



Tema IV Diseño de máquinas asíncronas

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).

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.



Introducción

- No existen soluciones únicas en el diseño. Más bien decisiones de compromiso que tratan de armonizar los factores involucrados (cálculo iterativo).
- Los valores de trabajo en máquinas eléctricas (B: 1,5 a 2 T, A: 6000 a 8000 A/mm) dependen fuertemente del avance tecnológico.
- Cada fabricante tiene sus propios criterios y procedimiento.
- Existen programas informáticos de cálculo.
- Se pretende adquirir las pautas generales de diseño.
No las particularidades.



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:

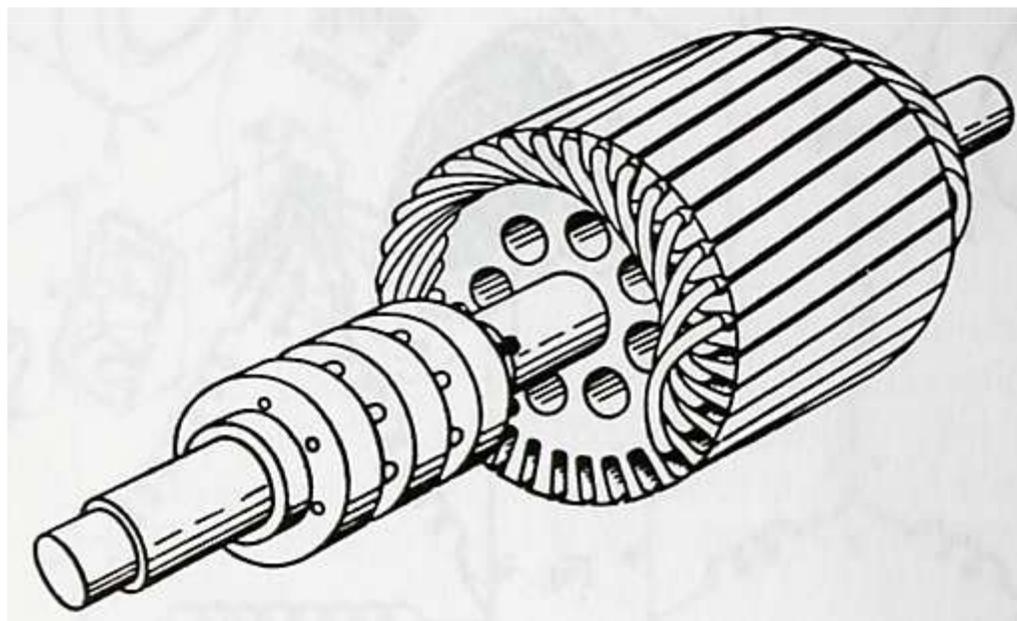
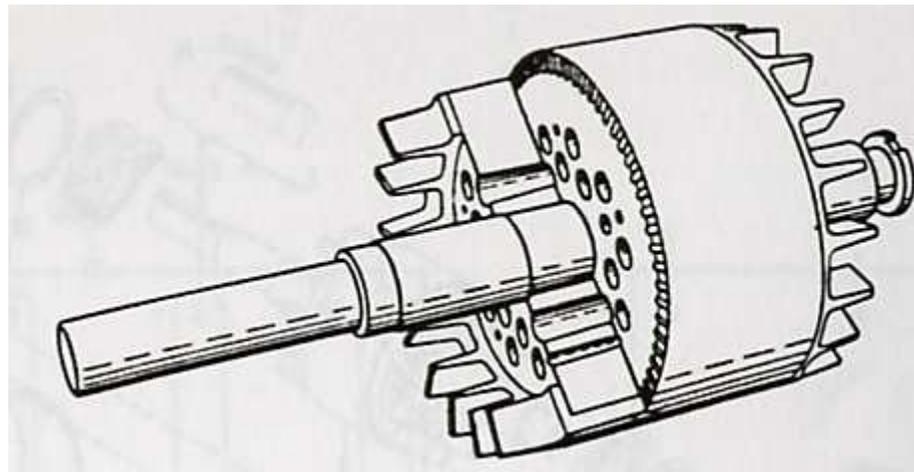
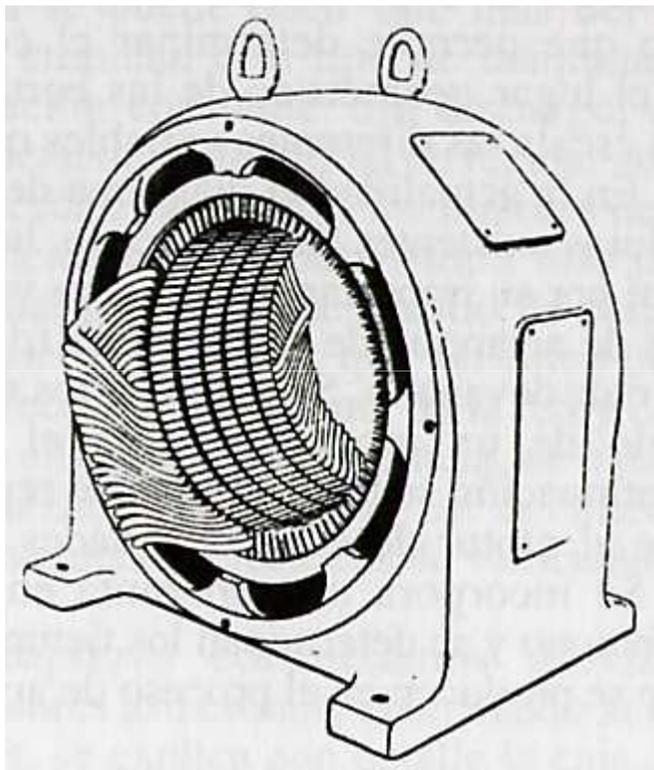
Número de ranuras y dimensiones de las mismas; Devanado.

Cálculo del rotor:

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



Detalles de construcción:





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:

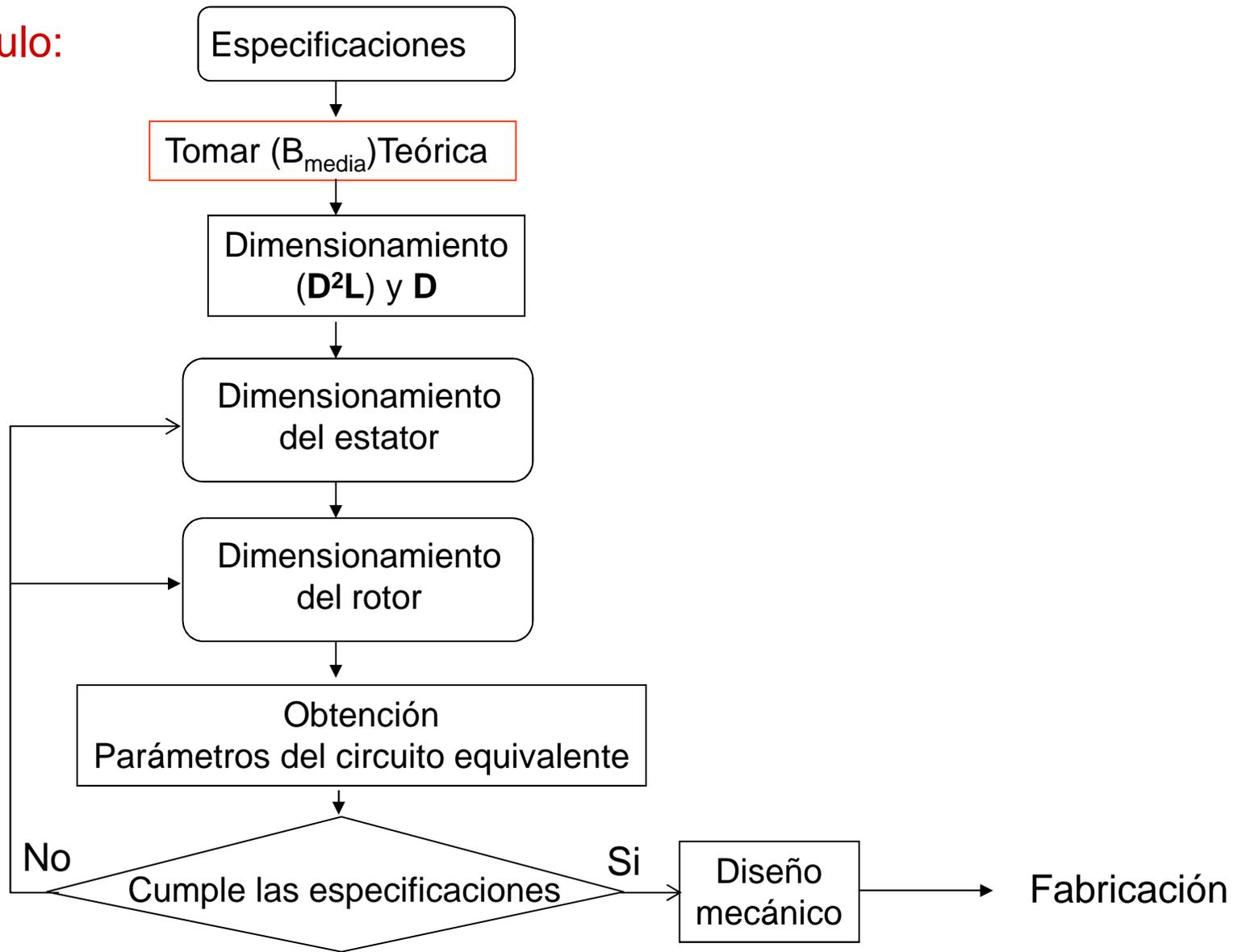
Número de ranuras y dimensiones de las mismas; Devanado.

Cálculo del rotor:

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

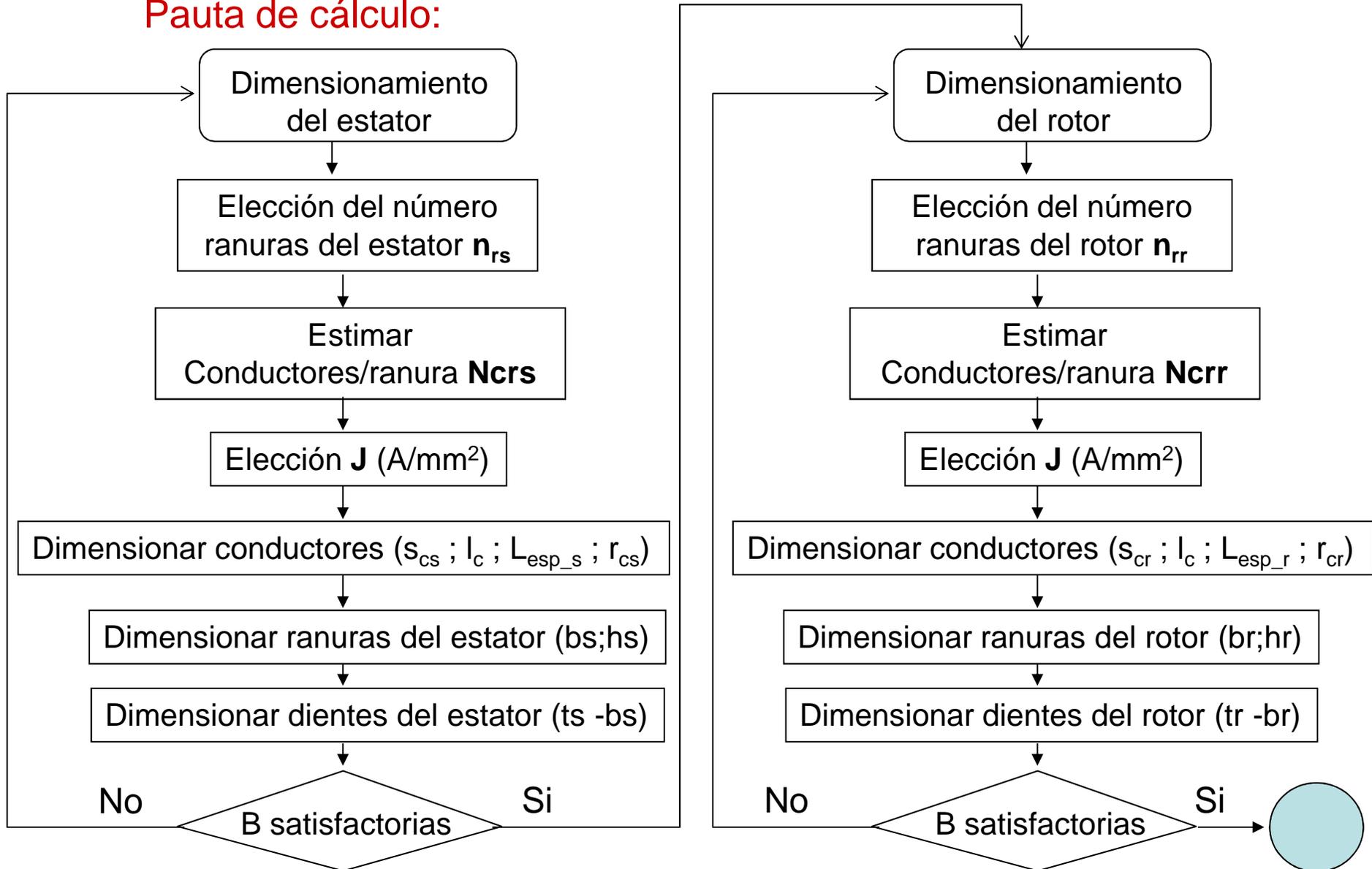


Pauta de cálculo:





Pauta de cálculo:





Pauta de cálculo:

Especificaciones técnicas iniciales:

POTENCIA NOMINAL (P_u)

TENSION (U_s)

VELOCIDAD NOMINAL ($n = n_s (1-s)$)

CARACTERISTICA PAR-VELOCIDAD ($T_a/T_n ; T_{max}/T_n$)

TEMPERATURA (T_{incr})

RENDIMIENTO (η)

F.D.P. ($\cos\phi_1$)

CLASE DE SERVICIO

FORMA CONSTRUCTIVA

Utilización de las normas y catálogos.

Referencia de documentación e información existente (tablas, graficas, ..).



Pauta de cálculo:

Los datos de partida pueden obtenerse de las normas y catálogos.

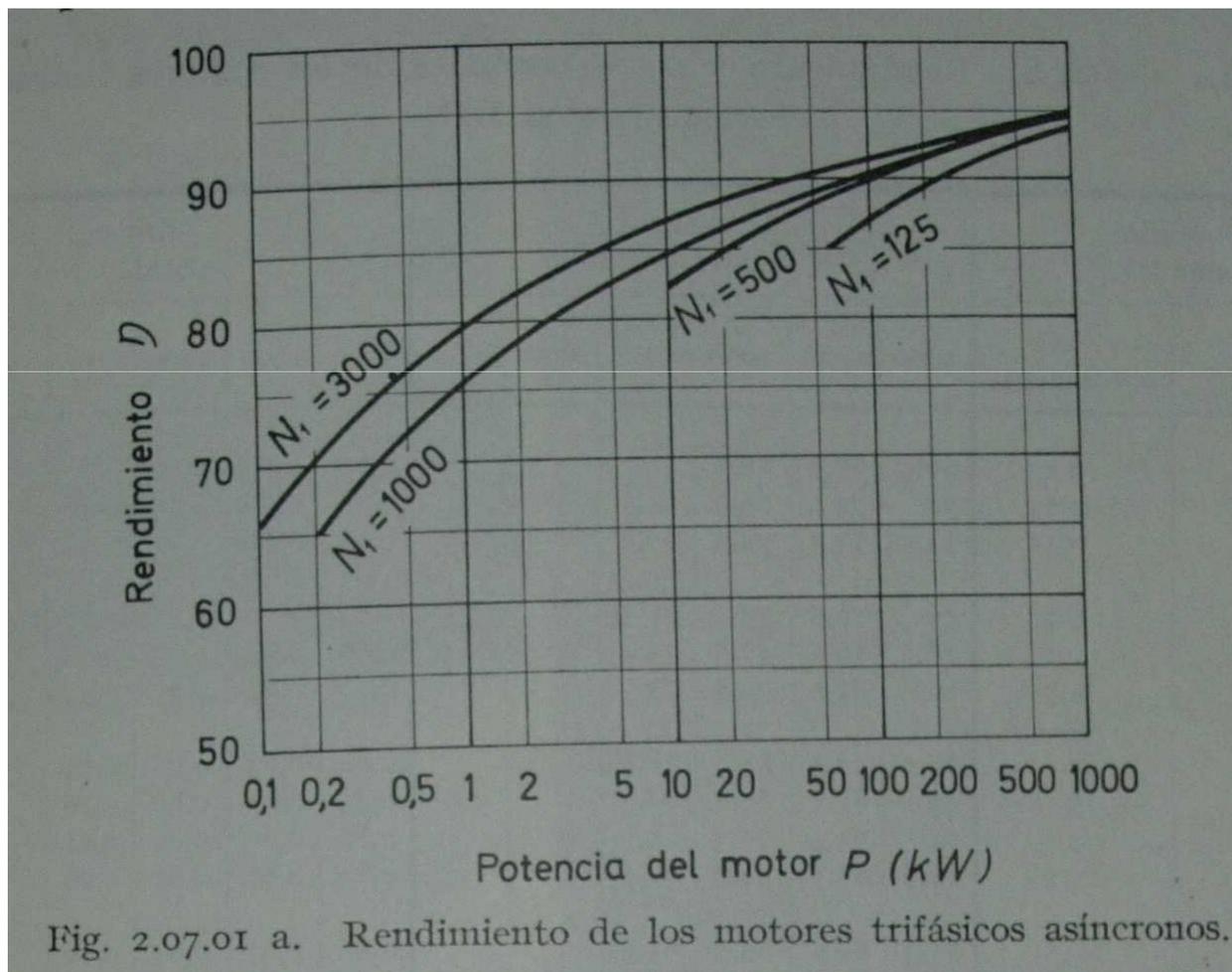
Table 5.1 Efficiency and power factor of three-phase, 4-pole squirrel-cage induction motors

| P_u (kW) | η | Power factor |
|------------|--------|--------------|
| 0.25 | 0.68 | 0.7 |
| 0.75 | 0.72 | 0.75 |
| 2.2 | 0.81 | 0.82 |
| 3.7 | 0.83 | 0.84 |
| 7.5 | 0.86 | 0.87 |
| 15.0 | 0.88 | 0.89 |
| 37.0 | 0.9 | 0.9 |



Pauta de cálculo:

Referencia de documentación e información existente (tablas, graficas, ..).





Pauta de cálculo:

Referencia de documentación e información existente (tablas, graficas, ..).

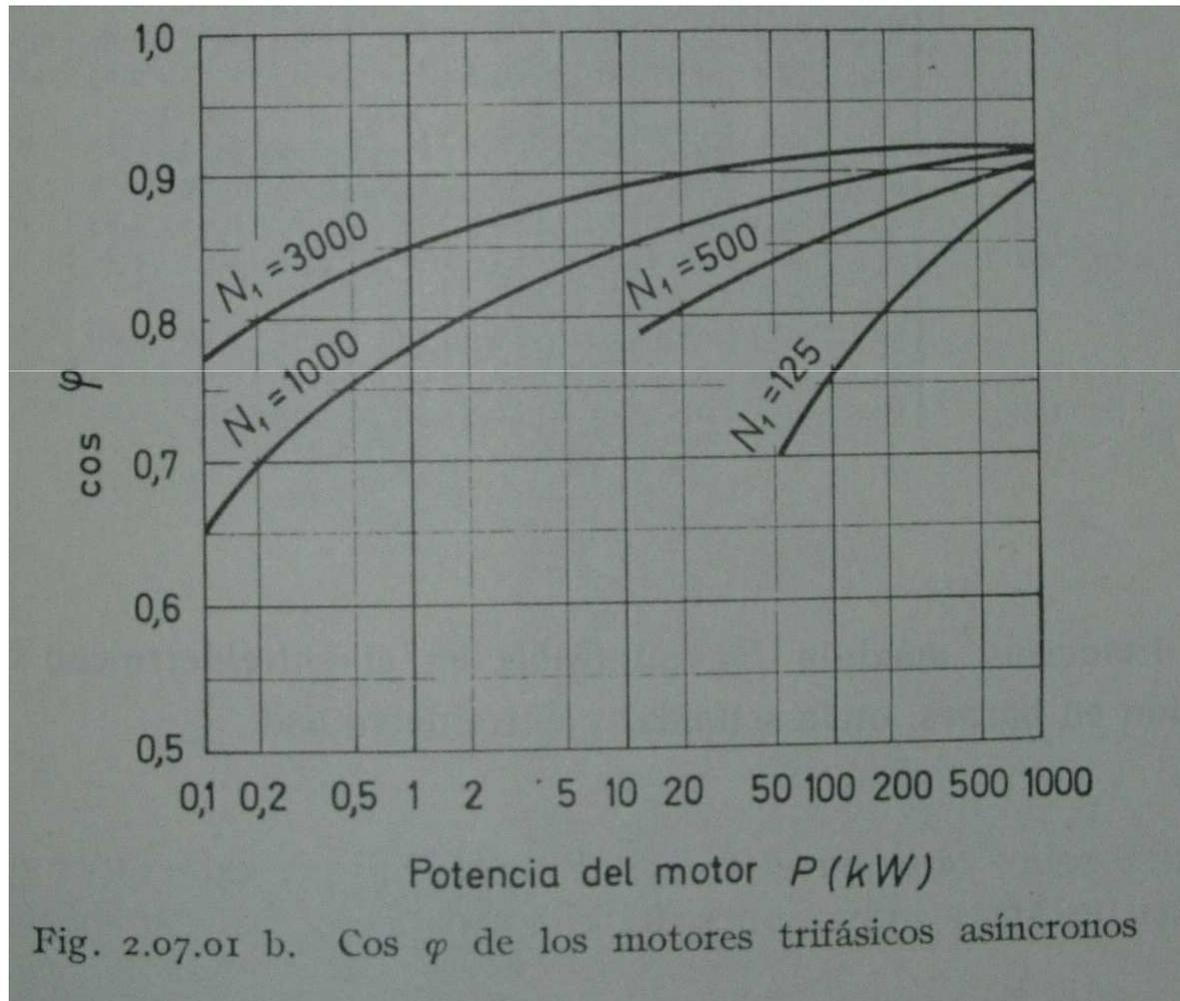


Fig. 2.07.01 b. Cos φ de los motores trifásicos asíncronos



Tema IV Diseño de máquinas asíncronas

Pauta de cálculo:

Referencia de documentación e información existente (tablas, graficas, ..).

TABLA 2.07.01 a. Rendimiento y cos φ normales de los motores trifásicos asíncronos, según DIN

| Potencia nominal | | Rendimiento | | | | | | Cos φ | | | | | |
|------------------|---------------|---------------|------|------|------|------|------|---------------|------|------|------|------|------|
| | | Velocidad r/m | | | | | | Velocidad r/m | | | | | |
| kw | CV aproximad. | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 600 | 500 | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 600 | 500 |
| 0,125 | 0,17 | 66,5 | 69,5 | 66,5 | | | | 0,78 | 0,70 | 0,66 | | | |
| 0,2 | 0,27 | 70 | 72,5 | 69,5 | 64,5 | | | 0,80 | 0,73 | 0,69 | 0,60 | | |
| 0,33 | 0,45 | 73,5 | 74,5 | 72,5 | 68,5 | | | 0,82 | 0,76 | 0,71 | 0,64 | | |
| 0,5 | 0,7 | 76 | 76,5 | 75 | 71,5 | | | 0,84 | 0,79 | 0,73 | 0,67 | | |
| 0,8 | 1,1 | 78,5 | 79,5 | 77,5 | 75 | | | 0,86 | 0,80 | 0,75 | 0,70 | | |
| 1,1 | 1,5 | 80 | 81,5 | 79,5 | 77 | | | 0,87 | 0,82 | 0,77 | 0,72 | | |
| 1,5 | 2 | 81,5 | 82,5 | 81 | 78,5 | | | 0,88 | 0,83 | 0,78 | 0,74 | | |
| 2,2 | 3 | 83 | 83,5 | 82,5 | 80,5 | | | 0,89 | 0,85 | 0,80 | 0,76 | | |
| 3 | 4 | 84 | 84,5 | 83,5 | 81,5 | | | 0,89 | 0,86 | 0,81 | 0,78 | | |
| 4 | 5,5 | 84,5 | 85,5 | 84,5 | 82,5 | | | 0,89 | 0,87 | 0,82 | 0,80 | | |
| 5,5 | 7,5 | 85,5 | 86,5 | 85,5 | 83,5 | | | 0,89 | 0,87 | 0,84 | 0,82 | | |
| 7,5 | 10 | 86 | 87 | 86 | 84 | 84 | | 0,89 | 0,87 | 0,85 | 0,83 | 0,81 | |
| 11 | 15 | 86,5 | 87,5 | 86,5 | 85 | 85 | 84 | 0,89 | 0,87 | 0,85 | 0,84 | 0,82 | 0,79 |
| 15 | 20 | 86,5 | 87,5 | 86,5 | 86 | 85,5 | 85 | 0,89 | 0,87 | 0,85 | 0,84 | 0,82 | 0,79 |
| 22 | 30 | 87,5 | 88 | 87,5 | 87 | 86,5 | 86 | 0,90 | 0,88 | 0,86 | 0,85 | 0,82 | 0,79 |
| 30 | 40 | 88,5 | 89 | 88,5 | 88 | 87,5 | 87 | 0,90 | 0,89 | 0,87 | 0,86 | 0,83 | 0,80 |
| 40 | 55 | 89 | 89,5 | 89 | 89 | 88,5 | 88 | 0,90 | 0,90 | 0,88 | 0,87 | 0,84 | 0,81 |
| 50 | 68 | 89,5 | 90 | 90 | 89,5 | 89 | 88,5 | 0,91 | 0,90 | 0,88 | 0,87 | 0,85 | 0,82 |
| 64 | 87 | 90 | 90,5 | 90,5 | 90 | 89,5 | 89 | 0,91 | 0,90 | 0,89 | 0,88 | 0,86 | 0,83 |
| 80 | 110 | 90 | 90,5 | 90,5 | 90,5 | 90 | 90 | 0,91 | 0,90 | 0,89 | 0,88 | 0,86 | 0,85 |
| 100 | 136 | 90,5 | 91 | 91 | 91 | 90,5 | 90,5 | 0,91 | 0,90 | 0,89 | 0,88 | 0,86 | 0,85 |



Pauta de cálculo:

Inducción en el entrehierro (B_{media})

Capa de corriente (A)

Número de polos (p)

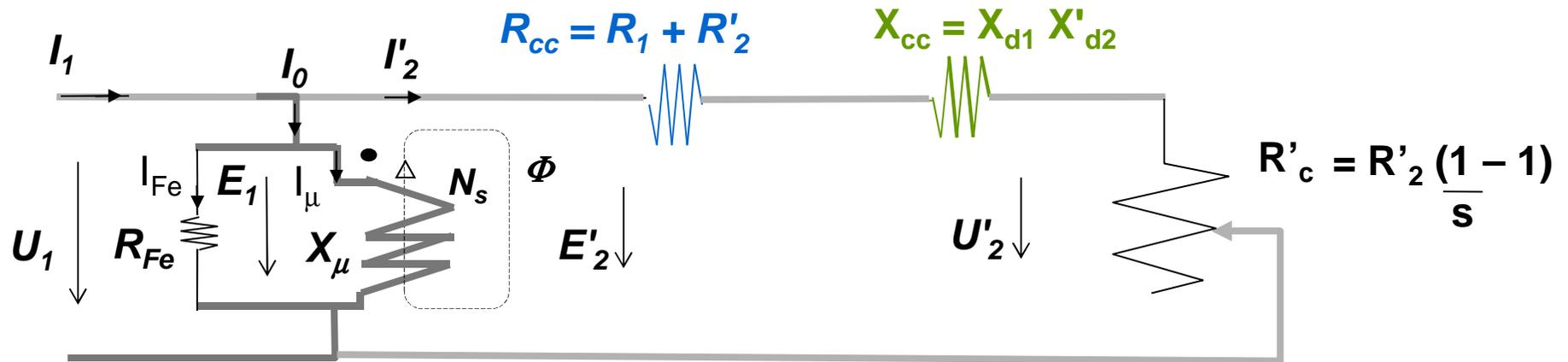
Diámetro (D)

Longitud (L).

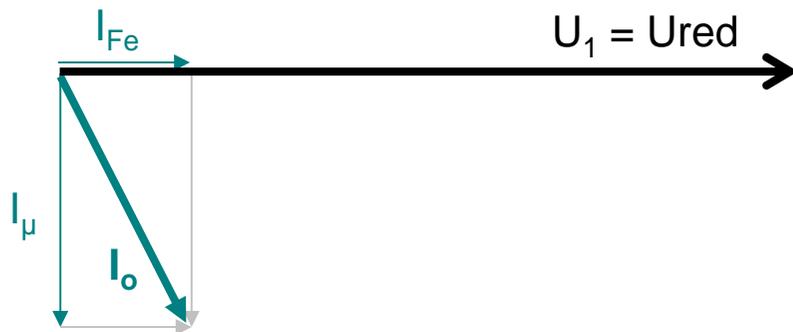
Longitud del entrehierro (g).



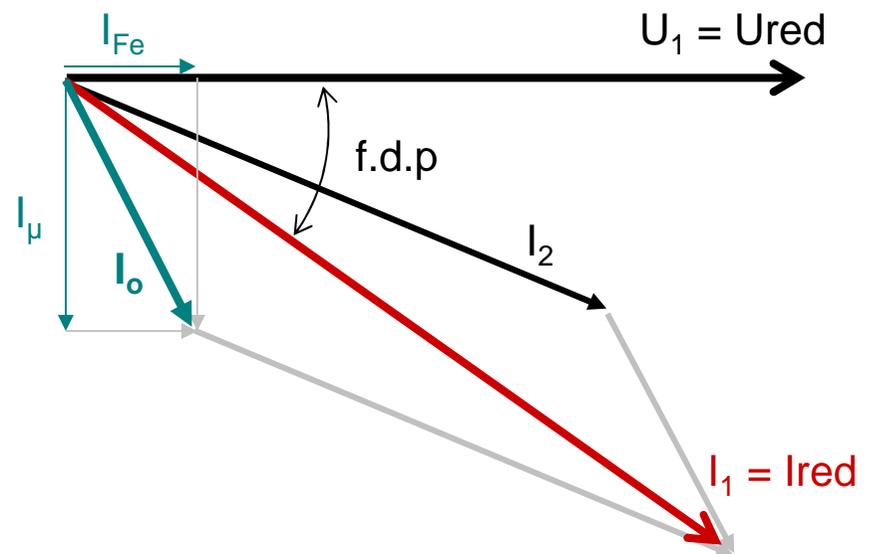
Pauta de cálculo: Inducción en el entrehierro (B_{media})



Vacío ($s=0$)



Carga





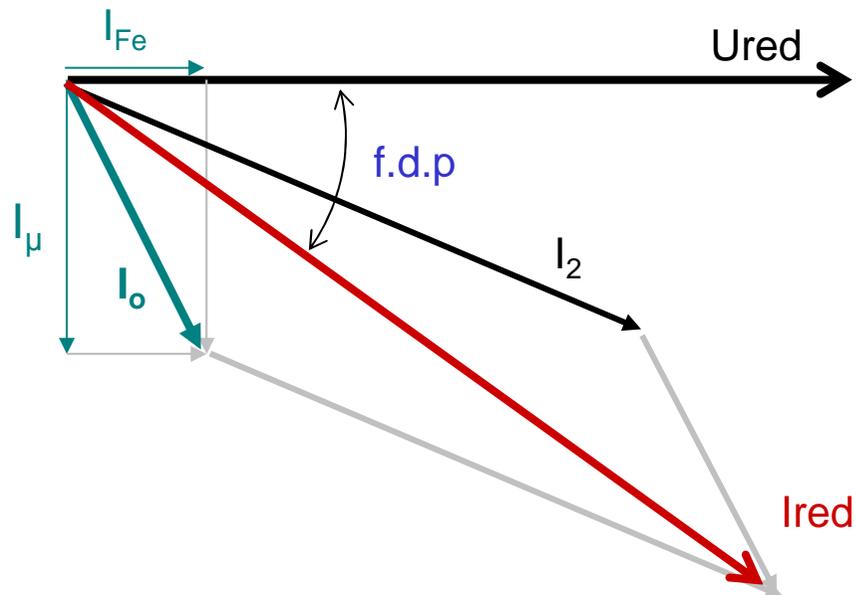
Pauta de cálculo:

Inducción en el entrehierro (B_{media})

Corriente de magnetización: I_{μ}

Saturación: B_{diente}

Flujo de dispersión (X_{cc}): f.d.p





Pauta de cálculo:

Inducción en el entrehierro (B_{media})

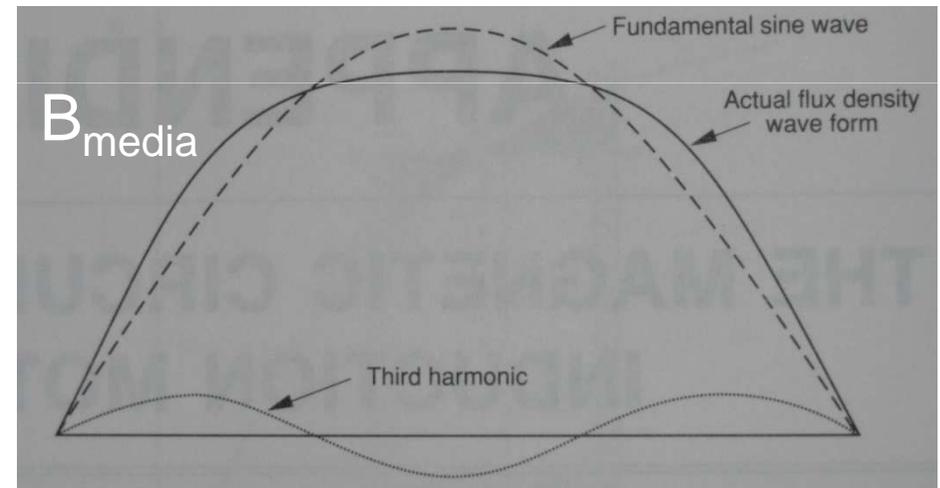
Corriente de magnetización: I_{μ}

$$N_s I_{\mu} = \mathfrak{R}_o \Phi_{media} = (1/\mu_o) g B_{media}$$

$$Q_{\mu} = I_{\mu} U_{red}$$

Saturación: B_{diente}

$$\frac{B_{diente}}{B_{media}} = \frac{\pi D}{(t-b)n_d}$$



Flujo de dispersión (X_{cc}): f.d.p

$$P_{red} = m_1 U_{1F} I_{1F} \cos\phi_1$$



Pauta de cálculo:

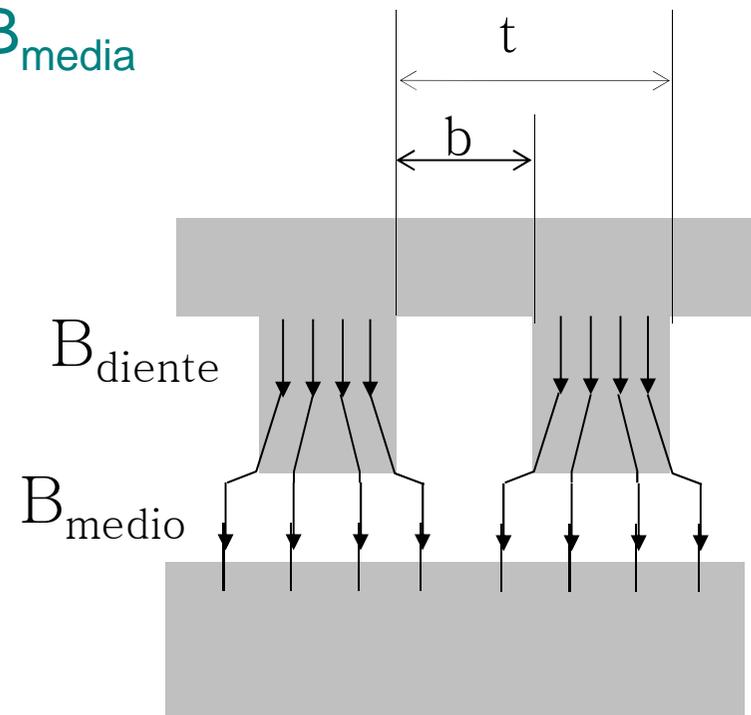
Inducción en el entrehierro (B_{media})

Corriente de magnetización: I_{μ}

$$N_s I_{\mu} = \mathfrak{R}_o \Phi_{media} = 1/\mu_o g B_{media}$$

$$Q_{\mu} = I_{\mu} U_{red}$$

$$B_{media} = B_{diente} ((t-b) nd / (\pi D))$$

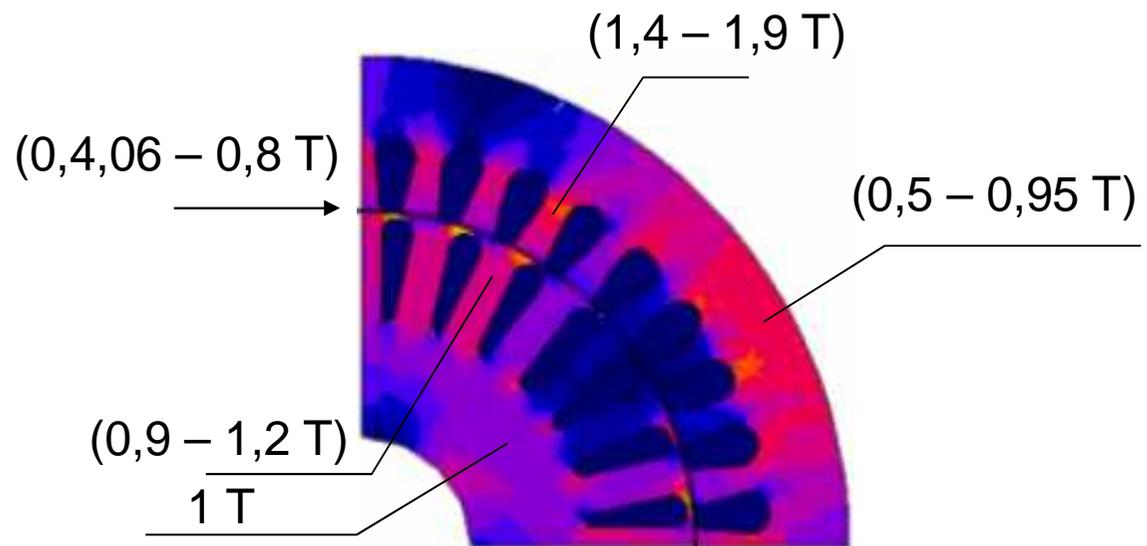
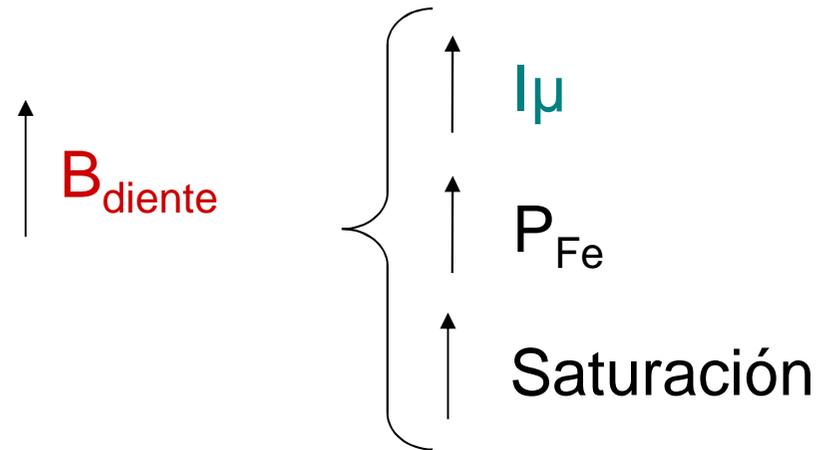
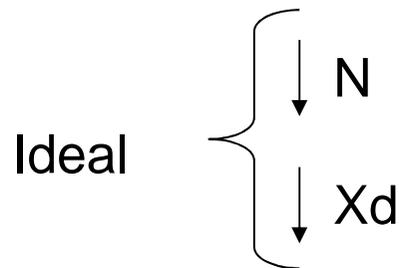




Pauta de cálculo:

Inducción en el entrehierro (B_{media})

$$B_{media} = B_{diente} \left(\frac{(t-b) nd}{\pi D} \right)$$

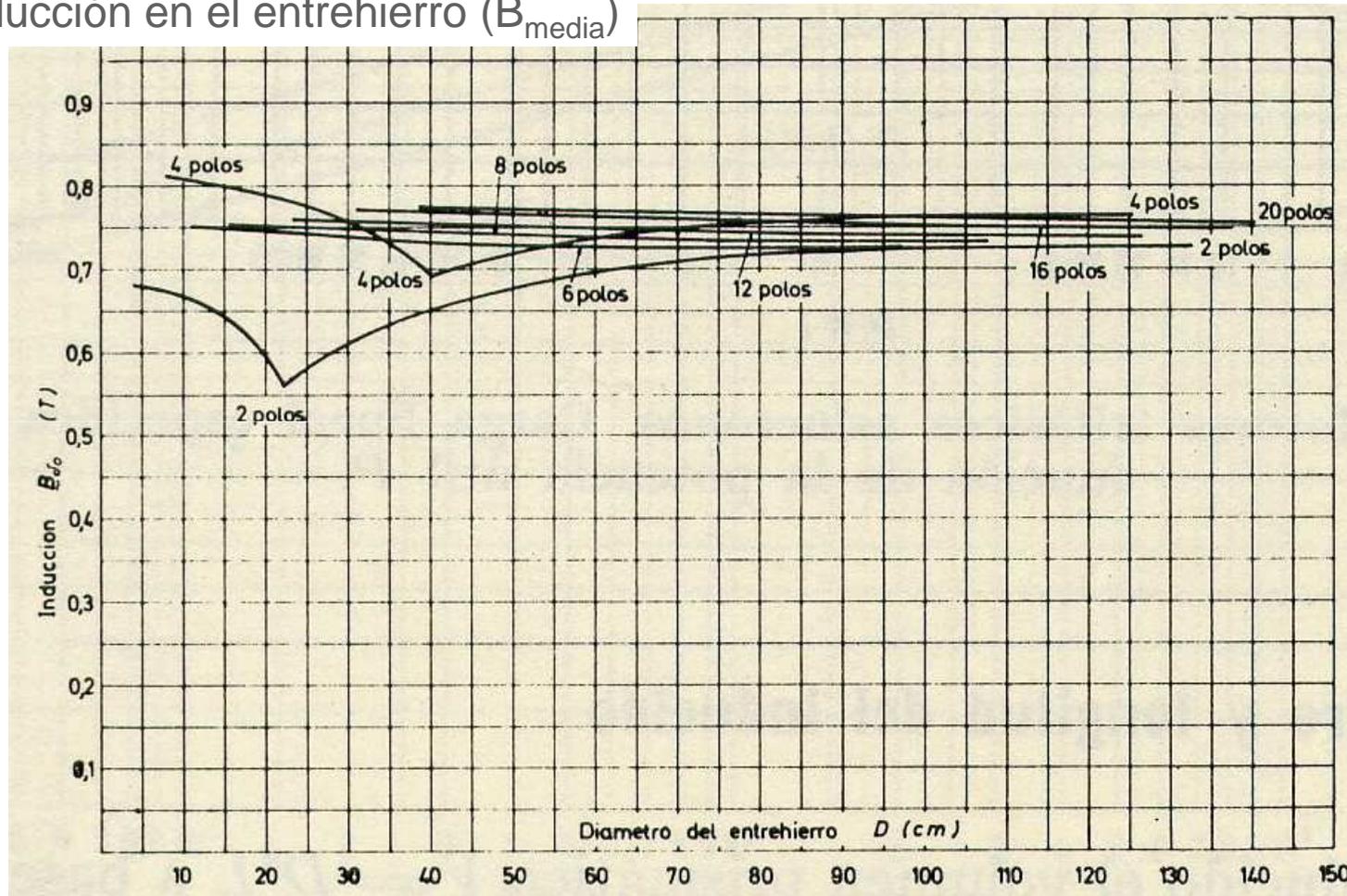


Interesa: margen de sobrecarga hasta alcanzar saturación.



Pauta de cálculo:

Inducción en el entrehierro (B_{media})



Motores trifásicos asíncronos. Inducción B_{d0} recomendable en el entrehierro liso, con onda de campo senoidal y f.e.m. $E_1 = U$



Pauta de cálculo:

Capa de corriente (A)

(8000 – 25000 A-v/m)

A depende:

$$T_{incr} = T_p - T_{amb} = P_{perd} / (S hf)$$

Xd

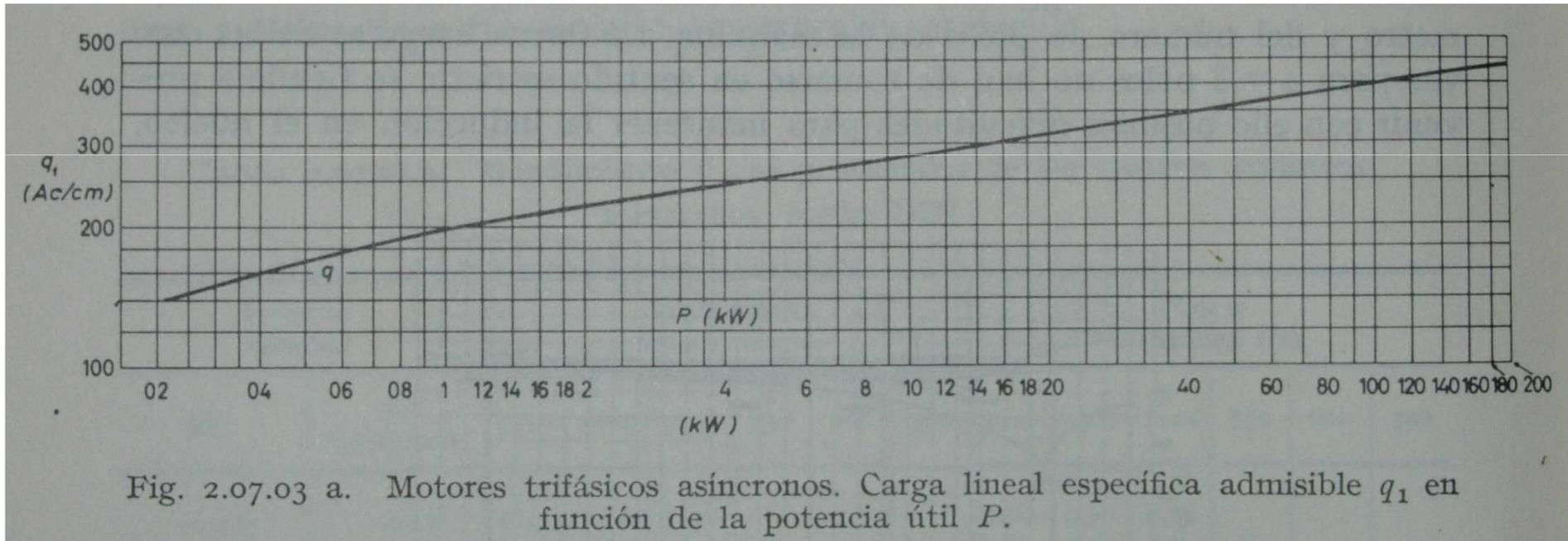
{
D
L
Refrigeración

Condiciona la clase de aislante



Pauta de cálculo:

Capa de corriente (A)



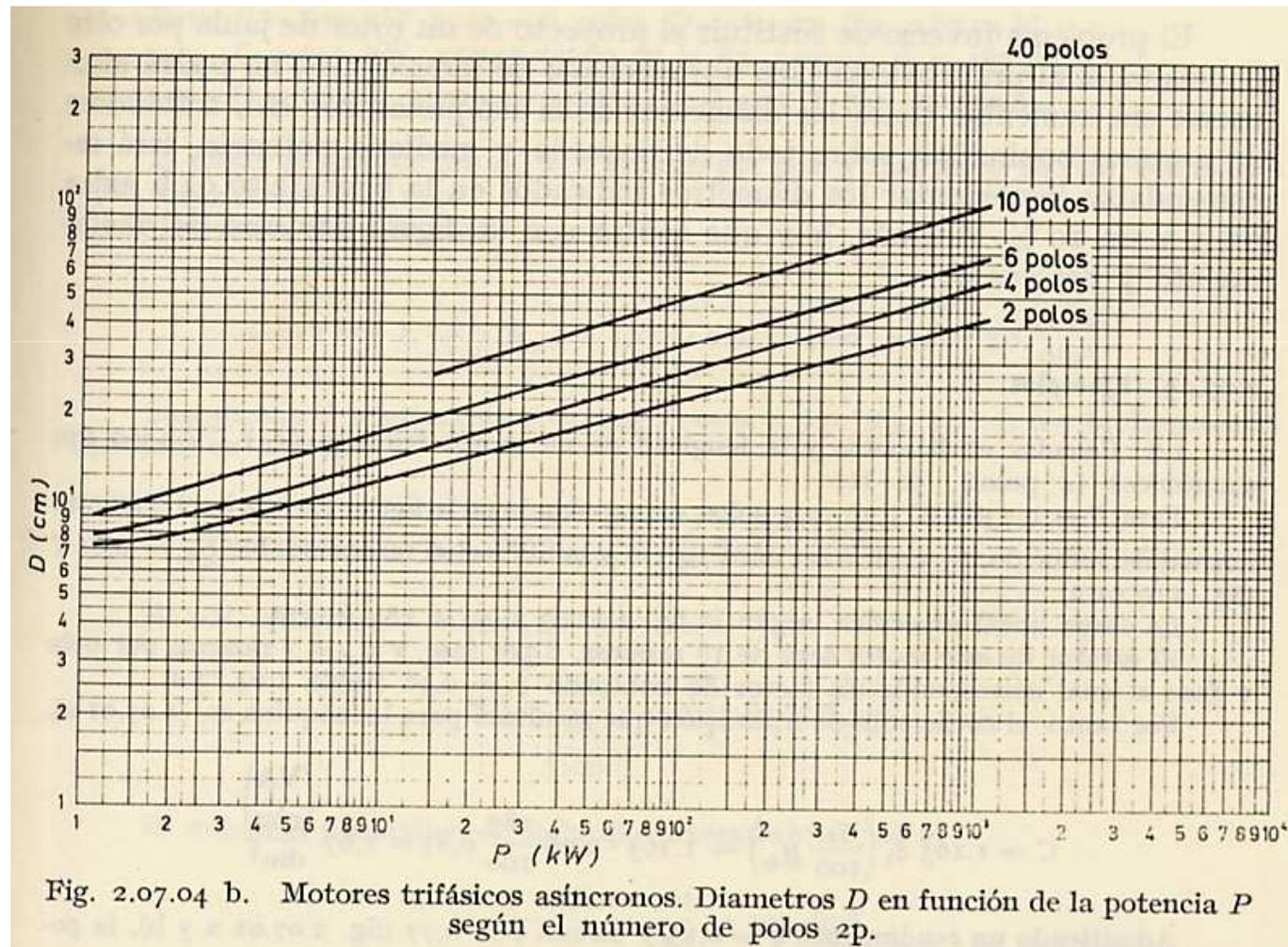


Pauta de cálculo:

Número de polos (p)

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

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





TEMARIO AULA: DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINAS ELECTRICAS

Tema IV Diseño de máquinas asíncronas

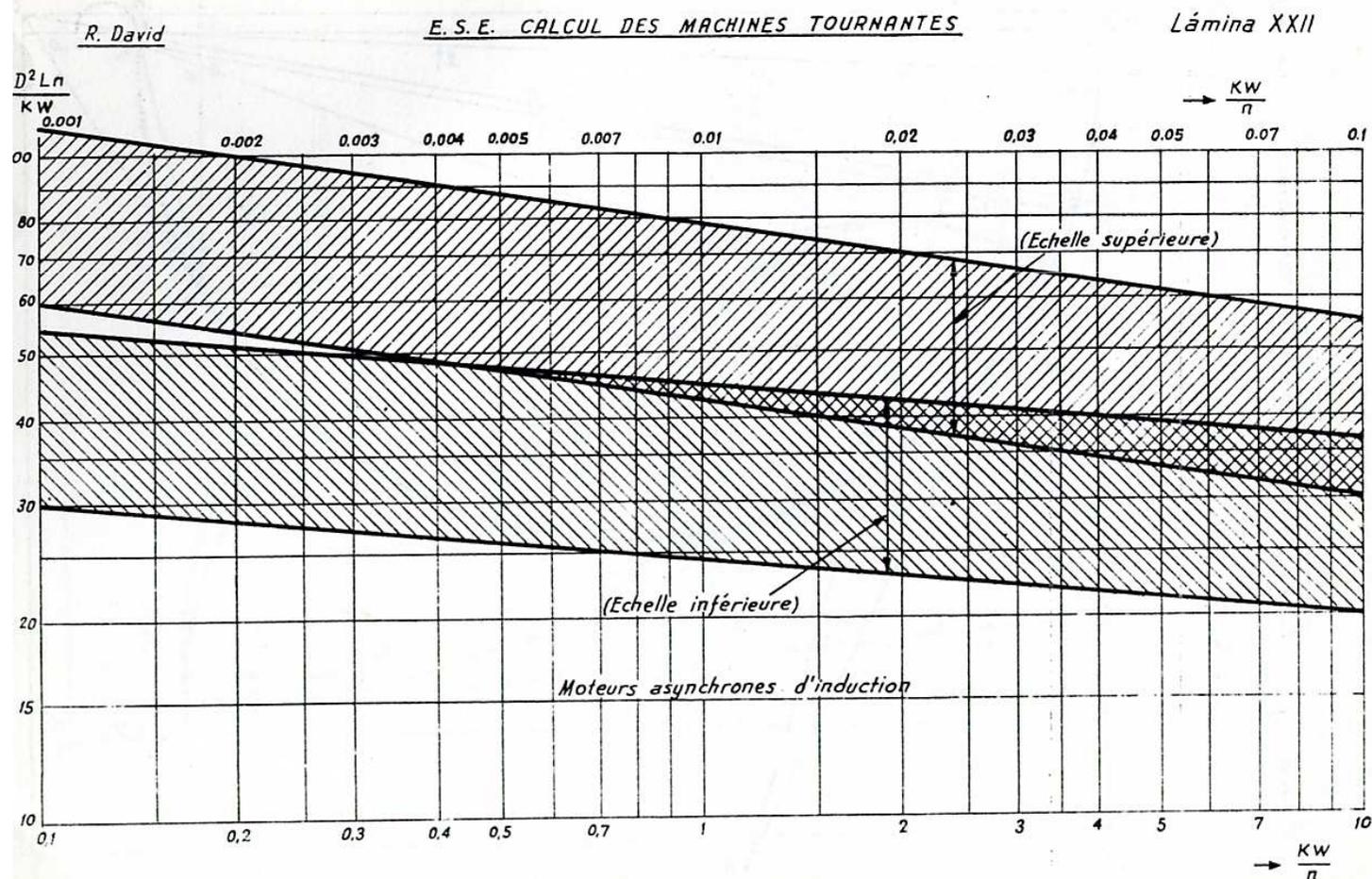
Pauta de cálculo:

Diámetro (D)

Longitud (L).

$$P_{C.A.} = C_{C.A.} (D^2 L) \Omega$$

$$C_{CA} = 1.11 \pi^2 B_{media} A_u$$

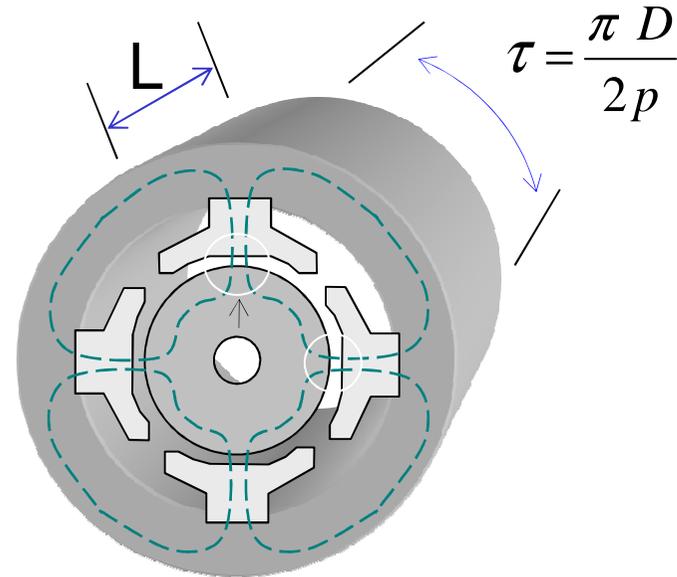




Pauta de cálculo:

Diámetro (D)

Longitud (L).



$$L/\tau = (0,6 - 1 - 1,5 - 2,0)$$

$$L = \frac{\pi D}{2 p} (0,6 - 1 - 1,5 - 2,0)$$

Buen f.d.p. Mínimo coste

Buen rendimiento

Diseño equilibrado

Motor fraccionario

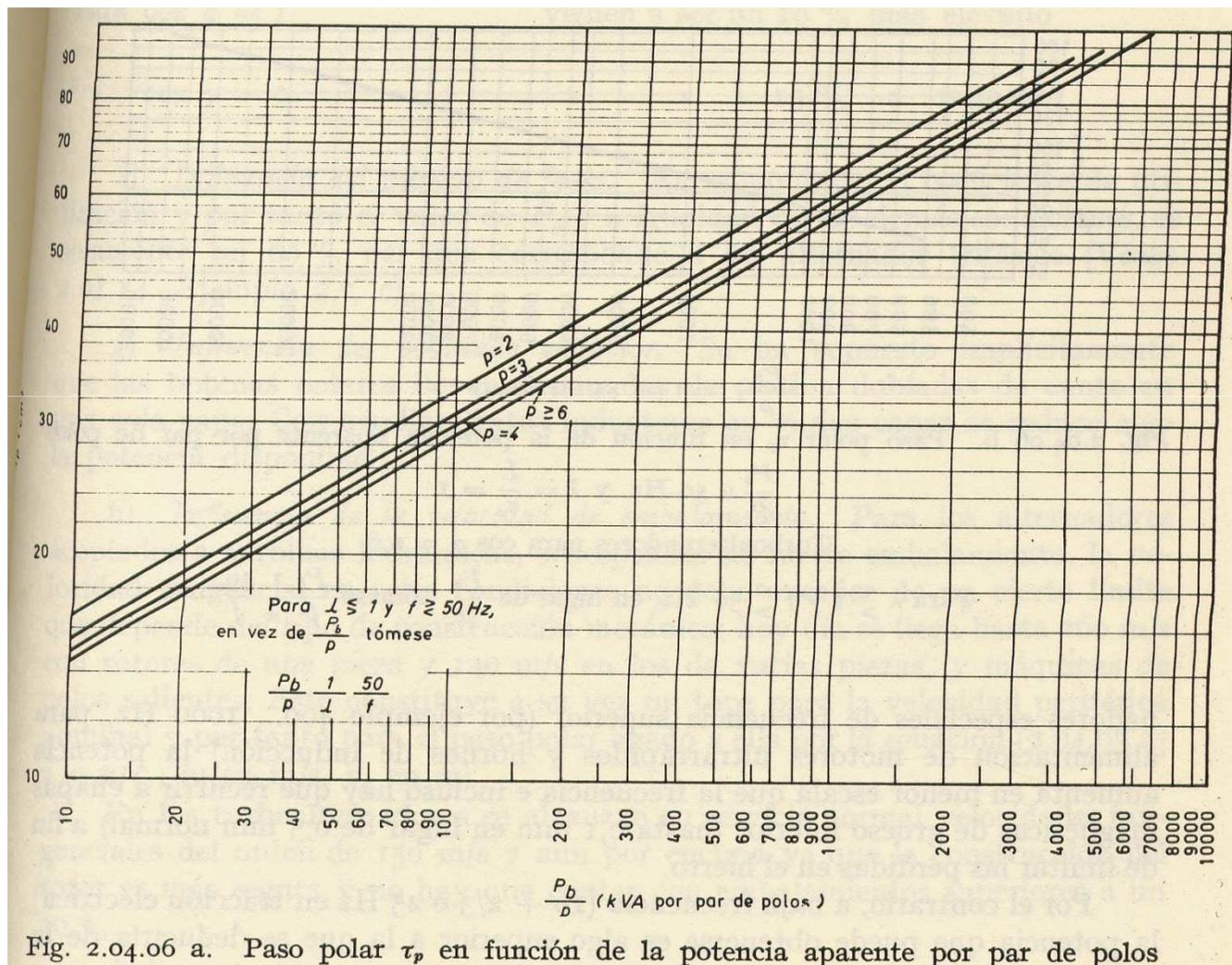


Pauta de cálculo:

Diámetro (D)

Longitud (L).

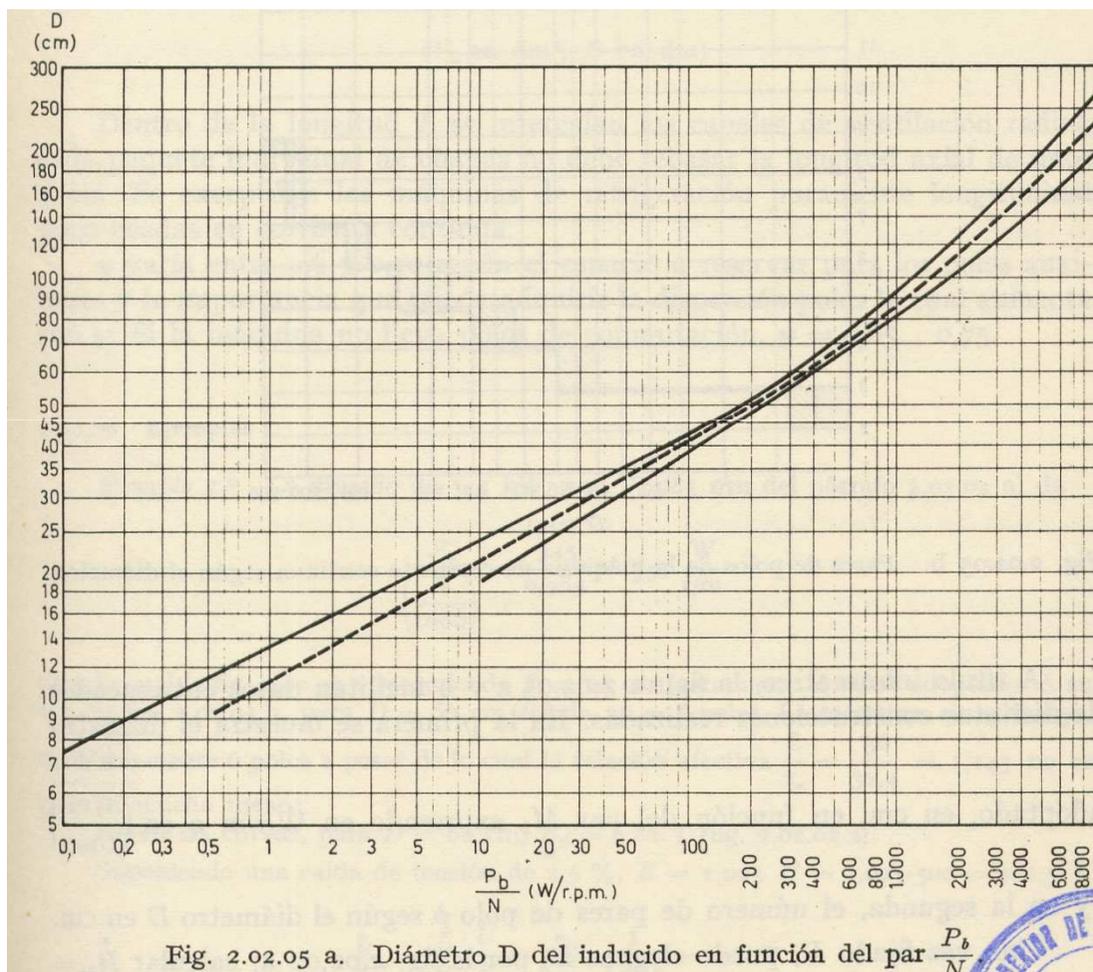
$$L/\tau = (0,6 - 1 - 1,5 - 2,0)$$





Pauta de cálculo:

Diámetro (D)





Pauta de cálculo:

Espesor del entrehierro (g)

Interesa: $\left. \begin{array}{l} \downarrow N_s I \mu \\ \uparrow \text{f.d.p.} \end{array} \right\}$ $\downarrow g$
Tanto como mecánicamente posible

$\left. \begin{array}{l} \downarrow \text{Pérdidas adicionales} \\ \text{(campo pulsante sup)} \\ \downarrow \text{Ruido magnético} \end{array} \right\}$ $\uparrow g$

Experimentalmente:
$$g = 3.06 - \frac{6560}{D + 2280}$$

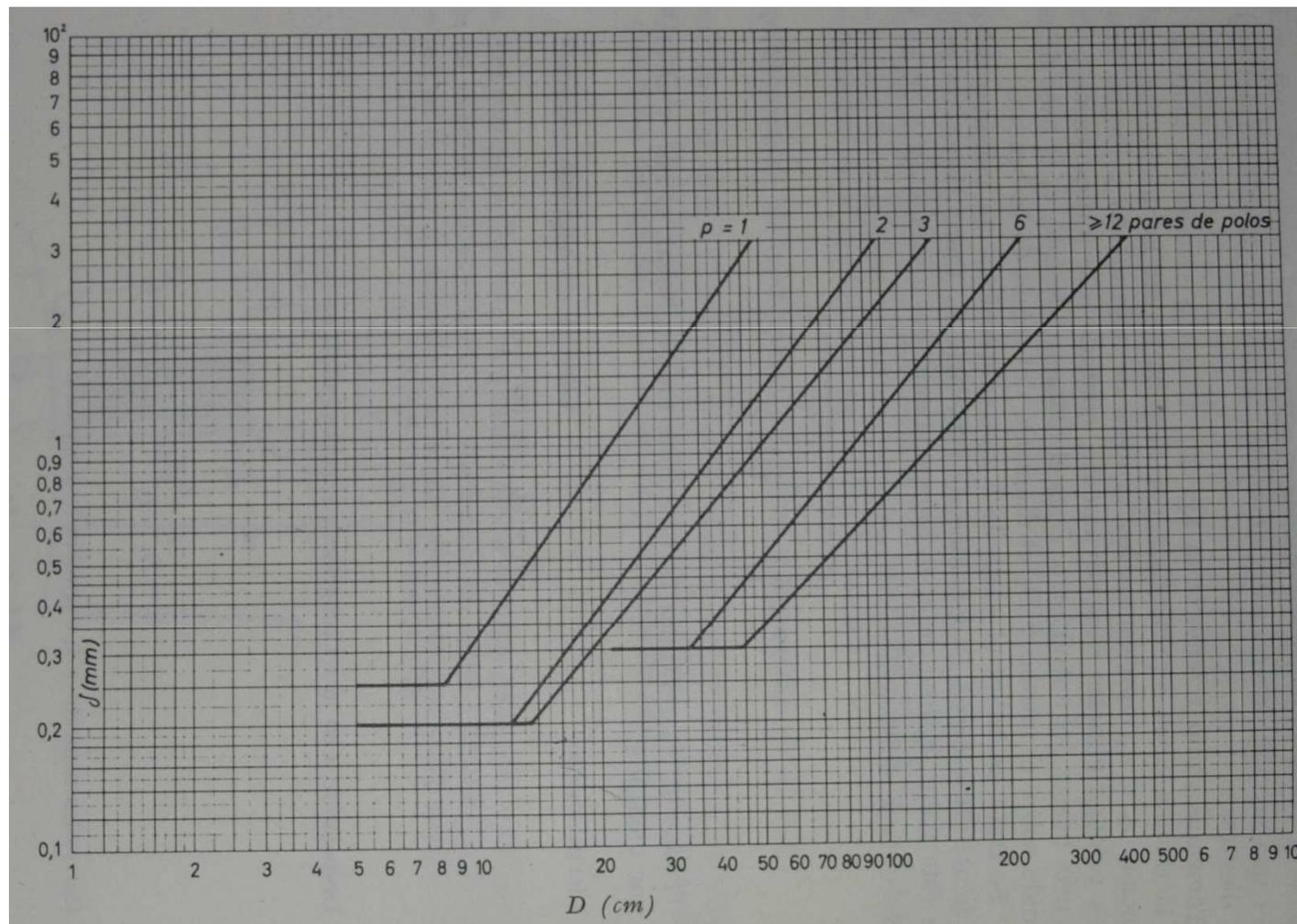
D en [mm]



Pauta de cálculo:

Longitud del entrehierro (g [mm])

Entrehierro de los motores asíncronos en función del diámetro D y del número de pares de polos p .





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:

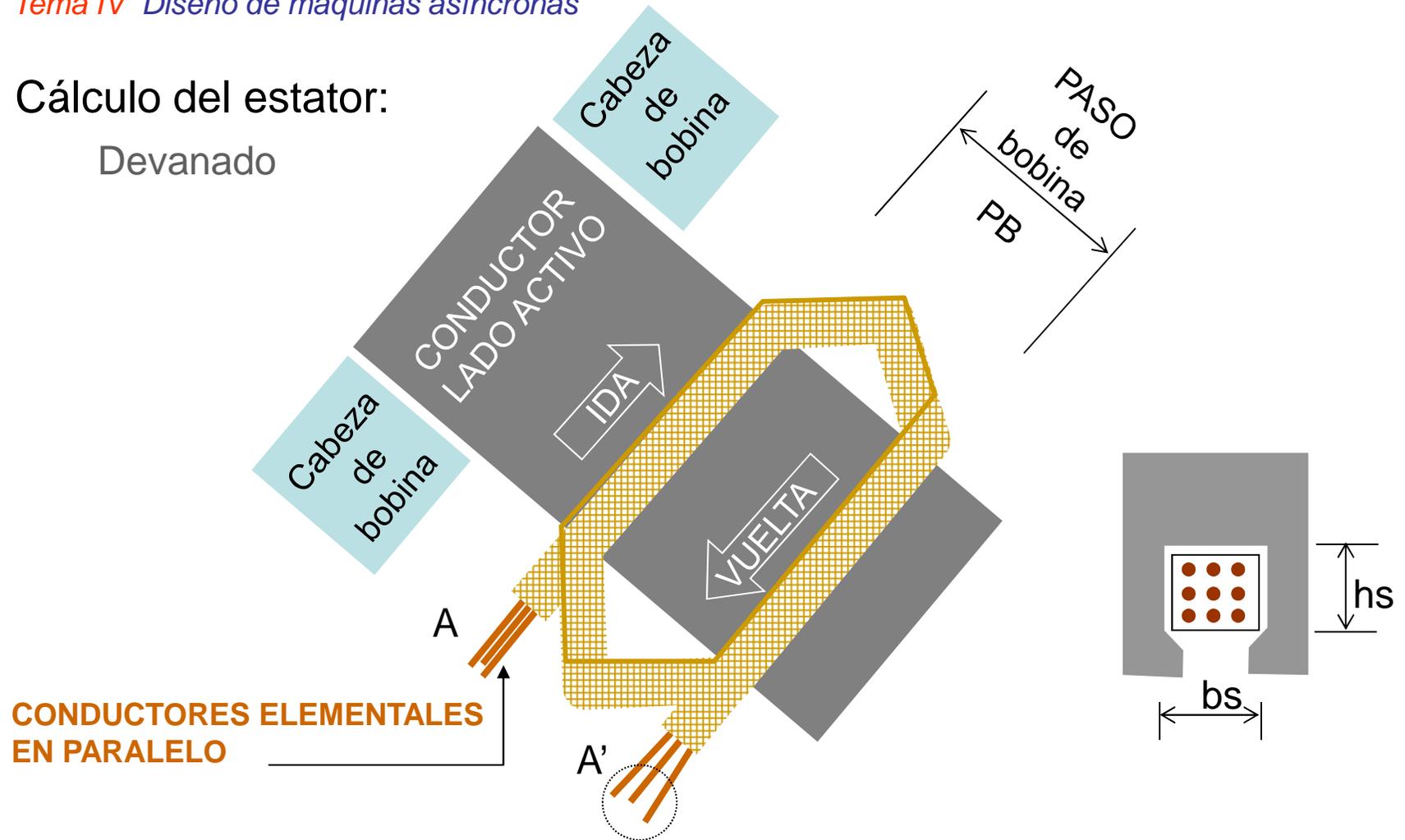
Número de ranuras y dimensiones de las mismas; Devanado.

Cálculo del rotor:

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



Cálculo del estator:
Devanado



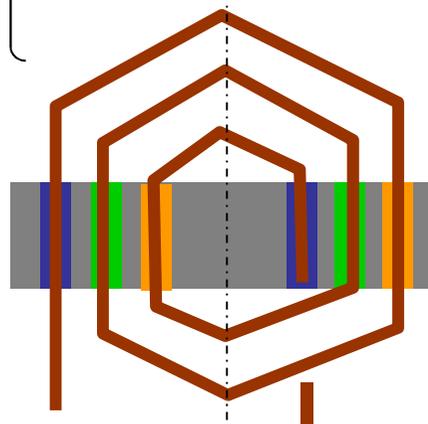
BOBINA: Conjunto de espiras (conductores) en serie. Conductores de ida están en la misma ranura (lado activo de ida). Conductores de vuelta están en la ranura (lado activo de vuelta)



Cálculo del estator:

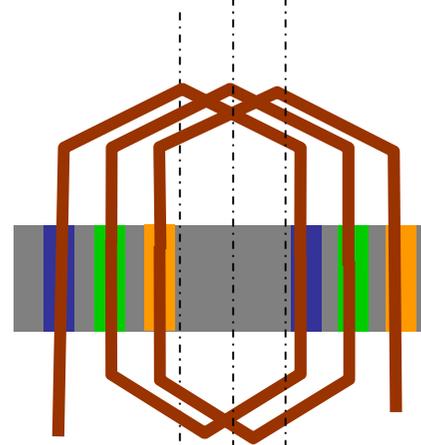
Devanado

Devanado concéntrico



Mismo eje

Devanado excéntrico



Distinto eje

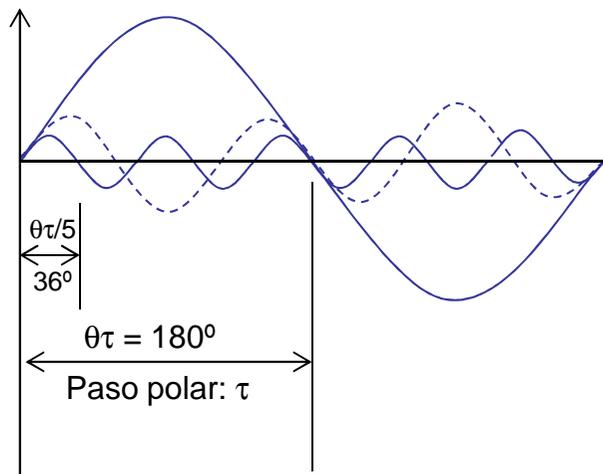




Cálculo del estator:

Devanado distribuido

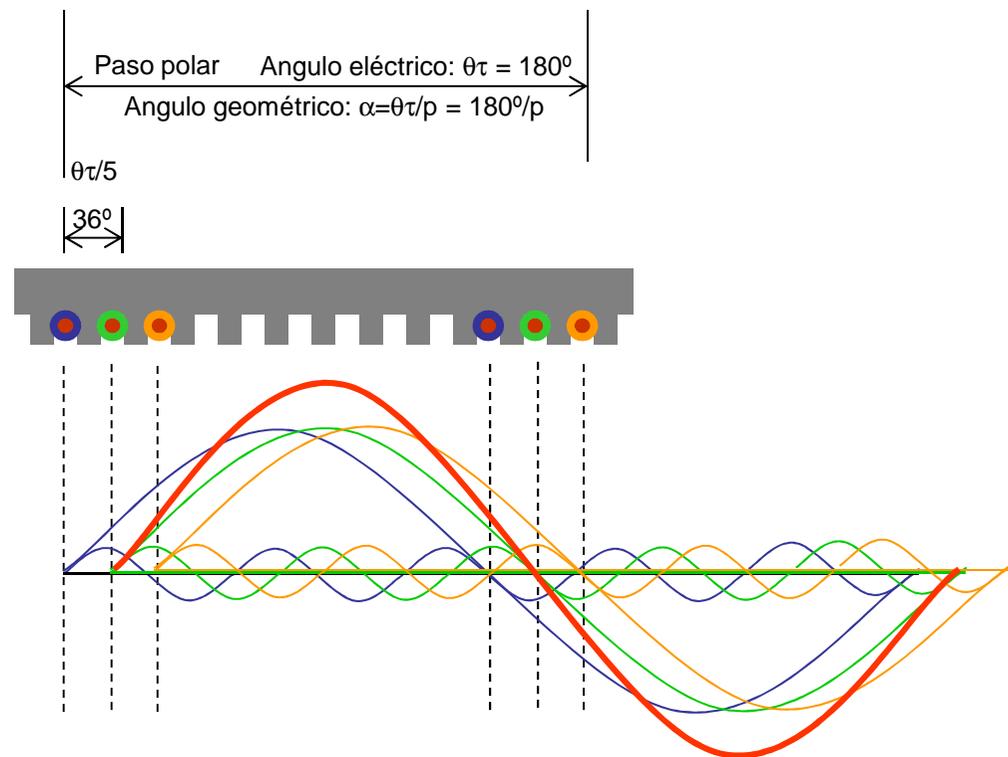
Para eliminar e contenido armónico del campo se distribuye el devanado. Dado que al ser una máquina trifásica, el armónico 3º se anula (bien con estrella o triángulo). **Para eliminar el armónico 5º, se debe acortar el devanado 1/5 del paso polar.** Del armónico 7º en adelante, se desprecian.



Angulo geométrico: α

Angulo eléctrico: $\theta = p \alpha$

Angulo eléctrico paso polar: $\theta\tau = p \alpha\tau = 180^\circ$



Los armónicos se cancelan.



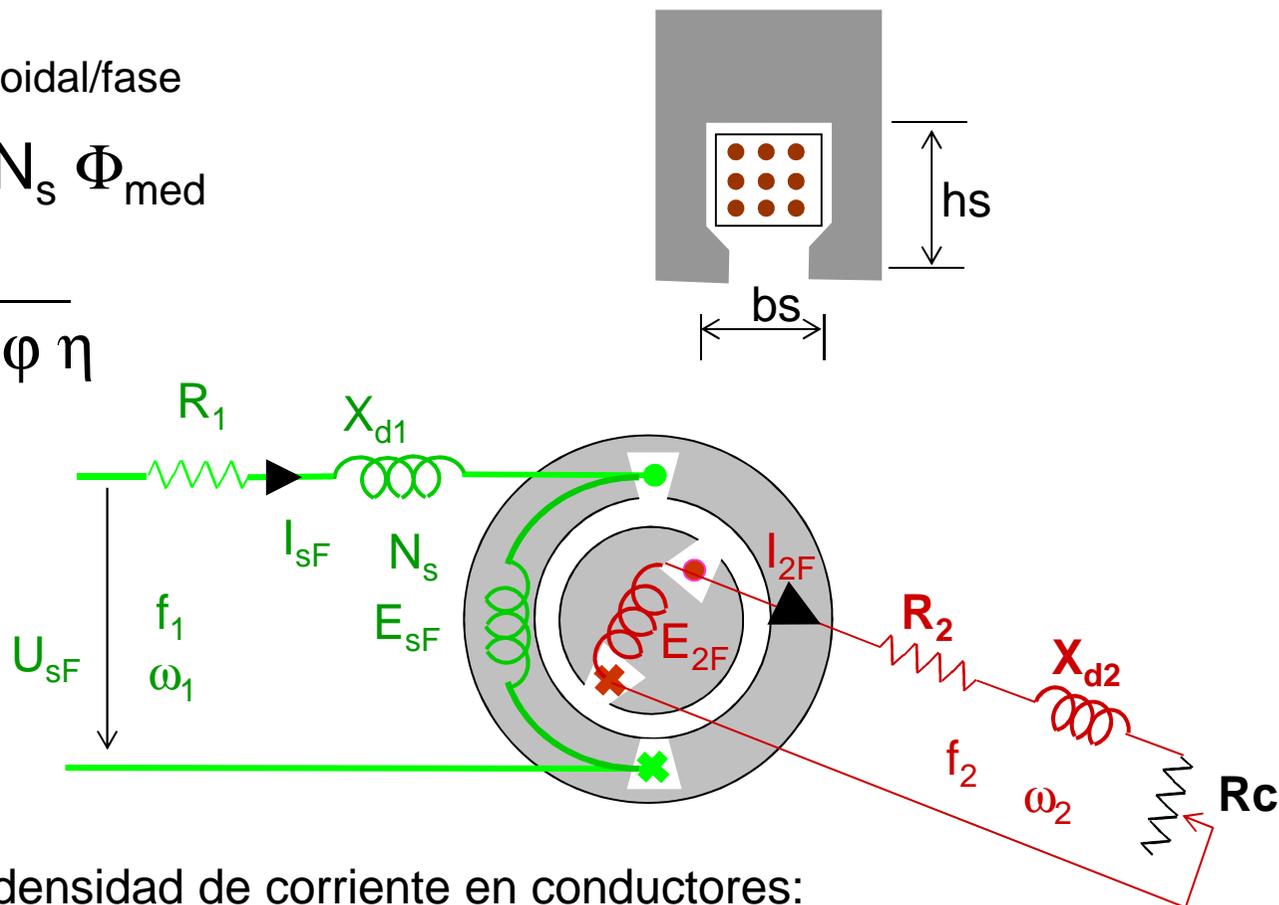
Cálculo del estator:

Devanado

Supuesta distribución senoidal/fase

$$E_{sF} = 4 K_f K_b f N_s \Phi_{med}$$

$$I_{sF} = \frac{P_u}{3 U_{sF} \cos\phi \eta}$$



Valores admisibles de densidad de corriente en conductores:

$$J_s = 3 - 6 \text{ A/mm}^2 \quad (+ \text{ refrigerado})$$



Cálculo del estator:

Devanado

Supuesta distribución senoidal/fase

$$E_{sF} = 4 K_f K_b f N_s \Phi_{\text{medio}} = 0,97 U_{sF} = U_{sF} - (R_1 + j X_{d1}) I_{sF} \quad \Rightarrow \quad N_s$$

$$I_{sF} = \frac{P_u}{3 U_{sF} \cos \varphi \eta} \quad \Rightarrow \quad s_{cs} = \frac{I_{sF}}{J_s}$$

$$L_{\text{esp}_s} = 2 L + 2,3 \tau$$

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



Cálculo del estator:

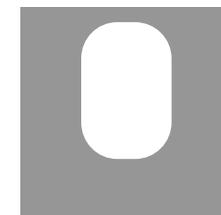
Número de ranuras y dimensiones de las mismas.



Abierta



Semicerrada



Cerrada

Tabla 6.7
Selección de ranura del estator

| Polos (<i>p</i>) | Núm. de ranuras del estator n_{rs} | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54 | 60 | 66 | 72 | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | 12 | | 24 | | 36 | | 48 | | 60 | | 72 | |
| 6 | | | 18 | | 36 | | 54 | | | | | | |
| 8 | | | | 24 | | | | 48 | | | | | |

$\uparrow n_{rs}$
}

- \uparrow Aislante
- \uparrow Coste montaje bobinas
- $\uparrow X_d = \omega L_d = \omega (Nc \Phi_d)$

|



Cálculo del estator:

Número de ranuras y dimensiones de las mismas.

Factor de llenado de ranura: $K_r = 40 - 50 \%$

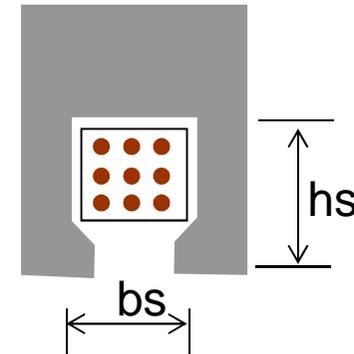
$$S_{rs} = (N_{cr} s_c) / K_r = bs \cdot hs$$

$$B_{diente} \approx 1,7 T \quad \Rightarrow \quad hs / bs = 3 - 6$$



$$ts - bs = \frac{\rho \Phi_{media}}{1,7 L}$$

$$B_{nucleo_s} = 1,5 T \quad \Rightarrow \quad De - D - 2 hs = \frac{\Phi_{media}}{1,5 L}$$





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.