



Tema IV. Máquinas Eléctricas: Máquina asíncrona.

4.1. INTRODUCCIÓN	2
4.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS	2
4.3. PRINCIPIOS GENERALES DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS ROTATIVAS	3
4.4. LA MÁQUINA ROTATIVA ELEMENTAL	3
4.5. MÁQUINAS ROTATIVAS CLÁSICAS	4
4.5.1. Máquina síncrona	4
4.5.2. Máquina de corriente continua.	6
4.5.3. Máquina asíncronas o de inducción	7
4.6. MÁQUINAS ASÍNCRONAS	8
4.6.1. Aspectos constructivos	8
4.6.2. Principios de funcionamiento	9
4.6.3. Placa de características de un motor	10
4.6.4. Modelo monofásico equivalente	10
4.6.5. Balance de potencias. Modos de funcionamiento.	13
4.7. ELECCIÓN DE UN MOTOR	15
4.8. MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS. AVERÍAS.	16

Universidad Politécnica de Cartagena

DPTO. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA – FRANCISCO JAVIER CÁNOVAS RODRÍGUEZ

Tema IV. Máquinas Eléctricas: Máquina asíncrona.

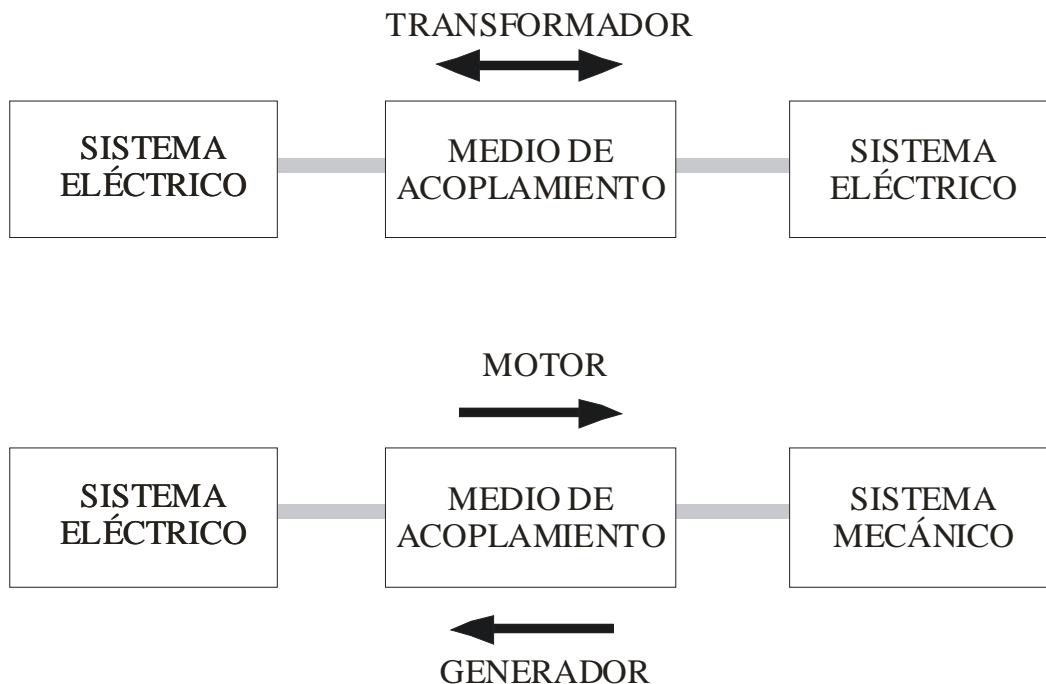
4.1. INTRODUCCIÓN

4.2. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS.

La energía eléctrica se hace insustituible.

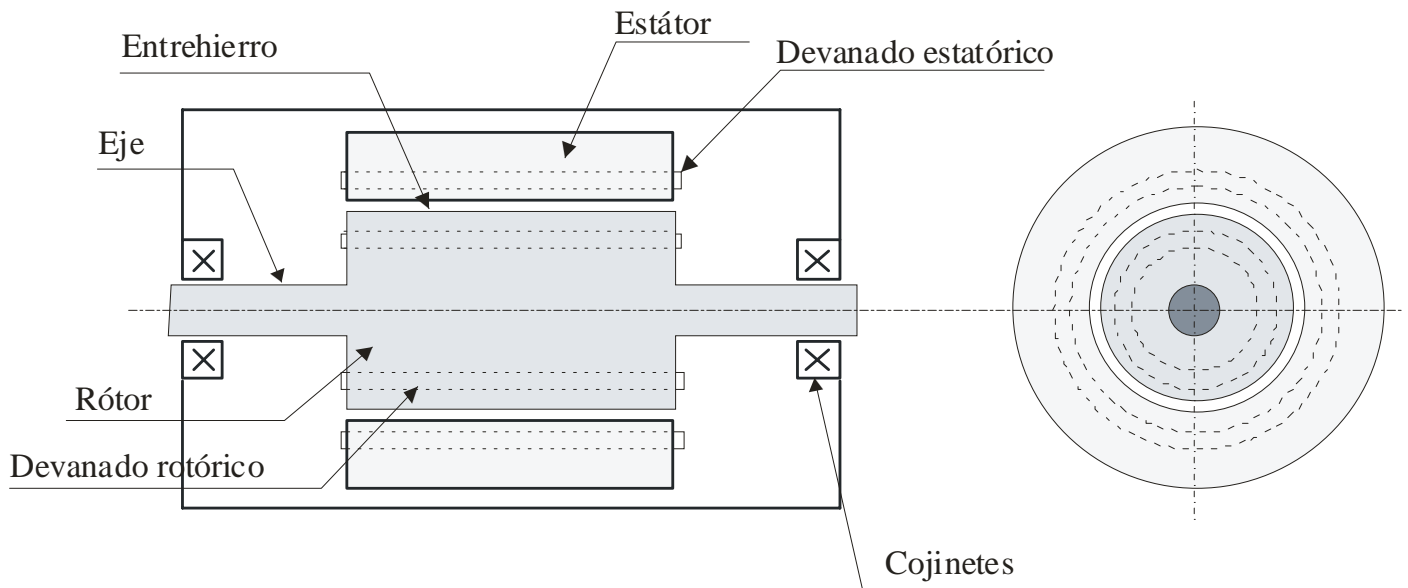
Máquina, es un conjunto de elementos móviles y/o fijos, cuyo funcionamiento posibilita aprovechar, dirigir, regular o transformar energía, o realizar un trabajo con un fin determinado.

Clasificación atendiendo a la conversión de energía.



Relés y contactores.

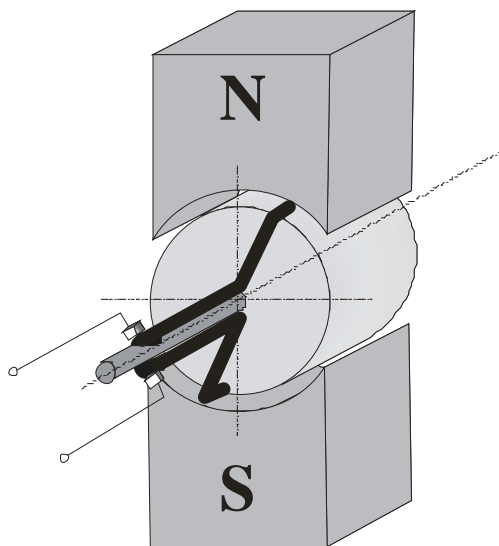
4.3. PRINCIPIOS GENERALES DE LAS MÁQUINA ELÉCTRICAS ROTATIVAS.



Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

$$\vec{F} = I \cdot \vec{l} \wedge \vec{B}$$

4.4. LA MÁQUINA ROTATIVA ELEMENTAL.



Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

4.5. MÁQUINAS ROTATIVAS CLÁSICAS.

-Atendiendo a la alimentación
Continua

Alterna: Monofásica o trifásica.

-Atendiendo a la constitución y modo de funcionamiento

Motores de cc.

Motores de ca:

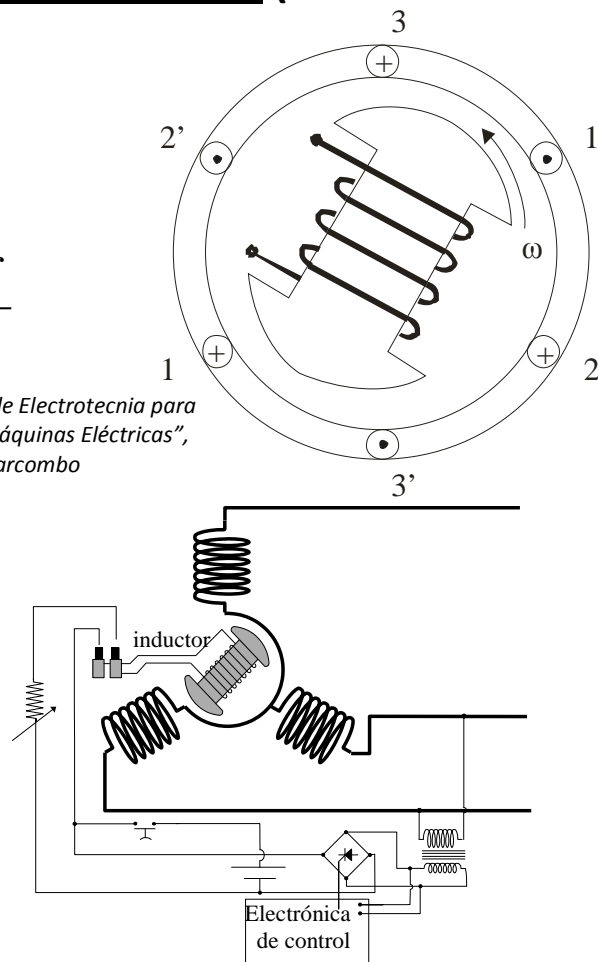
Motor asíncrono

Motor síncrono

4.5.1. Máquinas síncronas (corriente alterna) (M-G)

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

Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

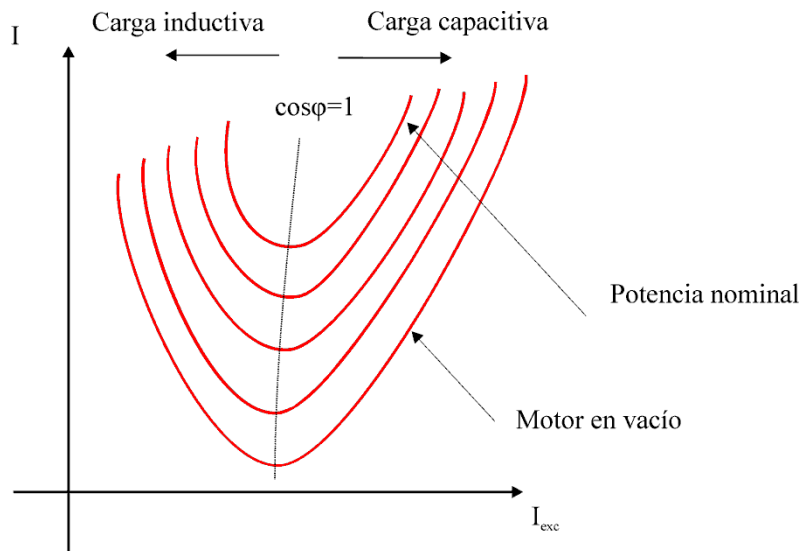


Excitación estática.

$$T_{estator} = k \cdot F_{rotor} \cdot F_{estator} \cdot \text{sen} \delta$$

Las máquinas síncronas se clasifican en:

- a) Máquinas de polos salientes ($v \downarrow$).
- b) Polos lisos ($v \uparrow$).



Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

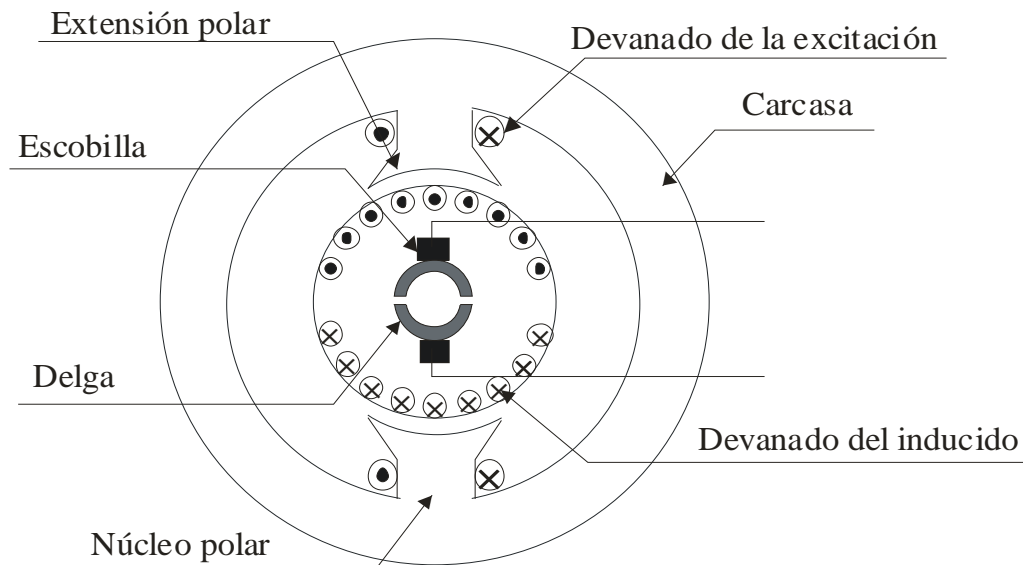
Ventajas:

- a) η .
- b) φ_c y φ_i .
- c) n_s rígida

Inconvenientes

- a) n_s rígida
- b) El arranque

4.5.2. Máquinas de corriente continua (c.c.) (M-G)



Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

$$E = k_E \cdot n \cdot \phi \qquad T = k_T \cdot I \cdot \phi$$

Las máquinas de corriente continua se clasifican en:

- a) Máquinas con excitación independiente.
- b) Máquinas con excitación en derivación (Máq. Shunt).
- c) Máquinas con excitación en serie.
- d) Máquinas con excitación compuesta (Compound)

Algunas características

Máquina de c.c. más cara que la máquina de inducción

Control fino y margen amplio de velocidades

Facilidad de inversión de marcha

Ventajas:

- a) n fácilmente regulable.
- b) $T \uparrow$, para $n \downarrow$.
- c) Accionamiento electrónico sencillo.

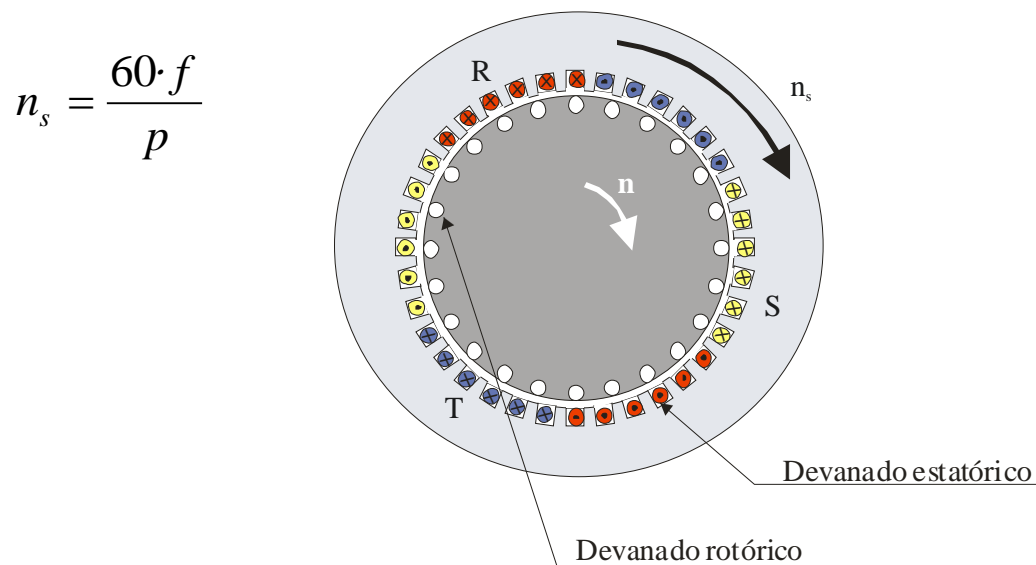
Inconvenientes

- a) €y tamaño ↑
- b) Iarranque.
- c) Mantenimiento.
- d) Chispas.

4.5.3. Máquinas asíncronas o de inducción (c.a.)(M-¿G?)

Características fundamentales.

- Simplicidad y robustez (tasa de fallo mínimo).
- Bajo costo de fabricación y mantenimiento mínimo.
- Ambientes peligrosos (compacta).
- Máxima potencia por unidad de volumen.



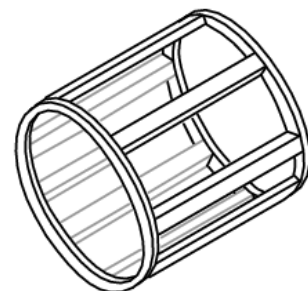
Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

Corrientes del rotor → inducción electromagnética.

Deslizamiento (asíncrona) → $s = \frac{n_s - n}{n_s}$

Las máquinas asíncronas se clasifican en:

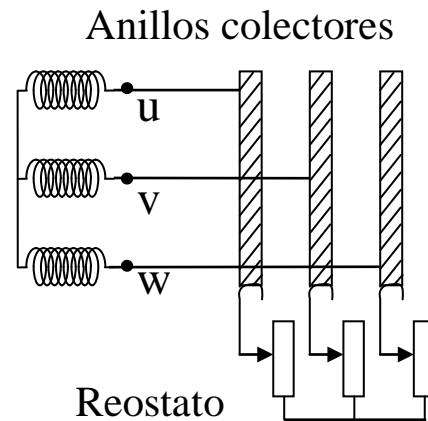
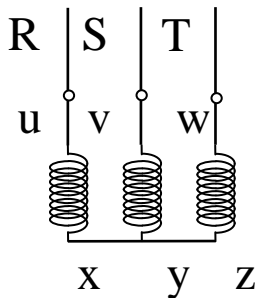
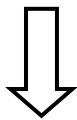
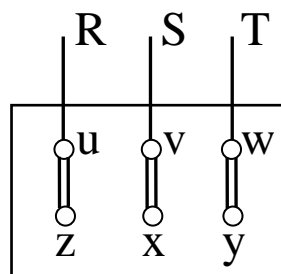
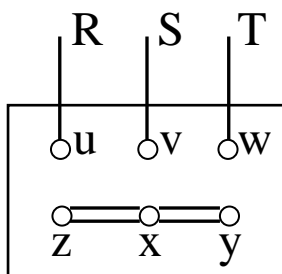
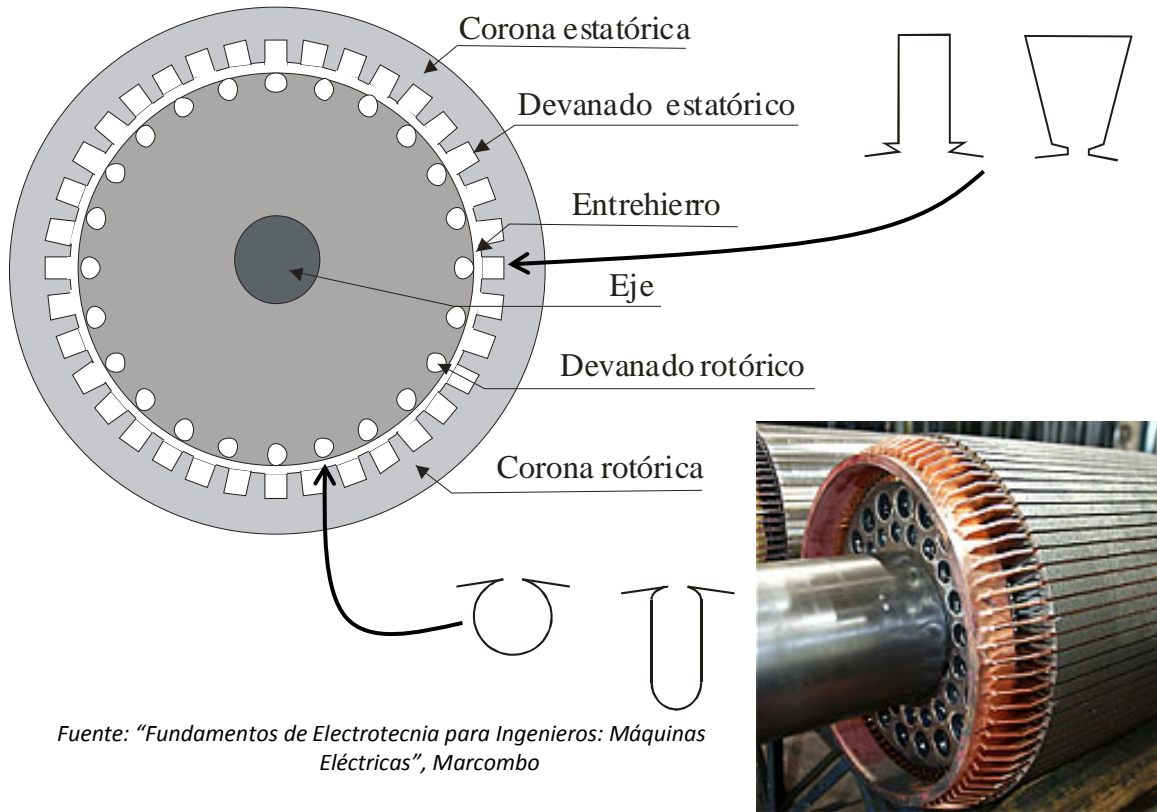
- a) Máquinas de rotor en jaula de ardilla.
- b) Máquinas de rotor devanado o de anillos rozantes.



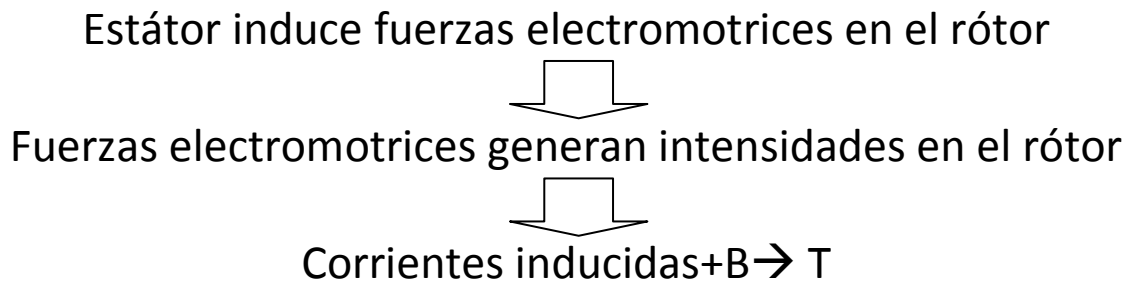
Inconveniente: La regulación de velocidad y la electrónica

4.6. MÁQUINAS ASÍNCRONA.

4.6.1. Aspectos constructivos



4.6.2. Principios de funcionamiento.



Velocidad del rotor y el estado de carga del motor.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \qquad n_r = \frac{60 \cdot f_r}{p}$$

$$f_r = \frac{p \cdot (n_s - n)}{60} \qquad n_s = n + n_r$$

Deslizamiento (s)

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

$$f_r = s \cdot f$$

Comportamiento de la máquina asíncrona vs "s"

Generador
s < 0

Motor
0 < s < 1

Freno
s > 1

4.6.3. Placa de características de un motor.

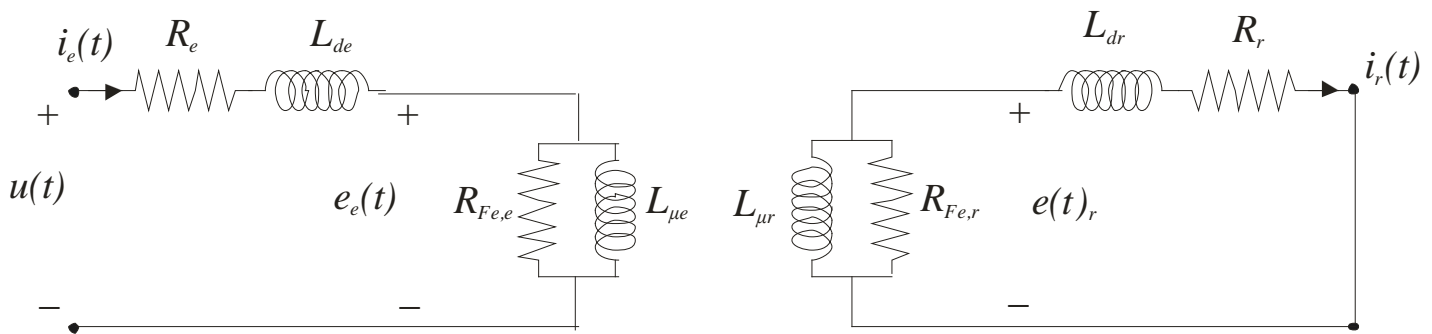
a) Datos constructivos, de control y de identificación.

b) Datos técnicos:

Potencia a plena carga, tensión para la que está construido, frecuencia de la red, intensidad que absorbe a plena carga, n , $\cos\varphi$.

El motor suele tener dos intensidades nominales.

4.6.4. Modelo monofásico equivalente.



Tres diferencias con respecto al transformador:

a) Las espiras no están en la misma posición frente al flujo.

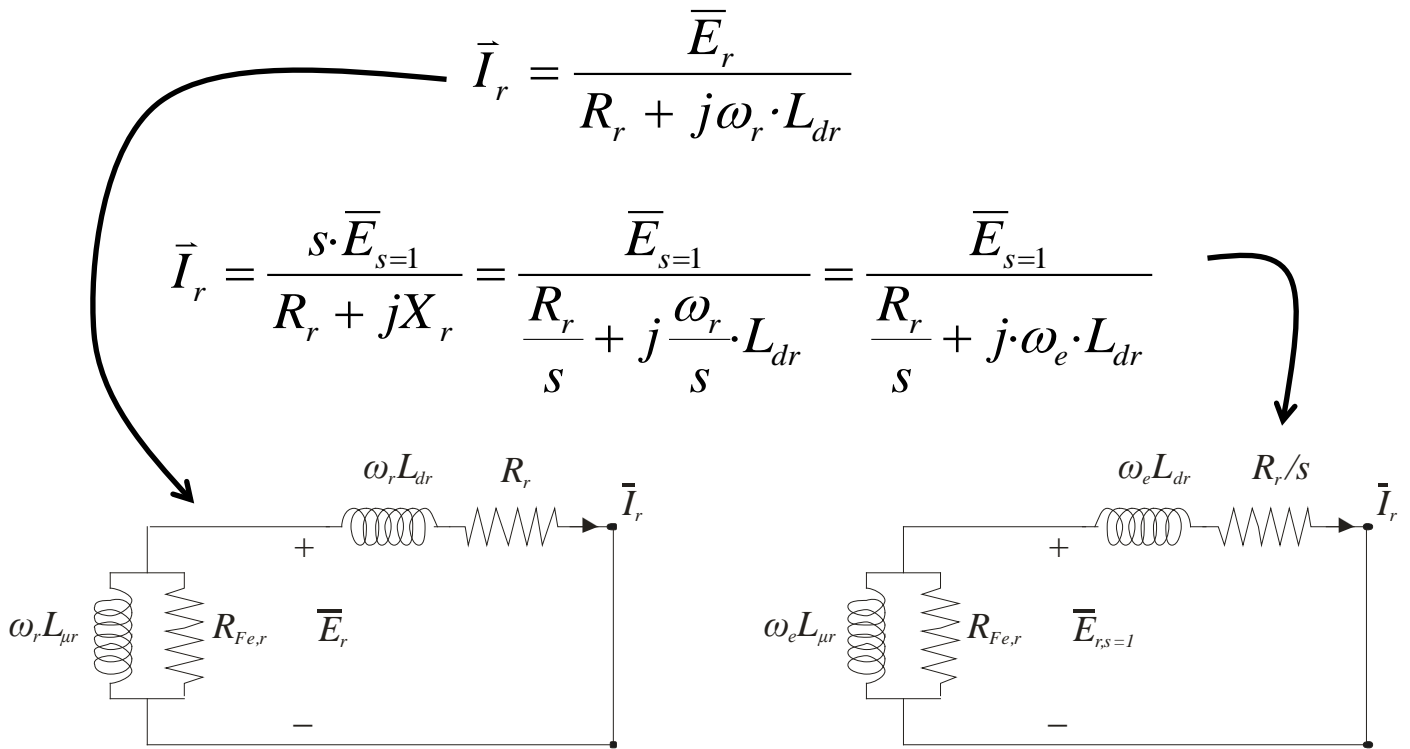
$$\vec{E}_s = -j \cdot \omega_e \cdot \xi_e \cdot N_e \cdot \vec{\phi}$$

$$\vec{E}_r = -j \omega_r \cdot \xi_r \cdot N_r \cdot \vec{\phi}$$

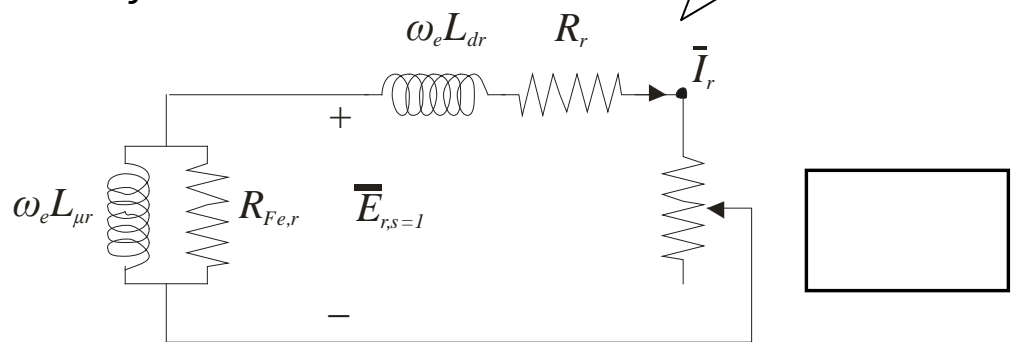
b) La frecuencia no es la misma –equivalente a rotor parado o bloqueado–.

$$\vec{E}_{r,s=1} = 2 \cdot \pi \cdot f_{r,s=1} \cdot \xi_r \cdot N_r \cdot \vec{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot s \cdot f_e \cdot \xi_r \cdot N_r \cdot \vec{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot f_e \cdot \xi_r \cdot N_r \cdot \vec{\phi}$$

$$\vec{E}_r = s \cdot \vec{E}_{r,s=1}$$



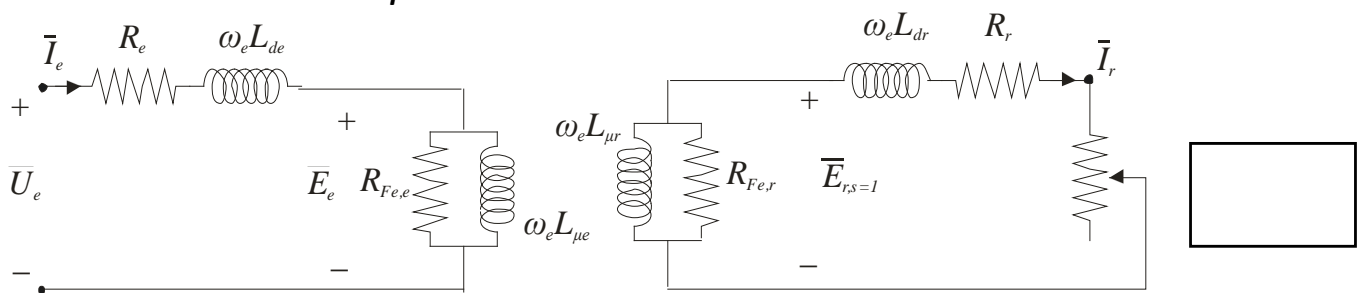
Modelo para una fase del rotor.



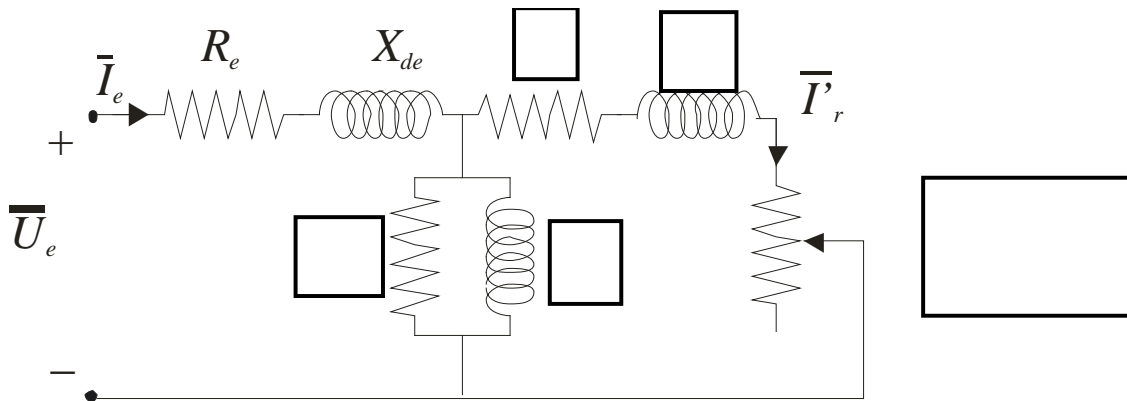
Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

c) Distribuir las fases, para poder obtener el equivalente monofásico.

Modelo desacoplado.



Modelo monofásico equivalente.



Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

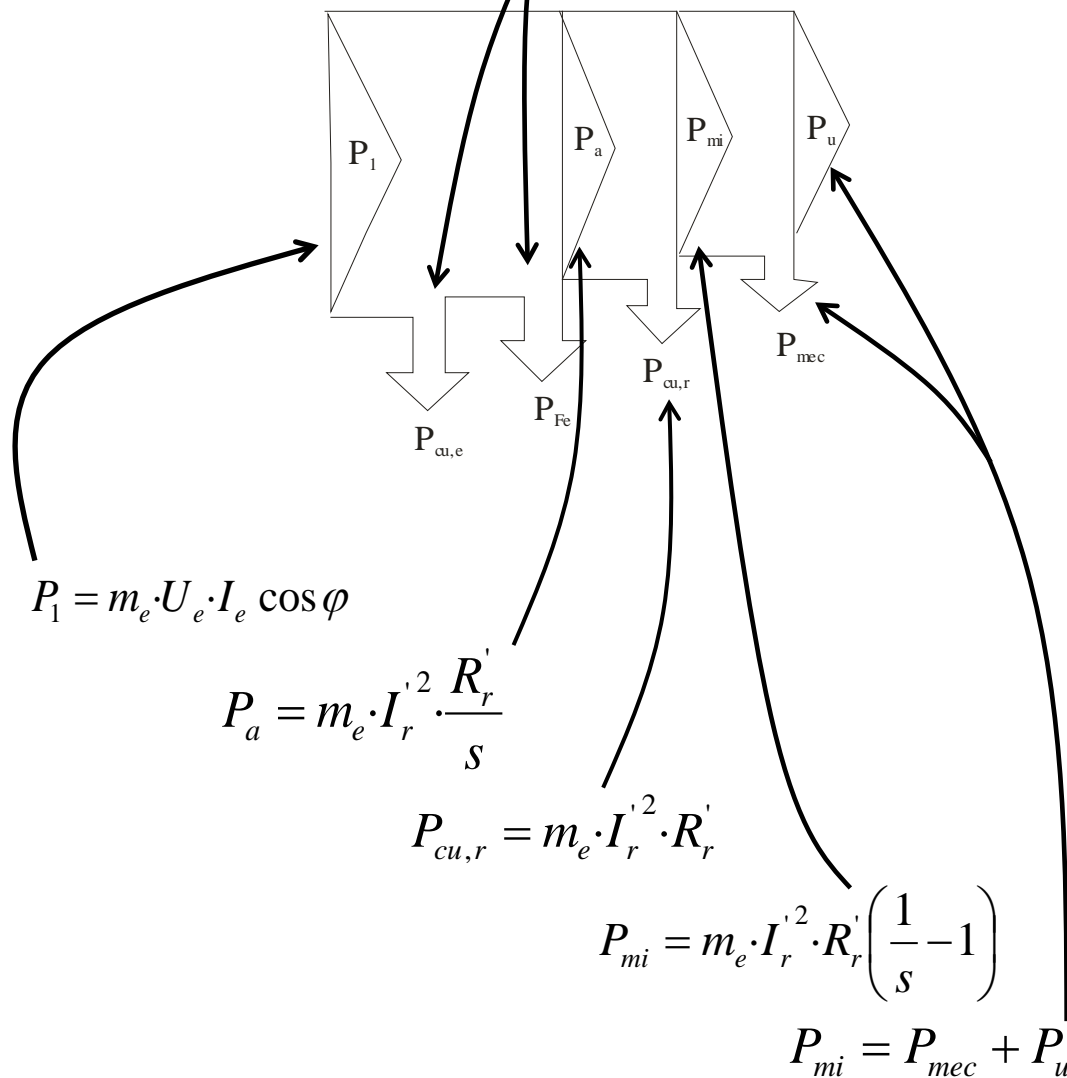
$$\bar{E}_e = \bar{E}'_{r,s=1} \Rightarrow k_t = \frac{\bar{E}_e}{\bar{E}'_{r,s=1}} = \frac{\xi_e \cdot N_e}{\xi_r \cdot N_r}$$

$$m_r \cdot \bar{E}_r \cdot (\bar{I}_r)^* = m'_r \cdot \bar{E}'_r \cdot (\bar{I}'_r)^* = m_e \cdot k_t \cdot \bar{E}_r \cdot k_i (\bar{I}_r)^* \Rightarrow k_i = \frac{m_r \cdot \xi_r \cdot N_r}{m_e \cdot \xi_e \cdot N_e}$$

$$P_{cu,Rr} = m_r \cdot \bar{I}_r^2 \cdot R_r = m'_r \cdot \bar{I}'_r{}^2 \cdot R'_r = m_e \cdot (k_i \cdot \bar{I}_r)^2 \cdot k_z \cdot R_r \Rightarrow k_z = \frac{m_e}{m_r} \left(\frac{\xi_e \cdot N_e}{\xi_r \cdot N_r} \right)^2$$

4.6.5. Balance de potencias. Modos de funcionamiento.

$$P_{cu,e} = m_e \cdot I_e^2 \cdot R_e \approx m_e \cdot I_r'^2 \cdot R_e \quad P_{Fe} = m_e \cdot I_{Fe}^2 \cdot R_{Fe} \approx m_e \cdot \frac{U_e^2}{R_{Fe}}$$



$$\eta = \frac{P_u}{P_u + P_{mec} + P_{cu} + P_{Fe}}$$

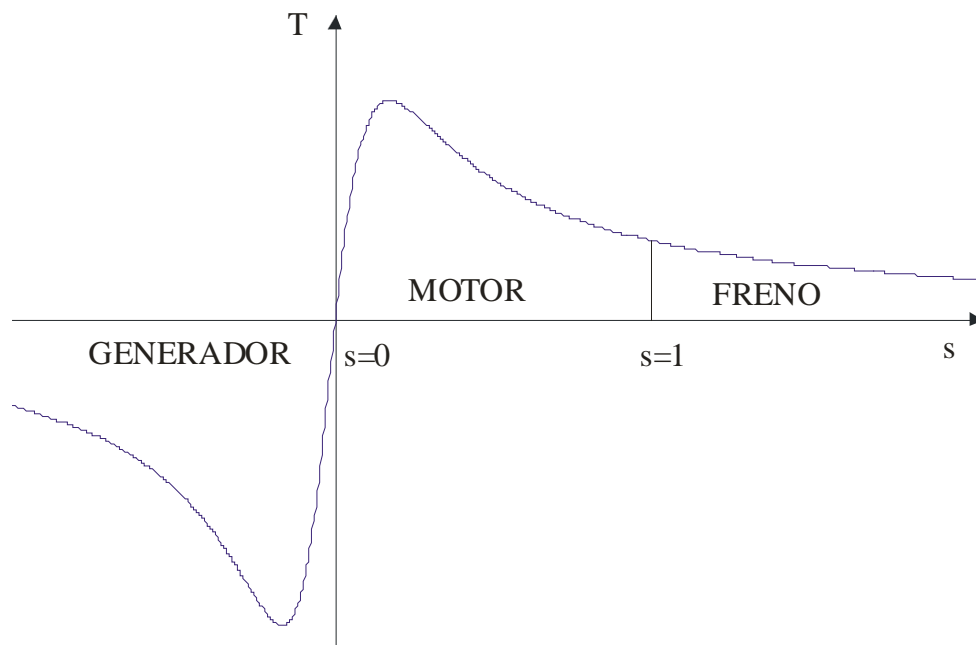
Potencia mecánica interna vs par mecánico interno

$$P_{mi} = T_{mi} \cdot \Omega$$

$$P_{mi} = T_{mi} \cdot \Omega_s \cdot (1 - s) = m_e \cdot I_r'^2 \cdot R_r' \left(\frac{1}{s} - 1 \right)$$

$$P_{mi} = T_{mi} \cdot \Omega_s \cdot (1 - s) \approx m_e \cdot \frac{U_e^2}{\left(R_e + \frac{R_r'}{s} \right)^2 + (X_{de} + X_{dr}')^2} \cdot R_r' \left(\frac{1}{s} - 1 \right)$$

$$T_{mi} = \frac{m_e \cdot U_e^2}{\Omega_s} \cdot \frac{\frac{R_r'}{s}}{\left(R_e + \frac{R_r'}{s} \right)^2 + (X_{de} + X_{dr}')^2}$$



Fuente: "Fundamentos de Electrotecnia para Ingenieros: Máquinas Eléctricas", Marcombo

4.7. ELECCIÓN DE UN MOTOR.

- a) Línea de alimentación.
- b) Potencia.
- c) Velocidad: constante, variable y variable con regulación continua
- d) Forma de la característica mecánica:
 - Motores de característica serie (excitación serie de c.c. y los motores universales). Momento de arranque \uparrow , $n \downarrow$ si carga \uparrow .
 - Motores de característica derivación (exc. Derivación de c.c. y motores asíncronos). $M_{\text{arranque}} \nearrow$, $n \searrow$ si carga \uparrow .
 - Motores de excitación compuesta (Exc. Compuesta de c.c. y asíncronos con $R_{\text{rotor}} \uparrow$).
- e) Momento de arranque.
- f) Condiciones de servicio.
 - Tipo de construcción.
 - Tipo de protección contra influencias externas (IPXX)
 - Tipo de servicio –continuo, temporal, intermitente,...-
 - Refrigeración –natural, forzada,...-
 - Tipo de aislamiento.
 - Protección eléctrica.
 - Forma de transmisión de potencia.

4.8. MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS. AVERÍAS.

Plan de inspección periódico.

a) Mecánico

Cojinetes.

Colectores de delgas

Colectores de anillos

Escobillas Tipo de construcción.

b) Eléctrico

Aislamiento

Dispositivos de protección

c) Velocidad: constante, variable y variable con regulación continua

d) Forma de la característica mecánica:

Bibliografía

F.A. Ruz, F.J. Cánovas y J.M. Molina,, FUNDAMENTOS DE ELECTROTECNIA PARA INGENIEROS: MÁQUINAS ELÉCTRICAS, Marcombo SA

Jesús Fraile Mora, MÁQUINAS ELÉCTRICAS (6ª edición), ISBN: 978-84-481-6112-5

José García Trasancos, ELECTROTECNIA (6ª edición), ISBN: 84-283-2284-8