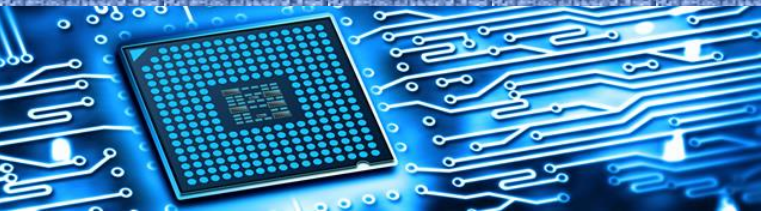




Máquinas Eléctricas

4.º nivel Ingeniería Electromecánica

Docentes: Dr. Ing. Diego M. Ferreyra || Ing. Pablo A. Ferrero



Máquinas e Instalaciones Eléctricas

4.º nivel Ingeniería Electrónica

Docentes: Dr. Ing. Diego M. Ferreyra || Esp. Ing. Raúl A. Beinotti

Unidad 04. Máquinas de inducción trifásicas

Presentación 1 (Cap. 6 Chapman)

Características principales de funcionamiento

$$n_{\text{sinc}} = \frac{120 f_e}{P} \quad (6-1)$$

$$n_{\text{sinc}} = \frac{60 \cdot f_e}{p}$$

$$n_{\text{des}} = n_{\text{sinc}} - n_m \quad (6-2)$$

$$s = \frac{n_{\text{des}}}{n_{\text{sinc}}}$$

$$s = \frac{n_{\text{sinc}} - n_m}{n_{\text{sinc}}}$$

$$n_m = (1 - s)n_{\text{sinc}} \quad (6-6)$$

$$\omega_m = (1 - s)\omega_{\text{sinc}} \quad (6-7)$$

$$f_r = s f_e \quad (6-8)$$

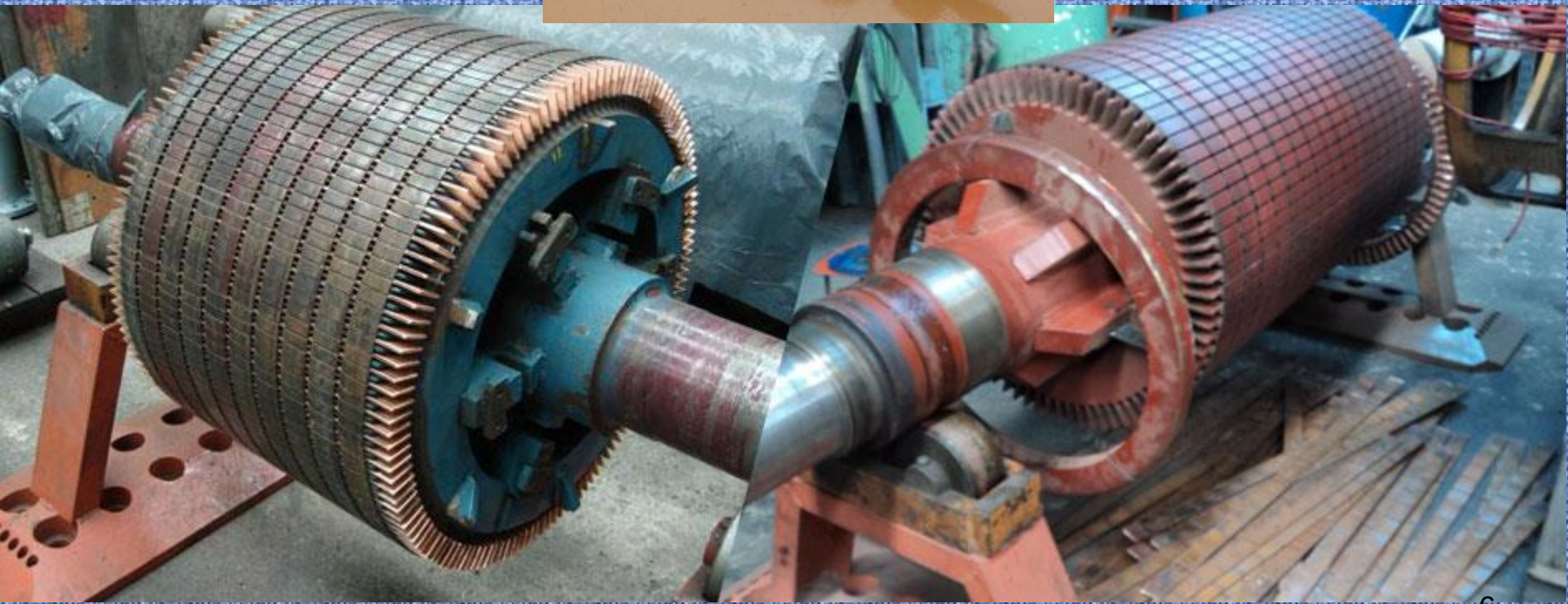
$$f_r = \frac{n_{\text{sinc}} - n_m}{n_{\text{sinc}}} f_e$$

EJEMPLO 6-1

Un motor de inducción de 208 V, 10 hp, cuatro polos, 60 Hz, conectado en Y, tiene un deslizamiento a plena carga de 5%.

- a) ¿Cuál es la velocidad síncrona del motor?
- b) ¿Cuál es la velocidad del rotor con carga nominal?
- c) ¿Cuál es la frecuencia del rotor con carga nominal?
- d) ¿Cuál es el par en el eje del motor con carga nominal?

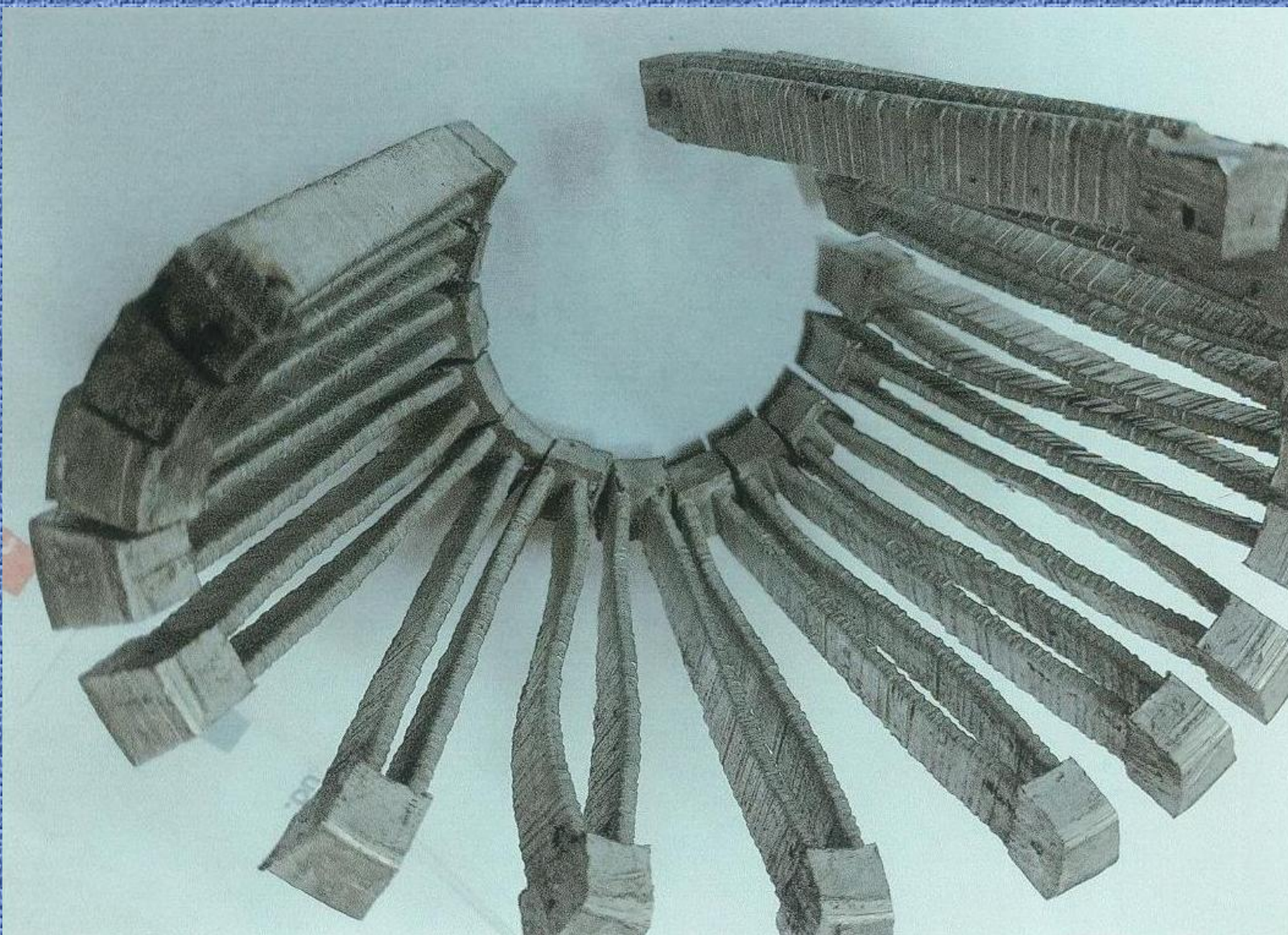
Detalles principales de fabricación del rotor



Ejemplos de rotores jaula de ardilla



Detalle de jaula de ardilla inyectada en aluminio (1)



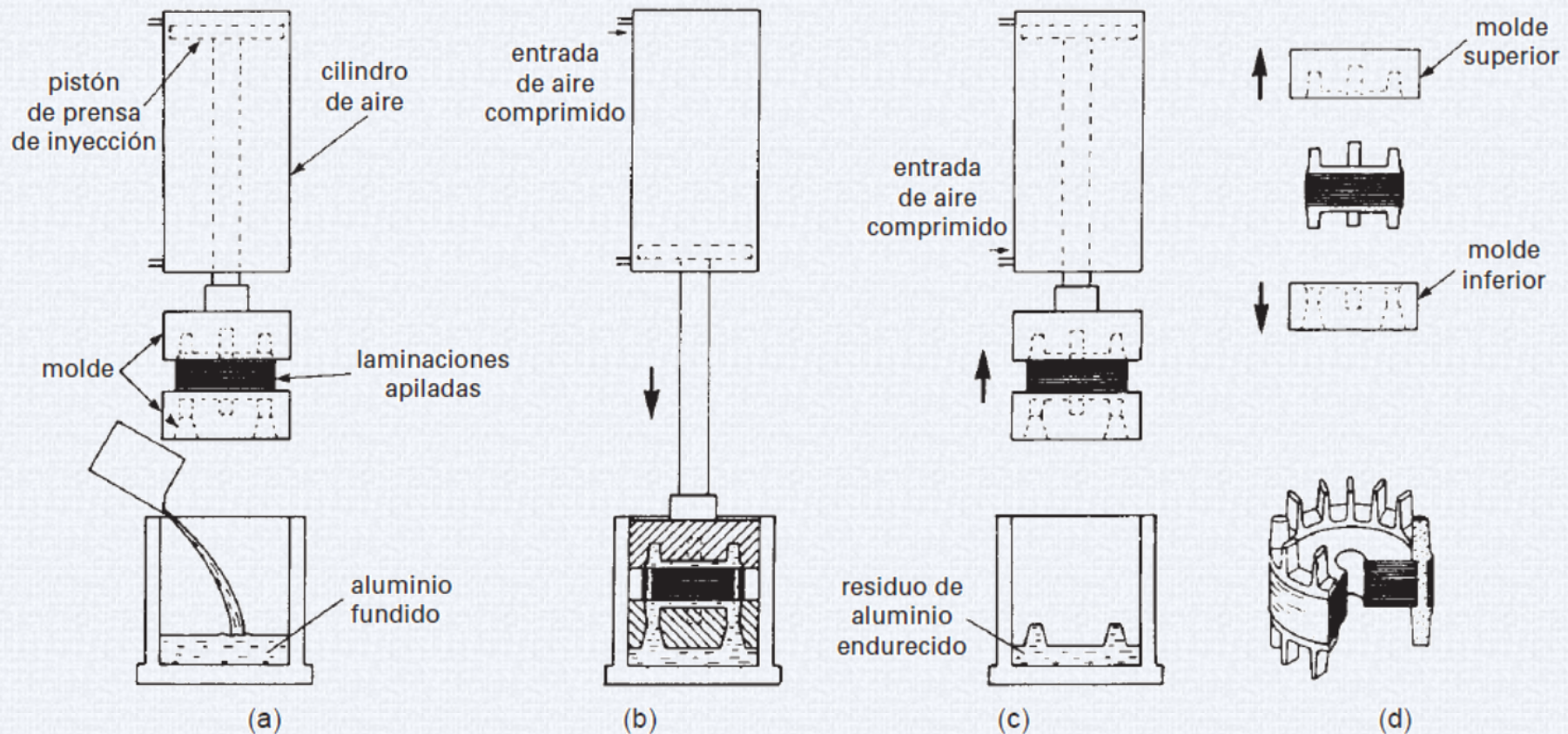
Detalle de jaula de ardilla inyectada en aluminio (2)



Rotores jaula de ardilla inyectados en ¿cobre?



Rotores jaula de ardilla inyectados en cobre



Representación con circuito equivalente

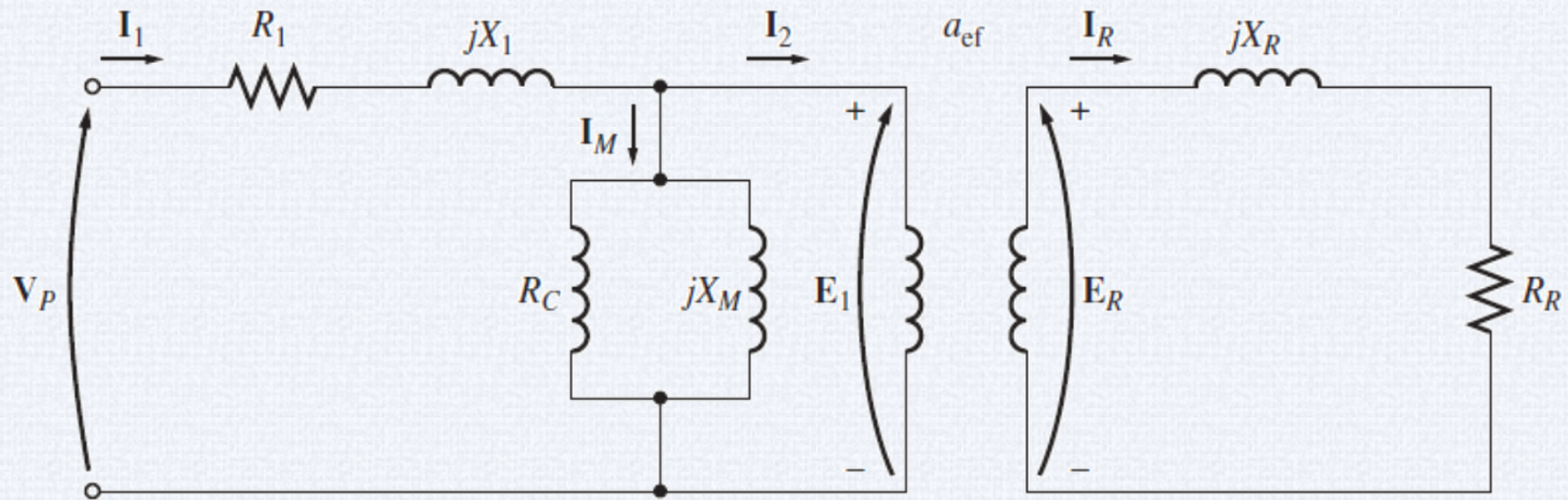


FIGURA 6-7 Modelo de transformador de un motor de inducción, con el rotor y el estator conectados por un transformador ideal con una relación de vueltas de a_{ef} .

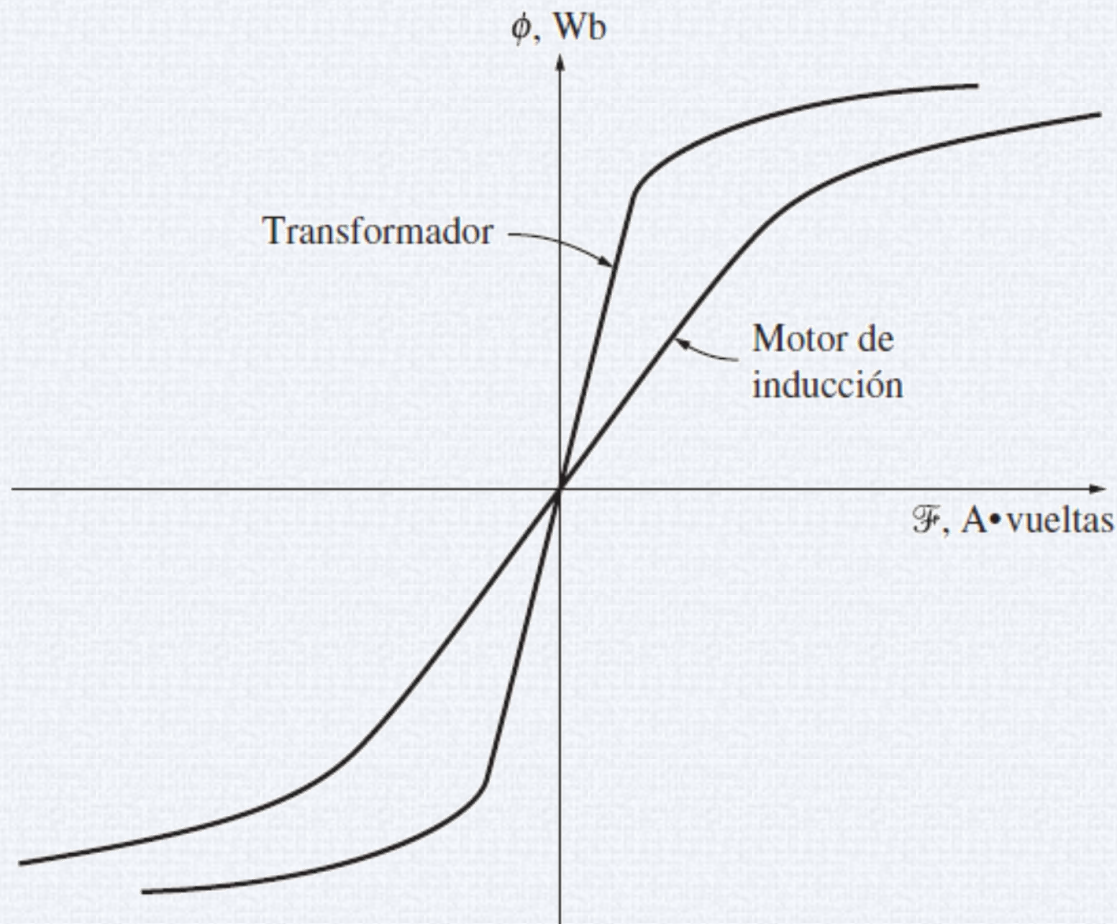


FIGURA 6-8 Curva de magnetización de un motor de inducción en comparación con la de un transformador.

Rama paralelo: corriente de magnetización

$$\mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}_R}{R_R + jsX_{R0}} \quad (6-12)$$

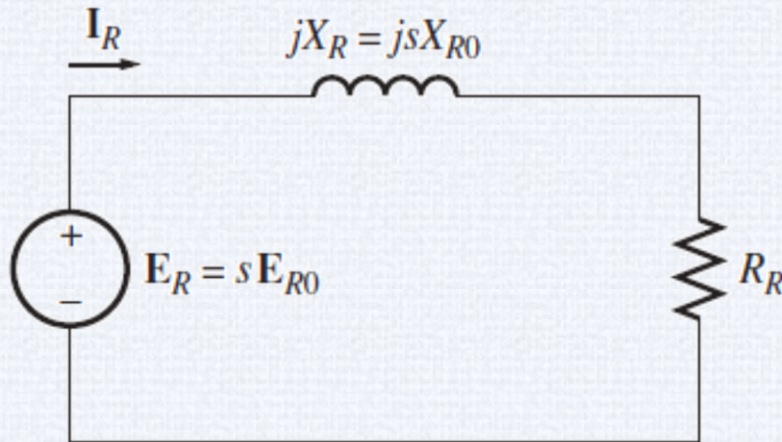


FIGURA 6-9 Modelo de circuito de rotor de un motor de inducción.

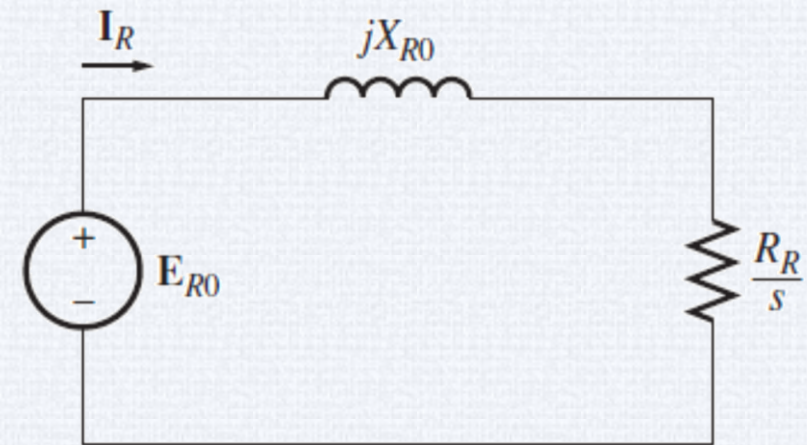


FIGURA 6-10 Modelo del circuito de rotor con todos los efectos de frecuencia (deslizamientos) concentrados en el resistor R_R .

$$\mathbf{I}_R = \frac{\mathbf{E}_{R0}}{R_R/s + jX_{R0}} \quad (6-13)$$

Circuito equivalente del rotor

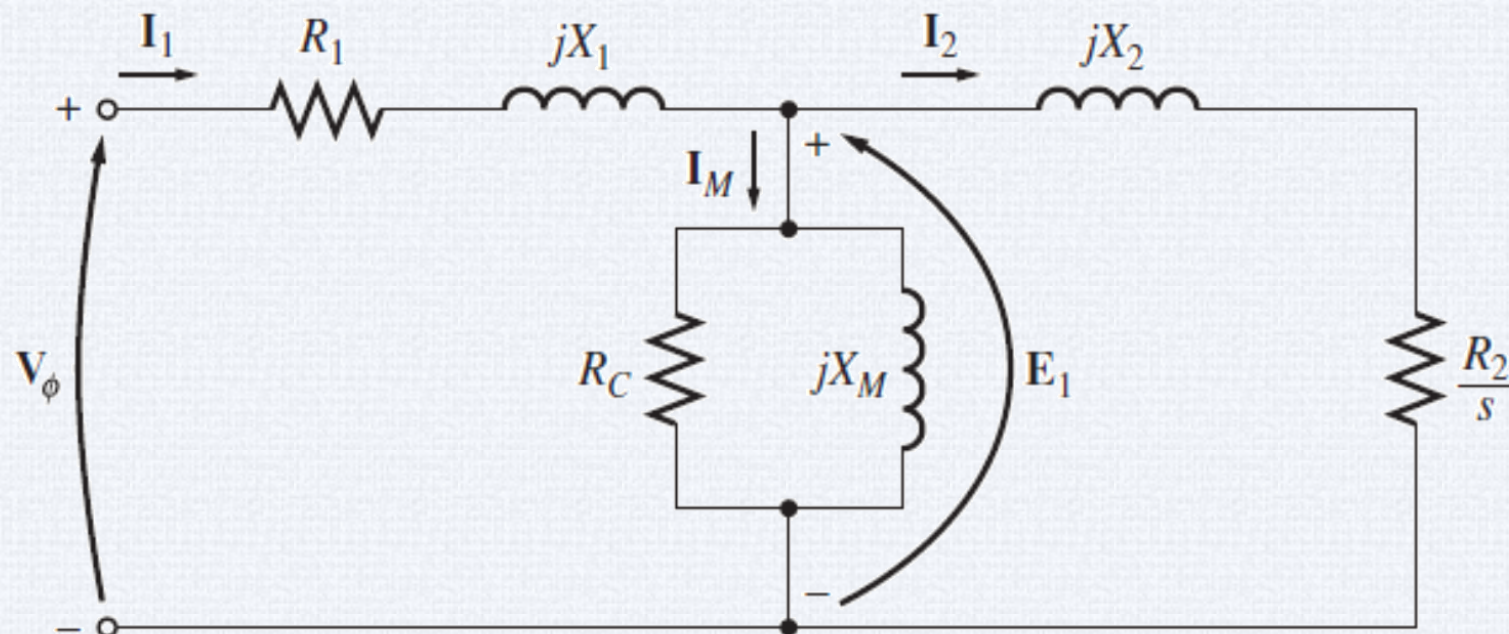


FIGURA 6-12 Circuito equivalente por fase de un motor de inducción.

$$R_2 = a_{\text{ef}}^2 R_R \quad (6-21)$$

$$X_2 = a_{\text{ef}}^2 X_{R0} \quad (6-22)$$

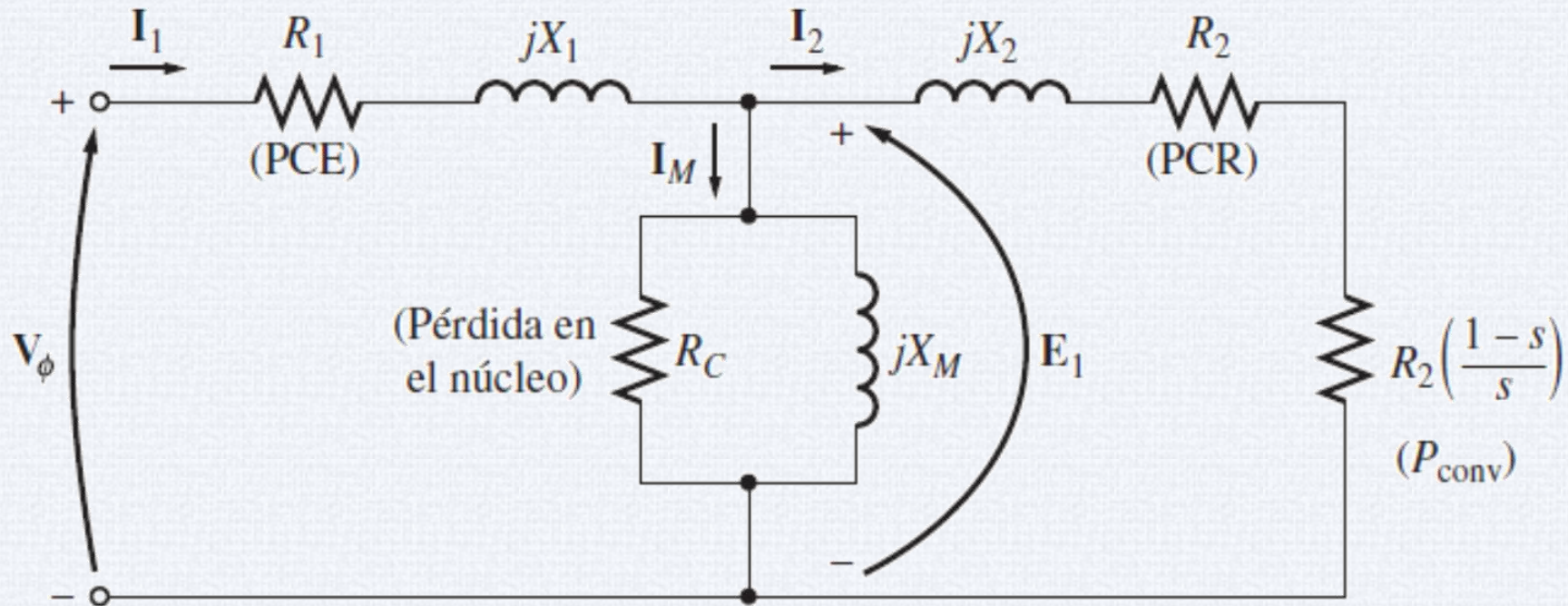


FIGURA 6-14 Circuito equivalente por fase con pérdidas en el rotor y $P_{núcl}$ separadas.

Circuito equivalente: pérdidas y potencia convertida

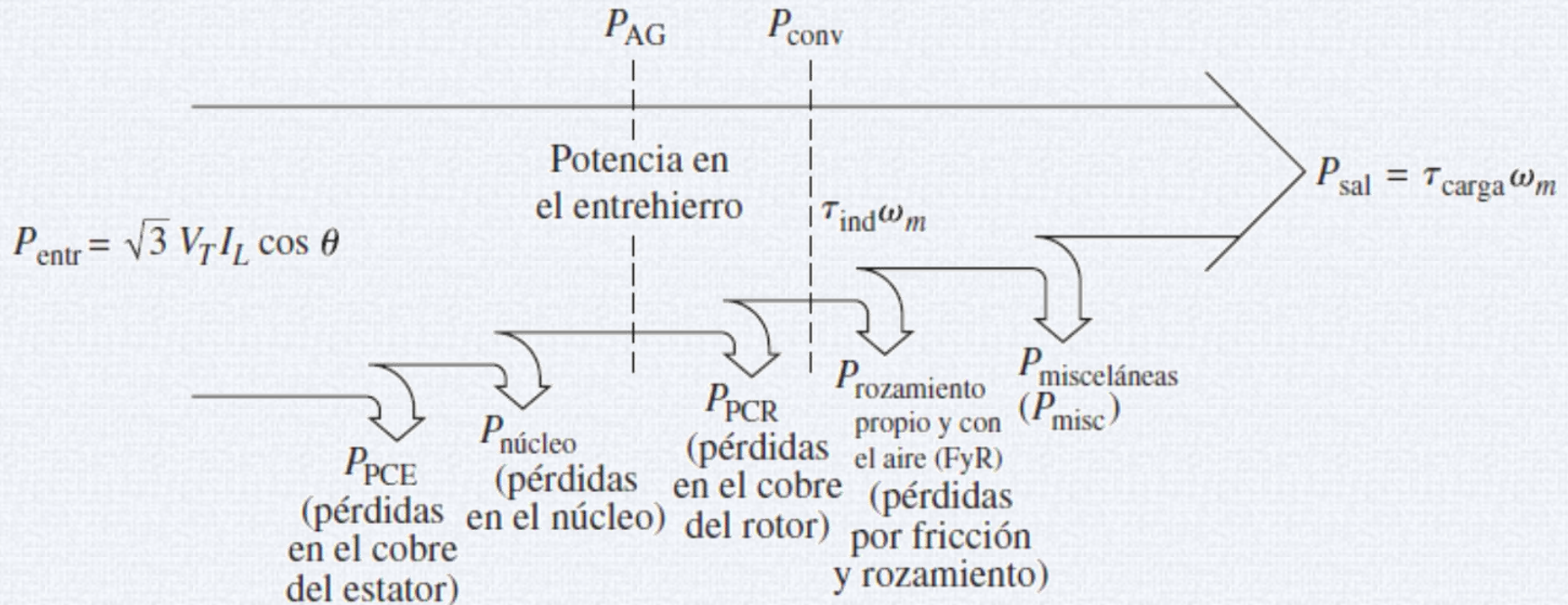
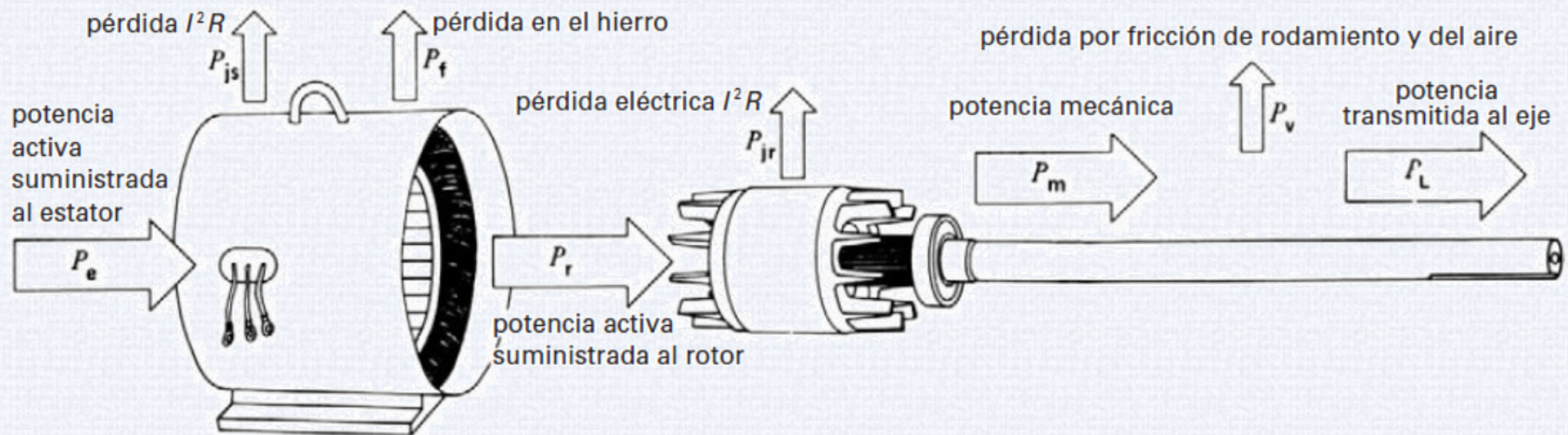


FIGURA 6-13 Diagrama de flujo de potencia de un motor de inducción.



Ref.: Wildi

EJEMPLO 6-2

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:

- Potencia en el entrehierro P_{EH}
- Potencia convertida P_{conv}
- Potencia de salida P_{sal}
- Eficiencia del motor

EJEMPLO 6-3

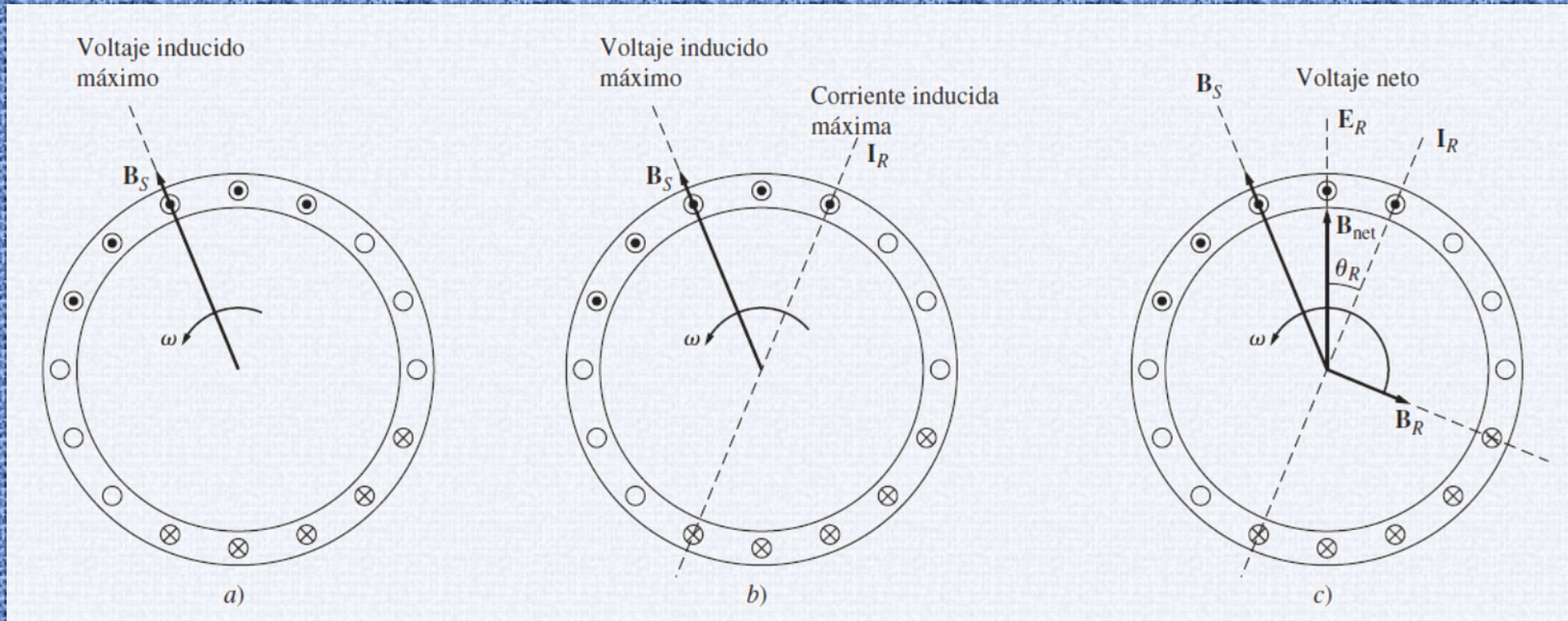
Un motor de inducción con cuatro polos, de 460 V, 25 hp, 60 Hz, conectado en Y, tiene las siguientes impedancias en ohms por fase referidas al circuito del estator:

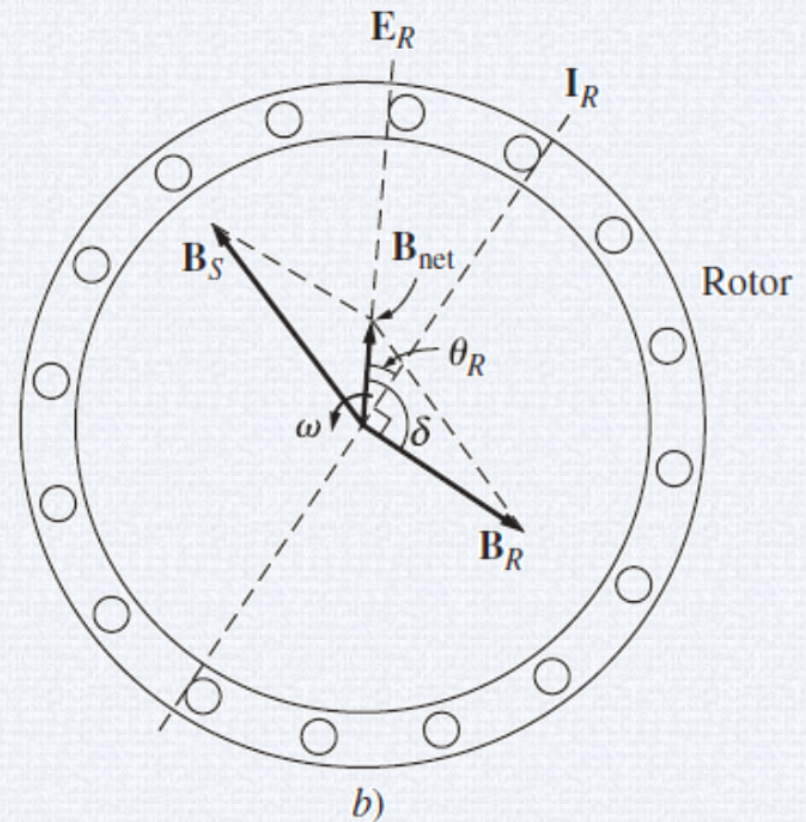
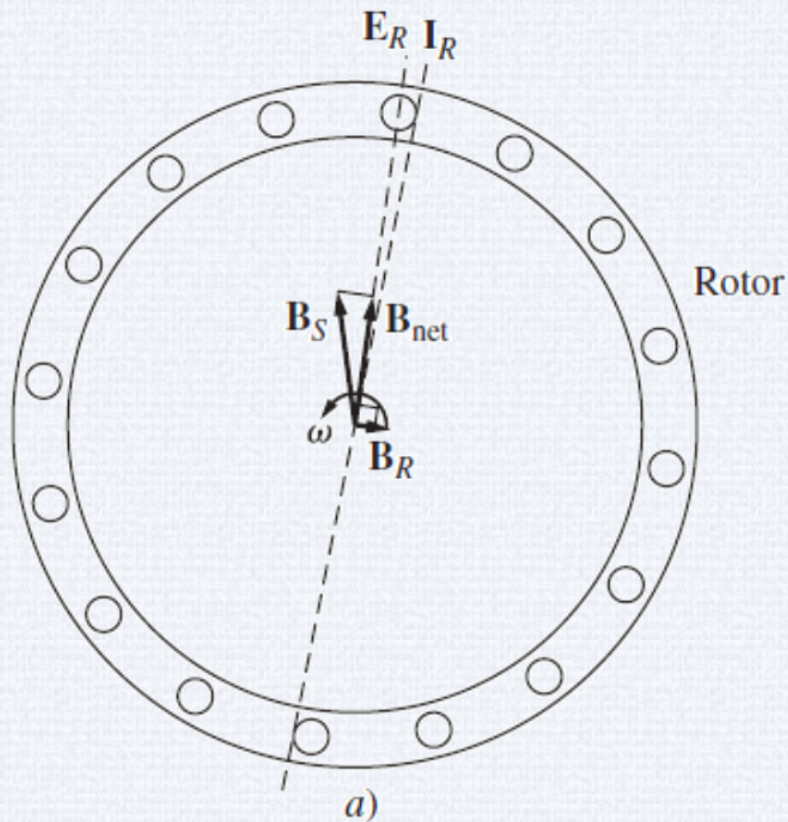
$$\begin{aligned} R_1 &= 0.641 \, \Omega & R_2 &= 0.332 \, \Omega \\ X_1 &= 1.106 \, \Omega & X_2 &= 0.464 \, \Omega & X_M &= 26.3 \, \Omega \end{aligned}$$

Las pérdidas por rotación totales son de 1 100 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:

- Velocidad
- Corriente del estator
- Factor de potencia
- P_{conv} y P_{sal}
- τ_{ind} y τ_{carga}
- Eficiencia

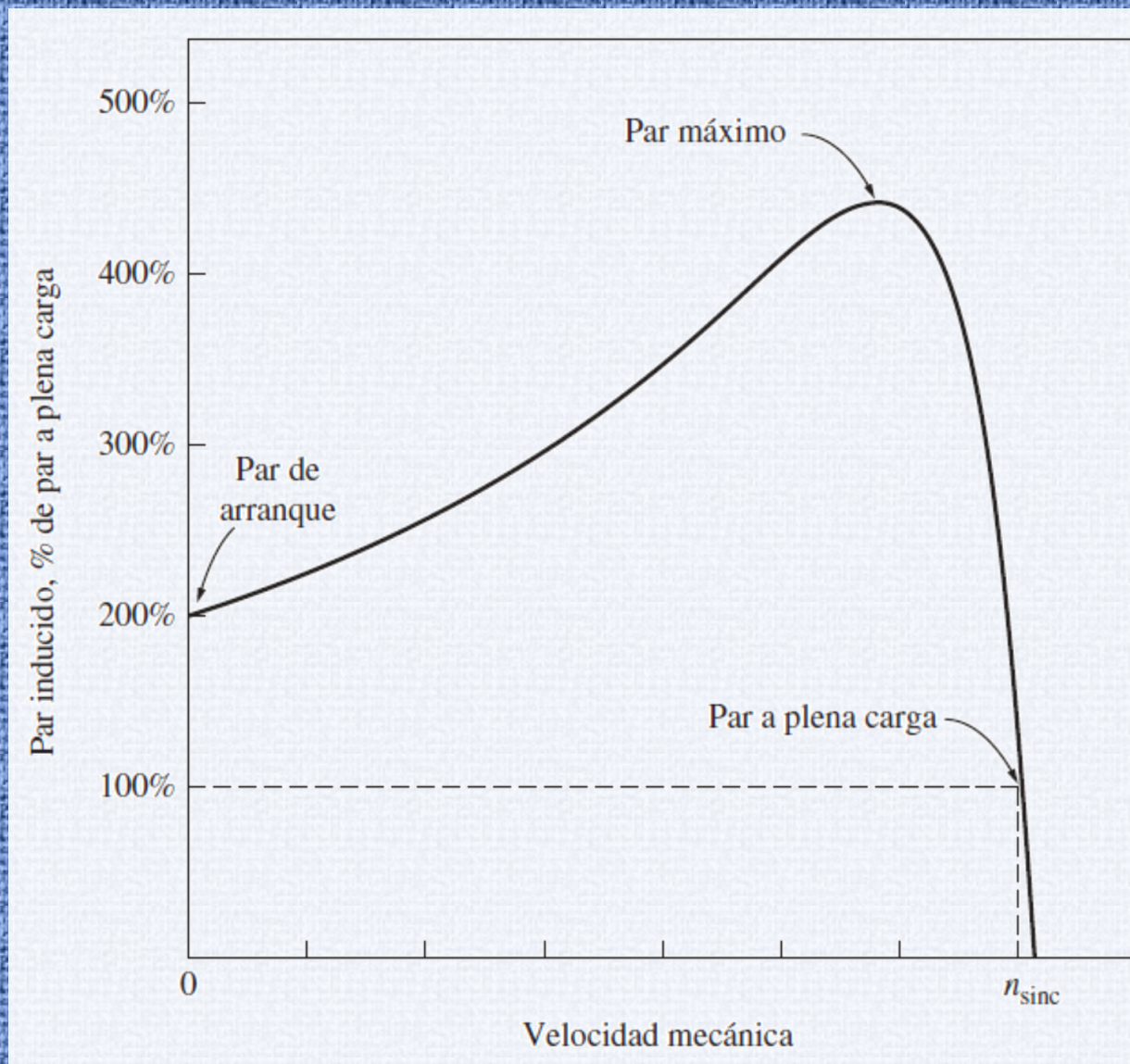
Producción de par y curvas características par-velocidad

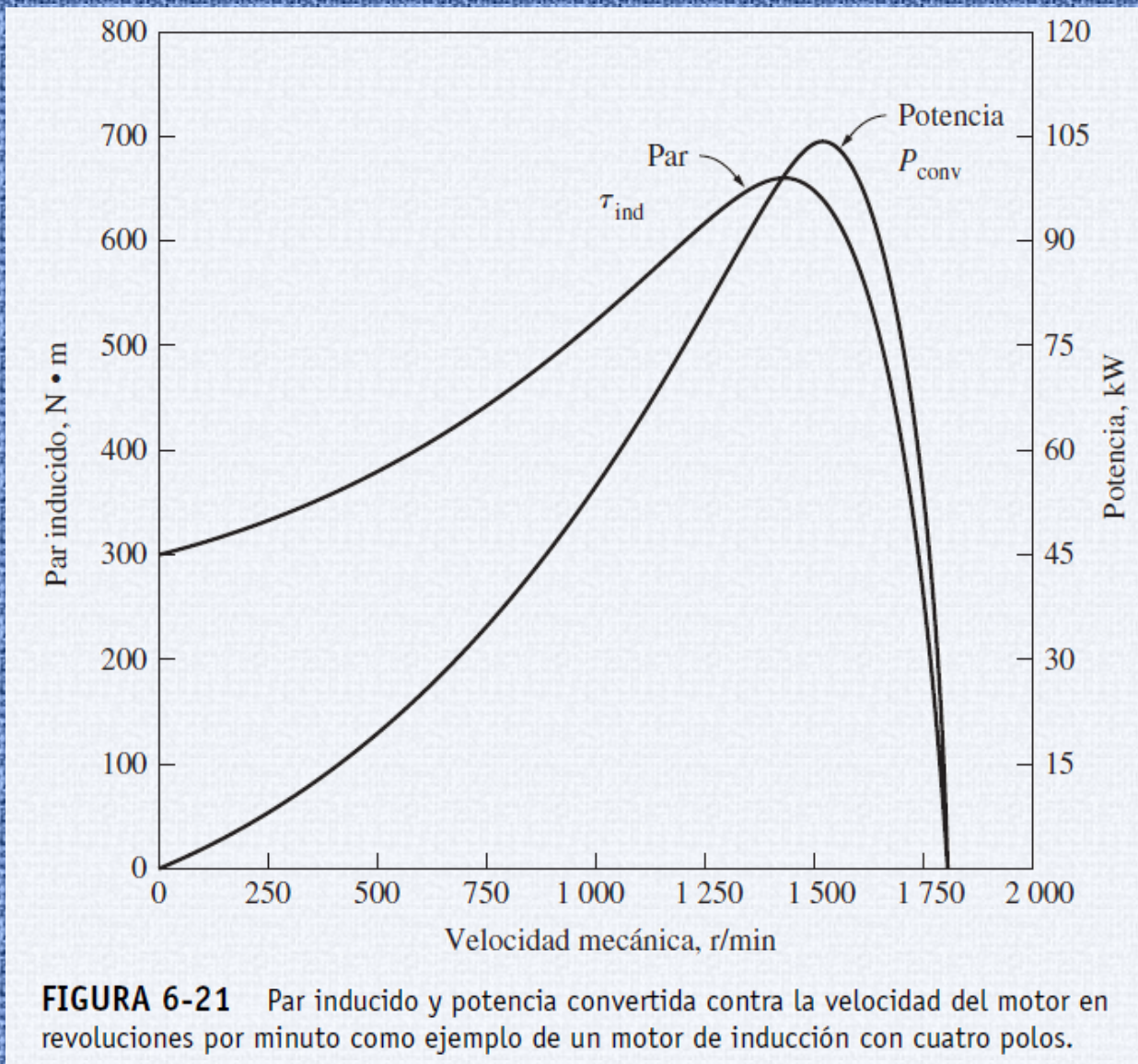


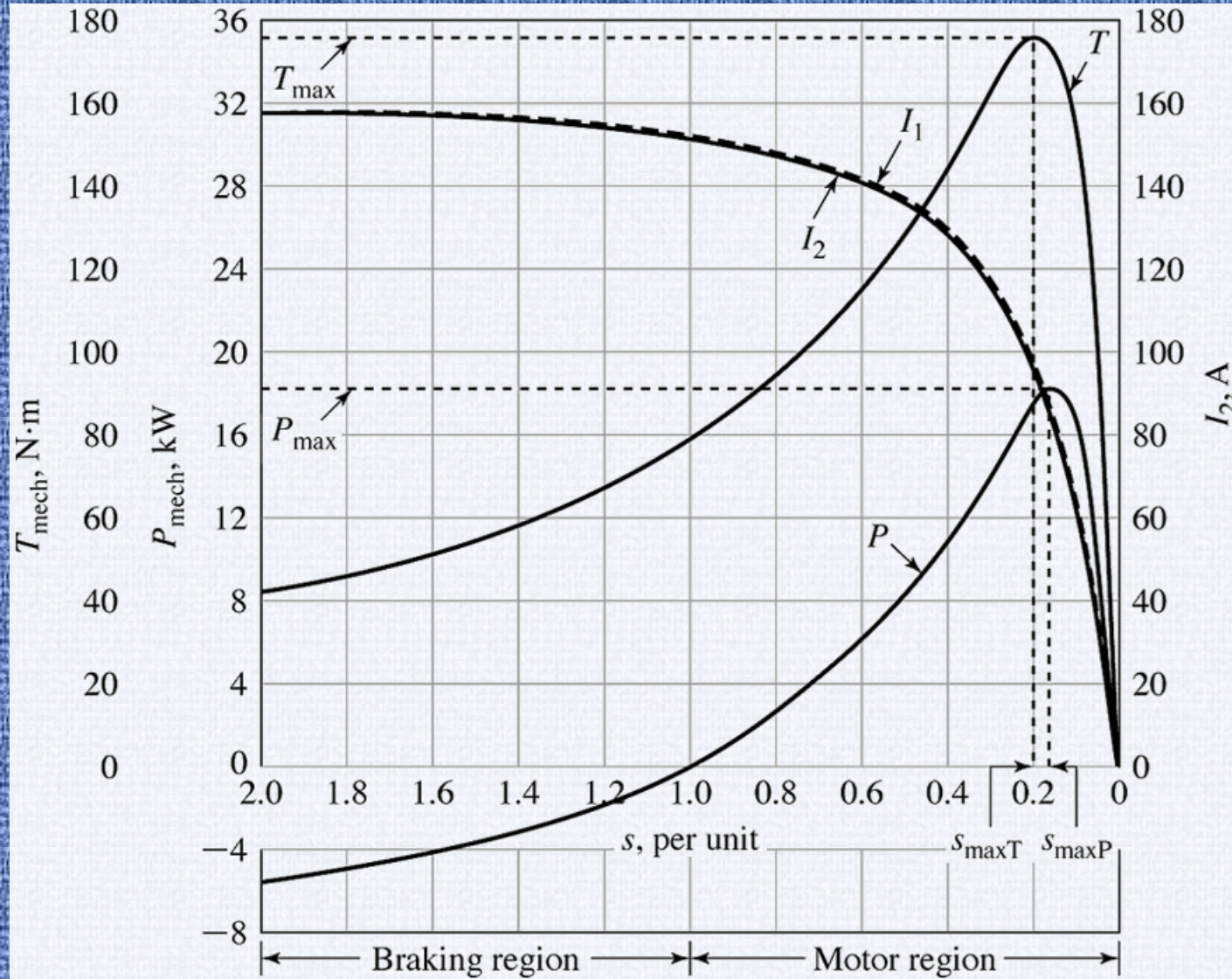


$$\tau_{ind} = k B_R \times B_{net} \quad (3-60)$$

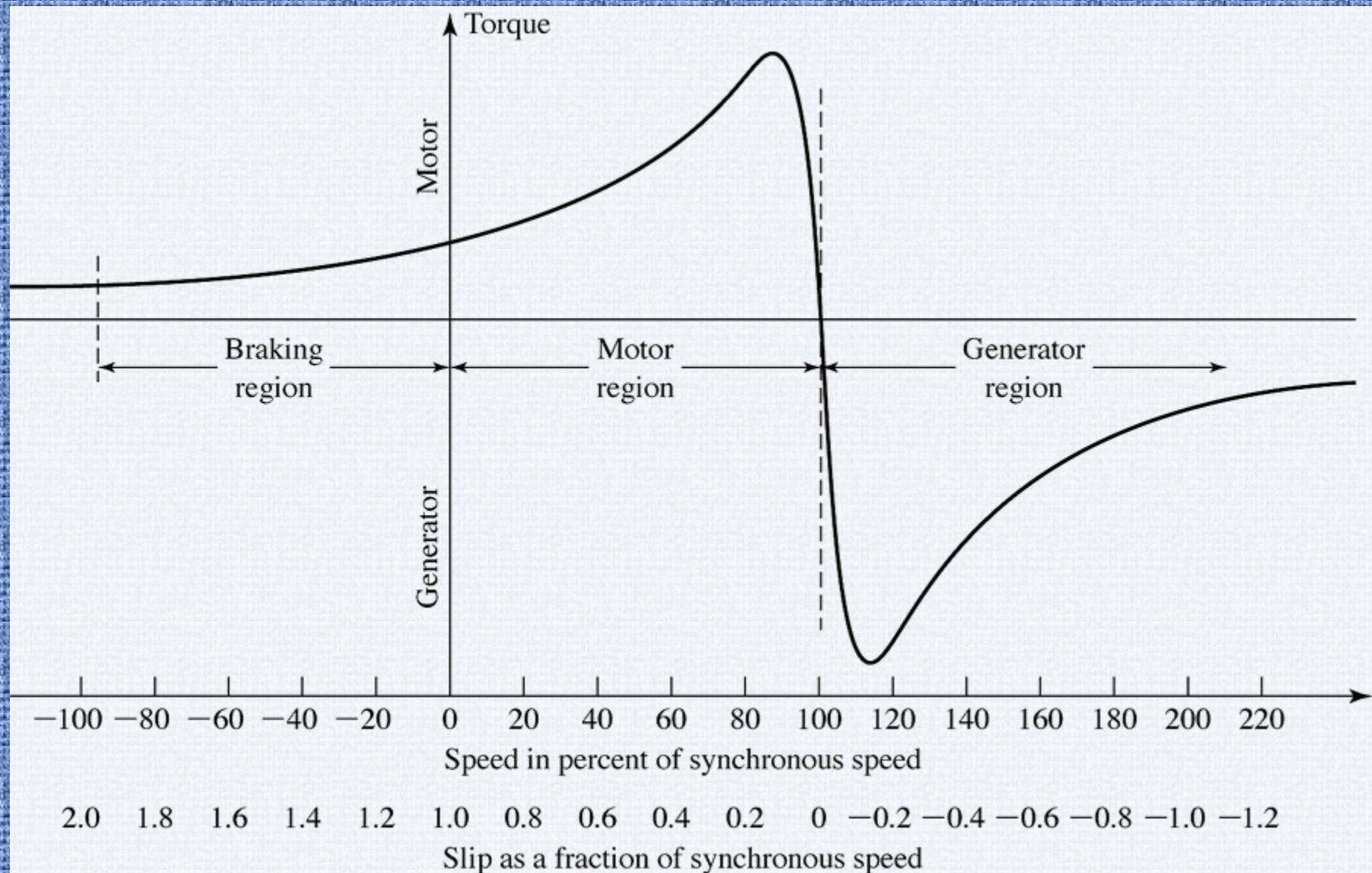
$$\tau_{ind} = k B_R \times B_{net} \sin \delta \quad (3-61)$$







Curva de funcionamiento incluyendo frenado



Curva de funcionamiento con frenado y generación

EJEMPLO 6-4

Un motor de inducción con dos polos y 50 Hz suministra 15 kW a una carga a una velocidad de 2 950 r/min.

- a) ¿Cuál es el deslizamiento del motor?
- b) ¿Cuál es el par inducido en el motor en $\text{N} \cdot \text{m}$ en estas condiciones?
- c) ¿Cuál es la velocidad de operación del motor si se duplica el par?
- d) ¿Cuánta potencia suministra el motor cuando se duplica el par?

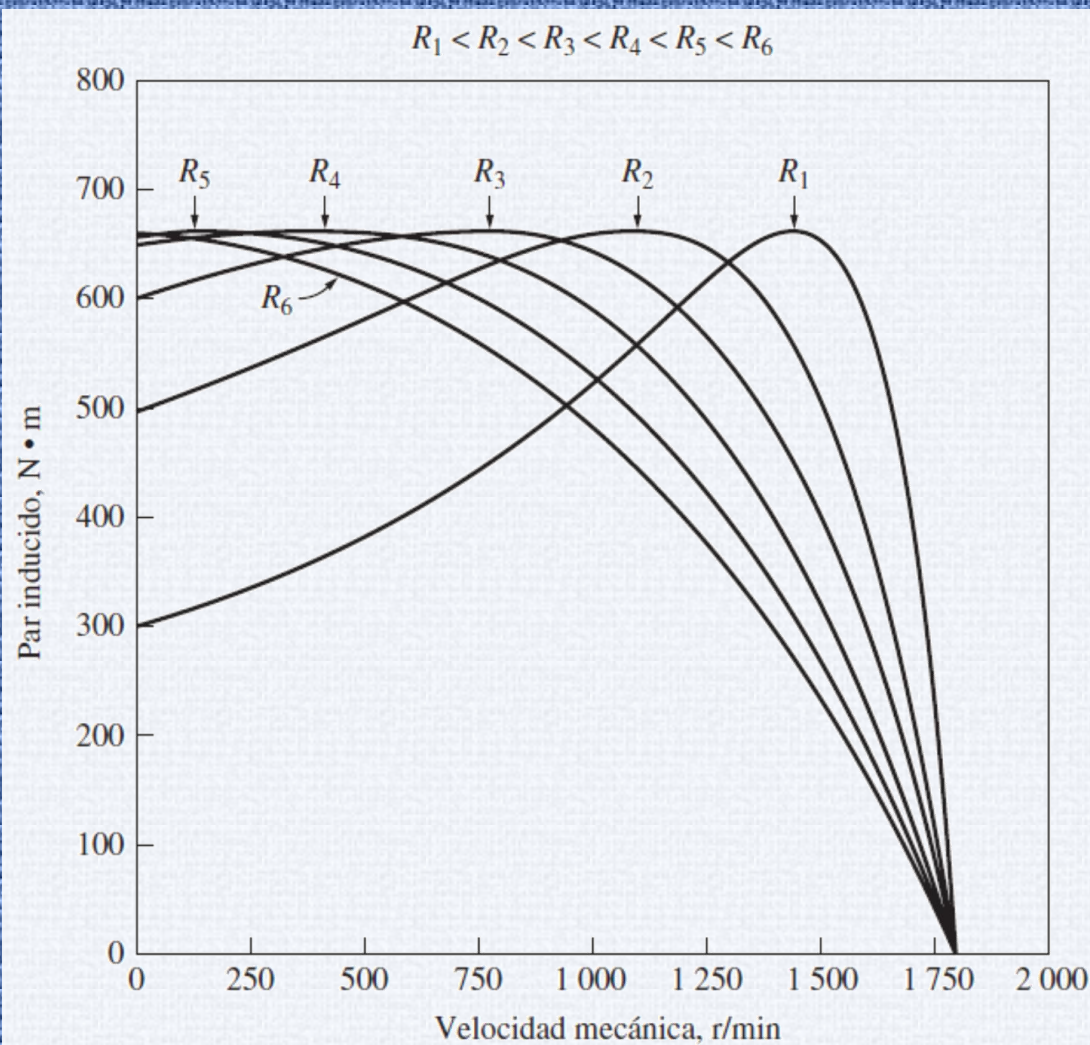


FIGURA 6-22 Efecto del cambio de la resistencia del rotor en la característica par-velocidad de un motor de inducción con rotor devanado.

Variación de la curva en función de R_2

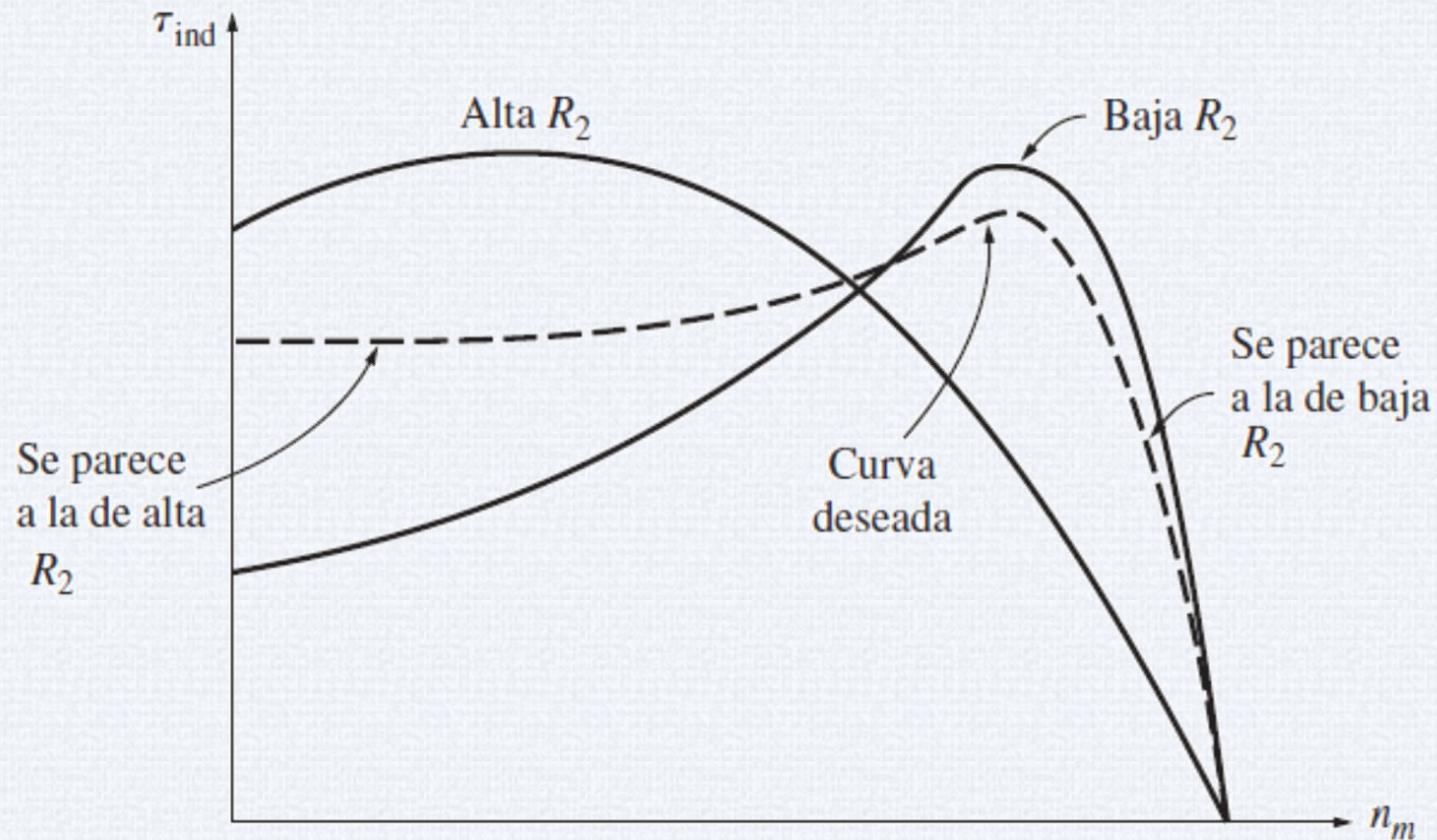
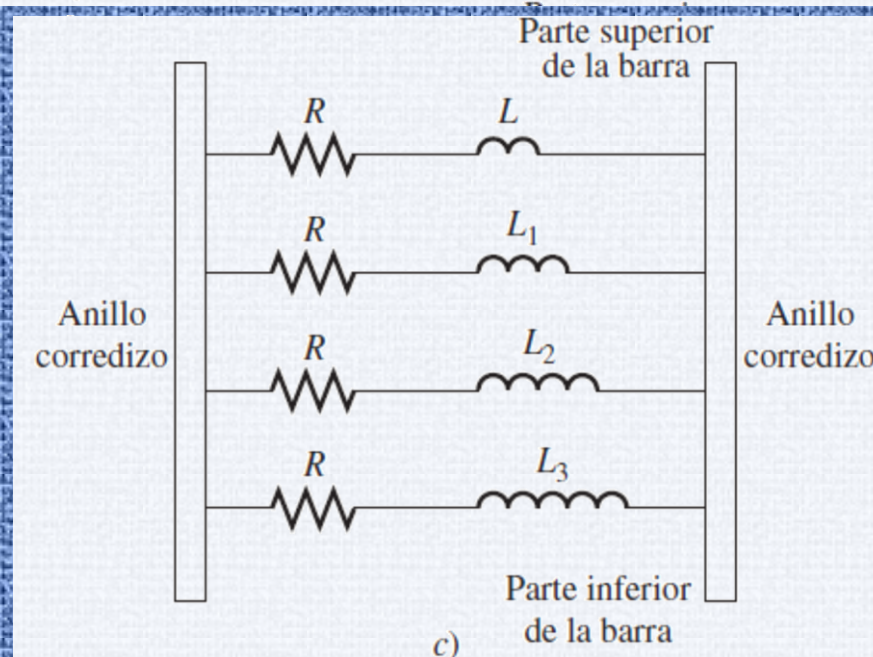
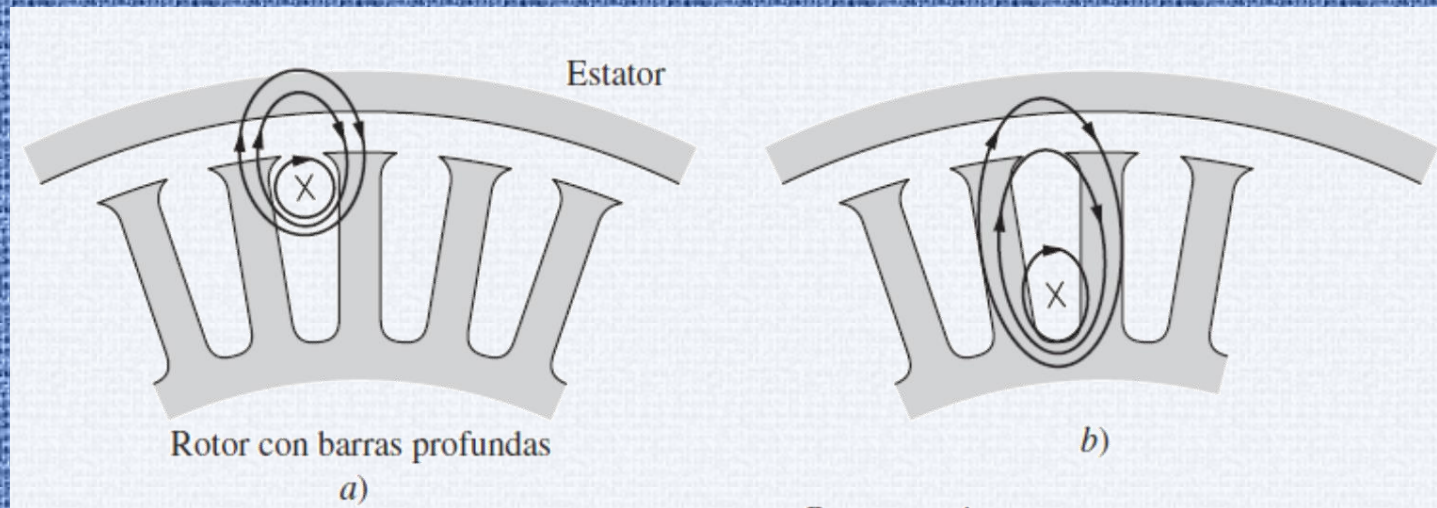
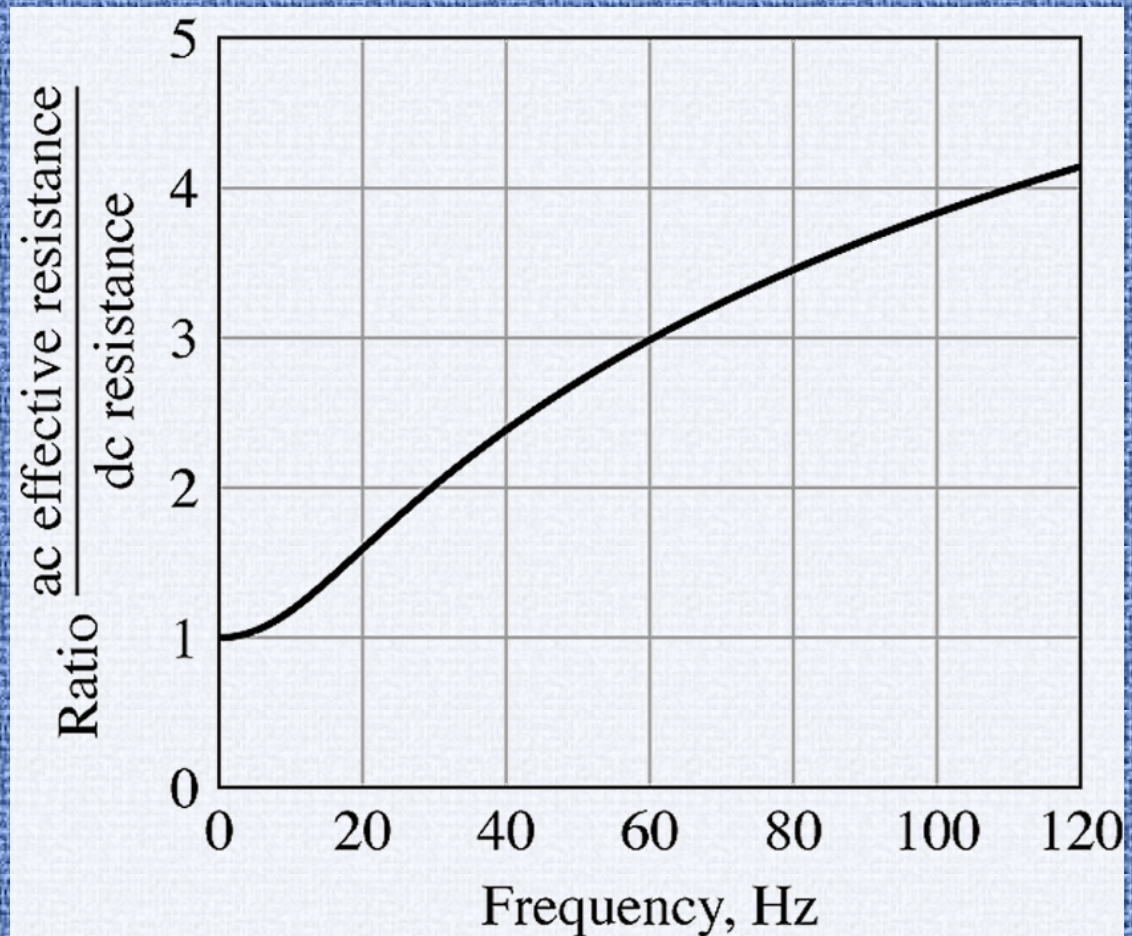
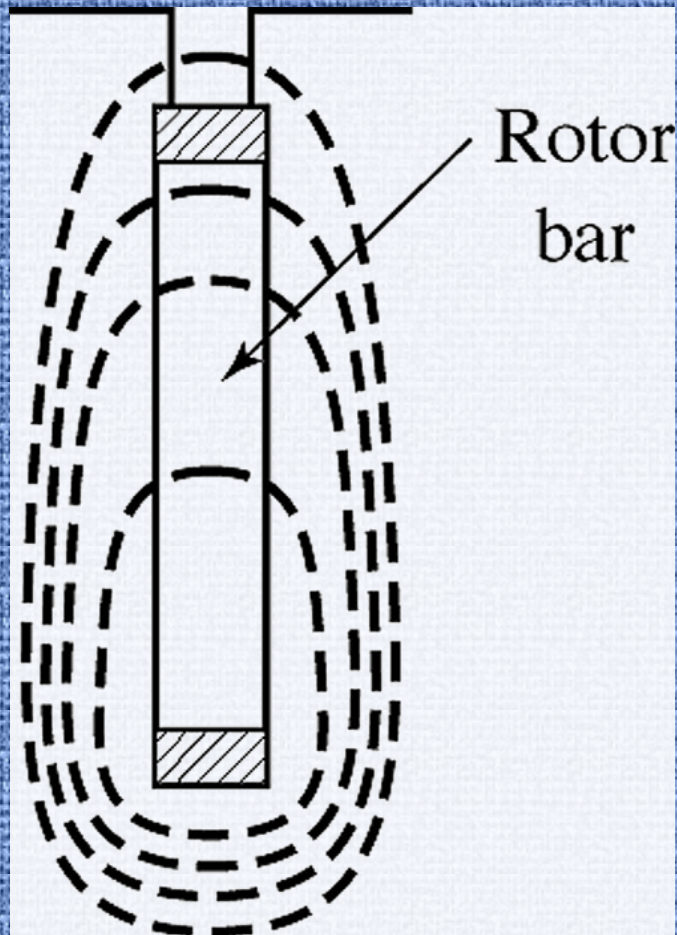


FIGURA 6-24 Curva característica par-velocidad que combina los efectos de alta resistencia a bajas velocidades (deslizamiento alto) con efectos de baja resistencia a altas velocidades (deslizamiento bajo).

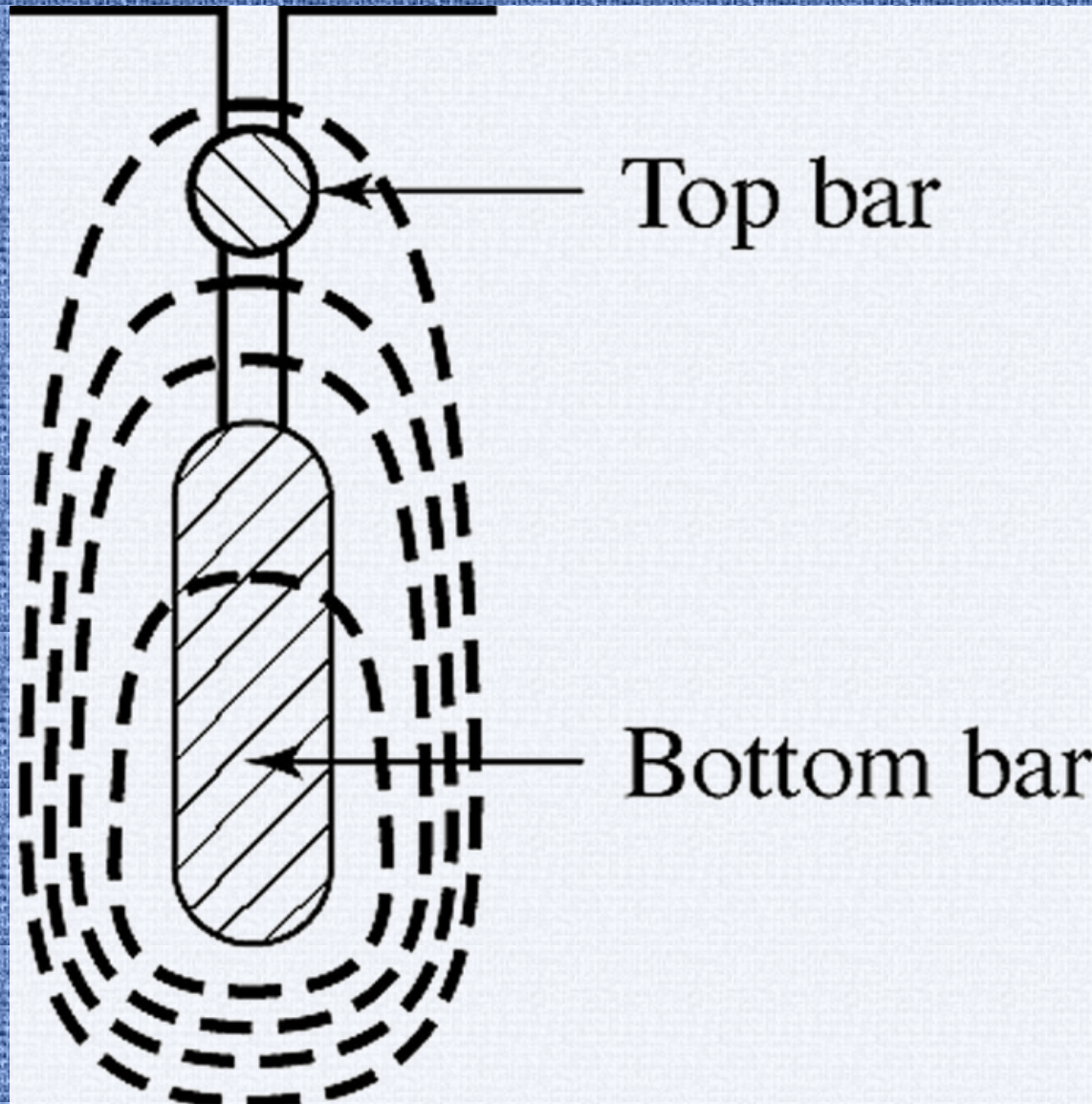
Curva intermedia deseada



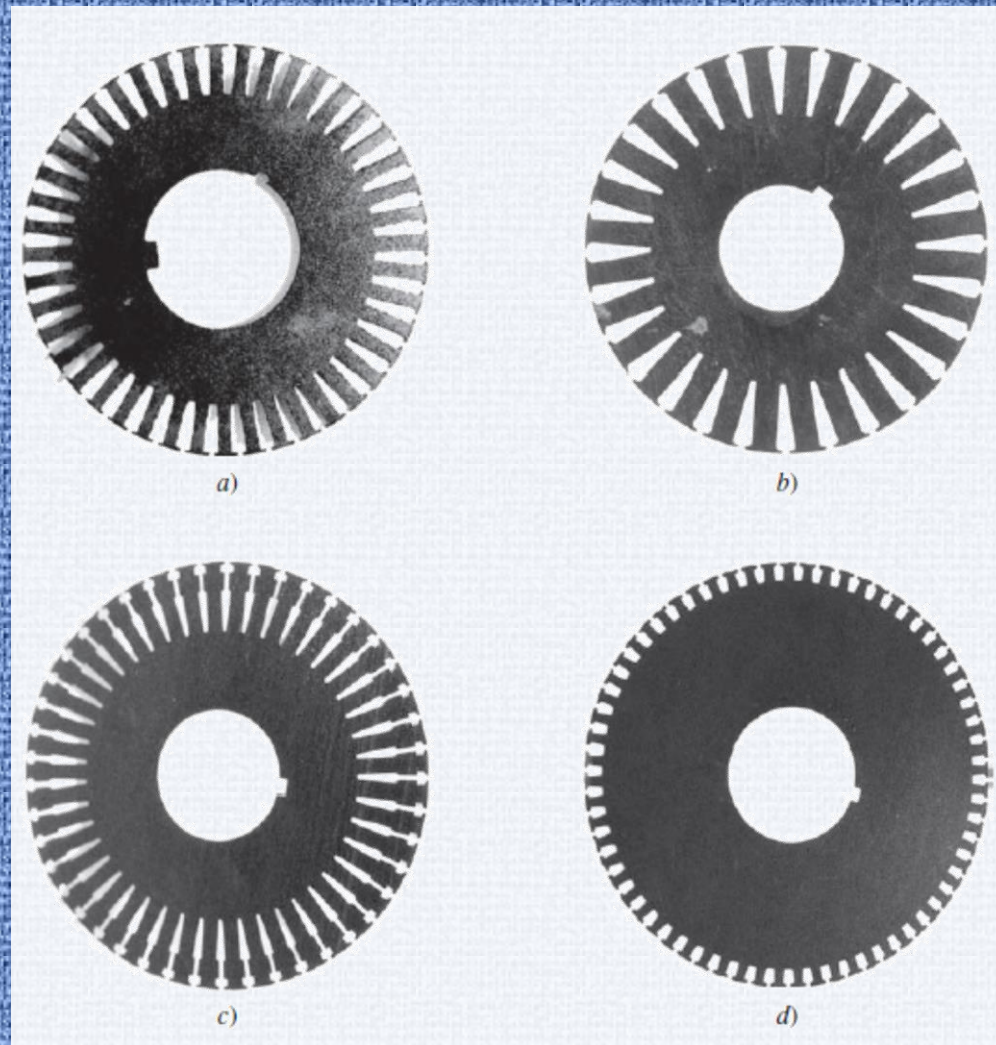
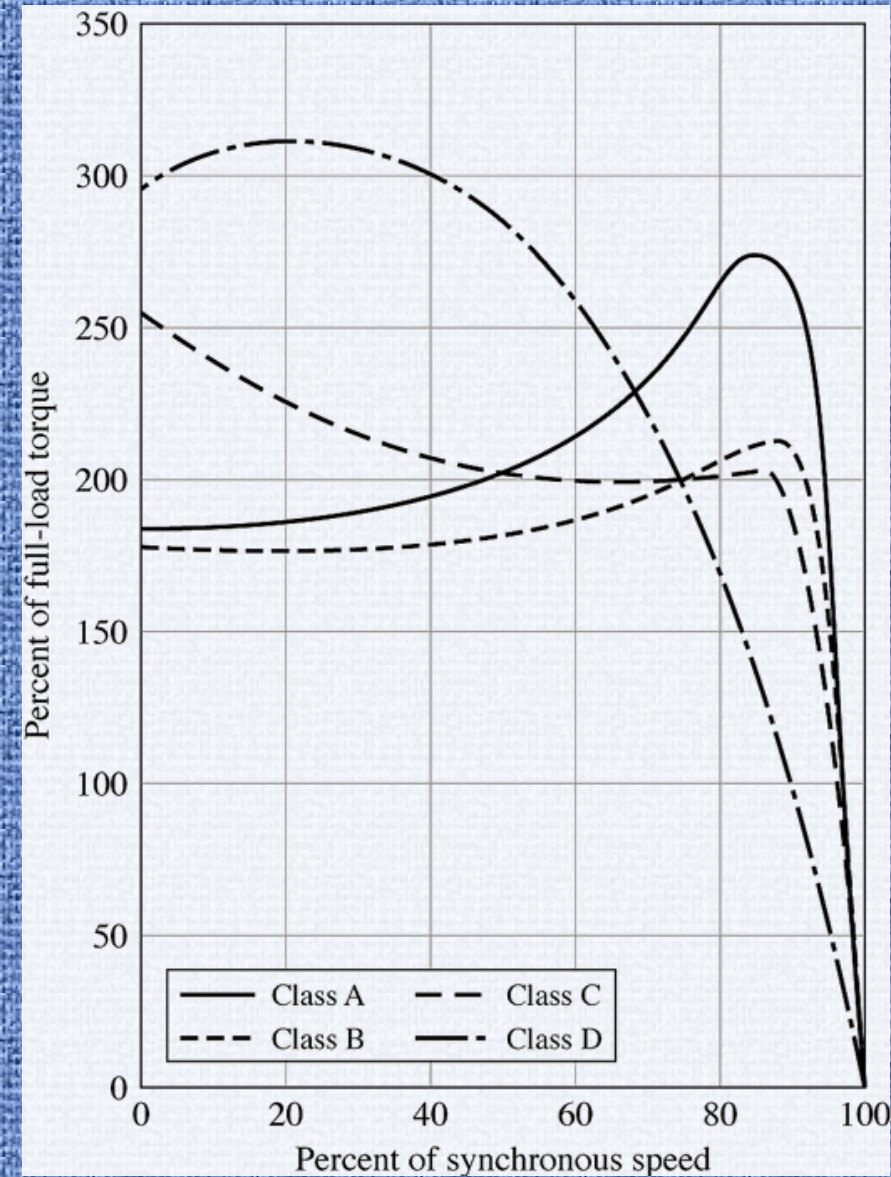
Esquemas de jaula con ranura profunda



Variación de R_2 en función de la frecuencia



Esquemas de doble jaula

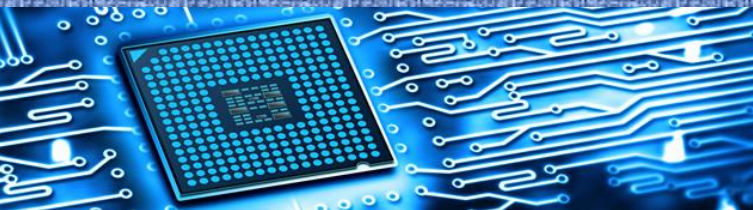


Curvas de funcionamiento normalizadas

Gracias por su atención



Máquinas Eléctricas
4.º nivel Ingeniería Electromecánica



Máquinas e Instalaciones Eléctricas
4.º nivel Ingeniería Electrónica