

Introducción a Electrotecnia

UNCuyo 2019

Unidad 6

Profesor Adjunto: Ing Marcos Saromé



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

Temas

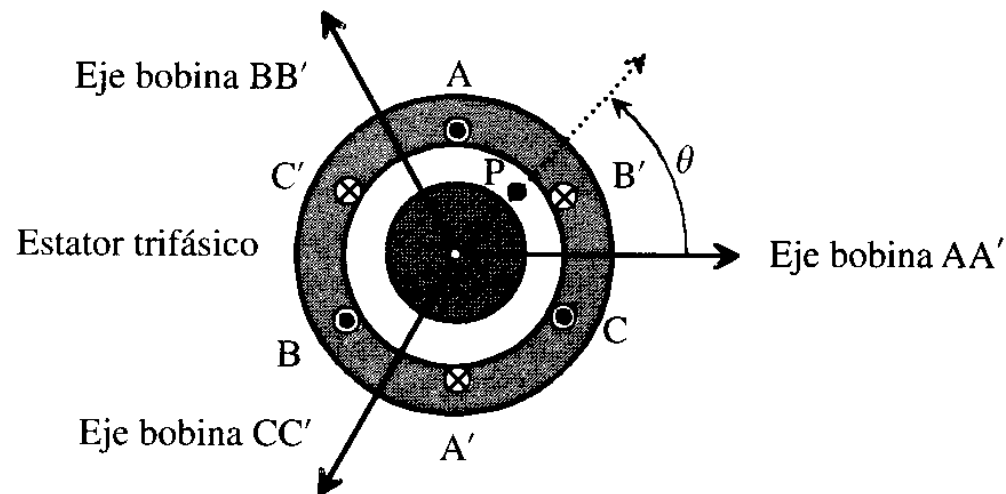
Unidad Temática 5: Máquina Asíncrona

Campo giratorio. Motor asíncrono trifásico. Principio de funcionamiento Descripción, características, aplicaciones. Circuito equivalente. Característica cupla/velocidad. Potencia. Accionamiento. Arranque. Ensayos directo y a tensión reducida. Arranque estrella/triángulo, con autotransformador y con resistencias estáticas. Motor con rotor bobinado. Arranque con resistencias rotóricas.

Aplicaciones. Control de velocidad. Motor asíncrono monofásico. Descripción, características y aplicaciones. Ensayos directos e indirectos.

Campo Giratorio

- Imaginar 3 devanados desfasados entre sí 120 grados eléctricos en el espacio.



- Si circula por ellos una corriente trifásica equilibrada

Campo Giratorio

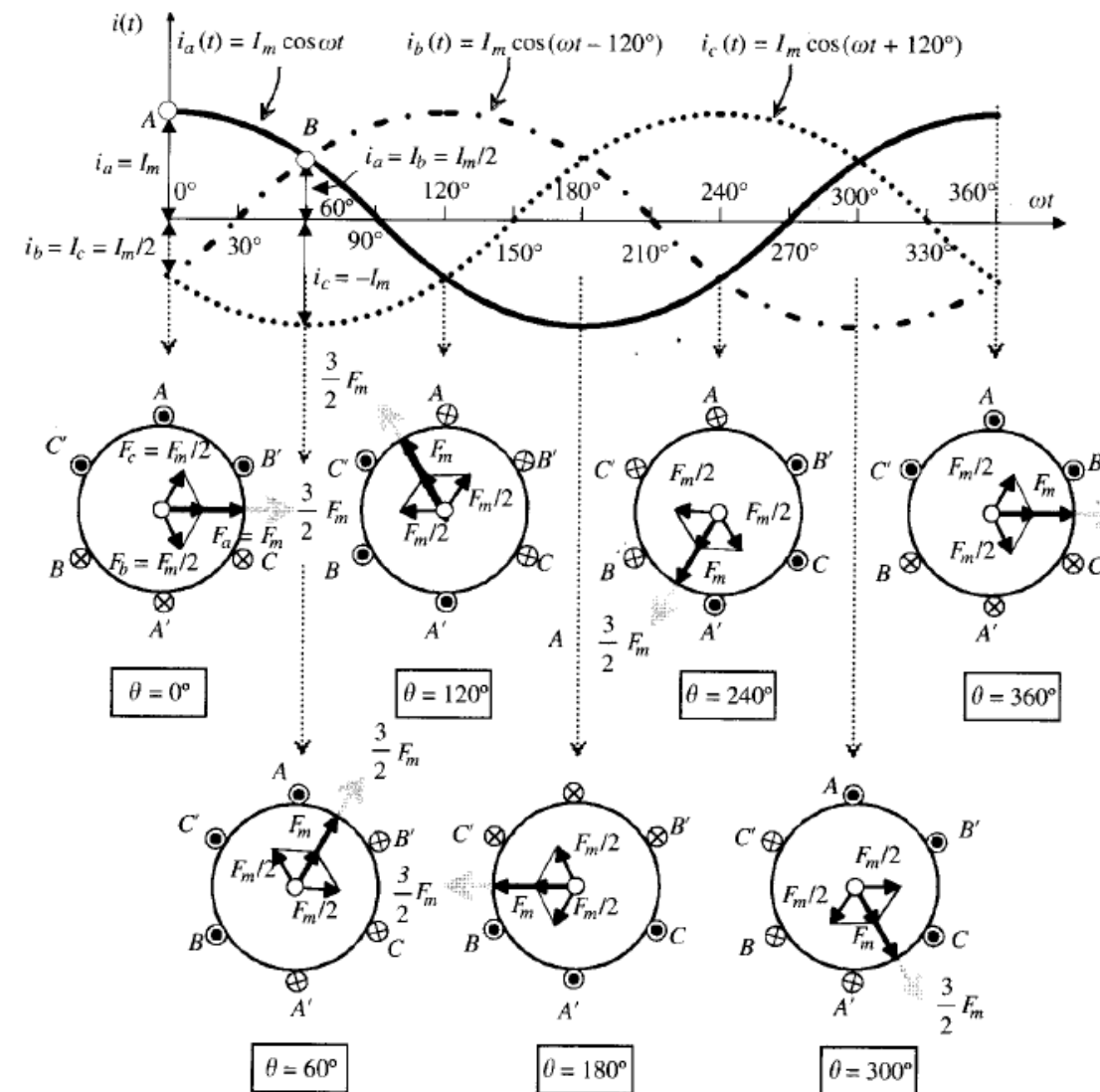
$$\mathcal{F}(\theta, t) = \frac{3}{2} F_m \cos (\omega t - \theta) = \frac{3}{2} F_m \cos (\omega t - p\alpha)$$

- Para un mismo punto del espacio $\alpha = \text{cte}$ la f.m.m. varía en función del tiempo según una senoide de amplitud $3/2 F_m$
- Para un mismo instante de tiempo $t = \text{cte}$ la f.m.m. está distribuida sinusoidalmente en el entre hierro.

Principio de Funcionamiento de Un transformador Ideal

- Se ha producido un campo magnético Giratorio que:

- Tiene una amplitud constante
- Gira a Velocidad Constante



Campo Giratorio

- Si la máquina es bipolar, una variación de 360° eléctricos en el tiempo corresponde a un giro de 360° magnéticos.
- Si la máquina tiene $2p$ polos $\omega_m = \frac{\omega}{p}$

$$\omega_m = 2\pi \frac{n}{60} \quad ; \quad \omega = 2\pi f$$

- La velocidad de sincronismo en rpm será

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

Ejemplo 1

- Calcule la velocidad de sincronismo del campo de un bobinado trifásico, de 50Hz. En s^{-1} y rpm
- a) Para un bobinado de 1 par de polos (2 polos)
- b) Para un bobinado de 2 par de polos (4 polos)

Demostración Analítica

Considerese un observador que viaje con la onda en un punto de fase constante ϕ_0 que es incluso la cresta de la onda.

$$\omega t - \theta = \theta_0 = 0$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega$$

$$\omega - p \frac{d\alpha}{dt} = 0$$

$$\omega_m = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{\omega}{p}$$

Cambio de Fase

Si se permutan dos corrientes cualesquiera de las fases que constituyen un sistema trifásico cambia el sentido de rotación del campo magnético

$$i_a = I_m \cos \omega t \quad ; \quad i_b = I_m \cos (\omega t + 120^\circ) \quad ; \quad i_c = I_m \cos (\omega t - 120^\circ)$$

$$\mathcal{F}(\theta, t) = \frac{3}{2} F_m \cos (\omega t + \theta) = \frac{3}{2} F_m \cos (\omega t + p\alpha)$$

$$\omega_m = -\frac{d\alpha}{dt} = -\frac{\omega}{p} \quad ; \quad n = -\frac{60f}{p}$$

Motor Asíncrono, Aspectos Constructivos

- Clasificación:
 - Rotor Jaula de Ardilla o en cortocircuito
 - Rotor Devanado o con anillos

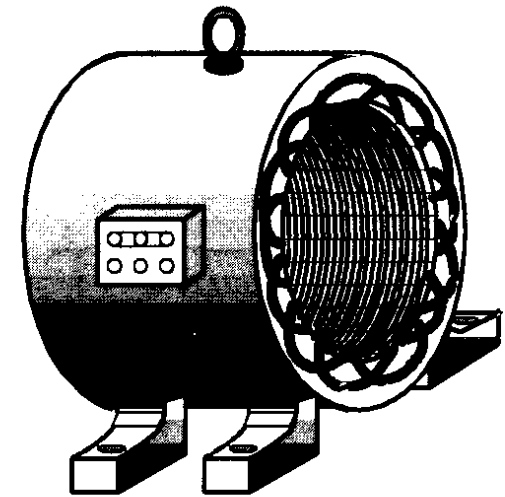


Figura 4.1. Estátor de un motor asíncrono.

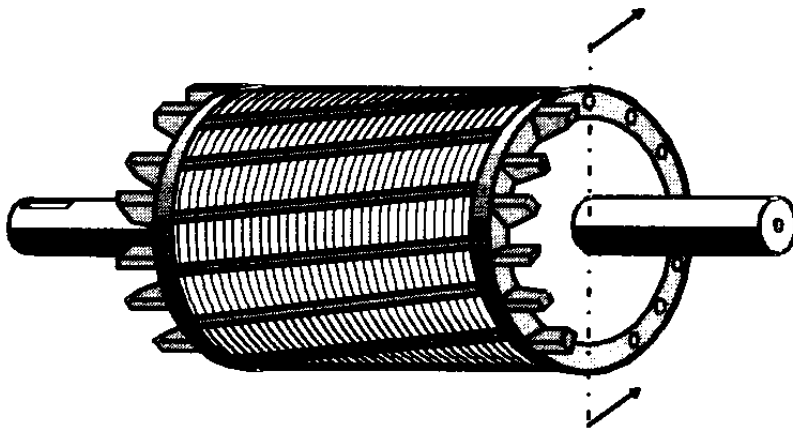


Figura 4.2. Rotor en jaula de ardilla.

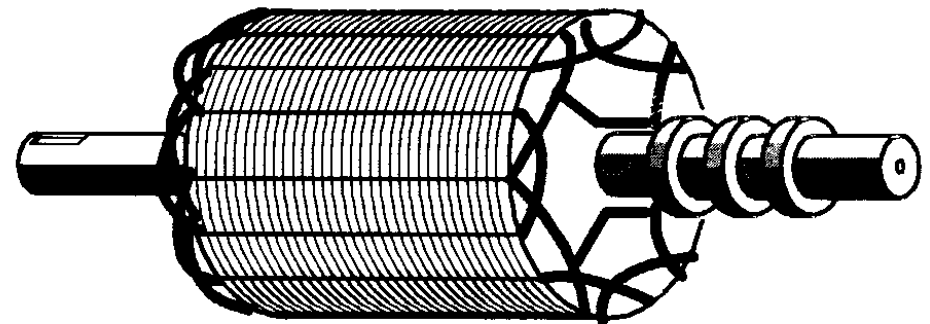


Figura 4.3. Rotor devanado o con anillos.

Placa de Conexión

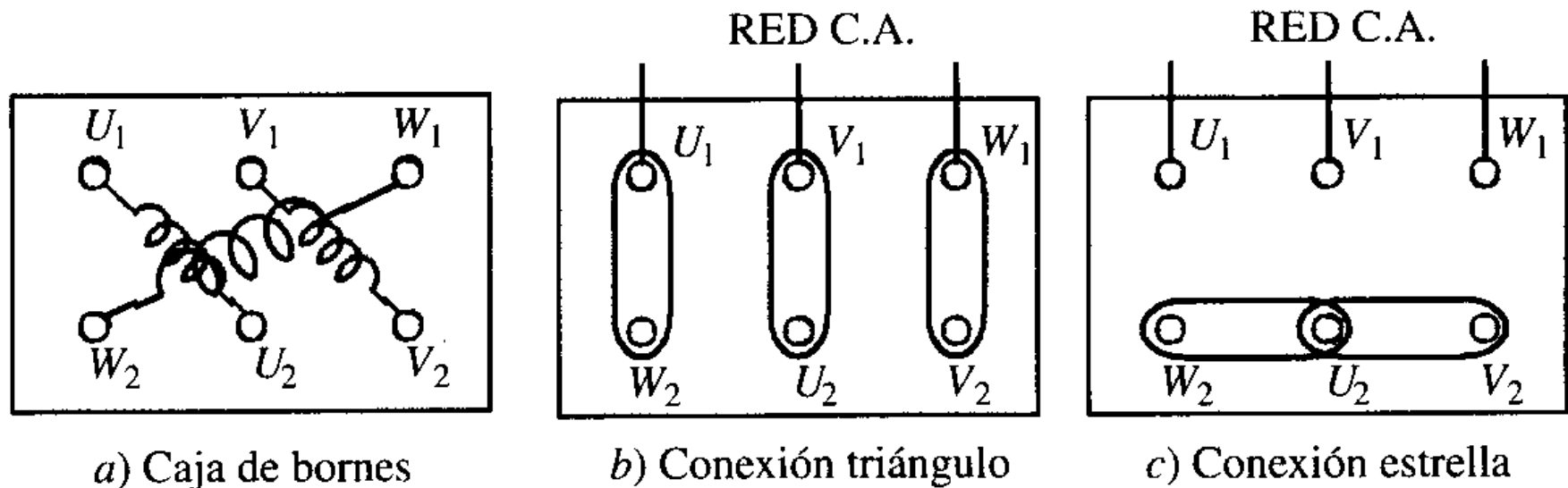


Figura 4.4. Placa de bornes. Conexiones estrella y triángulo.

- La conexión a Y se emplea cuando la máquina debe conectarse a la tensión más elevada de la placa.

Ejemplo 2

- Un motor de 220/380 V se conectará en triángulo para una red de 380 V (tensión de línea)
- Un motor de 380/660V se conectará en estrella para una red de 380 (Tensión de línea)

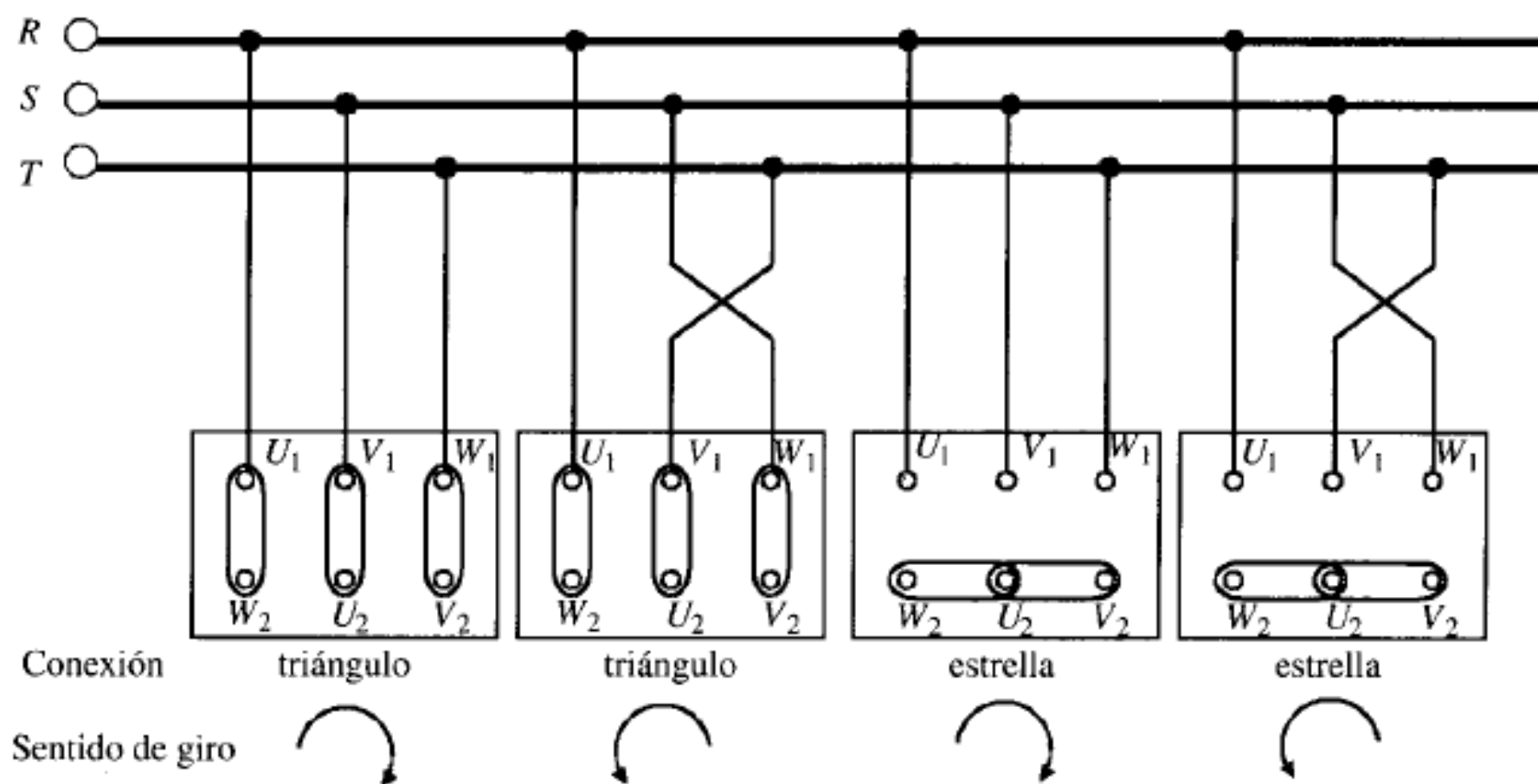
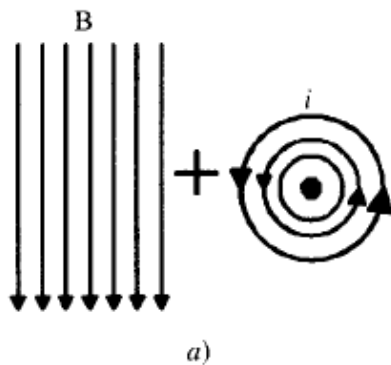


Figura 4.6. Esquemas desarrollados de las conexiones estrella y triángulo.

Principio de Funcionamiento

- El devanado del estator está constituido por tres arrollamientos desfasados 120° en el espacio y de $2p$ polos, al introducir por ellos corrientes de una red trifásica de frecuencia f_1 .

Produce un flujo giratorio de velocidad dada por (vel de sincronismo):



$$n_1 = \frac{60f_1}{p}$$

Principio de Funcionamiento

$$e = \int (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) d\mathbf{l} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{L}$$

- Aparecen en los conductores del rotor una corriente producto de esta fem.
- La misma por ley de Laplace vale

$$\mathbf{F} = i(\mathbf{L} \times \mathbf{B})$$

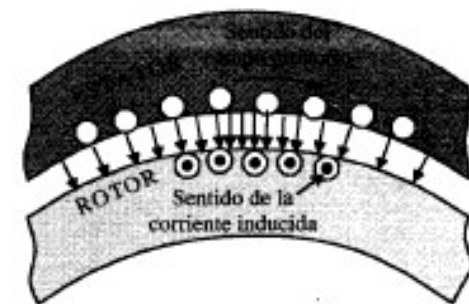
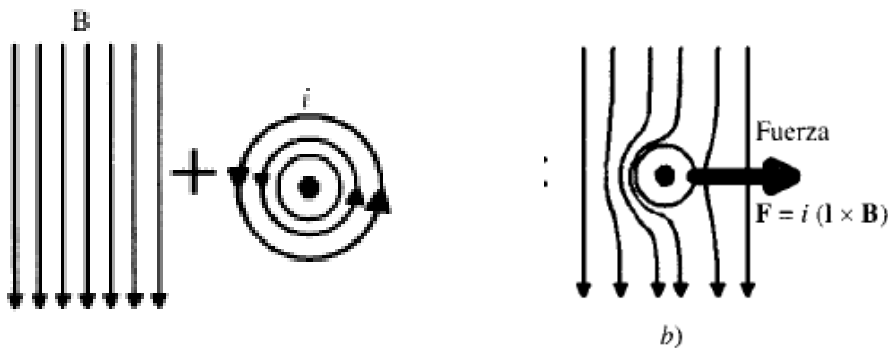


Figura 4.7. Sentido de la corriente inducida en los conductores del rotor.

Principio de Funcionamiento

- Multiplicando la fuerza por el radio y por la cantidad de conductores se tiene el momento del motor.

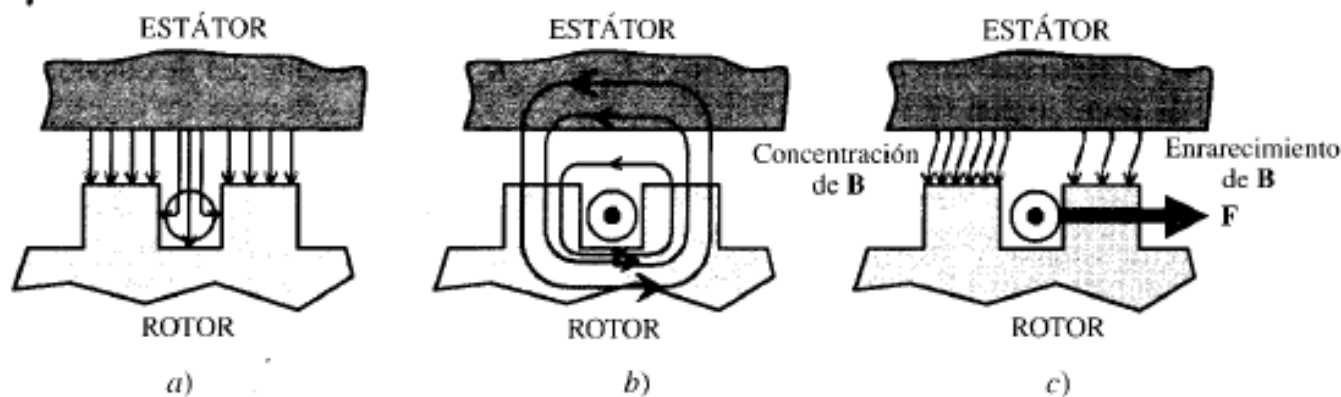


Figura 4.9. Determinación del sentido de la fuerza en un conductor situado dentro de una ranura.

Las fuerzas actúan en los dientes y no en los conductores.

Deslizamiento

- Llamamos deslizamiento al cociente:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

- En los motores industriales ronda entre 3 y 8%
 - La frecuencia del rotor está dada por

$$f_2 = s f_1$$

- En caso de rotor parado $f_2 = f_1$

Principio de Funcionamiento

- Las fmm en el rotor y el estator representan una analogía con respecto al transformador
- Si el gira en sentido del campo, la frecuencia del mismo no es f_1 sino f_2 menor que la anterior.

$$E_2 = 4,44 K_2 f_1 N_2 \Phi_m$$

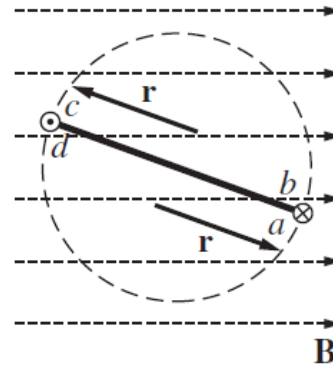
$$E_1 = 4,44 K_1 f_1 N_1 \Phi_m$$

$$E_{2s} = 4,44 K_2 f_2 N_2 \Phi_m$$

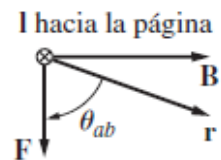
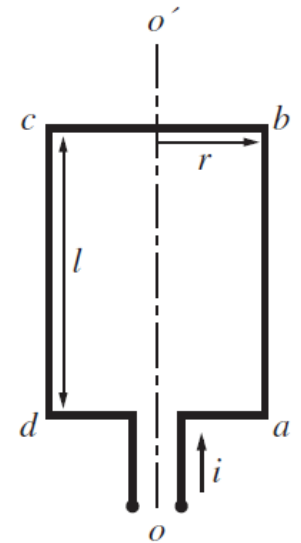
$$E_{2s} = s E_2$$

Circuito Eléctrico Equivalente

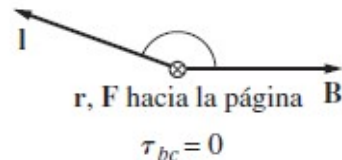
$$\mathbf{F} = i(\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$



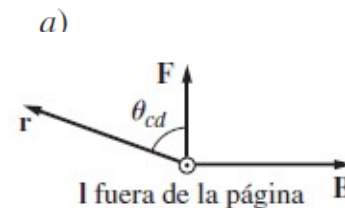
\mathbf{B} es un campo magnético uniforme, alineado como se muestra. La \times en el alambre indica que la corriente fluye hacia la página, y el \bullet en el alambre indica que la corriente fluye hacia afuera de la página.



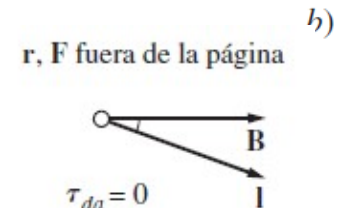
a)



b)



c)



d)

$$\tau_{\text{ind}} = 2 rilB \sin \theta$$

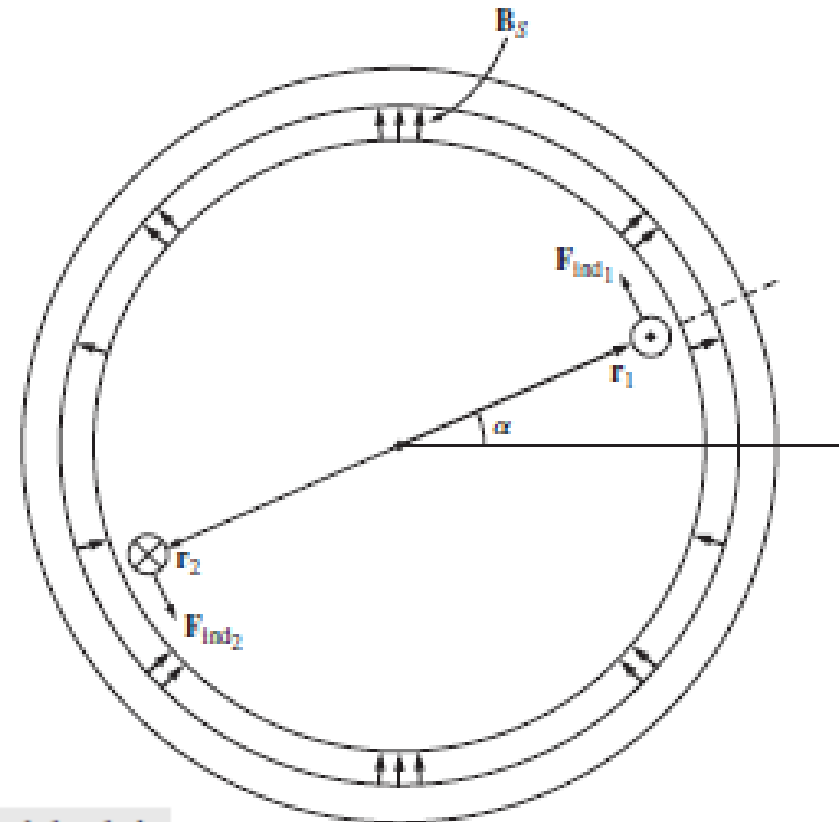
$$\tau_{\text{ind}} = k \mathbf{B}_{\text{esp}} \times \mathbf{B}_S$$

Par Inducido en una máquina de c.a.

$$\mathbf{F} = i(\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$

$$\tau_{\text{ind},1} = (\mathbf{r} \times \mathbf{F})$$

$$\mathbf{F} = i(\mathbf{l} \times \mathbf{B})$$



$$\tau_{\text{ind}} = 2rilB_S \sin \alpha \quad \text{en sentido contrario a las manecillas del reloj}$$

$$|\mathbf{B}_S(\alpha)| = B_S \sin \alpha$$

Par Inducido en una máquina de c.a.

- Considerese que la corriente i que fluye en la bobina del rotor produce su propio campo magnético. H_R
- El ángulo entre el pico de la densidad de flujo del estator B_s y el pico de la intensidad de magnetización del rotor H_R es γ .
-

Par en un motor de inducción

$$e_{\text{ind}} = (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot \mathbf{l}$$

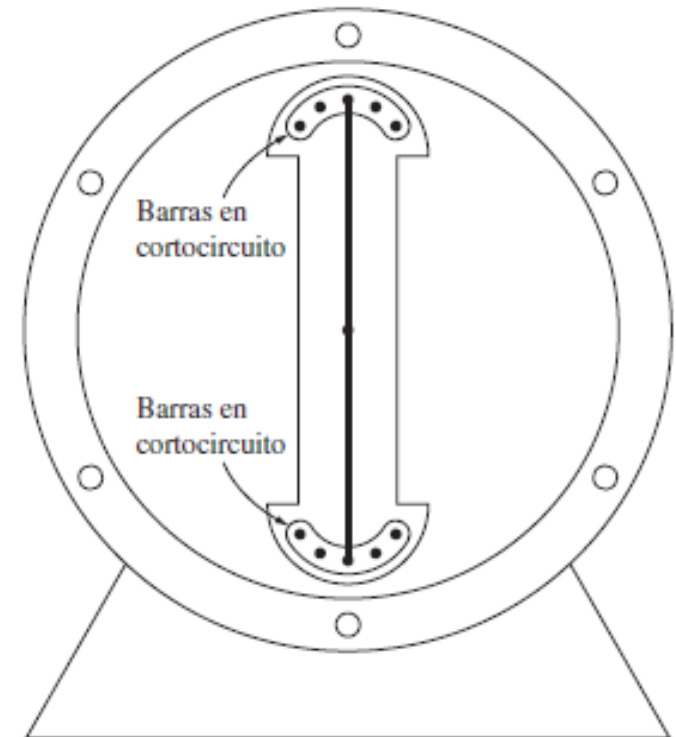
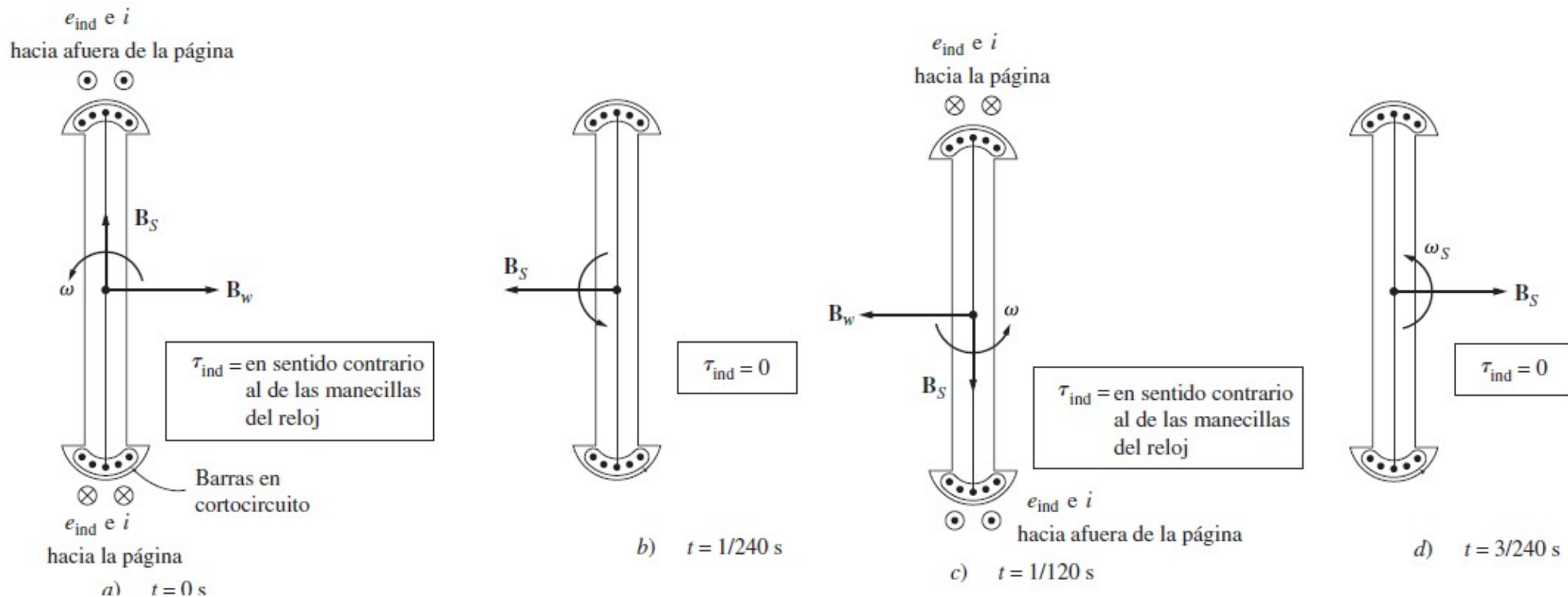


FIGURA 5-18 Diagrama simplificado de una máquina con dos polos salientes que muestra los devanados de amortiguamiento.

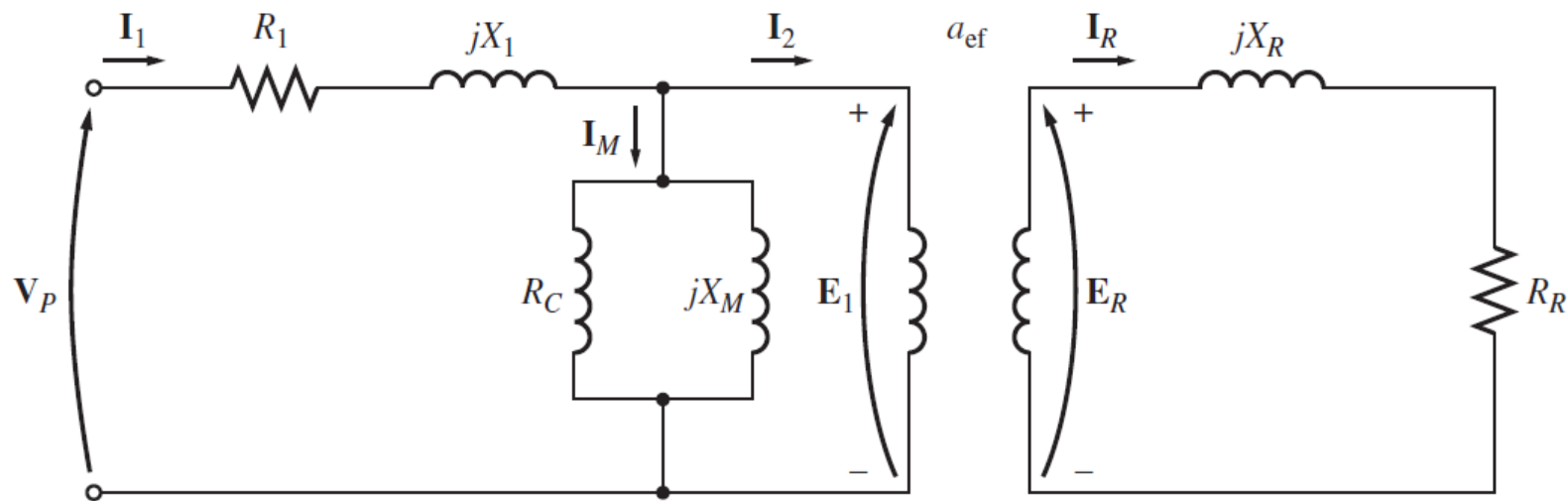
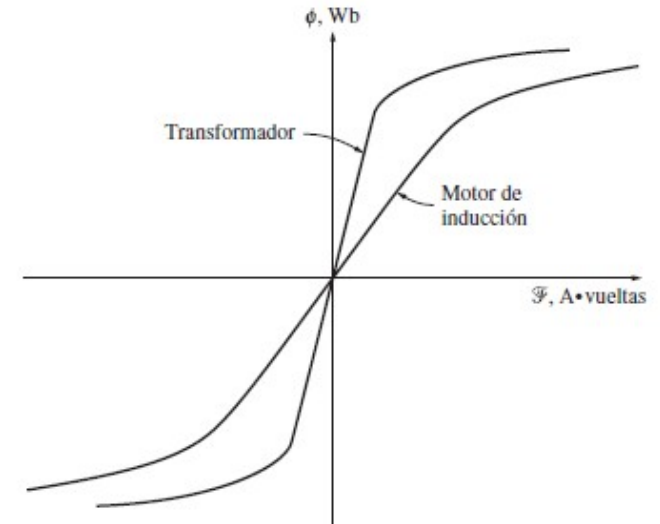
Extraído del capítulo 5 (motor asíncrono), arranque con devanado de amortiguamiento

Par en un motor de inducción

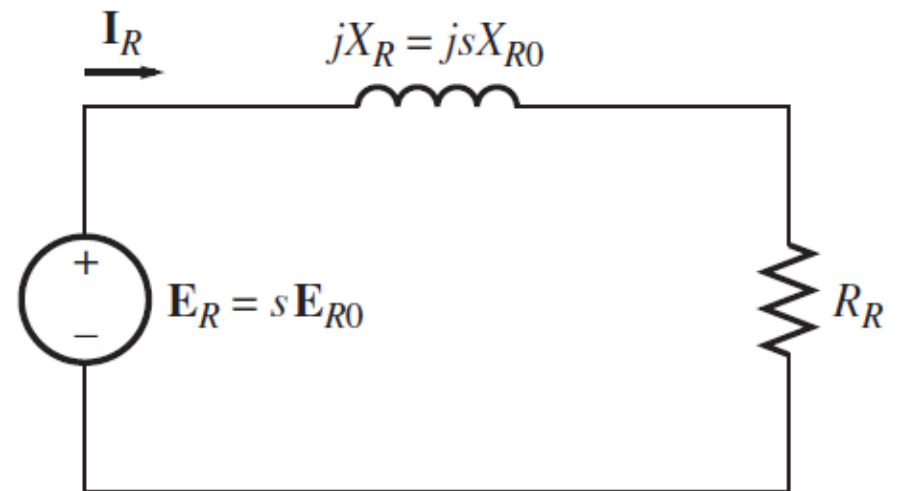


Extraído del capítulo 5 (motor asíncrono), arranque con devanado de amortiguamiento

Circuito Equivalente



Circuito Equivalente del Rotor



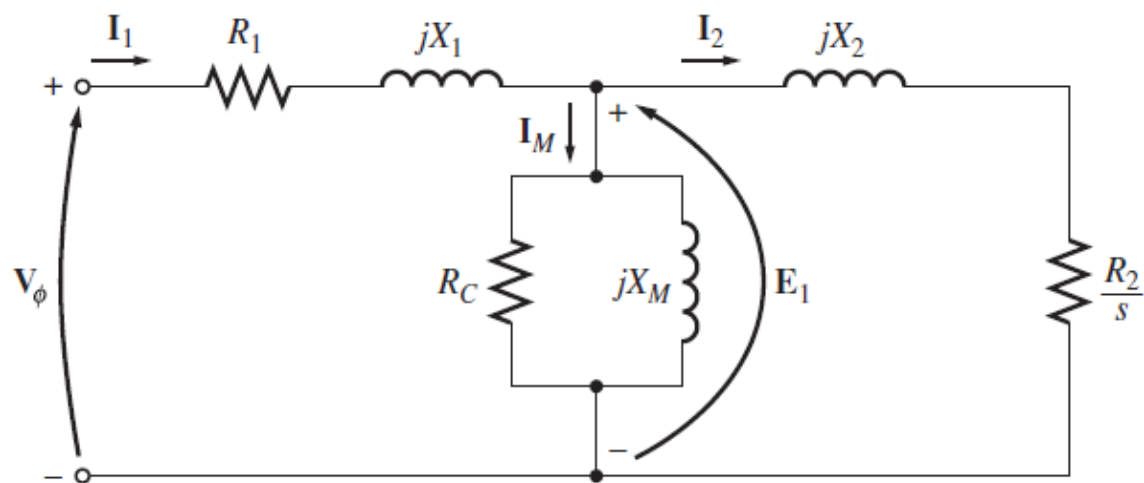


FIGURA 6-12 Circuito equivalente por fase de un motor de inducción.

Pérdidas y diagramas de flujos de potencias

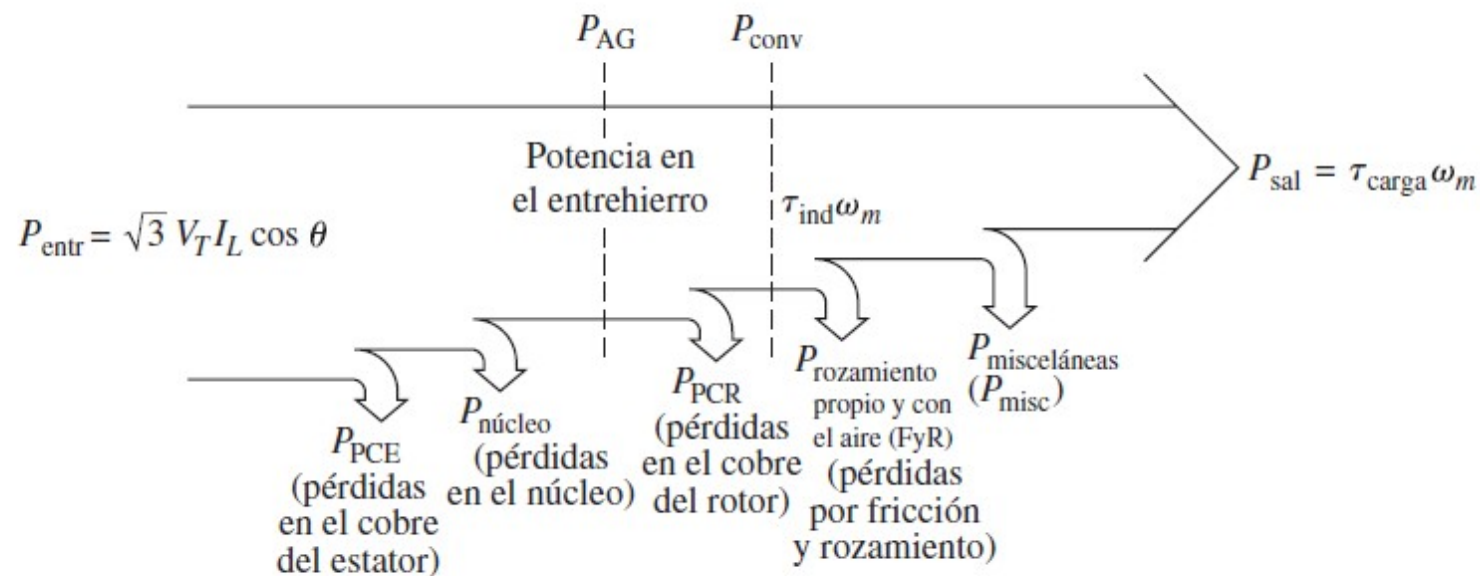


FIGURA 6-13 Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción.

Ejemplo 2

A un motor de inducción trifásico de 480 V, 60 Hz y 50 hp se le suministran 60 A con un factor de potencia de 0.85 en retraso. Las pérdidas de cobre del estator son de 2 kW y las pérdidas en el cobre del rotor son de 700 W. Las pérdidas por fricción y rozamiento con el aire son de 600 W, las pérdidas en el núcleo son de 1 800 W y las misceláneas son despreciables. Encuentre las siguientes cantidades:

- a) Potencia en el entrehierro P_{EH}
- b) Potencia convertida P_{conv}
- c) Potencia de salida P_{sal}
- d) Eficiencia del motor

Potencia y Par de Motor de Inducción

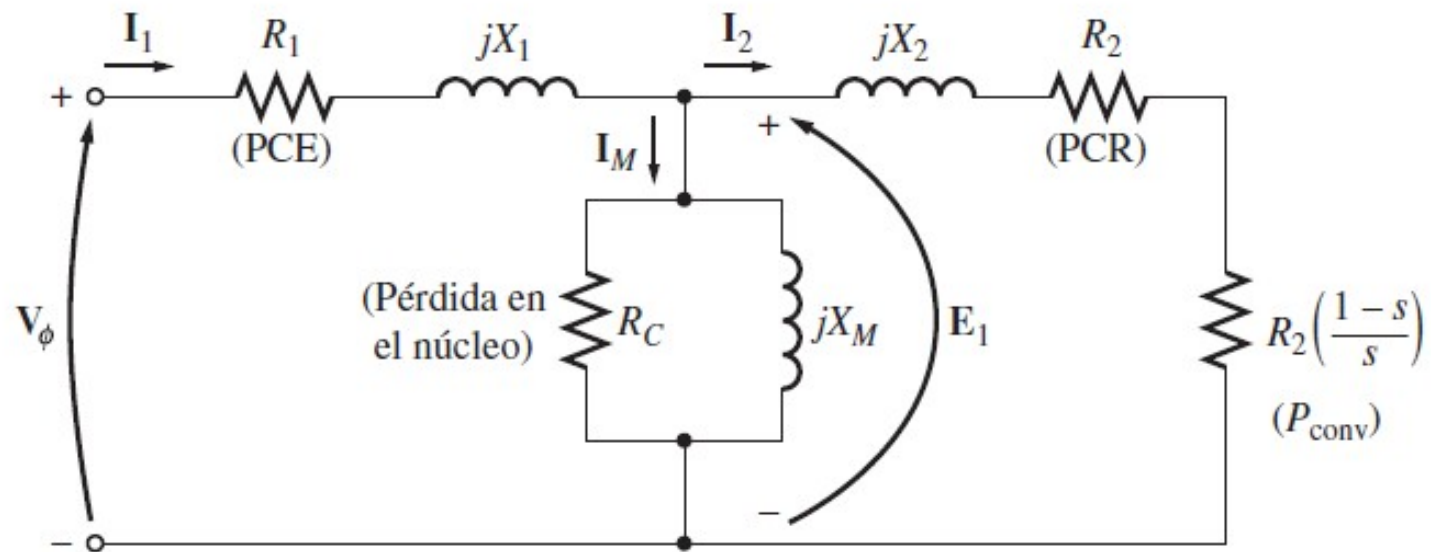


FIGURA 6-14 Circuito equivalente por fase con pérdidas en el rotor y $P_{núcl}$ separadas.

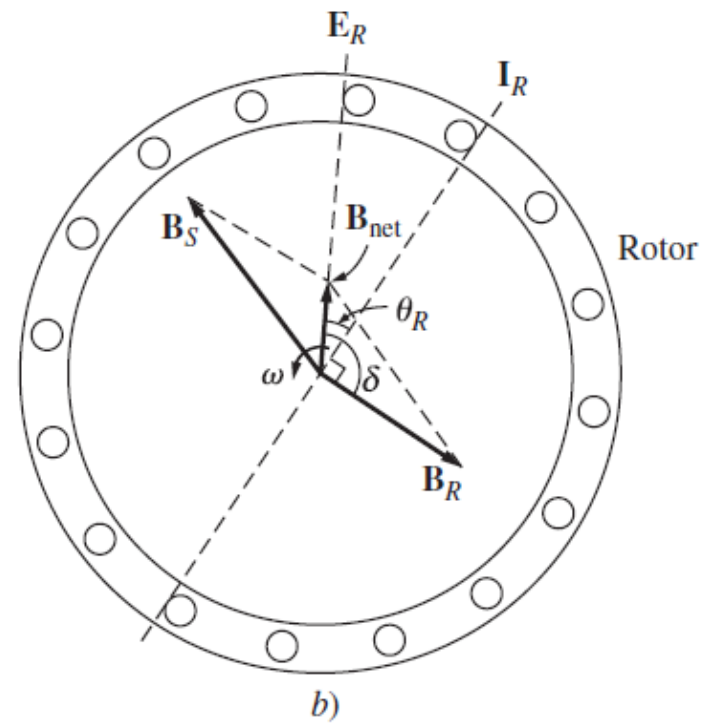
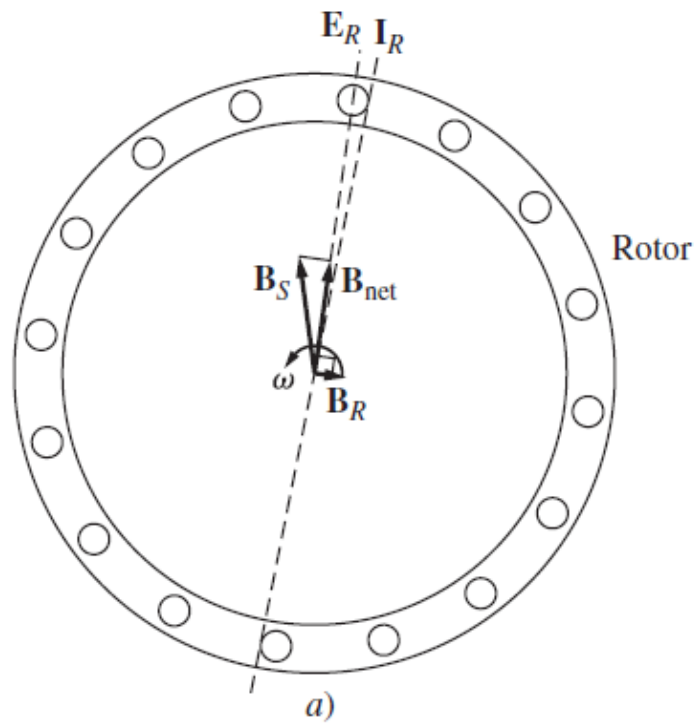
Ejemplo 3

- Un motor de inducción con cuatro polos, de 460 V, 25 hp, 60 Hz, conectado en Y, tiene las siguientes impedancias en ohms por fase referidas al circuito del estator:
- $R_1=0.641$; $X_1=1.106$; $R_2=0.332$; $X_2=0.464$ $X_M=26.3$
- Las pérdidas por rotación totales son de 1100 W y se supone que son constantes. Las pérdidas en el núcleo se agrupan con las pérdidas por rotación. Para un deslizamiento del rotor de 2.2% a voltaje y frecuencia nominales, encuentre las siguientes cantidades del motor:
 - a) Velocidad
 - b) Corriente del estator
 - c) Factor de potencia
 - d) P_{conv} y P_{sal}
 - e) t_{ind} y t_{carga}
 - f) Eficiencia

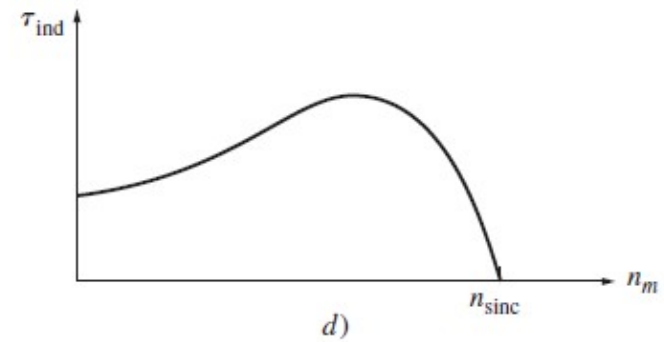
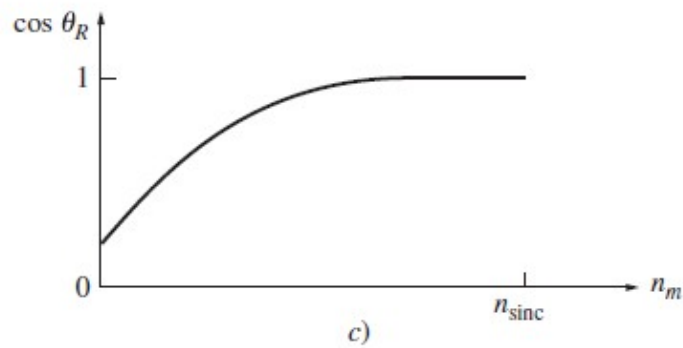
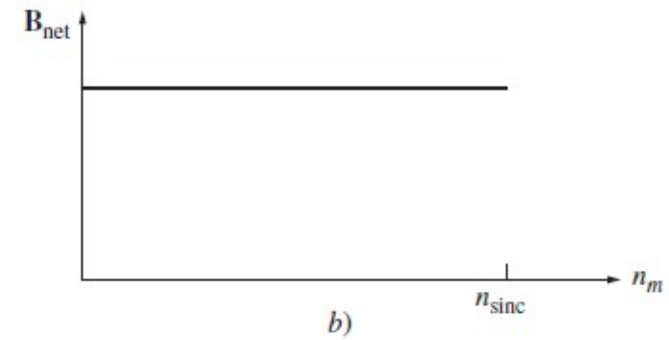
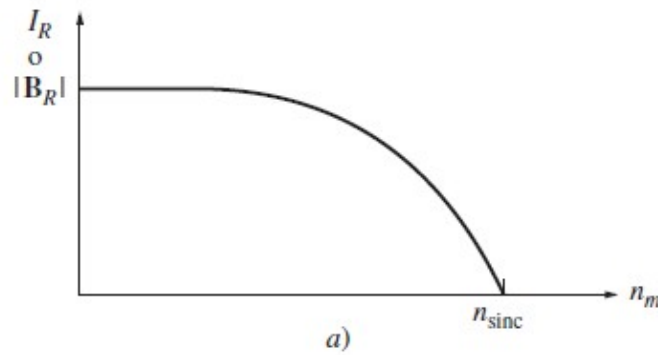
Par inducido desde el punto de vista físico

$$\tau_{\text{ind}} = k \mathbf{B}_R \times \mathbf{B}_{\text{net}}$$

$$\tau_{\text{ind}} = k \mathbf{B}_R \times \mathbf{B}_{\text{net}} \sin \delta$$



Par inducido desde el punto de vista físico



Deducción del par inducido

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{P_{\text{conv}}}{\omega_m}$$

$$\tau_{\text{ind}} = \frac{P_{\text{EH}}}{\omega_{\text{sinc}}}$$

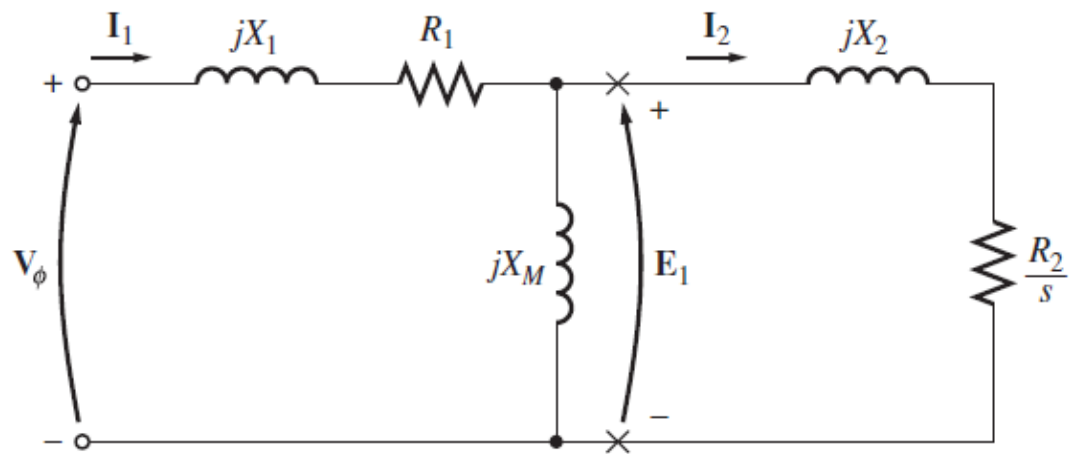
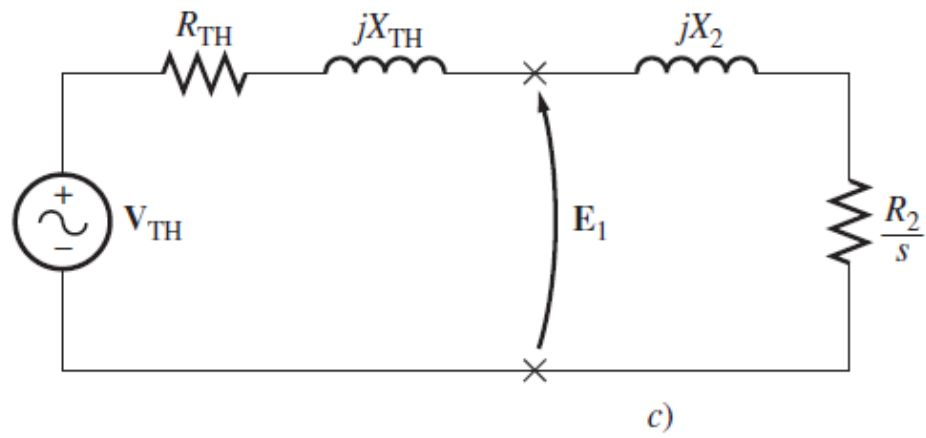
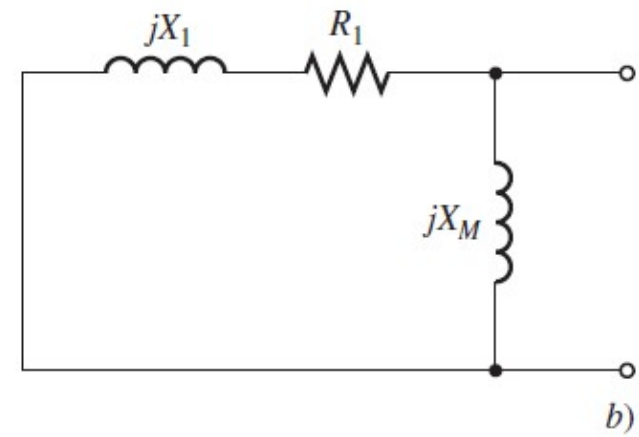
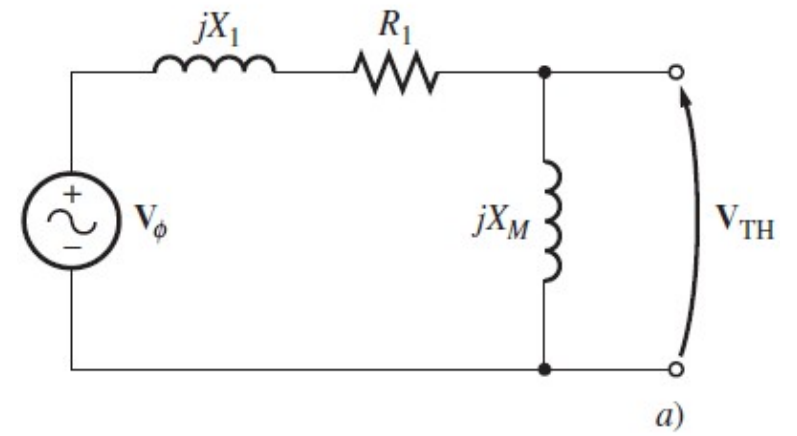


FIGURA 6-17 Circuito equivalente por fase de un motor de inducción.



Características Par-Velocidad

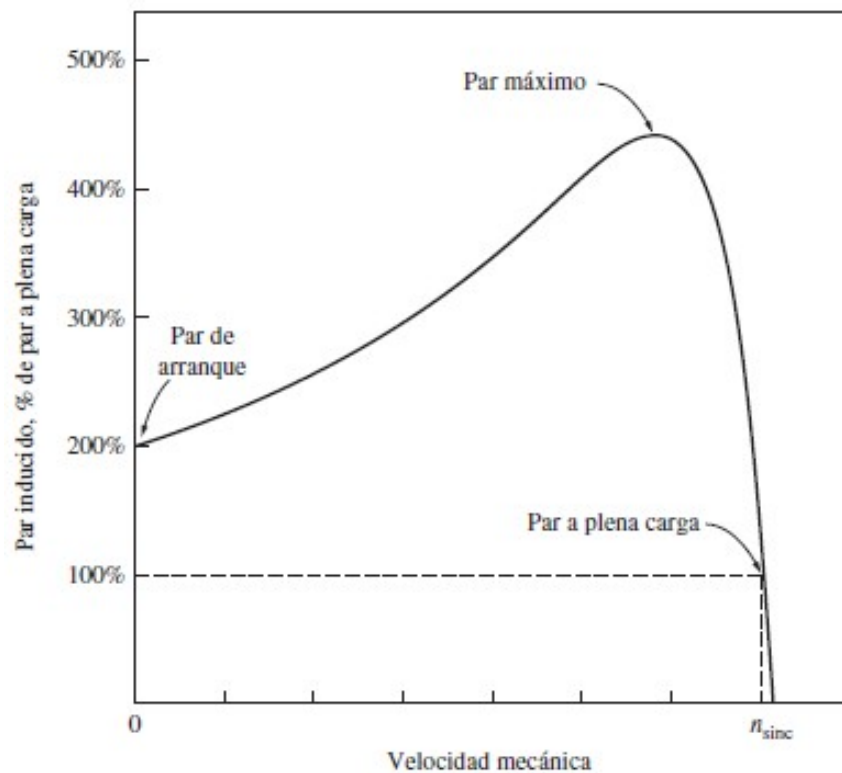
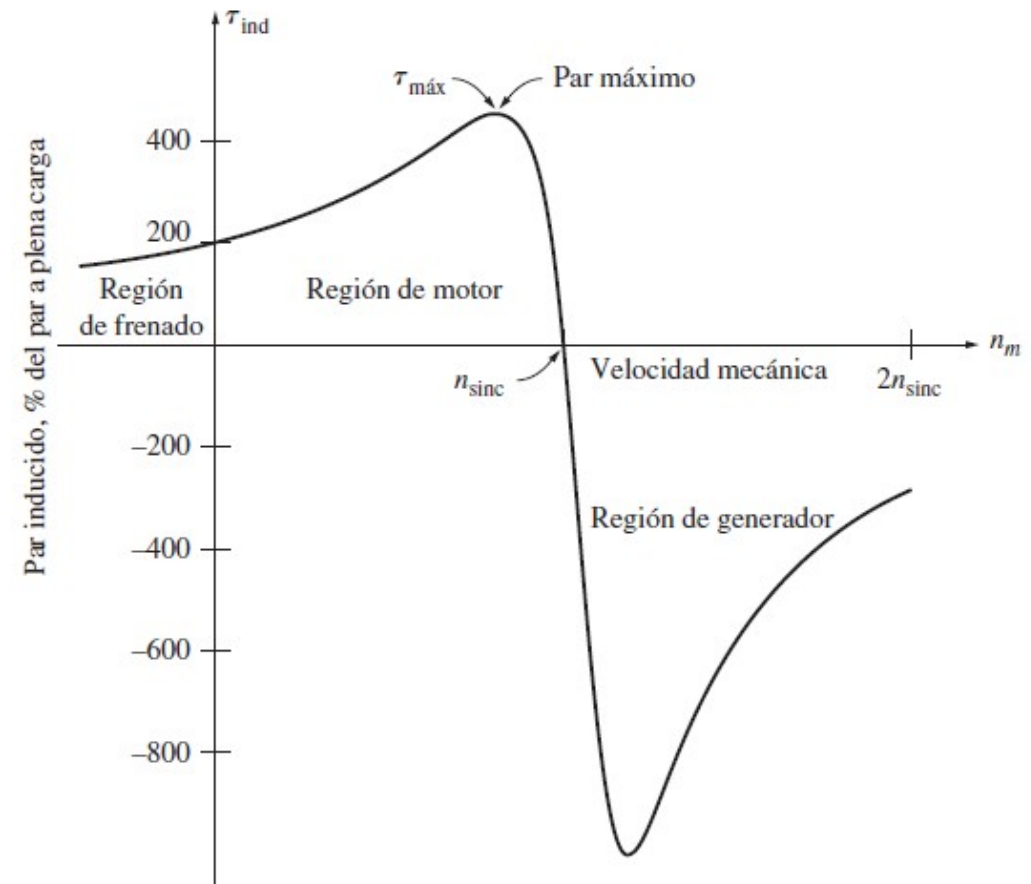
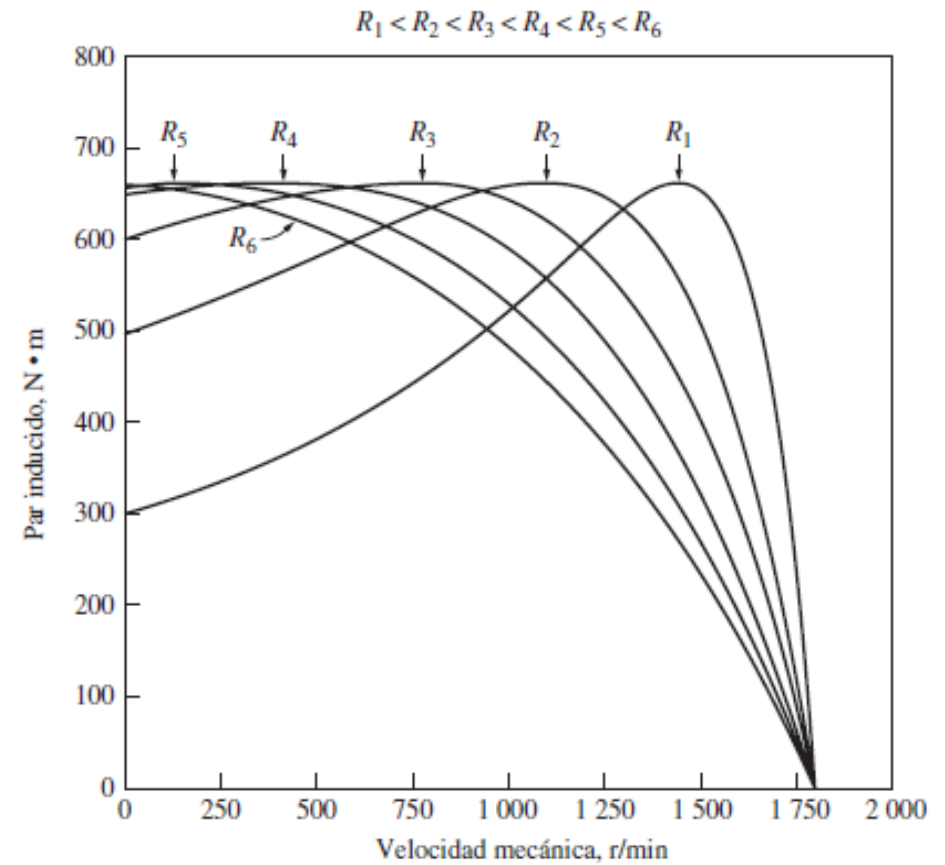


FIGURA 6-19 Curva característica par-velocidad de un motor de inducción típico.



Características Par Velocidad



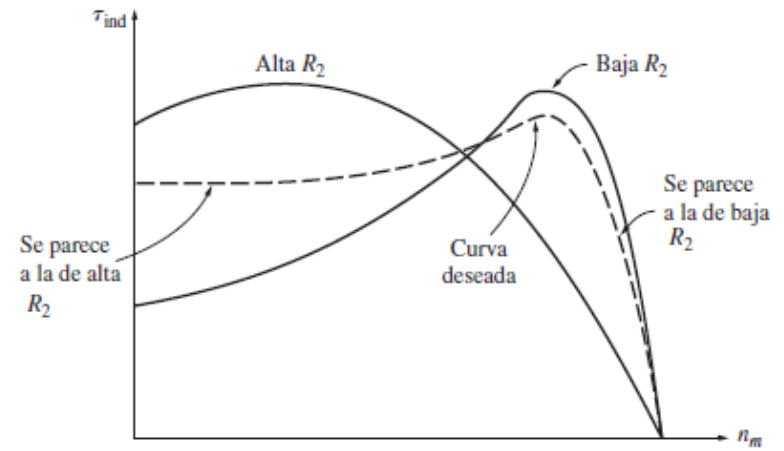
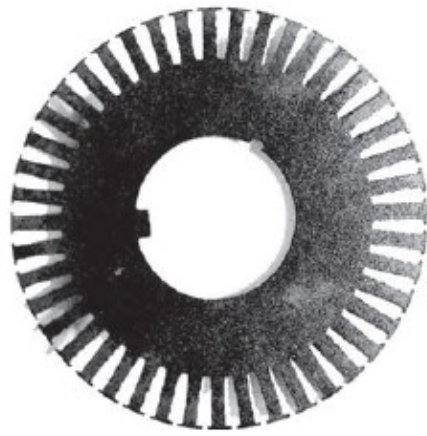


FIGURA 6-24 Curva característica par-velocidad que combina los efectos de alta resistencia a bajas velocidades (deslizamiento alto) con efectos de baja resistencia a altas velocidades (deslizamiento bajo).

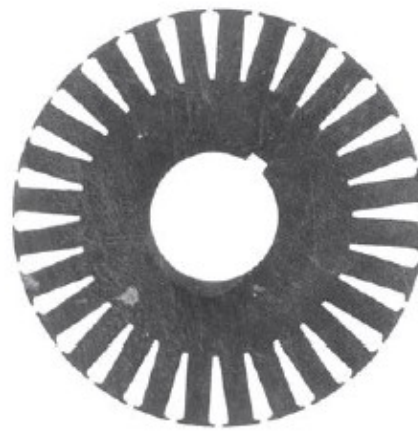
Modificación de las Características de un motor jaula de ardilla

- Control de las características del motor mediante el diseño del rotor de jaula de ardilla

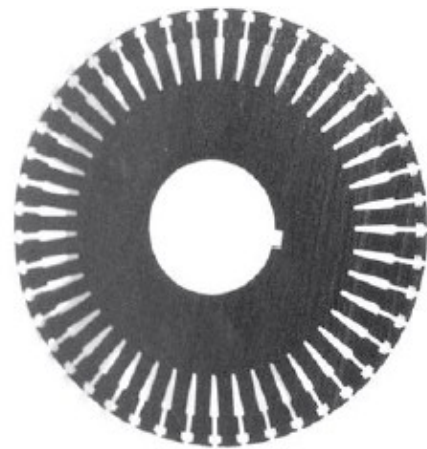
Control de las características del motor mediante el diseño del rotor de jaula de ardilla



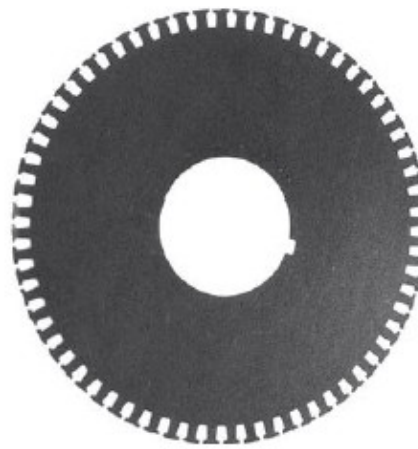
a)



b)



c)



d)

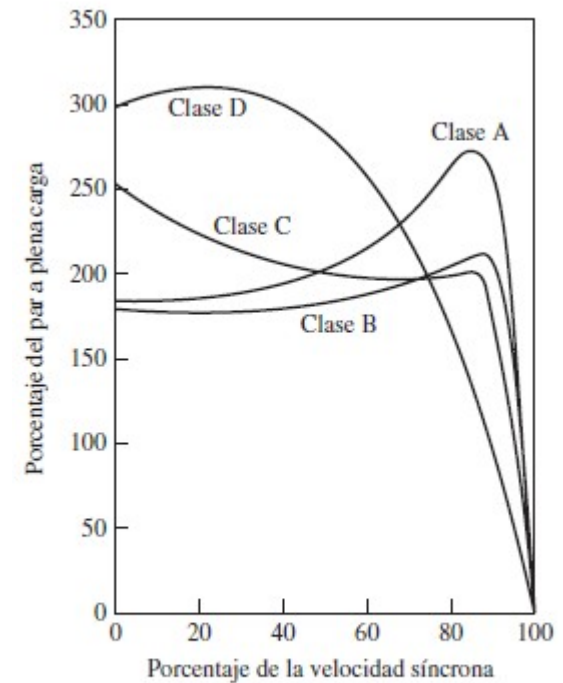


FIGURA 6-26 Curvas par-velocidad típicas para los diferentes diseños de rotor.

Diseños de rotores de barra profunda y de doble jaula

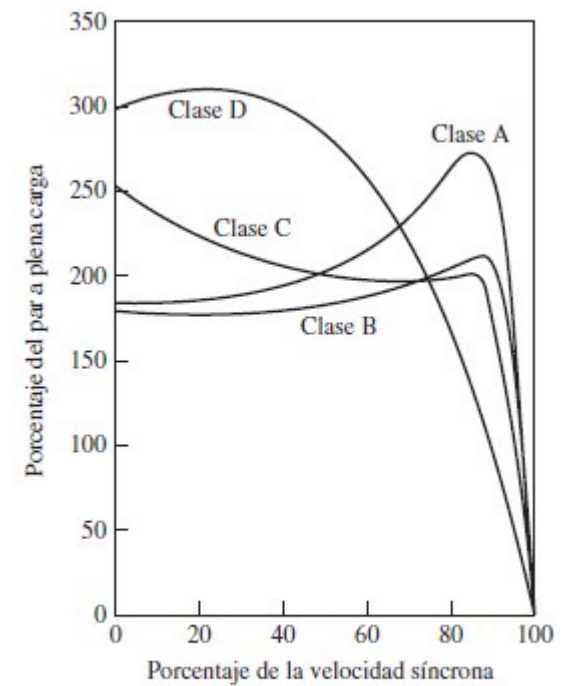
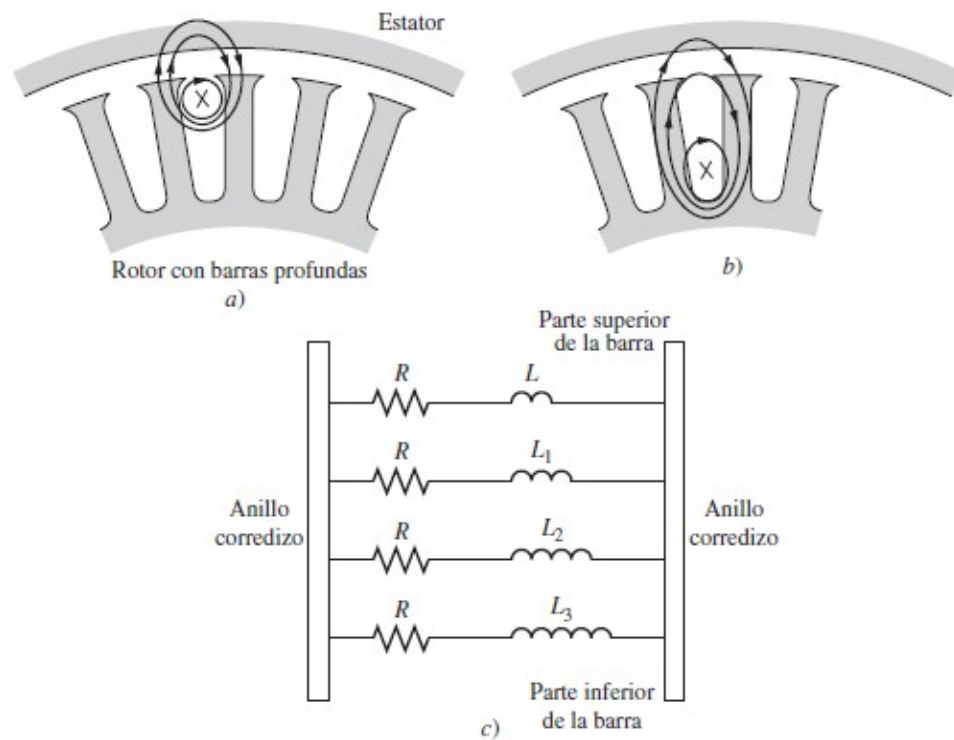


FIGURA 6-26 Curvas par-velocidad típicas para los diferentes diseños de rotor.

Control de Velocidad

- Mediante el cambio de n° de polos
- Mediante el cambio en la frecuencia de la línea
- Mediante el cambio del voltaje de línea
- Mediante el cambio de la resistencia del roto

Bibliografía

- Máquinas Eléctricas 5Ed- Stephen Chapman , capítulo 6 (Fragmentos del capítulo 3 y 5)
- Máquinas Eléctricas 5 Ed– Fraile Mora – Capítulo 2 y 4