



## Introducción

### Detalles de construcción:

Estator; Rotor; Forma de las ranuras del rotor.

### Pauta de cálculo:

Inducción en el entrehierro (B);

Capa de corriente (A);

Número de polos (p);

Diámetro (D);

Longitud (L);

Longitud del entrehierro (g).

### Cálculo del estator:

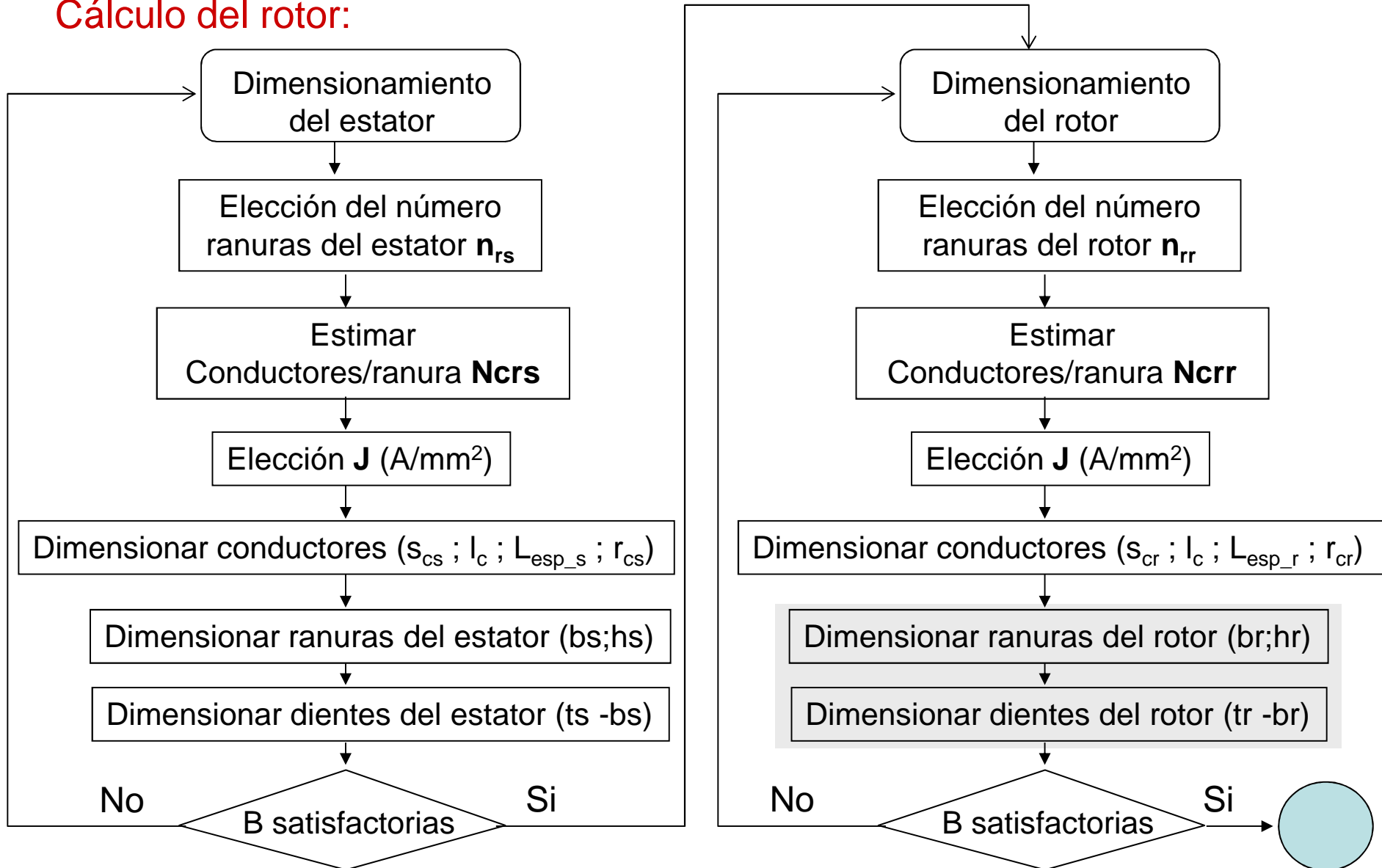
Número de ranuras y dimensiones de las mismas; Devanado.

### Cálculo del rotor:

Número de ranuras y dimensiones de las mismas; Anillo de cortocircuito.

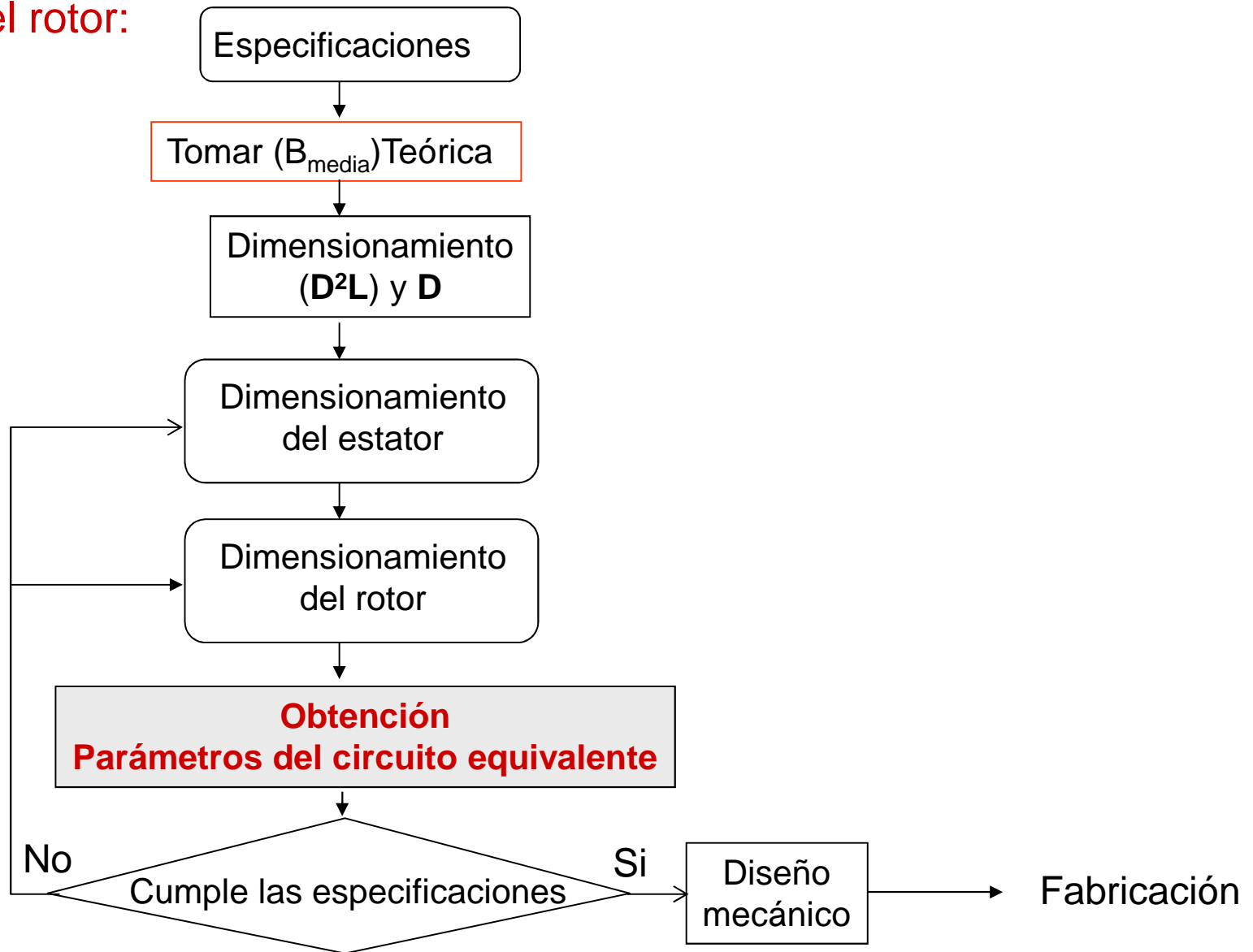


Cálculo del rotor:





Cálculo del rotor:





Tema IV Diseño de máquinas asíncronas

Cálculo del rotor:

Corriente: Barras del rotor y anillo de cortocircuito.

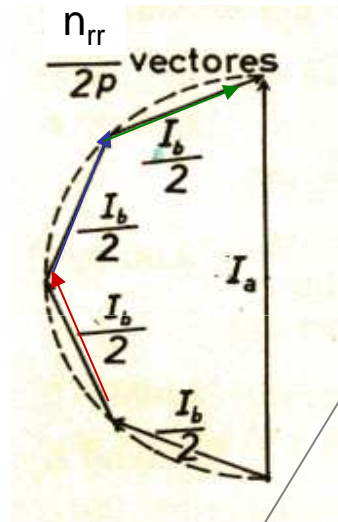


Fig. 2.06.08 b. Corriente en un anillo como suma geométrica de las corrientes de las barras por polo.

$$\frac{I_a \pi}{2} = \sum \frac{I_b}{2} = \frac{n_{rr}}{2p} \frac{I_b}{2}$$

$$r_a = \frac{2 \rho \pi D_{\text{medio\_anillos}}}{S_{\text{anillo}}} K_R$$

Pérdidas: Barras del rotor y anillo de cortocircuito.

$$I_a^2 r_a + I_b^2 r_b = \left( \frac{\rho n_{rr} L_b}{S_{b\_total}} + \frac{2 \rho D_{\text{medio\_anillo}} n_{rr}^2}{4\pi p^2 S_{\text{anillo}}} K_R \right) I_b^2 = I_b^2 R_r$$

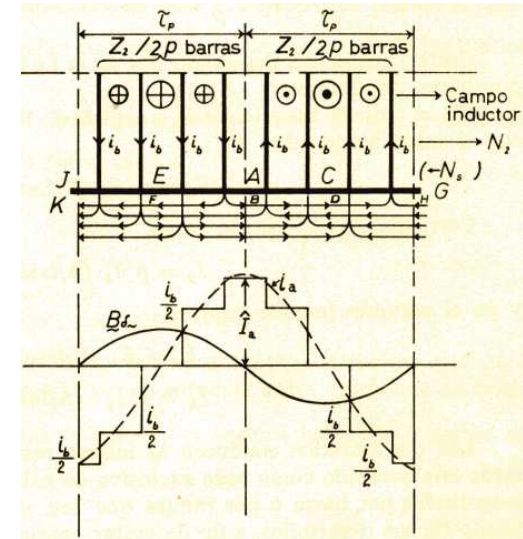


Fig. 2.06.08 a. Distribución de la corriente en los aros de cortocircuito de una jaula.



## Cálculo del rotor:

Número de ranuras y dimensiones de las mismas; Anillo de cortocircuito.

### Rotor en jaula

Resistencia TOTAL del rotor (bar y anillo) de cortocircuito

$$R_r = \frac{\rho n_{rr} L_b}{s_{b\_total}} + \frac{2 \rho D_{medio\_anillo} n_{rr}^2}{4 \pi \rho^2 s_{anillo}} K_R$$

$K_R$  : Factor de corrección del anillo de c.c.

### Rotor bobinado

Resistencia de devanado por fase del rotor

$$R_{rF} = \frac{\rho N_r L_{esp\_r}}{s_{r\_total}}$$



### Cálculo del rotor:

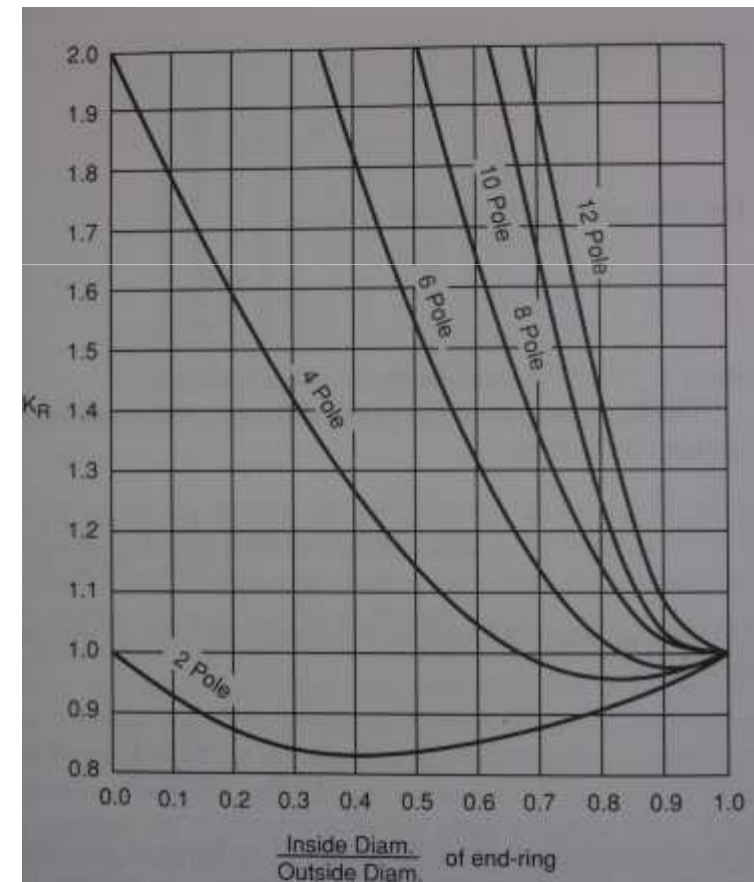
Número de ranuras y dimensiones de las mismas; Anillo de cortocircuito.

## Resistencia TOTAL del rotor (barra y anillo) de cortocircuito

$$R_r = \frac{\rho n_{rr} L_b}{S_{b\_total}} + \frac{2 \rho D_{medio\_anillo} n_{rr}^2}{4 \pi \rho^2 S_{anillo}} K_R$$

$K_R$  : Factor de corrección del anillo de c.c.

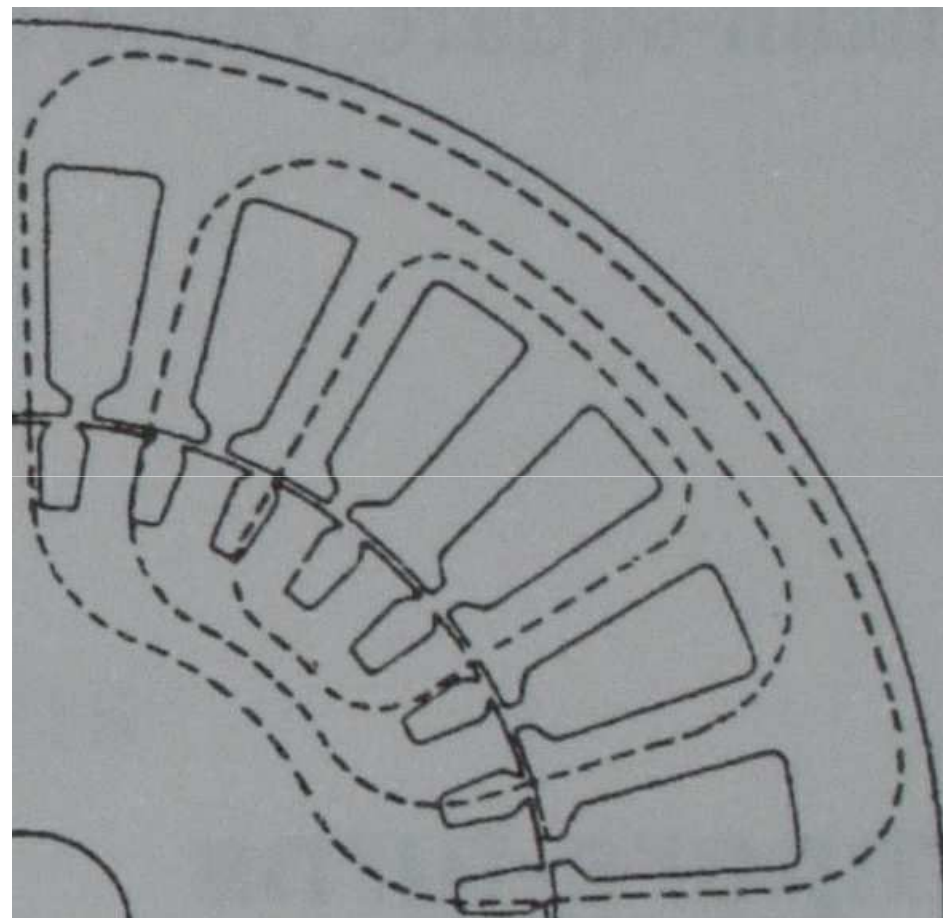
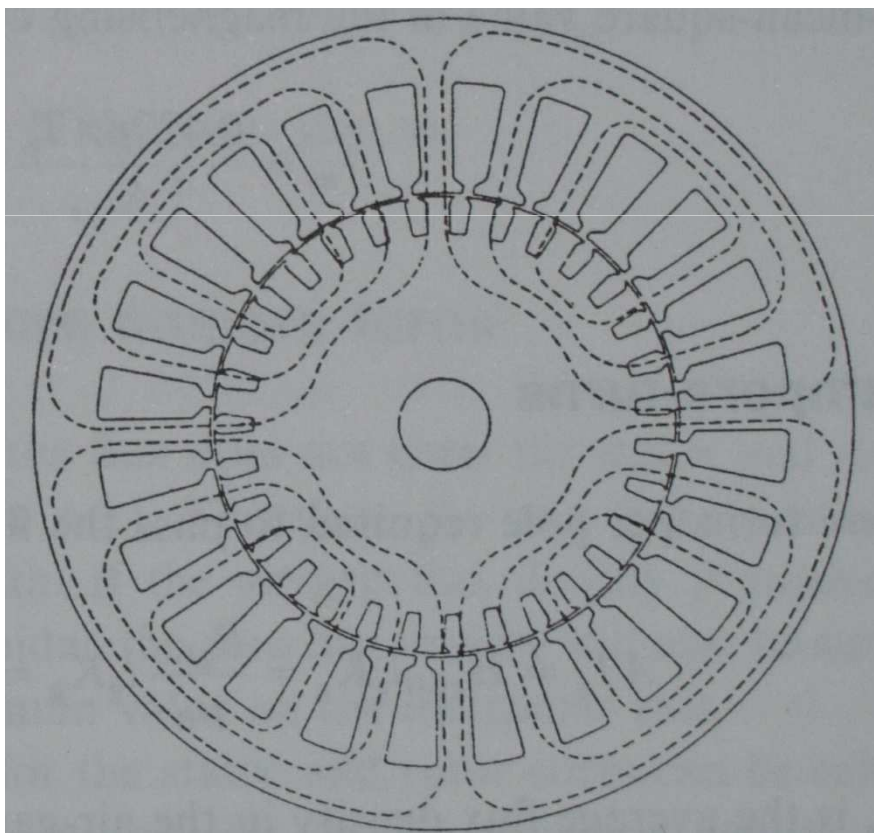
El  $K_R$  se aplica cuando el ancho del anillo es mayor que el área de la barra, como en el caso de pequeños motores, es necesario considerar la distribución no uniforme de la corriente en la sección del anillo





¿B apropiadas ?

Circuito magnético





¿B apropiadas ? Circuito magnético

A-V por polo :  $AT_p = AT_g + AT_{diente\_s} + AT_{diente\_r} + AT_{nucleo\_s} + AT_{nucleo\_r}$

$$F(\theta, t) = \frac{3}{2} F_M [ \cos(\omega t - p \omega_m t) ]$$

FMM total:

$$F = \sqrt{2} \left[ \frac{3}{2} \left( 4 \frac{N_s I_\mu K_{bs}}{\pi} \right) \right]$$

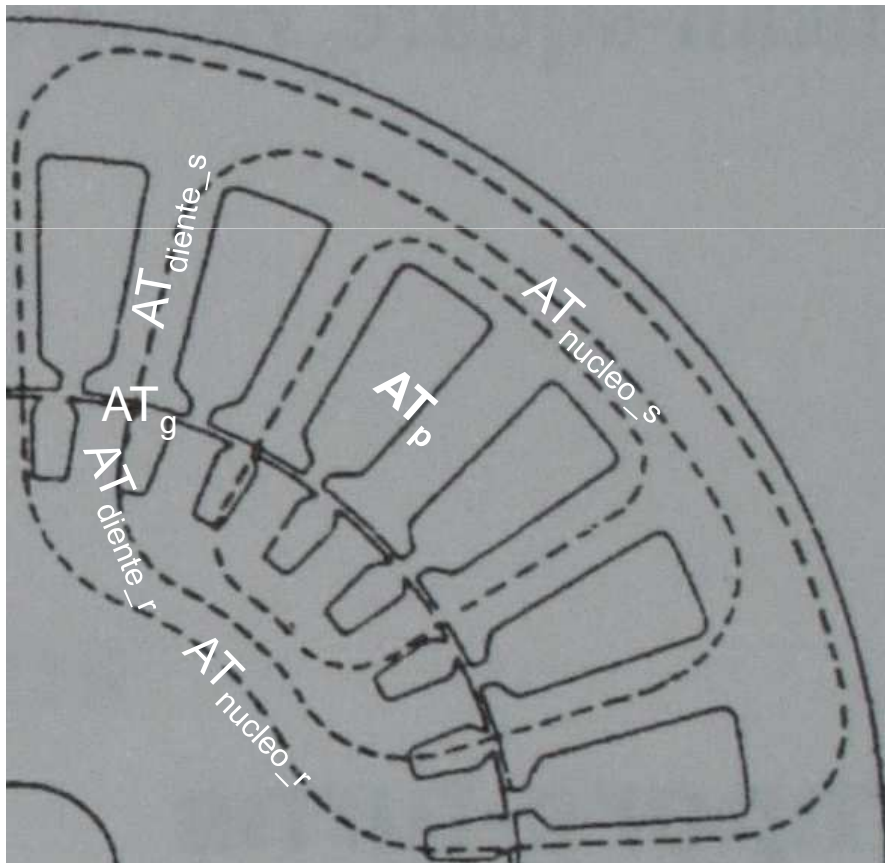
FMM por polo:

$$\frac{F}{2p} = \sqrt{2} \left[ \frac{3}{2} \left( 4 \frac{N_s I_\mu K_{bs}}{\pi} \right) \right] = AT_p$$

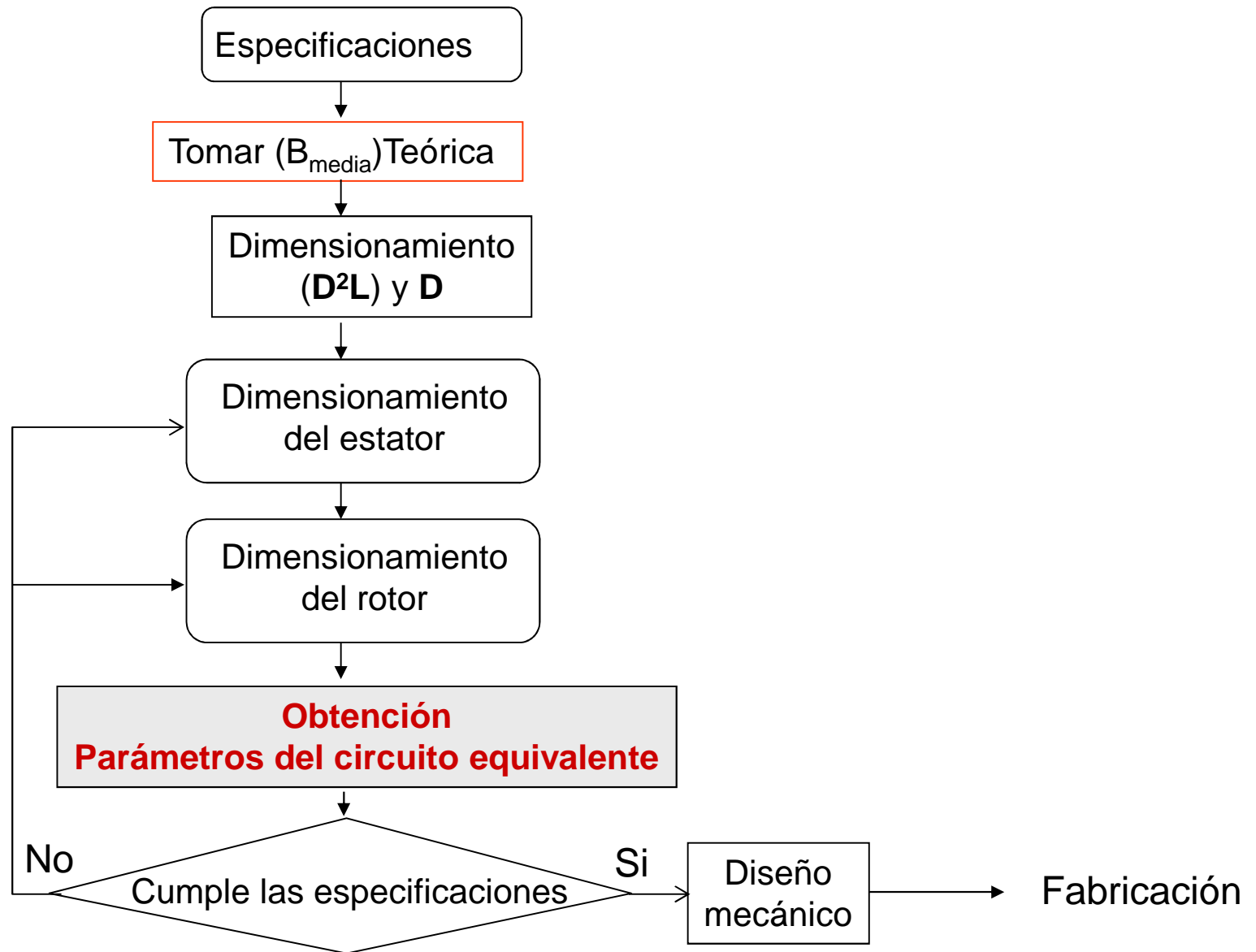
Corriente de magnetización por fase  
VALOR EFICAZ:

$$\frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 0,74$$

$$I_{\mu F} = \frac{0,74 p AT_p}{N_s K_{bs}}$$

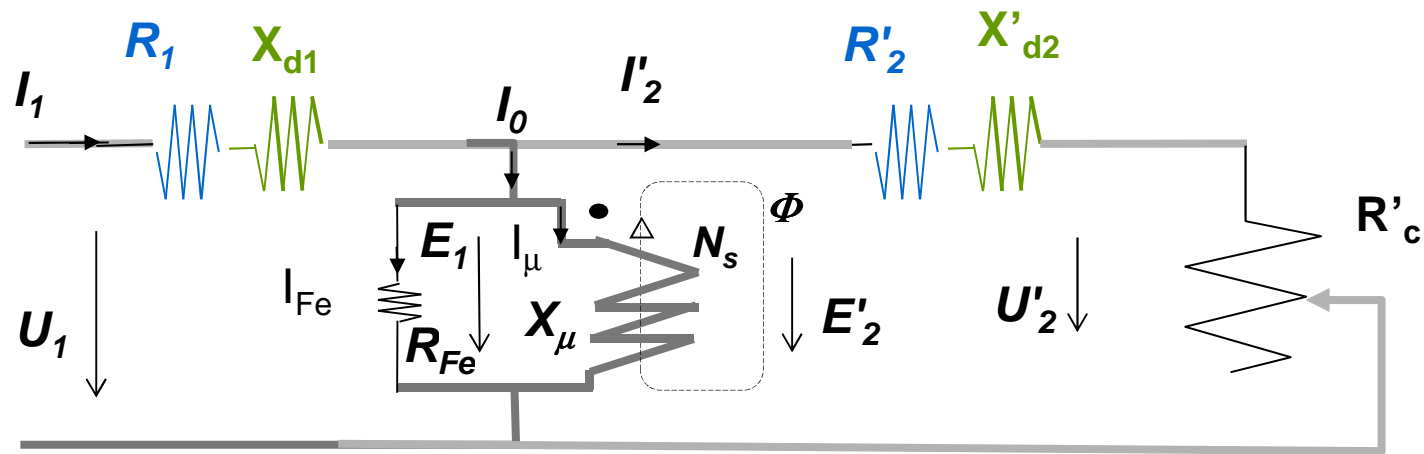








## Obtención parámetros del circuito equivalente



- Corriente de magnetización
- Corriente de pérdidas en el hierro
- Corriente de vacío
- Resistencias rotor y estator
- Reactancias rotor y estator
- Reactancia de magnetización



## Obtención parámetros del circuito equivalente

### Corriente de magnetización

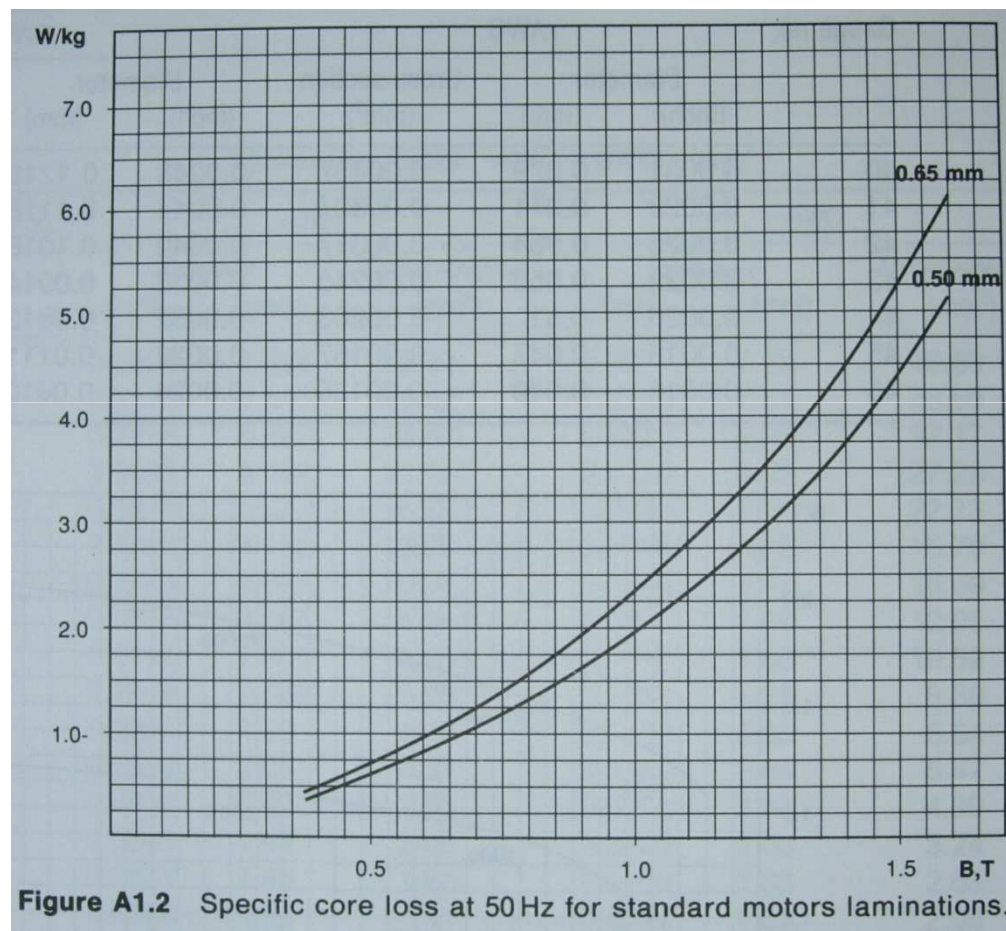
$$I_{\mu F} = \frac{0,74 p AT_p}{N_s K_{bs}}$$

### Corriente de pérdidas en el hierro

$$I_{Fe} = \frac{P_m + P_{Fe}}{3 E_{sF}}$$

### Corriente de vacío

$$I_o = \sqrt{I_{\mu}^2 + I_{Fe}^2}$$





**Obtención parámetros del circuito equivalente**

Resistencias rotor y estator

$$r_{sF} = \frac{\rho N_s I_{sF}}{s_{cS}}$$

$$r_{tu} = \frac{E_{1F}}{E_{2F}} = \frac{4 K_f K_{d1} K_{a1} f_1 N_1 \Phi_m}{4 K_f K_{d2} K_{a2} f_1 N_2 \Phi_m} = \frac{K_{b1} N_1}{K_{b2} N_2}$$

$$r_{ti} = \frac{S_2 / m_2 E_2}{S_1 / m_1 E_1} = \frac{m_1 E_1}{m_2 E_2} = \frac{m_1}{m_2} r_{tu}$$

$$m_2 = \frac{n_{rr}}{2p}$$

$$R_{rF} = \frac{1}{m_2} \left( \frac{\rho n_{rr} L_b}{s_{b\_total}} + \frac{2 \rho D_{medio\_anillo} n_{rr}^2}{4 \pi p^2 s_{anillo}} K_R \right)$$

$$R_{rF} = \frac{\rho N_r L_{esp\_r}}{s_{r\_total}}$$

$$r_r' = r_{tu} r_{ti} R$$



## Obtención parámetros del circuito equivalente

### Reactancias rotor y estator

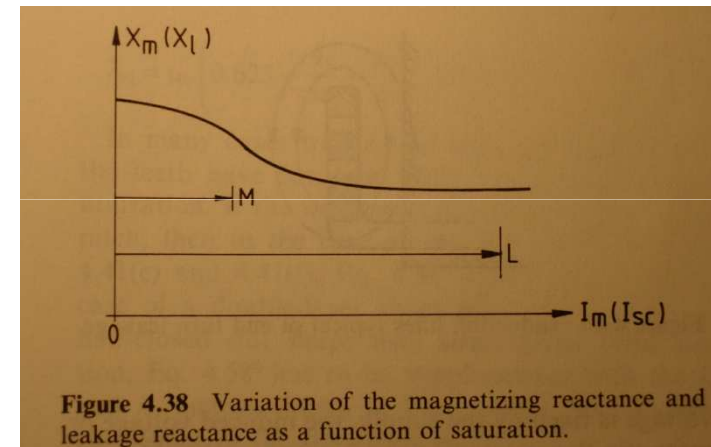
$X_\mu$  : reactancia de magnetización  
 $X_d$  : reactancia de dispersión

INTERESA:  $X_\mu \gg \gg X_d$

$$X_d = 2 \pi f L_o = 2 \pi f \left( \frac{\mu (2N)^2}{n_r} l \right) \mu$$

$\mu$  : permeancia por unidad L.

$N_s$  : espira estator por fase



## Flujos de dispersión

Denominamos **flujo de fugas o de dispersión** a todo aquel flujo que no participa directamente en la conversión electromecánica de la energía.

Los flujos de dispersión se evalúan a través de la reactancia de dispersión. Para ello es necesario **definir** las trayectorias de éstos flujos así como la longitud y el área de las mismas (permeancia,  $\mu$ ).

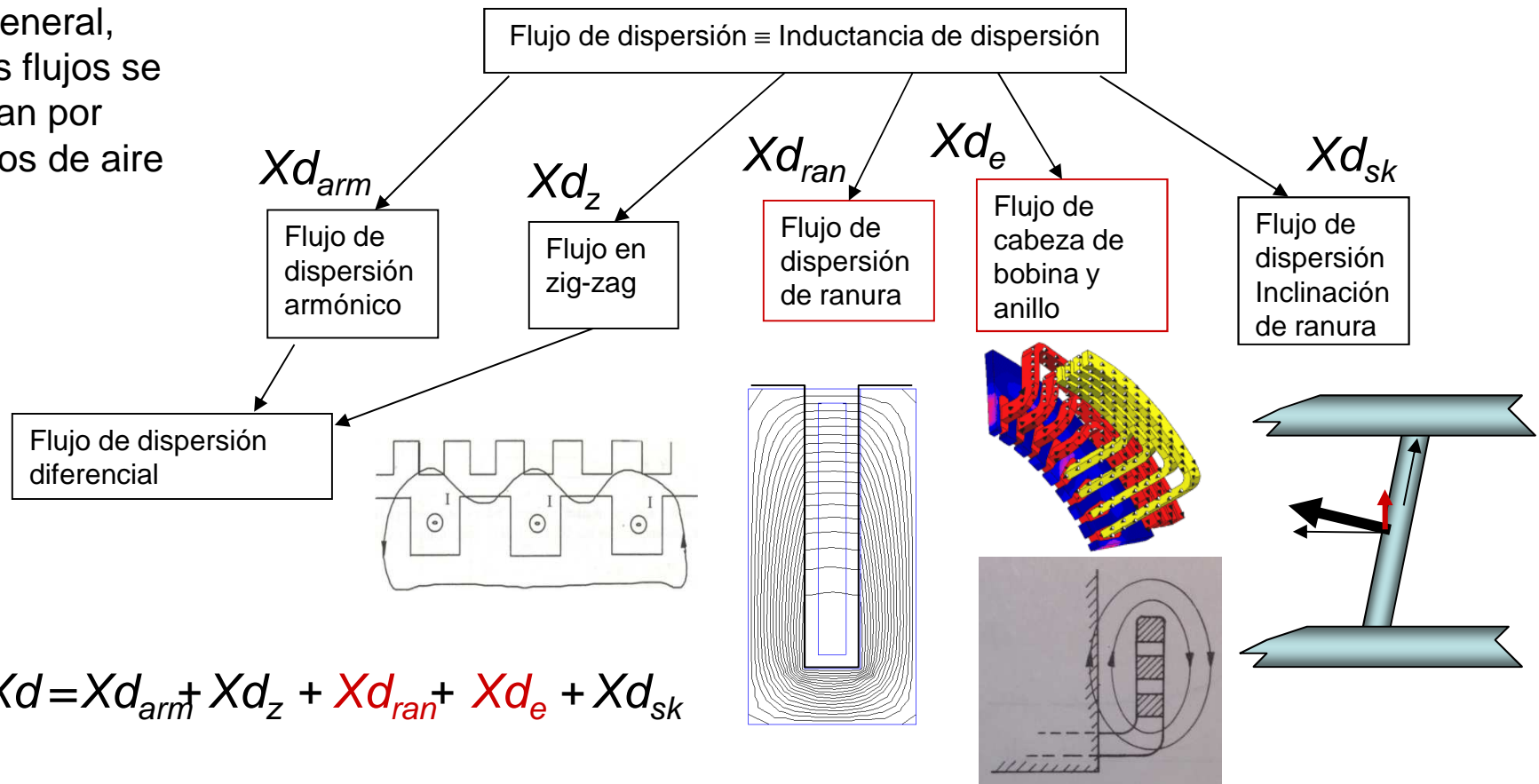


## Obtención parámetros del circuito equivalente

### Reactancias rotor y estator

Denominamos **flujo de fugas o de dispersión** a todo aquel flujo que no participa directamente en la conversión electromecánica de la energía.

En general, estos flujos se cierran por tramos de aire ( $\mu_0$ )





## Obtención parámetros del circuito equivalente

### Reactancias rotor y estator

- **Flujo diferencial de fase**, debido a la diferencia entre el flujo total y el correspondiente al fundamental y que lleva a la denominada **inductancia de dispersión diferencial de fase**.
  
- **Flujo en zig-zag**, debido al número finito de ranuras y que corresponde a la diferencia entre el flujo teórico correspondiente a un número infinito de ranuras (liso) y el correspondiente al real considerando un número finito de las mismas y que lleva a la denominada **inductancia de dispersión en zig-zag**; este término presenta valores notables en las máquinas asíncronas con el entrehierro muy pequeño.



## Obtención parámetros del circuito equivalente

### Reactancias rotor y estator

#### Ranura

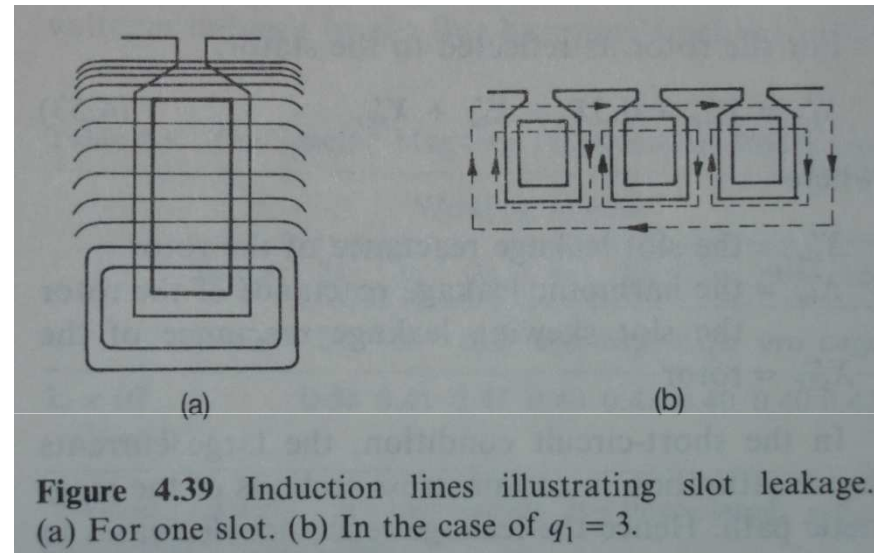
El flujo de dispersión de ranura depende de la relación entre el ancho de ranura y la profundidad.

#### Estator

$$X_{d_{ran1}} = 8 \pi f \left( \frac{m_1 N_1^2}{n_{rs}} L \right) \wp_r$$

#### Rotor reducido

$$X_{d'_{ran2}} = 8 \pi f \left( \frac{m_1 N_1^2}{n_{rr}} L \right) \wp_r \left( \frac{K_{b1}}{K_{b2}} \right)^2$$







Obtención parámetros del circuito equivalente

Reactancias rotor y estator

Ranura

4.41(a)

$$\Phi_r = \mu_0 \left( \frac{h_1}{3a} + \frac{h_2}{a} + \frac{2h_3}{a+c} + \frac{h_4}{c} \right)$$

4.41(b)

$$\Phi_r = \mu_0 \left( \frac{2h'_1}{3a} + \frac{h_2 + 0.25h'}{a} + \frac{2h_3}{a+c} + \frac{h_4}{c} \right)$$

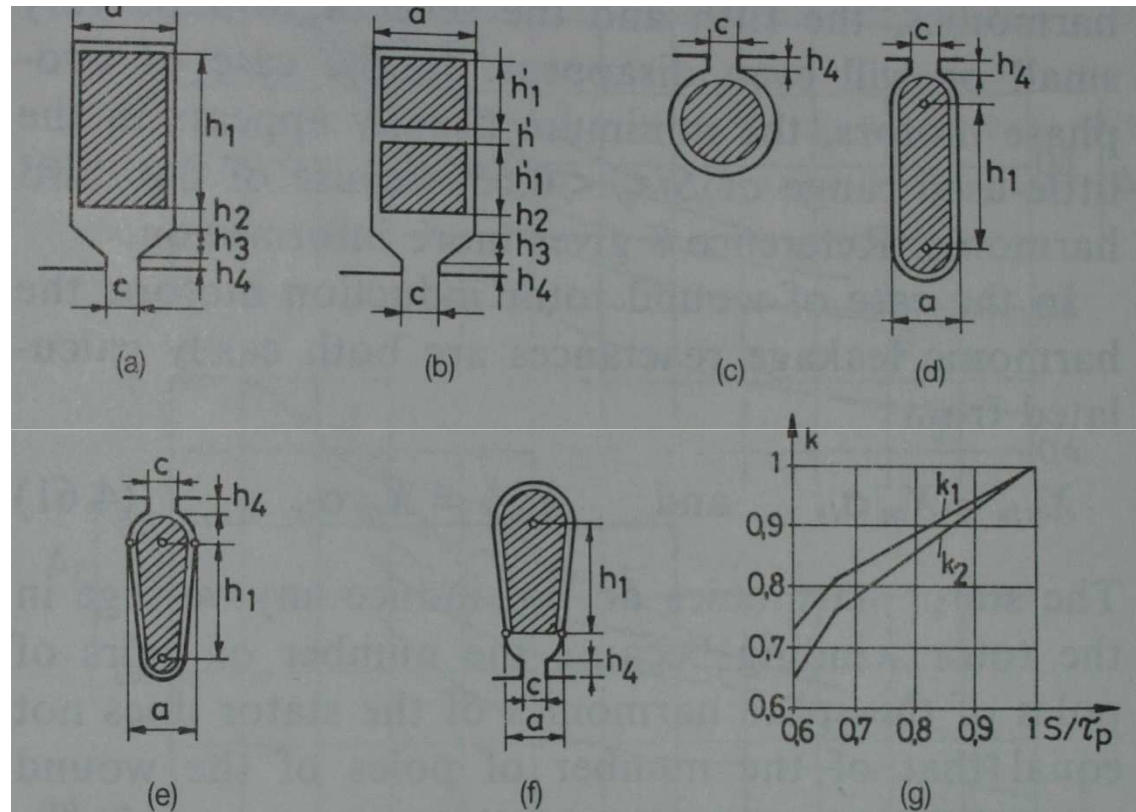


Figure 4.41 (a through f) Different shapes of slots and their dimensions for calculating slot leakage. (g) Pitch factor.



Obtención parámetros del circuito equivalente

Reactancias rotor y estator

Cabeza de bobina y anillo

Table 4.1 The Specific Magnetic Permeance of End Turns

	Winding System <sup>a</sup>							
	Stator: 2s	3s	2s	3s	2s	3s	cro	cro
Rotor:	2s	3s	cro	cro	cage	cage	cro	cage
$\mu_e \times 10^6$ (H m <sup>-1</sup> )	0.54	0.41	0.45	0.40	0.43	0.40	0.40	0.41

<sup>a</sup> Winding systems: 2s = two-planed, 3s = three-planed, cro = crown, cage = squirrel cage.

Formula empírica:

$$X_{d_e} = 4\pi f_1 \frac{N_1^2}{p} \left( \frac{l_{av}}{2} - L \right) \mu_e$$



## Obtención parámetros del circuito equivalente

### Reactancias rotor y estator

$$X_d = X_{d_{arm}} + X_{d_z} + X_{d_{ran}} + X_{d_e} + X_{d_{sk}}$$

Reactancia total estator:  $X_{d1} = X_{d_{arm1}} + X_{d_{z1}} + X_{d_{ran1}} + X_{d_{e1}} + X_{d_{sk1}}$

Reactancia total rotor:  $X'_{d2} = X_{d2} \quad r_{t_u} \quad r_{t_i}$

### Reactancia de magnetización

$$X_{\mu} = \frac{E_{sF}}{I_{\mu F}} - X_{d1}$$



## Obtención parámetros del circuito equivalente

