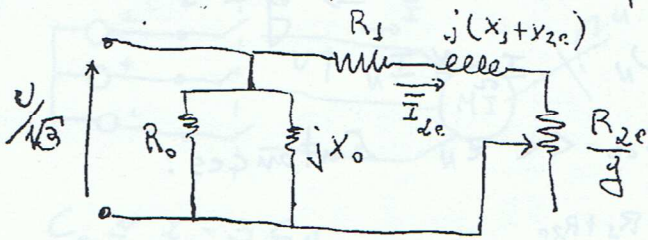


Maquina de Induccion

(1)

Circuito monofasico  $\wedge$  equivalente:



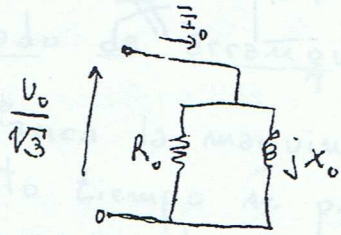
INTROD. A. LA ELECTROTÉCNICA.

CLASE DEL. MIÉRCOLES 26/05/09.

¿ Como determinar  $R_0, X_0, R_1, (X_1+X_{2e}), R_{2e}$ ?  $\Rightarrow$  Ensayos.

1) Ensayo de Vacío

Se hace girar la maquina a  $n \approx n_s \Rightarrow g \approx 0 \Rightarrow I_{2e} \approx 0$   
 En estas condiciones el circuito equivalente queda:



El ensayo se realiza a:  $\begin{cases} U_0 = U_N \\ f = f_N \end{cases}$

Se mide:  $P_0, U_0, I_0 \Rightarrow$   $\begin{cases} R_0 = \frac{U_0^2}{P_0} \\ X_0 = \frac{U_0^2}{Q_0} \end{cases}$   $\#$

$Q_0 = \sqrt{(\sqrt{3}U_0 I_0)^2 - P_0^2}$

$\hookrightarrow$  total

Observacion: Para lograr  $n = n_s$  se debe arrastrar la maquina mediante un motor auxiliar de forma tal que esta maquina auxiliar suministre las perdidas de ventilacion y friccion.  
 Si no se hace esto lo que se logra es  $n \approx n_s$  ( $g \approx 0,001$ )





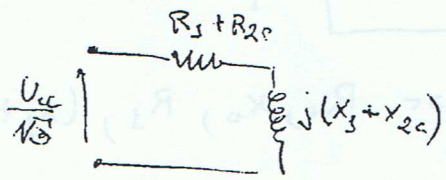
### Ensayo de rotor bloqueado.

se bloquea mecánicamente el rotor  $\Rightarrow n=0 \Rightarrow g=1$

El ensayo se efectúa a  $U_{cc} < U_N / I_{cc} \approx I_N$

Para  $g=1$  y  $U_{cc} \ll U_N ; Z_{cc} \ll Z_N$  Entonces:

Circuito equivalente:



Midiendo:  $P_{cc}, I_{cc}, U_{cc}$  se determina:  $\bar{Z}_{cc} = R_1 + R_{2e} + j(X_1 + X_{2e})$

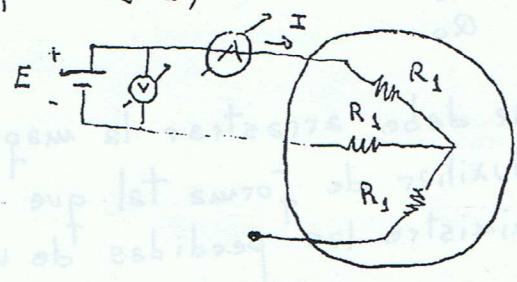
$$\left[ \bar{Z}_{cc} = \frac{U_{cc}/\sqrt{3}}{I_{cc}} \angle \arccos\left(\frac{P_{cc}}{\sqrt{3}U_{cc}I_{cc}}\right) \right] \neq$$

observar que se determina:  $\begin{cases} R_1 + R_{2e} \\ (X_1 + X_{2e}) \end{cases}$

Se requiere separar  $R_1$  de  $R_{2e} \Rightarrow$  ensayo en continua.

### 3) Ensayo en continua.

En continua el modelo de la máquina es una resistencia por fase ( $R_1$ )



$$\frac{E}{I} = 2R_1 \Rightarrow \text{se determina } R_1$$

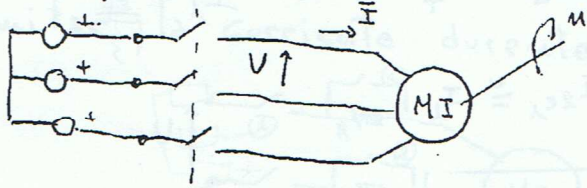
$$E / I \approx I_N$$

Por diferencia se determina  $R_{2e}$ .



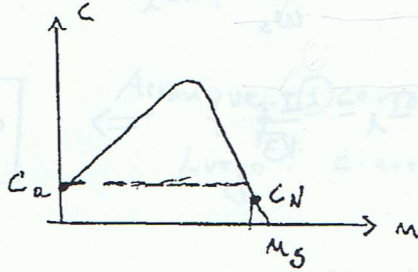
# Modos de arranque de la MI.

## Arranque Directo



$$C_a \approx 2 - 3 C_N$$

$$I_a \approx 5 - 7, I_N$$

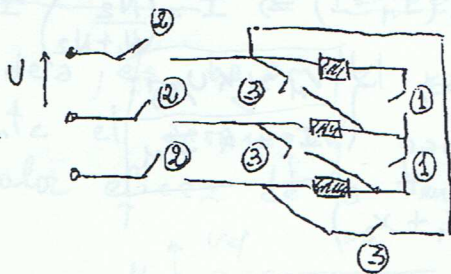


Problema: corriente de arranque muy alta.  
 el problema es mayor en máquinas "grandes"

⇒ Método adecuado para máquinas hasta  $\approx 3 - 5$  HP.

## 1) Método de arranque $\lambda/\Delta$ .

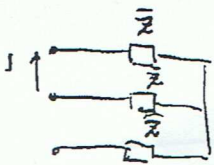
Se arranca la máquina conectada en  $\lambda$  y luego de transcurrido un cierto tiempo se pasa a  $\Delta$ .  
 Es necesario disponer de los 6 bornes de las bobinas estatoricas



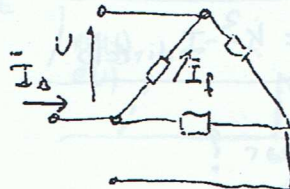
Inicialmente: ①, ②, ③ abiertos

Arranque:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{Cierro ①} \quad \text{cierro ②} \\ \text{Abro ③} \quad \text{cierro ③} \end{array} \right.$   
 transcurrido  $\Delta t$ .

¿En cuanto se baja la corriente?



$$\bar{I}_\lambda = \frac{U/\sqrt{3}}{Z}$$



$$\bar{I}_f = \frac{U}{Z}$$

$$I_\Delta = \sqrt{3} I_f$$

$$\Rightarrow I_\Delta = \sqrt{3} \frac{U}{Z}$$

Entonces:  $\frac{I_\lambda}{I_\Delta} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z} \cdot \frac{Z}{\sqrt{3}U} = \frac{1}{3} \Rightarrow \boxed{\frac{I_\lambda}{I_\Delta} = \frac{1}{3}}$



de pasa con el par de arranque?

$$C_{\Delta} = 3 \times \frac{R_{2e}}{\omega_s} I_{2e\Delta}^2 \quad I_{2e\Delta} \approx I_f$$

$$C_{\lambda} = 3 \times \frac{R_{2e}}{\omega_s} I_{2e\lambda}^2 \quad I_{2e\lambda} \approx I_{\lambda}$$

$$I_{\lambda} = \frac{I_f}{\sqrt{3}}$$

$$\Rightarrow \boxed{C_{\lambda} = \frac{C_{\Delta}}{3}}$$

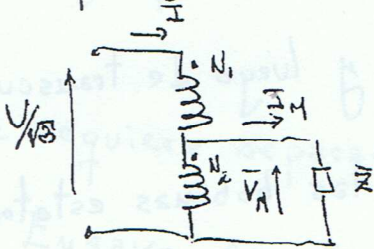
factor a tener en cuenta si la máquina arranca cargada.

Método usado para máquinas con potencia entre  $\approx 5 \text{ HP} - 25 \text{ HP}$ .

### 3) Arranque por autotransformador.

Se instala un autotransformador entre la red y la máquina de forma tal de arrancar la máquina a tensión reducida.

Por fase durante el arranque:



$$\frac{U/\sqrt{3}}{N_1 + N_2} = \frac{V_M}{N_2} \Rightarrow V_M = \left( \frac{N_2}{N_1 + N_2} \right) \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$N_1 I = N_2 (I_M - I) \Rightarrow I = \left( \frac{N_2}{N_1 + N_2} \right) I_M$$

$$k = \frac{N_2}{N_1 + N_2} \Rightarrow \begin{cases} V_M = k U/\sqrt{3} \\ I = k I_M \end{cases}$$

Arranque  $g=1 \Rightarrow \bar{z}_{cc} = R_1 + R_{2e} + j(x_1 + x_{2e})$

$$I_M \approx I_{2e} = \frac{k U/\sqrt{3}}{\sqrt{(R_1 + R_{2e})^2 + x^2}} = k I_{\text{directo}}$$

$$\Rightarrow \boxed{I = k^2 I_{\text{directo}}}$$

¿Que sucede con el par?

$$C_{\text{arr}}^{\text{dir}} = 3 \times \frac{R_{2e}}{\omega_s} I_{2e}^2$$

$$C_{\text{arr}}^{\text{Auto}} = 3 \times \frac{R_{2e}}{\omega_s} \times k^2 I_{2e}^2 = k^2 C_{\text{arr}}^{\text{dir}}$$

$$\boxed{C_{\text{arr}}^{\text{Auto}} = k^2 C_{\text{arr}}^{\text{dir}}}$$

- cuidado si MI arranca en carga (carga tipo paralelo por ej)

- Usado para potencias  $\approx \geq 25 \text{ HP}$

$$V_M = k \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$I = k^2 I_{\text{directo}}$$

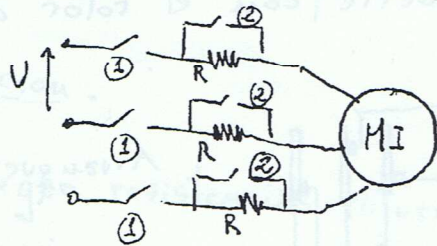
$$I = k I_M$$

$$C = k^2 C_{\text{directo}}$$

# estato Estatorico.

(5)

- agregan resistencias en serie con el estator de forma de limitar la corriente durante el arranque.



Arranque: ① cerrado ② abierto  
Luego: cierra ②

$$I_{arr} \approx I_{2e} = \frac{V/\sqrt{3}}{\sqrt{(R_1' + R_{2e})^2 + X^2}}$$

$\uparrow$  propio del estator.  
 $\rightarrow R_1' = R_1 + R$

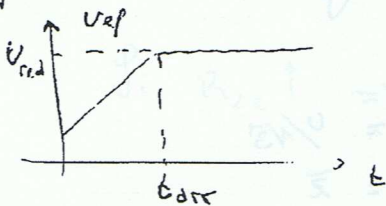
R se puede sacar en mas de una etapa.  
¿Que pasa con el par?

Si se inserta R /  $I_{arr}^R = \frac{I_{arr}^{Dir}}{3} \Rightarrow C_{arr}^R = 3 \times \frac{R_{20}}{w_s} \times \frac{I_{arr}^{Dir^2}}{9} = \frac{C_{arr}^{Dir}}{9}$

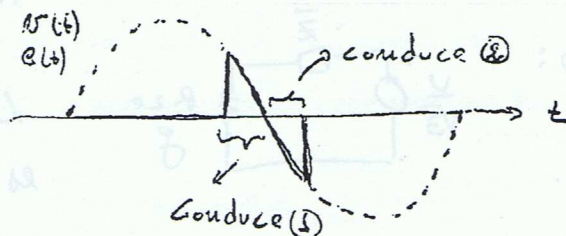
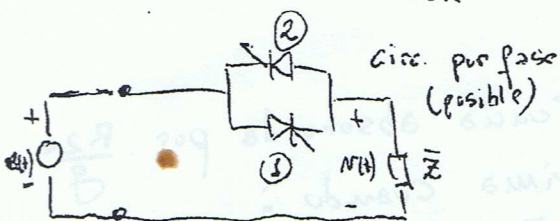
El par se reduce 9 veces  $\Rightarrow$  No cumple con  $\lambda/\Delta$ .

## 5) Arranadores de estado solido.

La idea es bajar el valor eficaz de la tension de alimentacion durante el arranque para luego subirla "suavemente" hasta el valor eficaz de la tension de red.



valor eficaz:  $V_{ef}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt$



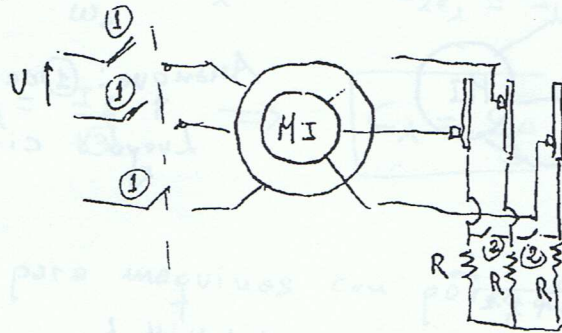
En regimen para  $t \geq t_{arr}$  ① conduce todo el semiciclo positivo y ② conduce todo el semiciclo negativo.



# Reostato Rotorico.

(6)

Solo aplicable a motores de rotor bobinado.  
Se insertan resistencias en serie con el rotor durante el arranque.



Arranque: ② abierto  
          ③ cerrado

Luego: Cierro ②

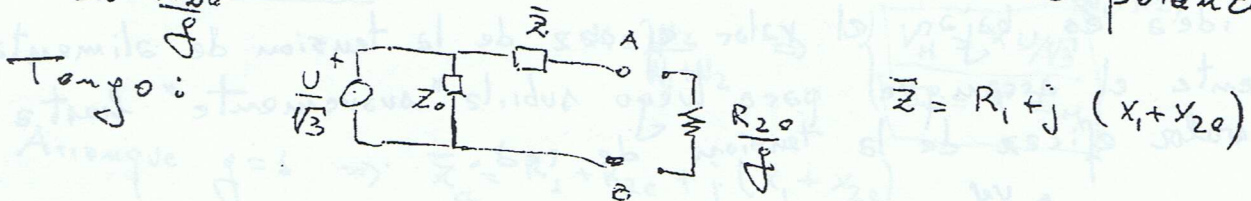
¿Que se logra con esto?

$$C \times (1-g) \omega_s = 3 \times \left( \frac{1-g}{g} \right) R_{2e} I_{2e}^2$$

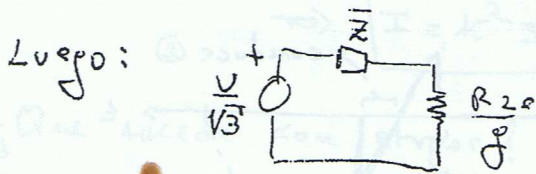
$$\Rightarrow C \times \omega_s = 3 \times \frac{R_{2e} I_{2e}^2}{g}$$

El par es proporcional a la potencia disipada en  $\frac{R_{2e}}{g}$ .

$\Rightarrow$  El par se maximiza cuando se hace máxima potencia en  $\frac{R_{2e}}{g}$ .



Equivalente entre A y B:  $V_{th} = U/\sqrt{3}$   
 $\bar{Z}_{th} = \bar{Z}$



La potencia absorbida por  $\frac{R_{2e}}{g}$  es maxima cuando:

$$|\bar{Z}| = \frac{R_{2e}}{g}$$

$$\Rightarrow \boxed{g^* = \frac{R_{2e}}{\sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_{2e})^2}}}$$

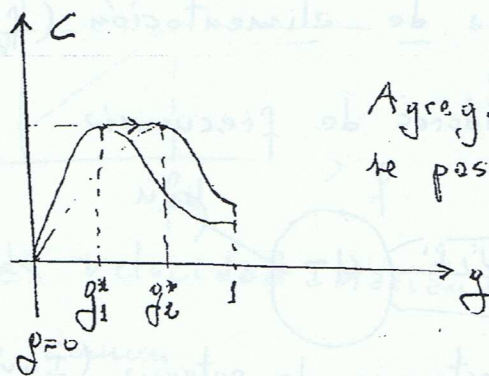
deslizamiento de par maximo.

$$\rightarrow \text{Par máximo: } C_{\max} = C(g^*) = \frac{U^2}{2\omega_s(\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2)^2} + R_2)} \quad (+)$$

- El par máximo no depende de  $R_{2e}$ .

### Interpretación.

- 1) Al agregar resistencias rotoricas no cambia el valor del par máximo.
- 2) Agregando resistencias rotoricas se hace crecer  $g^*$



Agregando resistencias rotoricas se pasa de  $g_1^*$  a  $g_2^*$

En particular se puede hacer que  $g^* = 1$

Observación:  $I_{sc} \approx I_{2e} = \frac{U/\sqrt{3}}{\sqrt{(R_1 + R_{2e})^2 + X^2}}$

Si  $R_{2e} \uparrow \Rightarrow I_{sc} \downarrow$

Observación: No es eficiente.



## Variación de velocidad en MI

⑧

$$\omega_s = \frac{2\pi f}{P}$$

↳ velocidad a la que gira el campo giratorio.

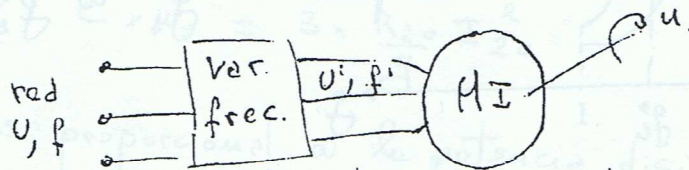
### 1) Variación del nº de pares de polos (P)

⇒ Máquinas construidas especialmente.

- valores discretos de velocidad.
- esta en des uso.

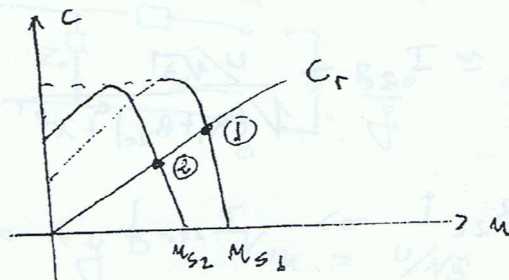
### 2) Varia la frecuencia de alimentación (f)

⇒ Utilización de variadores de frecuencia.



↑ electrónica de potencia (Inversor).

Funcionamiento: ejemplo par de carga  $C_r = k\omega$



Al bajar la frecuencia se pasa de  $\omega_{s1} \rightarrow \omega_{s2}$  y el punto de funcionamiento pasa de ①  $\rightarrow$  ②.

Observación: relación entre flujo, tensión y frecuencia.

$$V = k f \phi$$

Si  $f \downarrow$  y  $V = \text{cte} \Rightarrow \phi \uparrow \Rightarrow$  la máquina satura.



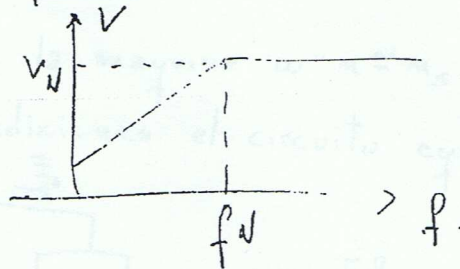
Solucion: variar  $V / \frac{V}{f} = \text{cte}$  para  $f \leq f_N$ . ①

Para  $f > f_N$ :

Si se quiere mantener  $\frac{V}{f} = \text{cte} \Rightarrow$  tendria  $V > V_N \Rightarrow$  No

Solucion: para  $f > f_N$ :  $V = V_N$

Observacion: para  $f > f_N$  la maquina trabaja a flujo menor que el nominal (desmagnetizacion)



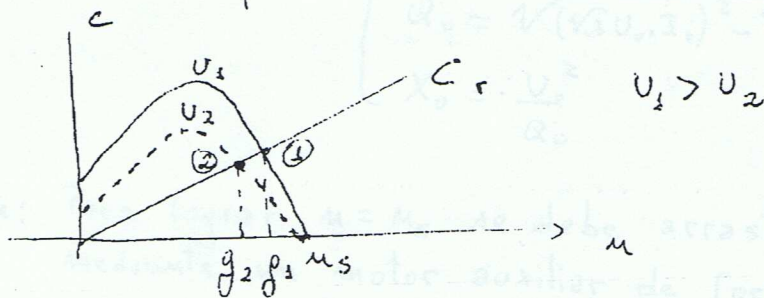
Curva tipica de variadores de frecuencia.

3) Variacion de velocidad variando tension de alimentacion

1) No es muy comun.

2) Se trabaja a deslizamientos altos.

3) Se requieren maquinas con  $R_{2e}$  alta (por ②)



Se pasa de ① a ②  $\Rightarrow g_1 \rightarrow g_2$  ( $g_2 > g_1$ )

$\Rightarrow$  Aumenta  $I_{2e} \Rightarrow$  peligroso.

No es eficiente.

