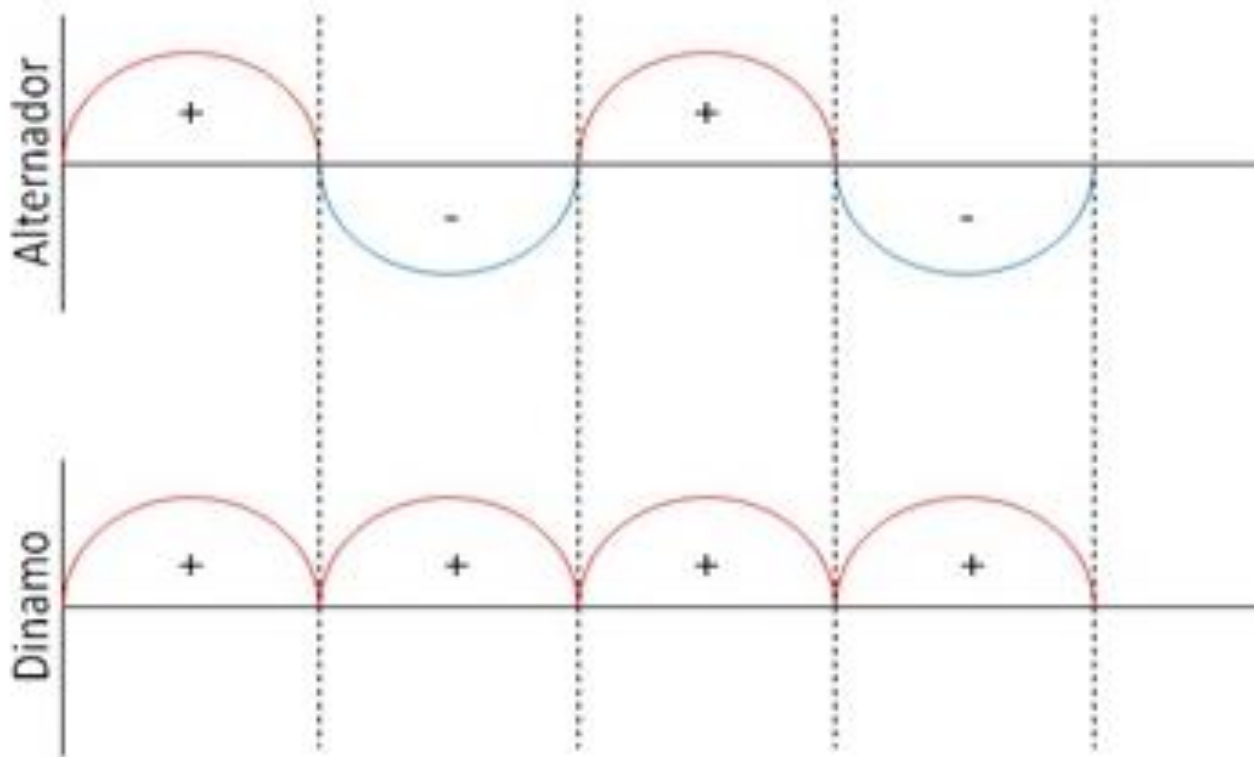
El rotor se monta en un eje que se apoya en dos rodamientos.



# **GENERADORES (ALTERNADOR, DINAMO Y GENERADOR SINCRONO TRIFÁSICO)**

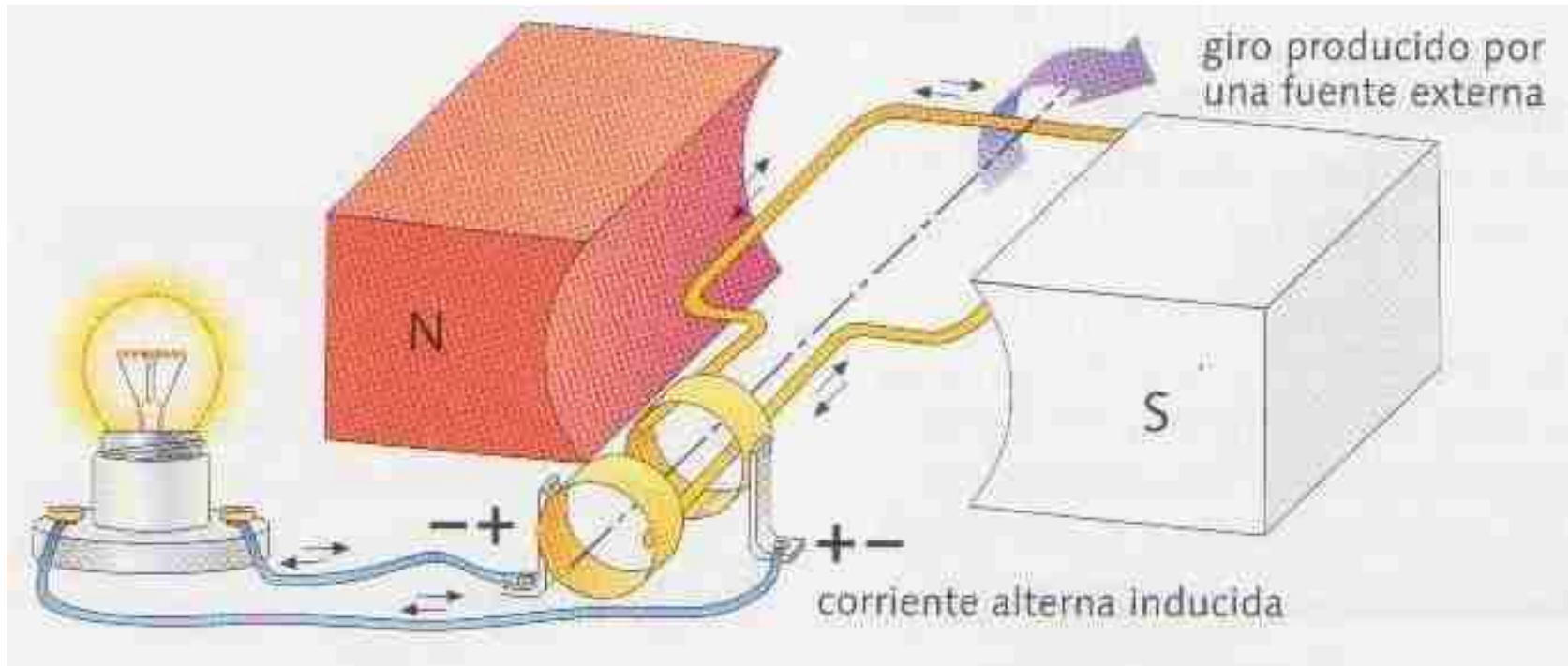
# Diferencias Alternador y dinamo

La principal diferencia está en que los alternadores generan electricidad en corriente alterna y las dinamos generan electricidad en corriente continua.



# Diferencias Alternador y dinamo

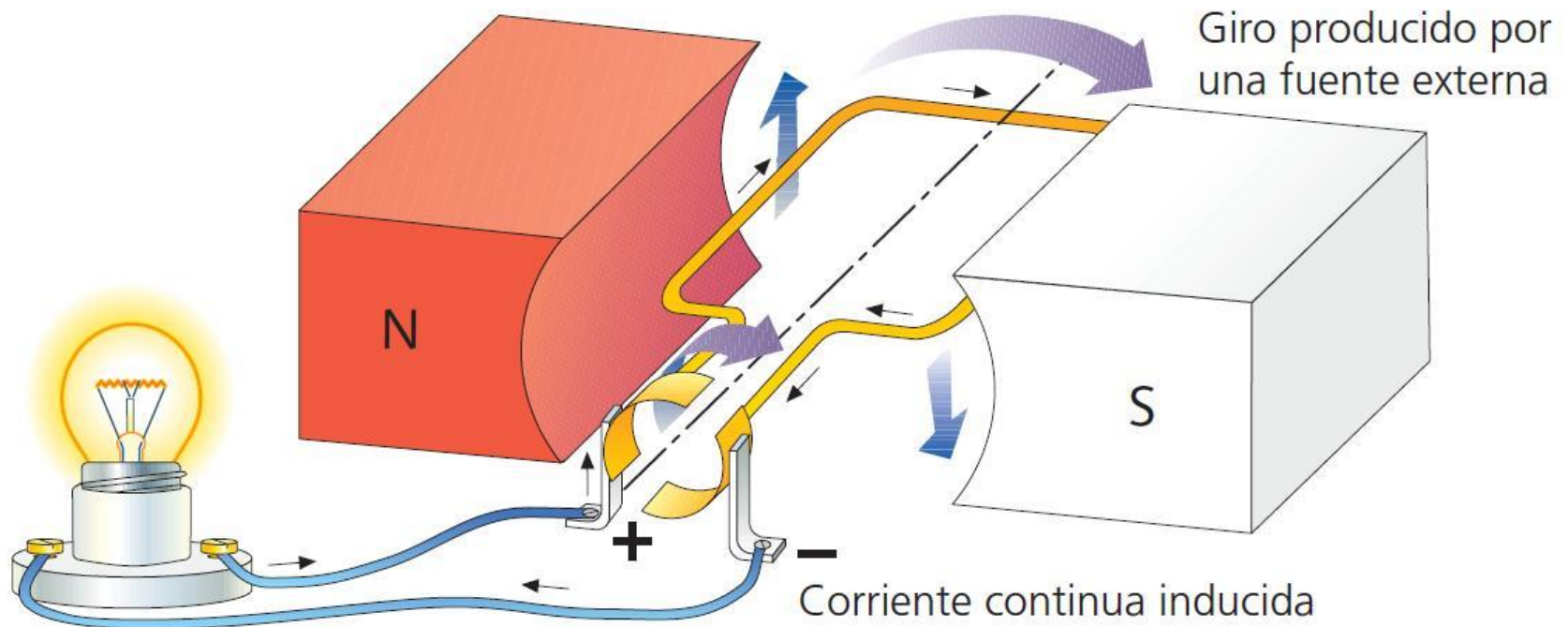
Alternador: Cuando hacemos girar una espira en un campo magnético, se induce una corriente alterna en la espira.





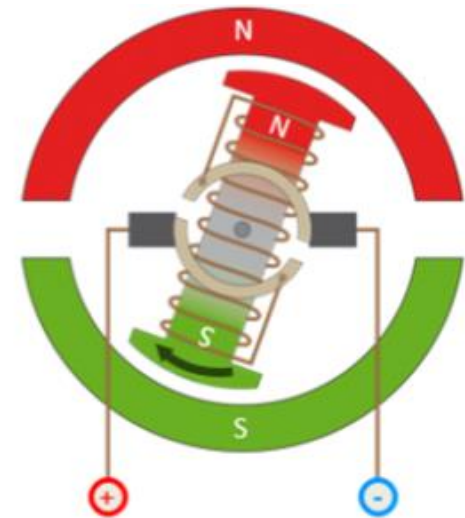
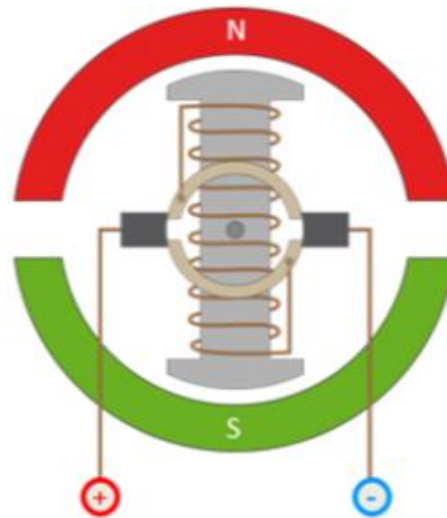
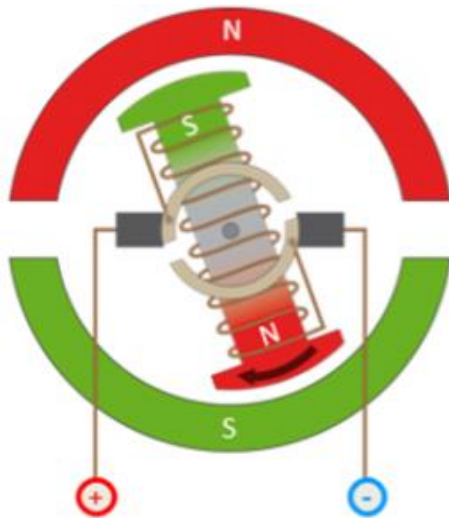
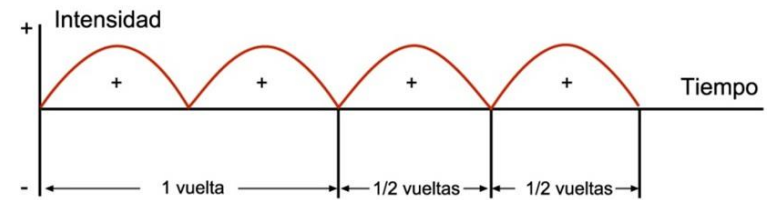
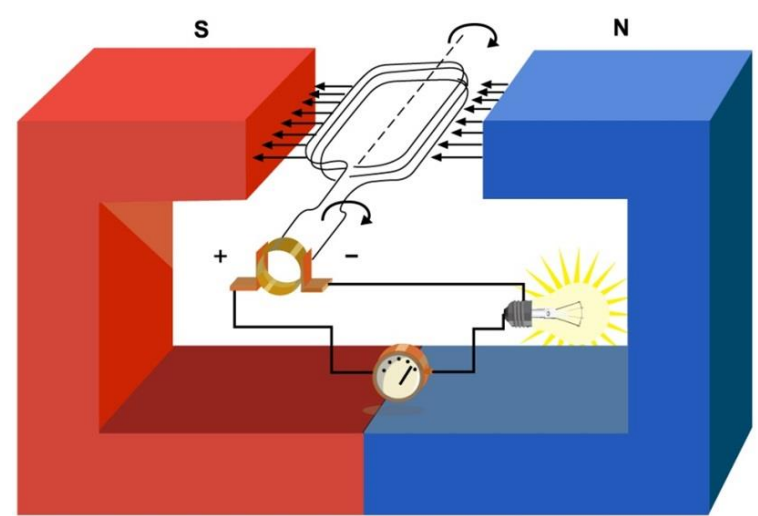
# Diferencias Alternador y dinamo

Dinamo: El funcionamiento de la dinamo se asemeja al de un alternador, salvo que se produce una rectificación de la señal por medio del colector de delgas.



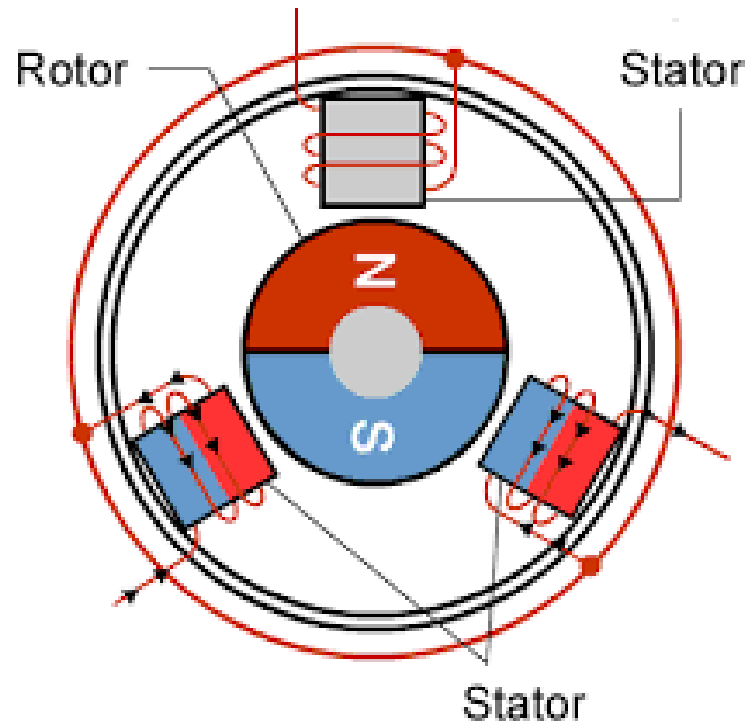
# Colector de delgas

El colector de delgas invierte la corriente cada media vuelta.



# Alternador síncrono trifásico

Velocidad síncrona: velocidad constante igual la frecuencia de red, generalmente 50Hz.

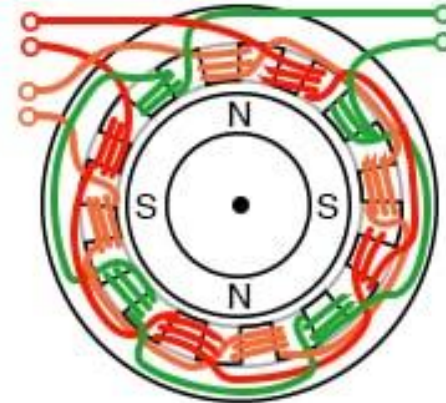
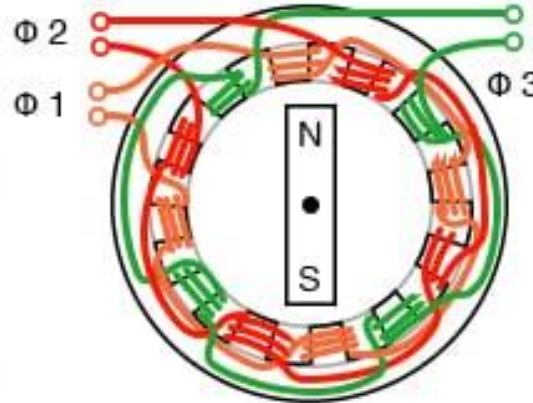
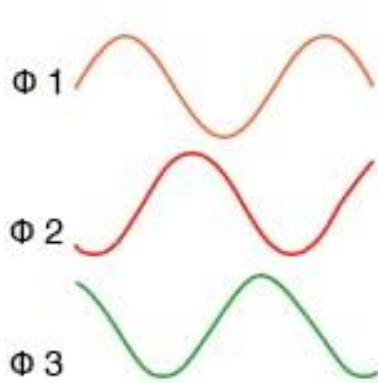


# Alternador síncrono trifásico

Numero de pares de polos:

1 par de polos

2 pares de polos



# Alternador síncrono trifásico

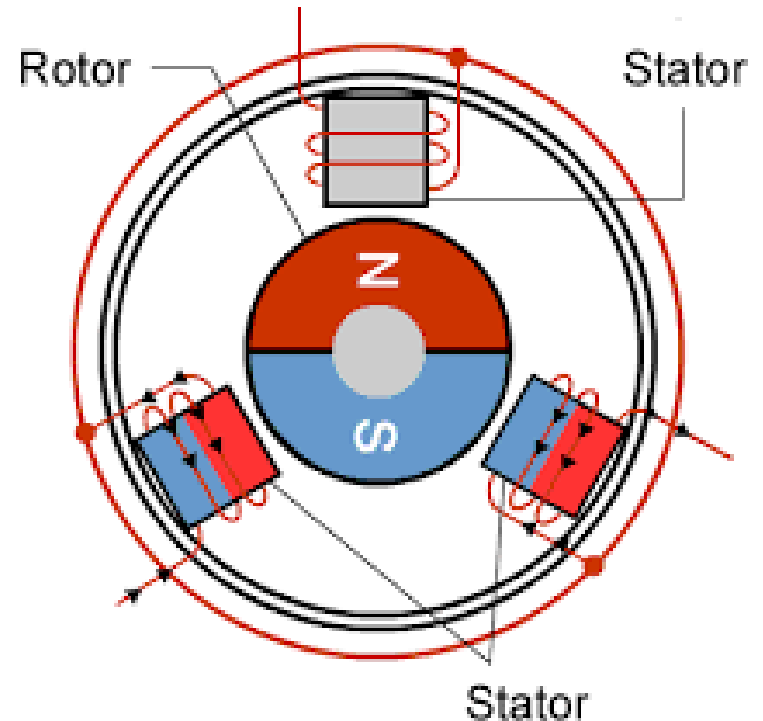
Se cumple que:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

n: revoluciones por minuto (r.p.m)

f: frecuencia eléctrica (Hz)

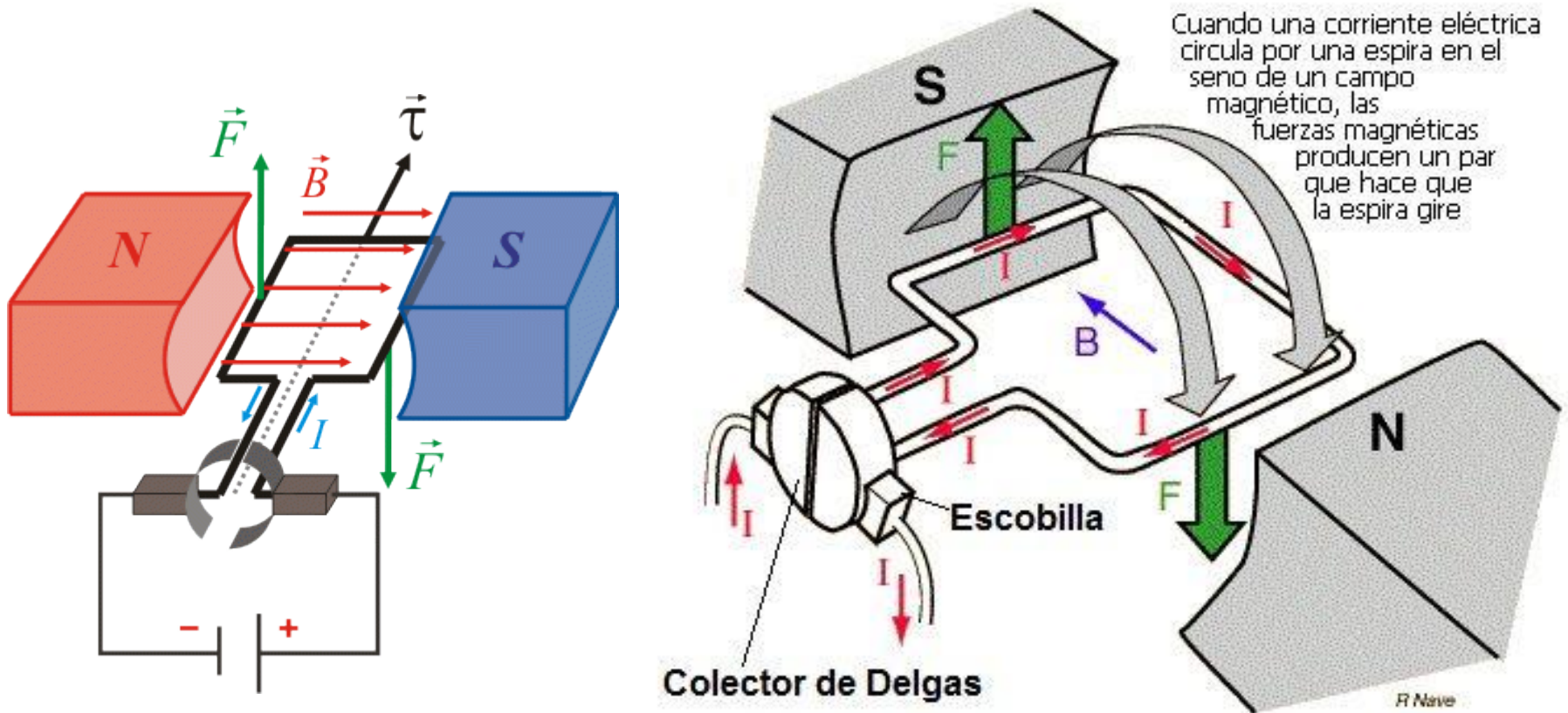
p: nº de pares de polos



# MOTORES DE C.C. (CORRIENTE CONTINUA)

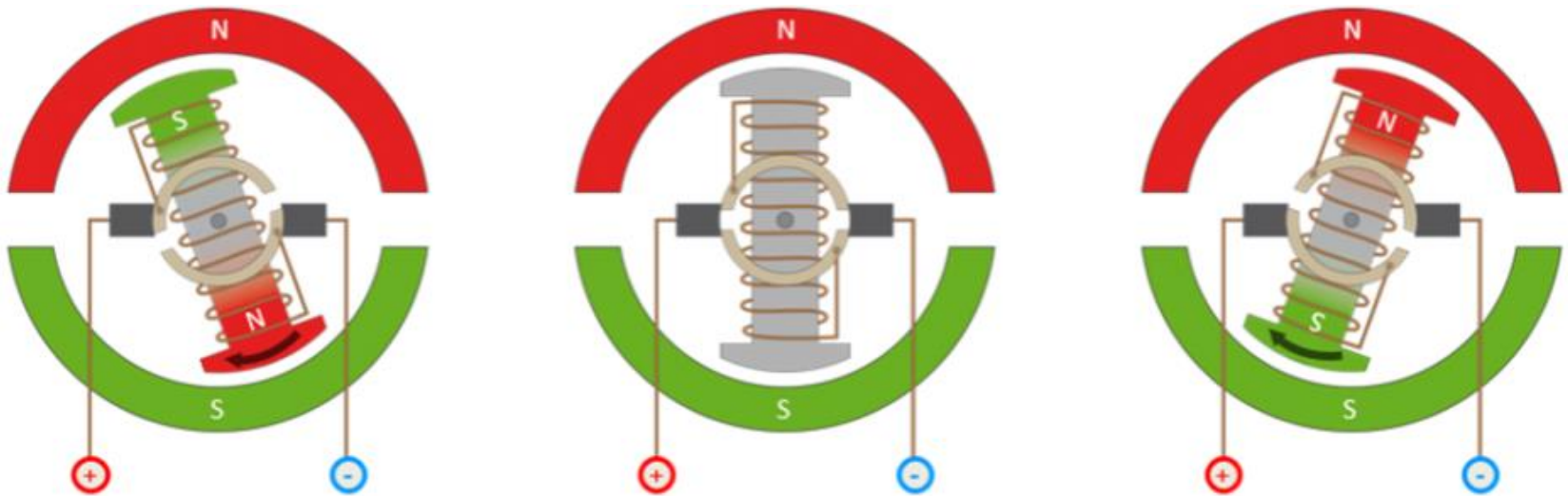
# Motor de corriente continua

El funcionamiento de un motor de c.c. se basa en la fuerza que se produce sobre un conductor eléctrico recorrido por una intensidad de corriente eléctrica en el seno de un campo magnético.



# Colector de delgas

El colector de delgas es necesario para invertir la corriente en cada media vuelta ya que de lo contrario el sentido del par sería opuesto en cada semiciclo y el motor no llegaría a arrancar.





# MOTORES DE C.A. (CORRIENTE ALTERNA)

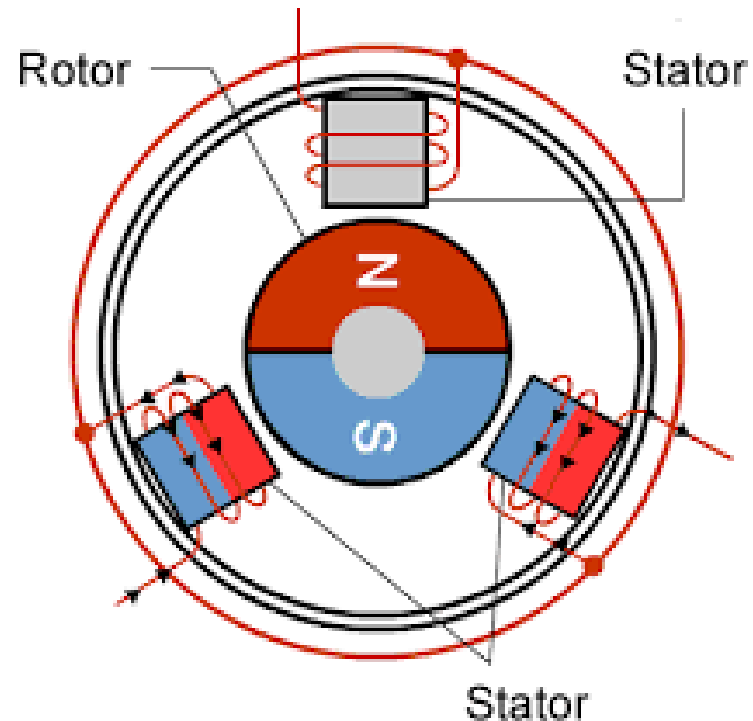
# Motor síncrono trifásico

La rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación.

Su velocidad de giro es constante y depende de la frecuencia de la tensión de la red.

Del mismo modo que en el generador síncrono, se cumple que:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$



**Calcular la velocidad en revoluciones a la que gira un motor síncrono de 4 pares de polos para conectado a una red de 50Hz (Europa) y a 60Hz (USA)**

$$50\text{Hz} \rightarrow n = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50\text{Hz}}{6} = 500 \text{ rpm}$$

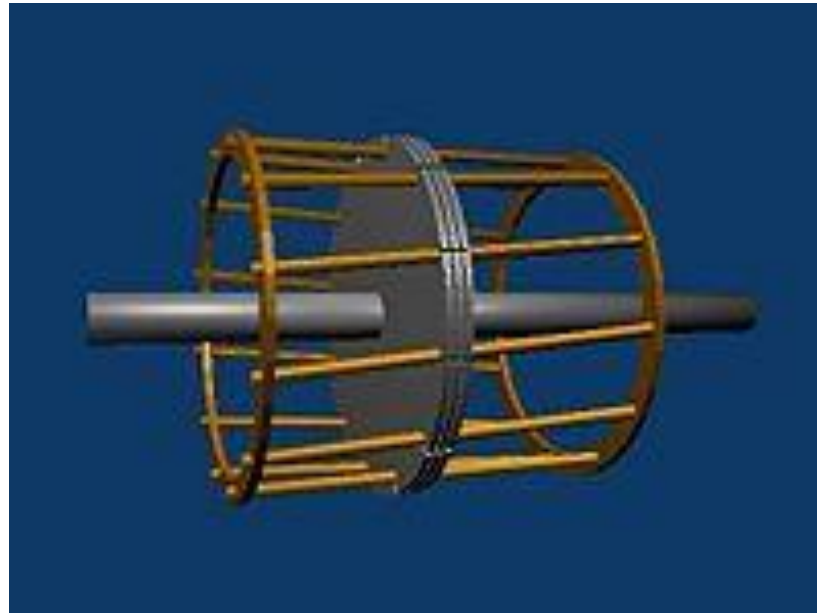
$$60\text{Hz} \rightarrow n = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 60\text{Hz}}{6} = 600 \text{ rpm}$$

# Motor asíncrono trifásico

Son constructivamente diferentes a los motores síncronos.

Los más comunes son los de rotor en jaula de ardilla.

En el rotor en jaula de ardilla se inducen corrientes que interactúan con el campo magnético generado por el estator provocando una fuerza electromecánica que provoca el giro del estator.



# Motor asíncrono trifásico

Los motores síncronos giran a velocidad constante que depende de la frecuencia de red.

Los asíncronos, sin embargo, giran por debajo de esa frecuencia.

En ellos se cumple:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100$$

s: Deslizamiento (%)

$n_s$ : Velocidad síncrona, velocidad del campo magnético giratorio producido por el estator (r.p.m)

n: Velocidad a la que gira el rotor (r.p.m)

**Un motor de 2 pares de polos se conecta una red de 50Hz.**

**a) Calcular la velocidad síncrona**

**b) Calcular el deslizamiento cuando el motor gira a 1400 r.p.m**

$$a) n_s = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50\text{Hz}}{2} = 1500 \text{ rpm}$$

$$b) s = \frac{1500 - 1400}{1500} \cdot 100 = 6,66\%$$