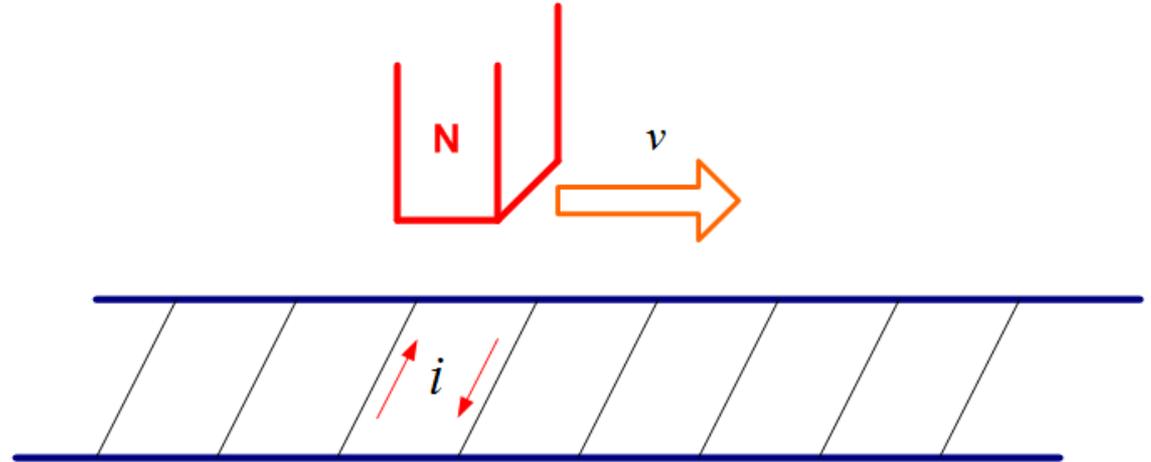


Máquinas de inducción

Estructura:

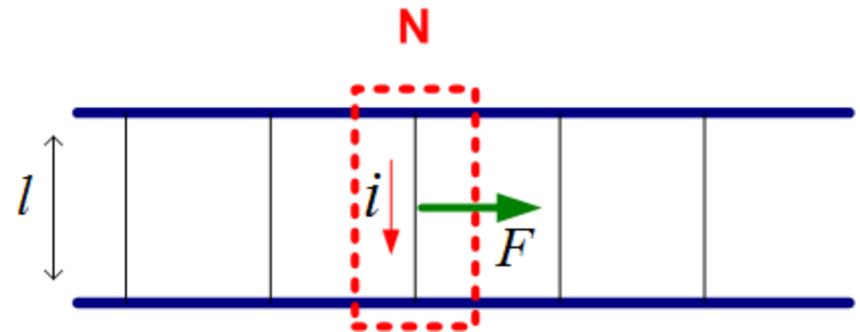


Ley de Faraday:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt}$$

Ley de Biot-Savart:

$$F = ilB$$

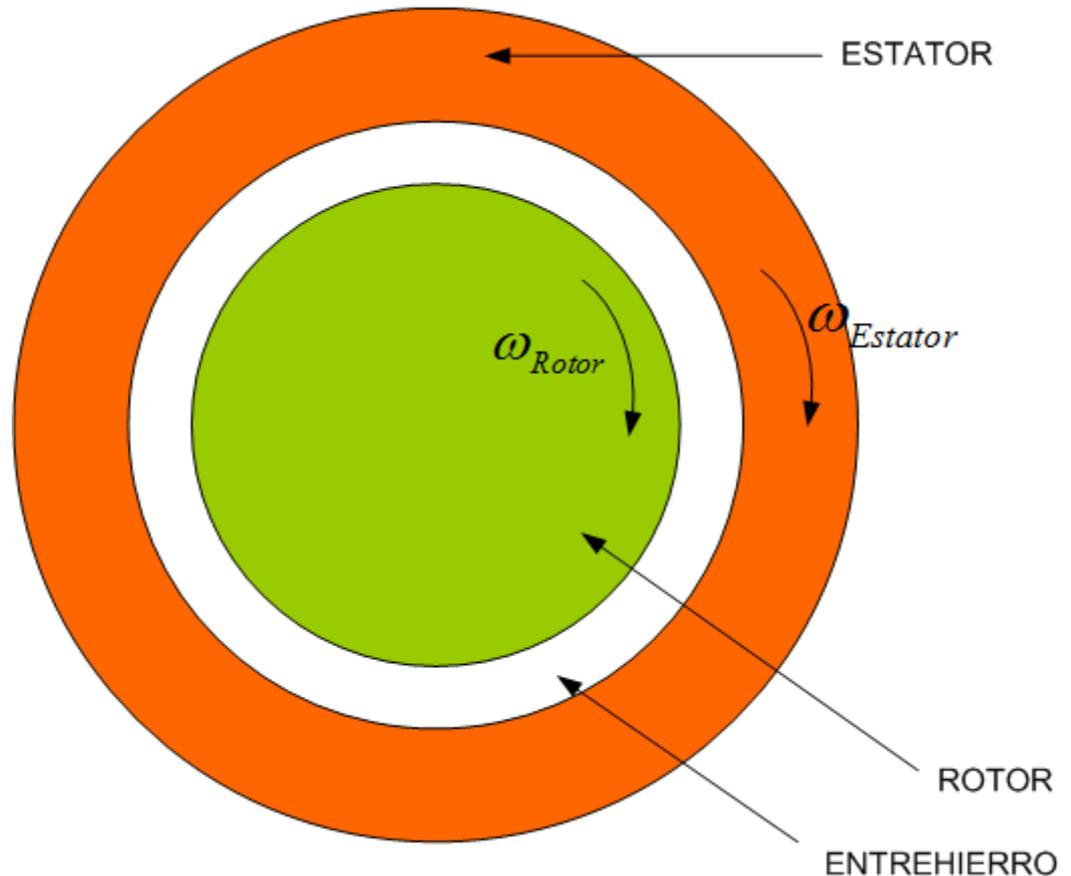


Máquinas de inducción

Aparecerá otro campo giratorio en el rotor:

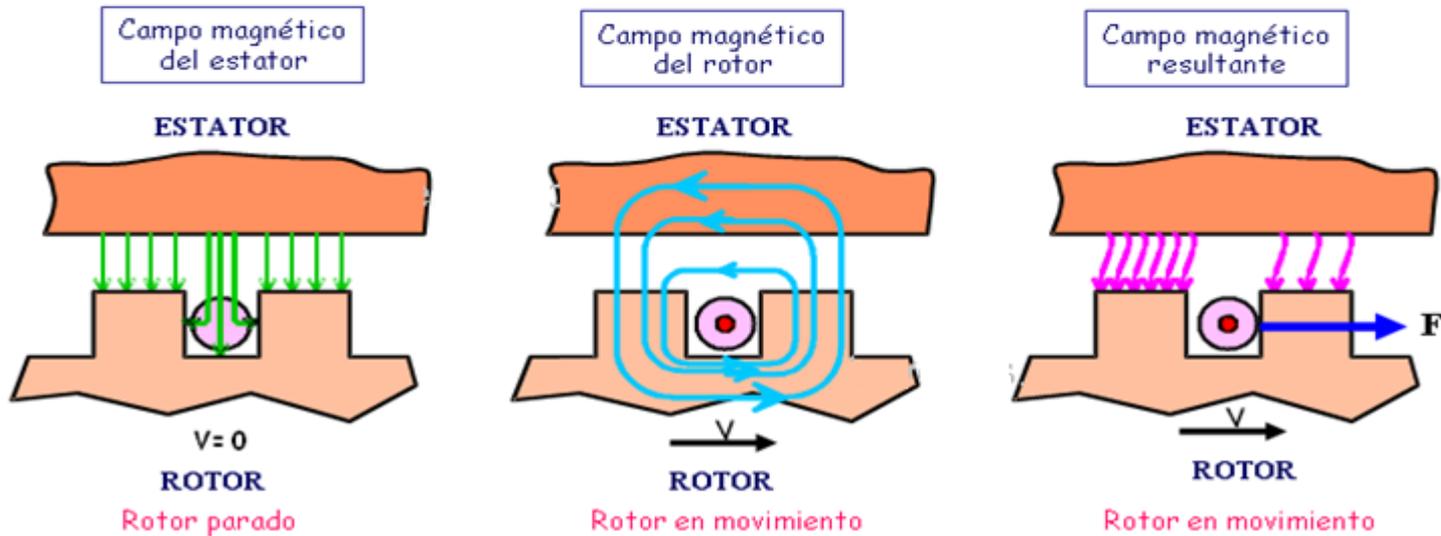
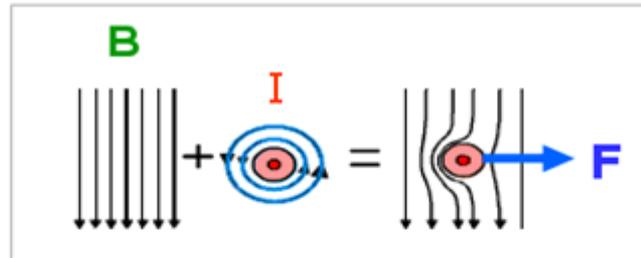
$\omega_{Estator}$ Velocidad angular,
campo giratorio
estator

ω_{Rotor} Velocidad angular,
campo giratorio
rotor



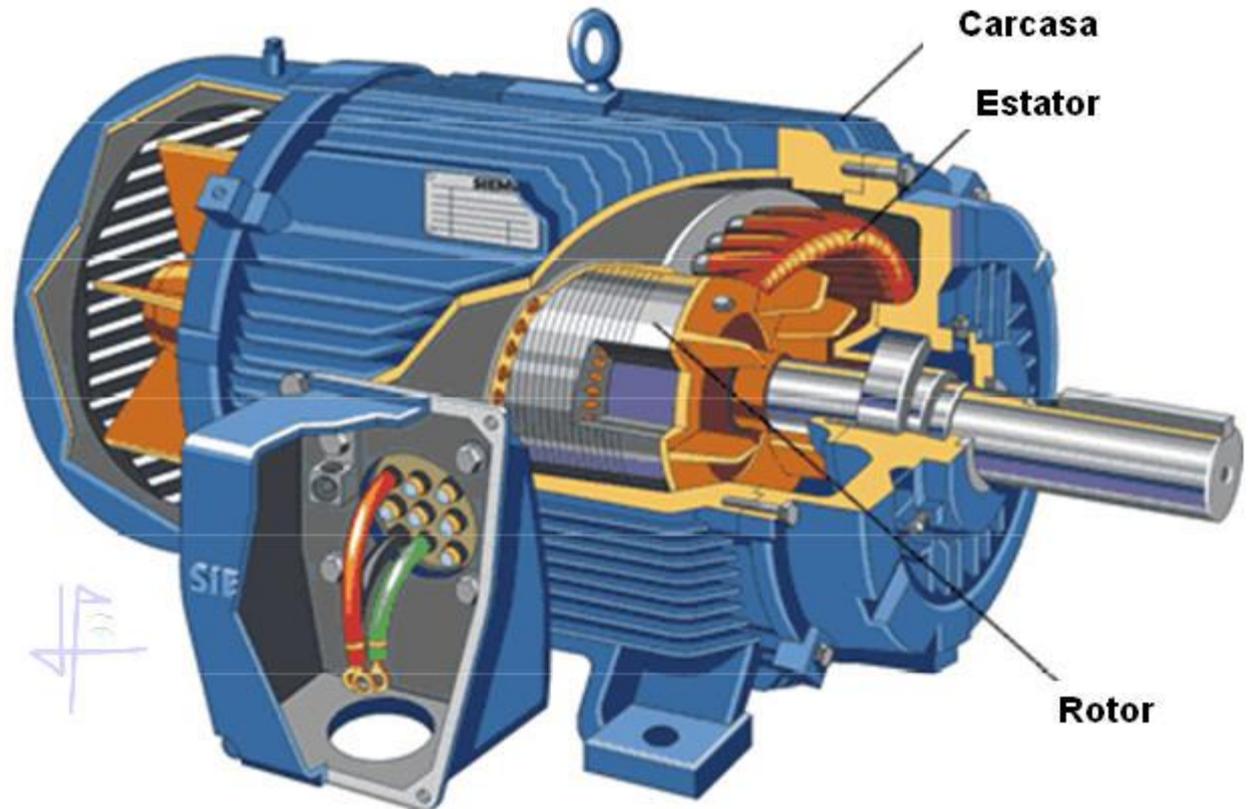
Máquinas de inducción

El campo magnético giratorio origina un flujo que induce corrientes en el rotor que interactúan con el campo magnético del estator. En cada conductor del rotor se produce una fuerza de valor $F = i L B$ que da lugar al par motor



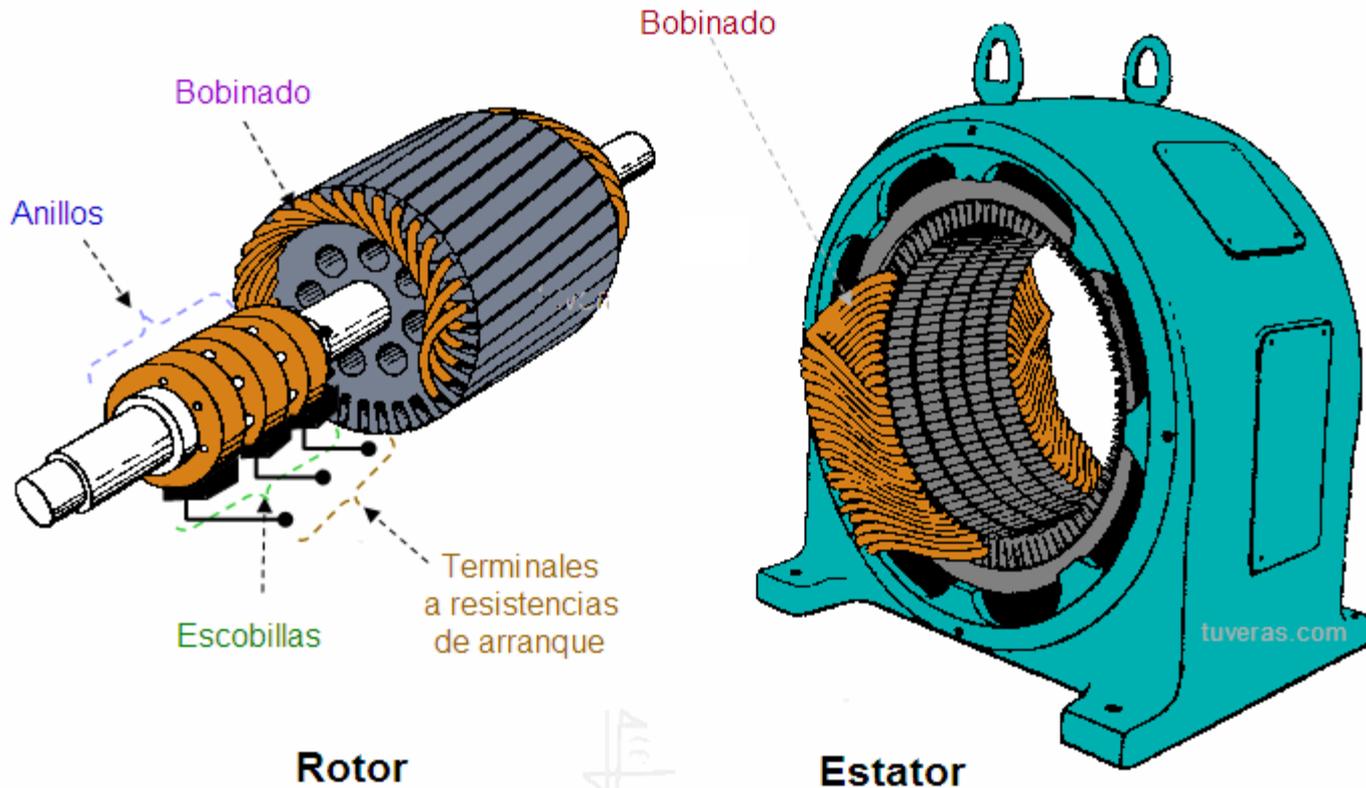
Máquinas de inducción

Estructura



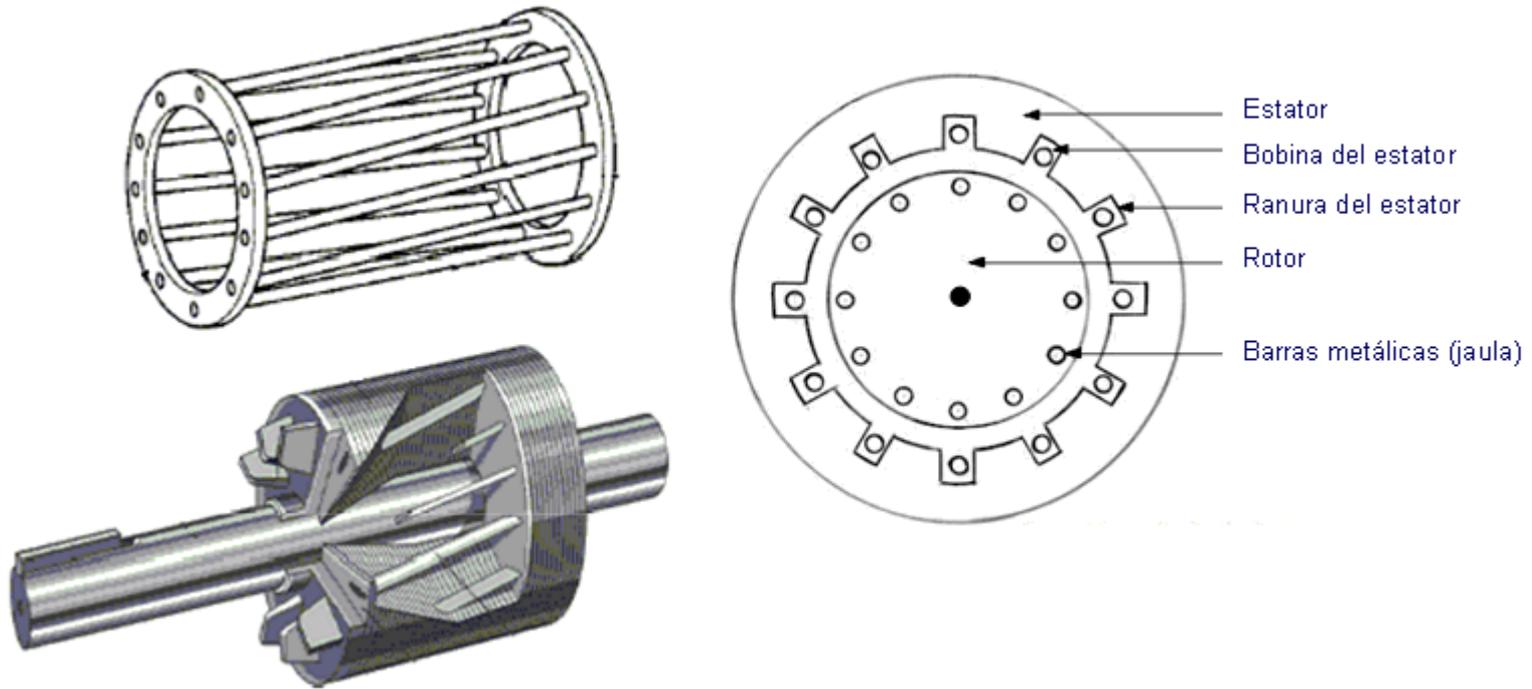
Máquinas de inducción

Estructura: Rotor bobinado

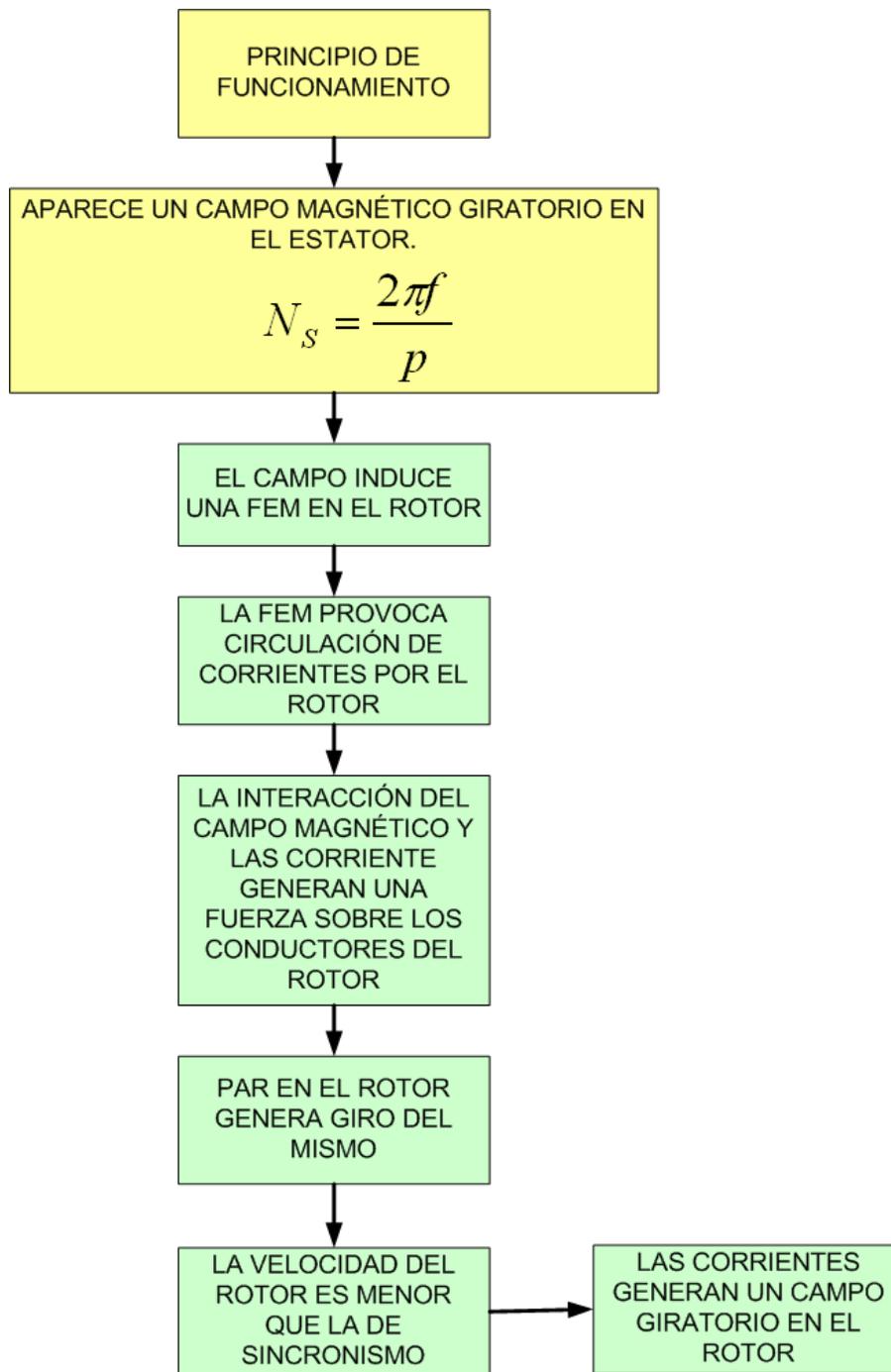


Máquinas de inducción

Estructura: Rotor de jaula



Máquinas de inducción



Máquinas de inducción

La maq de inducción presentará pérdidas de energía vinculadas por:

- Efecto Joule por las resistencias de los bobinados.
- Pérdidas de flujo de dispersión.
- Pérdidas por saturación, histéresis y corrientes parásitas (Foucault) en el circuito magnético.

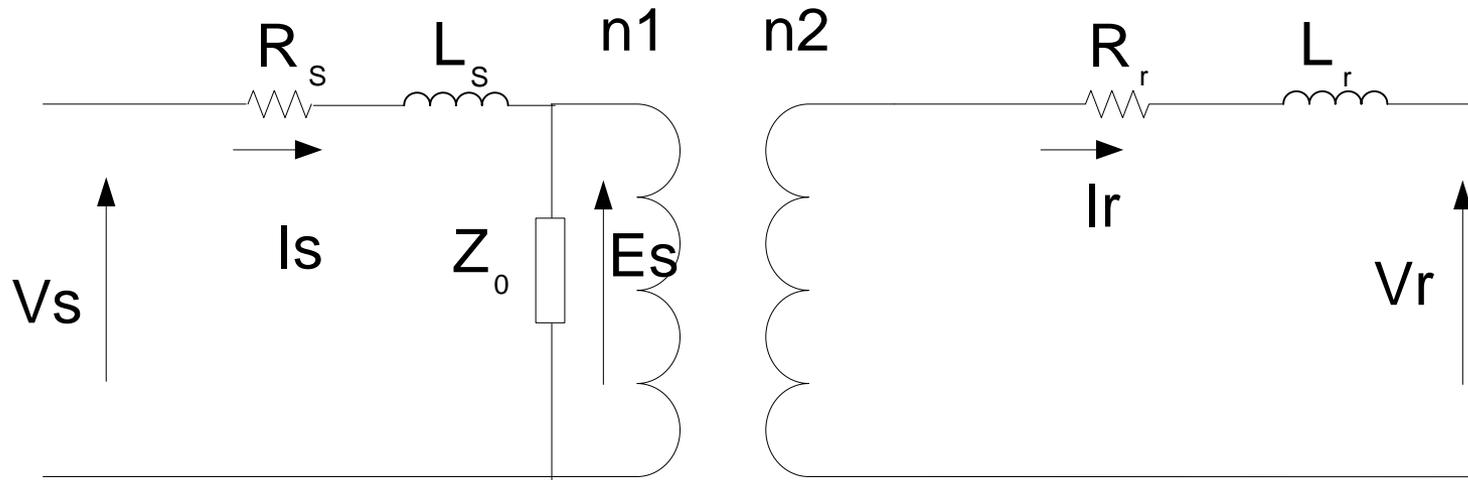
Podemos expresar esto por la siguiente ecuación en el circuito estático:

$$V_s = N_1 \frac{d\phi_s}{dt} + R_s I_s + N_1' \frac{d\phi_{f1}}{dt}$$

$$V_s = E_s + R_s I_s + j\omega L_s I_s$$

Máquinas de inducción

En la expresión anterior E_s , es función de la diferencia de la velocidad de giro del rotor y del campo giratorio del estator



$$V_s = E_s + R_s I_s + j\omega L_s I_s$$

$$V_r = E_r + R_r I_r + j\omega L_r I_r$$

Máquinas de inducción

Definiremos ahora un parámetro que llamaremos deslizamiento que utilizaremos para reescribir Es:

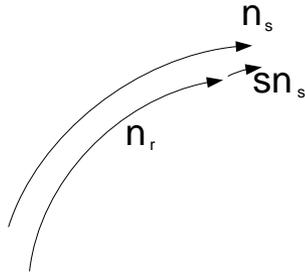
$$n_{\text{deslizamiento}} = n_{\text{sincronica}} - n_{\text{rotorica}}$$

$$\omega_{\text{sincronica}} = \frac{\omega_{\text{Red elec}}}{p} = \frac{2\pi f_{\text{Red}}}{p}$$

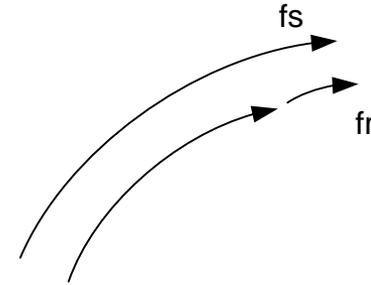
$$n_{\text{sincronica}} = \frac{60 f_{\text{Red}}}{p}$$

$$\text{Deslizamiento} = s = g = \frac{n_{\text{sincronica}} - n_{\text{rotorica}}}{n_{\text{sincronica}}}$$

Máquinas de inducción



$$sn_s = n_s - n_r$$



$$sf_s = f_r$$

Esto influirá directamente en la magnitud de E_s y de f_r

$$E_s = sE_0$$

$$f_r = sf_s$$

E_0 es la fem cuando tengo el rotor bloqueado y su bobinado cerrado

Máquinas de inducción

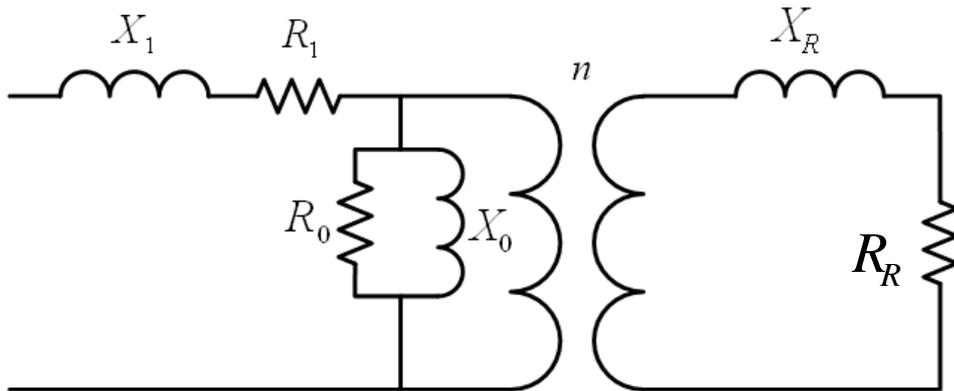
Máquina en vacío: $s = 0 \Rightarrow f_{rotor} = 0$

Máquina detenida: $s = 1 \Rightarrow f_{rotor} = f_{estator}$

Se cumplirá: $f_{rotor} = sf_{estator}$

Tomaremos como punto de partida del modelo de una máquina de inducción el modelo hallado para un transformador con el bobinado rotórico cerrado:

Máquinas de inducción



R_1 Resistencia bobinado estator

X_1 Inductancia relacionada con flujo de dispersión en el estator

R_R Resistencia bobinado rotor

X_R Inductancia relacionada con flujo de dispersión en el rotor

R_0 Resistencia que representa las pérdidas en el núcleo ferromagnético

X_0 Componente inductiva de la corriente de magnetización

n Relación de espiras entre estator y rotor

Máquinas de inducción

El voltaje inducido en el bobinado rotórico responderá:

E_0 Voltaje inducido en el rotor cuando éste está bloqueado

v Velocidad relativa del campo rotórico respecto al estatórico

$$E_{inducida} = vBl$$

También se cumplirá que:

$$E_s = sE_0$$

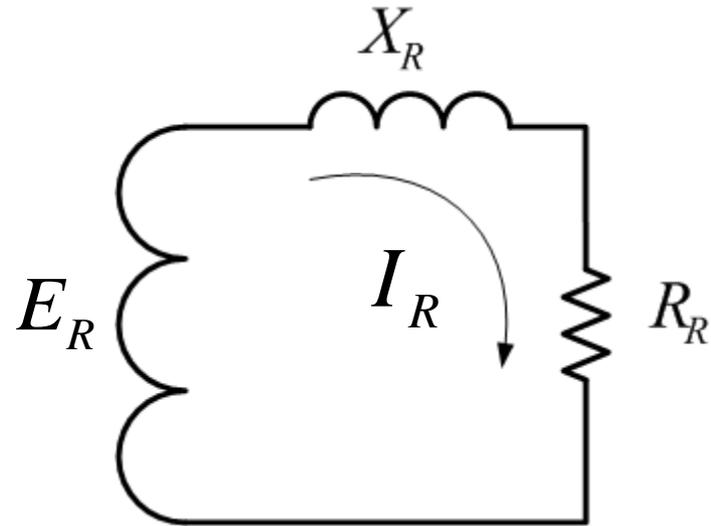
Máquinas de inducción

$$X_R = 2\pi f_R L_R$$

$$X_R = 2\pi s f_S L_R$$

$$X_{R_0} = 2\pi f_E L_R$$

$$X_R = s X_{R_0}$$



$$I_R = \frac{sE_{R_0}}{R_R + jsX_{R_0}} = \frac{E_{R_0}}{\frac{R_R}{s} + jX_{R_0}}$$

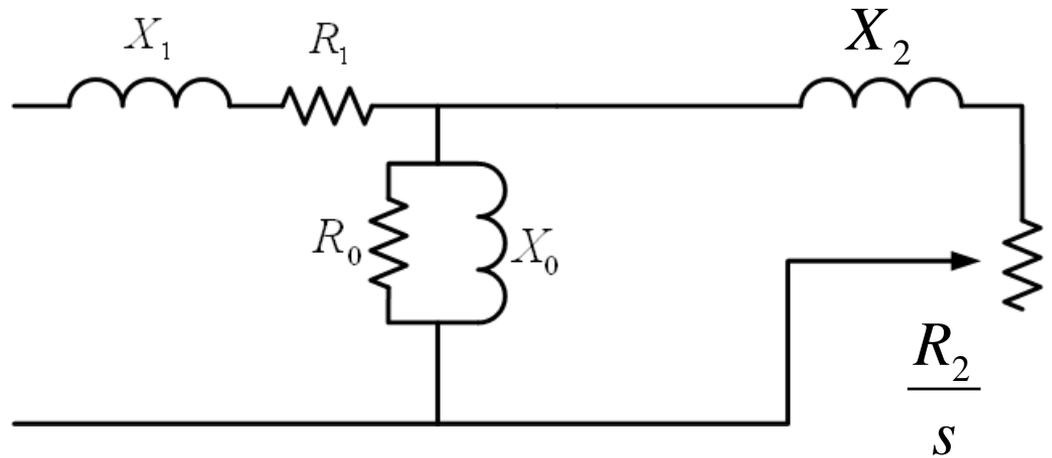
$$Z_{ROTOR} = \frac{R_R}{s} + jX_{R_0}$$

Máquinas de inducción

Circuito equivalente por fase de la máquina de inducción

$$R_2 = n^2 R_{R_0}$$

$$X_2 = n^2 X_{R_0}$$



Máquinas de inducción

Ensayos de determinación del modelo:

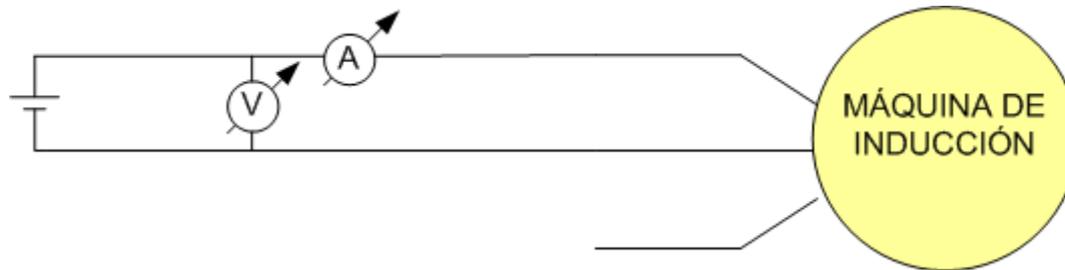
1. Ensayo a corriente continua
2. Ensayo de relación
3. Ensayo a rotor bloqueado
4. Ensayo en vacío

Máquinas de inducción

Ensayos de determinación del modelo:

1. Ensayo a corriente continua:

Consiste en medir, con una fuente de corriente continua, el valor de la resistencia entre dos fases del estator.



$$R_{VISTA} = \frac{V}{I}$$

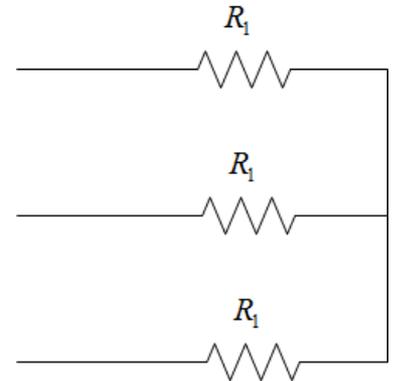
Máquinas de inducción

Ensayos de determinación del modelo:

Ensayo a corriente continua:

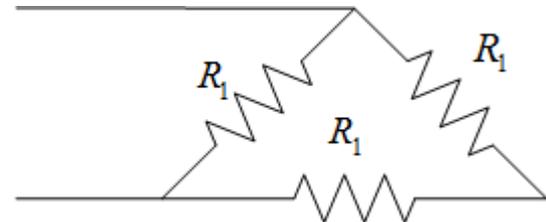
CONEXIONADO ESTRELLA

$$R_{VISTA} = 2R_1$$



CONEXIONADO TRIÁNGULO

$$R_{VISTA} = \frac{2R_1}{3}$$



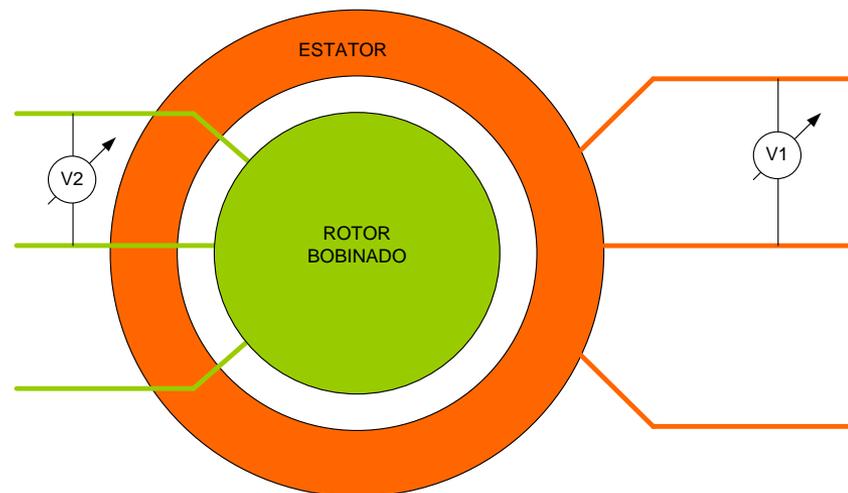
Máquinas de inducción

Ensayos de determinación del modelo:

2. Ensayo de relación:

- Se puede realizar únicamente en una máquina de inducción de rotor bobinado.
- Para realizarlo se deja abierto el bobinado rotórico
- Se alimenta el bobinado estatórico con tensión alterna y se mide con un voltímetro la tensión de salida del bobinado rotórico.

$$\text{Relación} = \frac{V_1}{V_2}$$



Máquinas de inducción

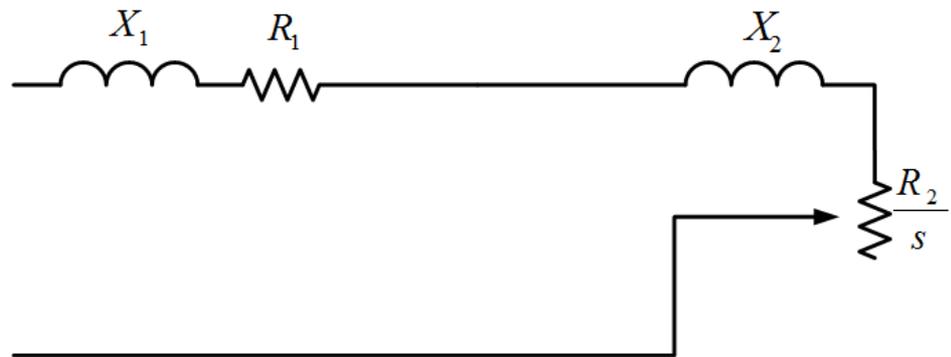
Ensayos de determinación del modelo:

3. Ensayo a rotor bloqueado:

Conectamos la máquina a una fuente variable y variamos la tensión de alimentación para tener una corriente cercana a la nominal, con el rotor bloqueado (impedimos que gire).

$$s = 1$$

Circuito resultante

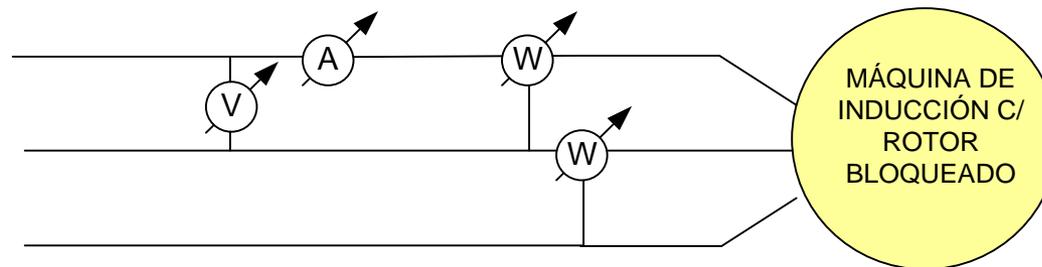


Máquinas de inducción

Ensayos de determinación del modelo:

3. Ensayo a rotor bloqueado:

Recordar que es un circuito trifásico, medimos corriente, tensión y potencia activa con el objetivo de hallar los parámetros del modelo.



Máquinas de inducción

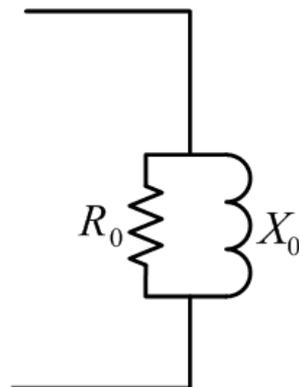
Ensayos de determinación del modelo:

4. Ensayo con la máquina en vacío:

Conectamos la máquina a la red y permitimos que llegue a la velocidad de sincronismo

$$s = 0$$

Circuito resultante

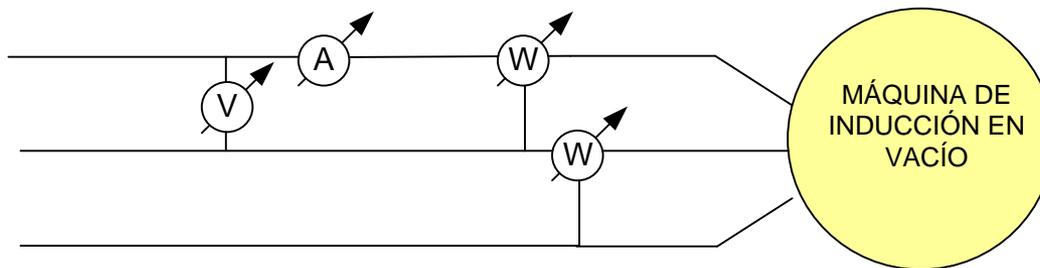


Máquinas de inducción

Ensayos de determinación del modelo:

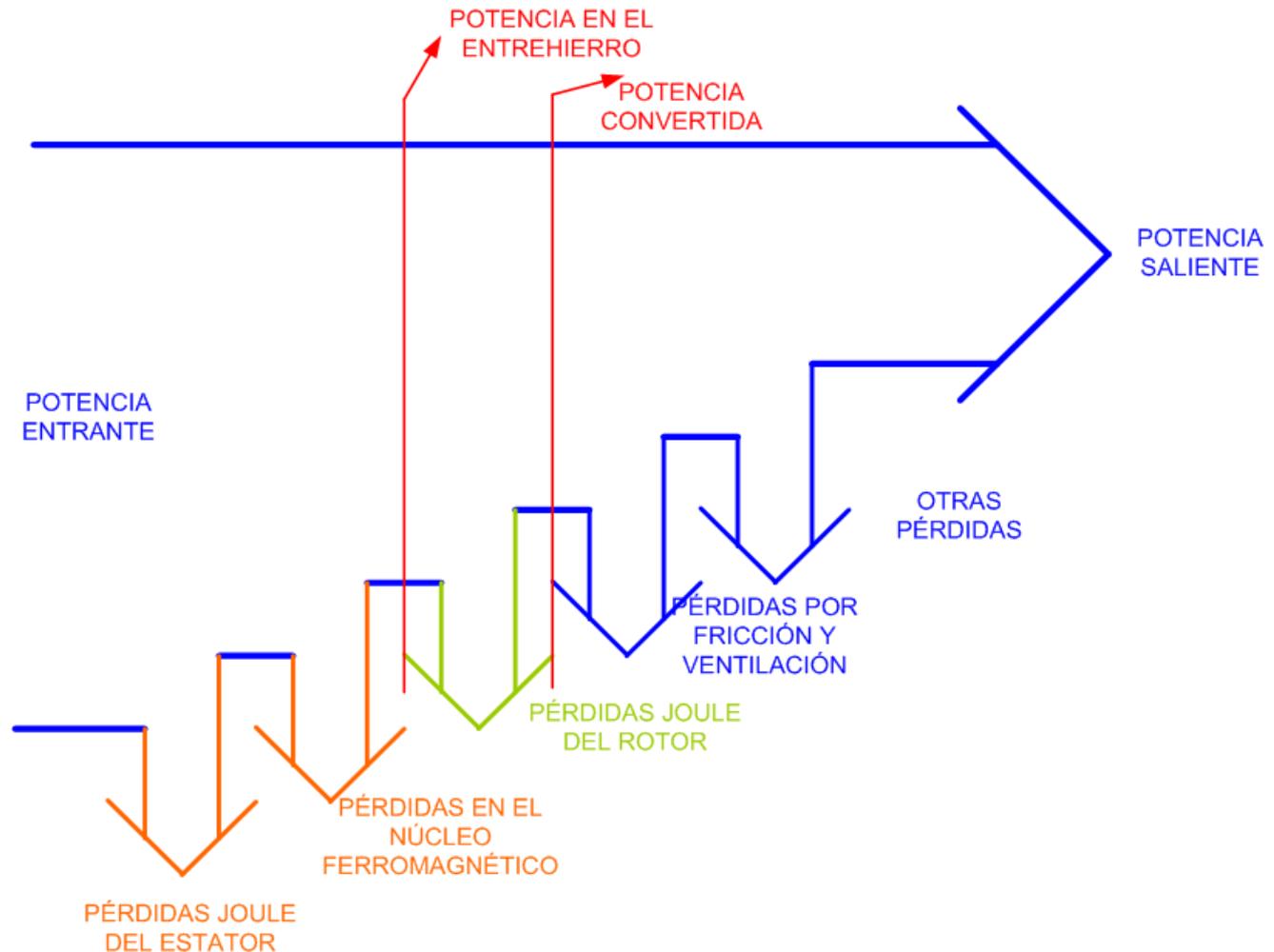
4. Ensayo con la máquina en vacío:

Recordar que es un circuito trifásico, medimos corriente, tensión y potencia activa con el objetivo de hallar los parámetros del modelo.



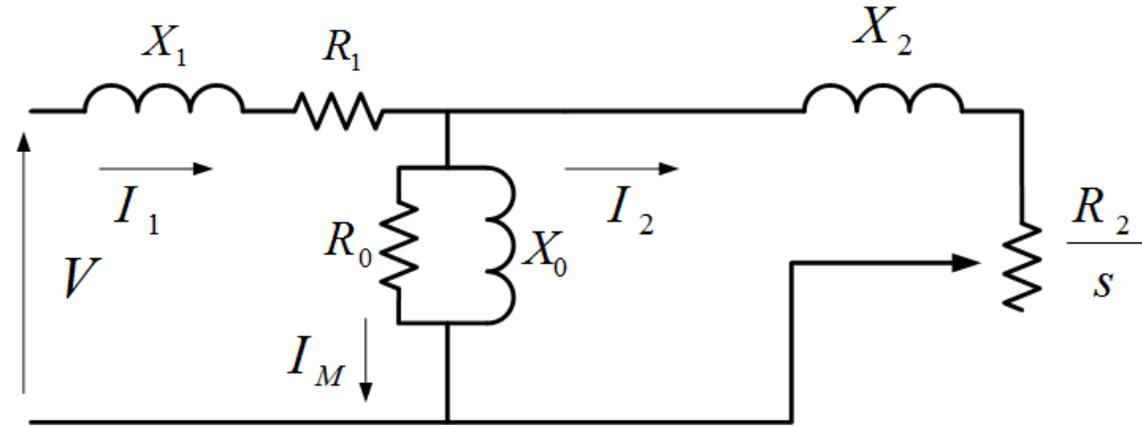
Máquinas de inducción

Balance de potencia:



Máquinas de inducción

Balance de potencia:



$$P_{NÚCLEO_ESTATOR} \gg P_{NÚCLEO_ROTOR}$$

$$Z_{eq} = R_1 + jX_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_0} + \frac{1}{X_0} + \frac{1}{\frac{R_2}{s} + jX_2}}$$

Máquinas de inducción

Balance de potencia:

$$P_{Cu_s} = 3R_1 I_1^2$$

$$P_{Fe} = \frac{3V_1^2}{R_0}$$

$$P_{entrehierro} = P_{ent} - P_{Cu_s} - P_{Fe} = 3 \frac{R_2}{s} I_2^2$$

El único componente que puede disipar la potencia en el entrehierro es:

$$\frac{R_2}{s}$$

Máquinas de inducción

Balance de potencia:

$$P_{Cu_R} = 3R_2 I_2^2$$

$$P_{convertida} = P_{entrehierro} - P_{Cu_R}$$

$$P_{convertida} = 3 \frac{R_2}{s} I_2^2 - 3R_2 I_2^2 = 3 \frac{(1-s)}{s} R_2 I_2^2$$

$$P_{convertida} = 3 \frac{(1-s)}{s} R_2 I_2^2$$

Supondremos que el resto de las pérdidas son nulas, es decir que la Potencia convertida coincide con la Potencia mecánica en el eje de la máquina de inducción

Máquinas de inducción

Balance de potencia:

$$P_{convertida} = P_{mecánica}$$

$$P_{mecánica} = \Gamma_{inducido} \omega_m$$

$$\omega_m = (1 - s) \omega_s$$

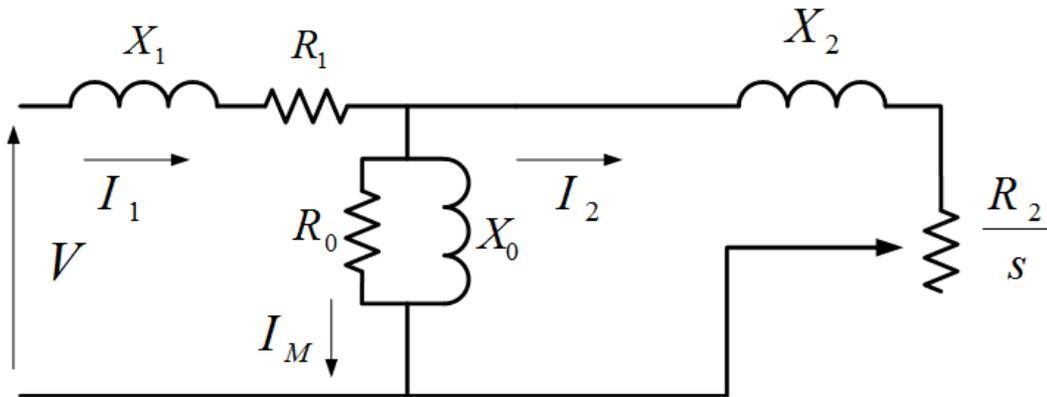
$$\frac{3(1 - s)}{s} R_2 I_2^2 = \Gamma_{inducido} (1 - s) \omega_s$$

$$\Gamma_{inducido} = \frac{3R_2 I_2^2}{s \omega_s}$$

Máquinas de inducción

Balance de potencia:

Deduciremos la expresión del Par inducido en función de los componentes del modelo



$$Z_1 = R_1 + jX_1$$

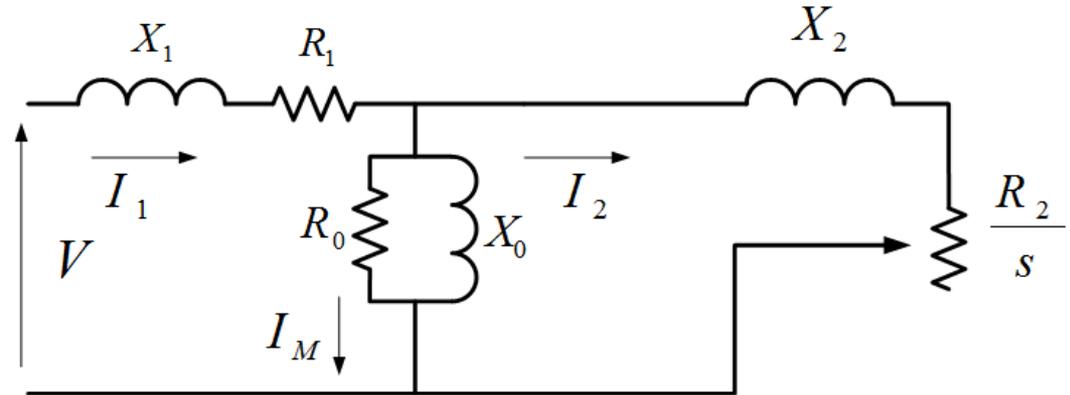
$$Z_0 = \frac{jR_0X_0}{R_0 + jX_0}$$

$$V_{Thevenin} = \frac{VZ_0}{Z_0 + Z_1}$$

$$Z_{Thevenin} = \frac{Z_1Z_0}{Z_0 + Z_1} = R_{Th} + jX_{Th}$$

Máquinas de inducción

Balance de potencia:



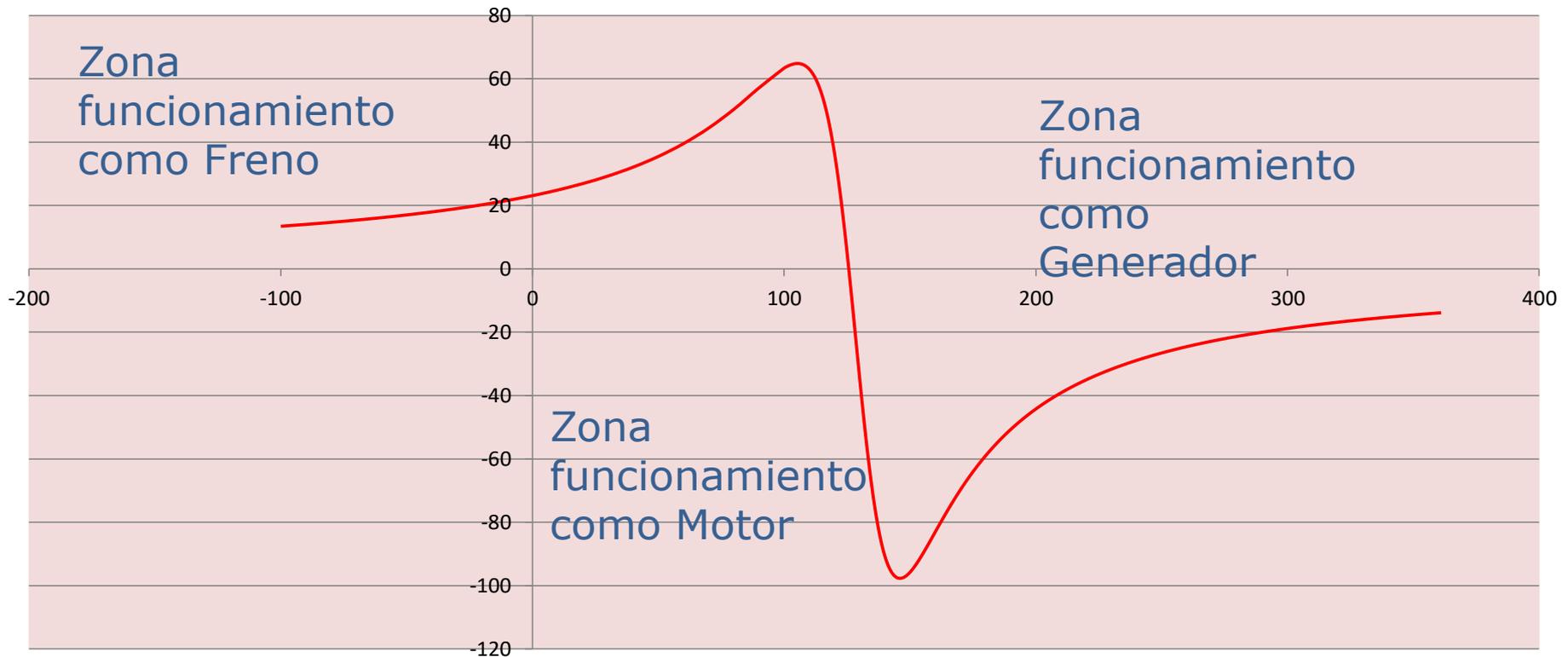
$$I_2 = \frac{V_{Th}}{Z_{Th} + Z_2}$$

$$\Gamma_{ind} = \frac{3V_{Th}^2 R_2}{s\omega_s (Z_{Th} + Z_2)^2}$$

$$\Gamma_{ind} = \frac{3V_{Th}^2 R_2}{s\omega_s \left[\left(R_{Th} + \frac{R_2}{s} \right)^2 + (X_{Th} + X_2)^2 \right]}$$

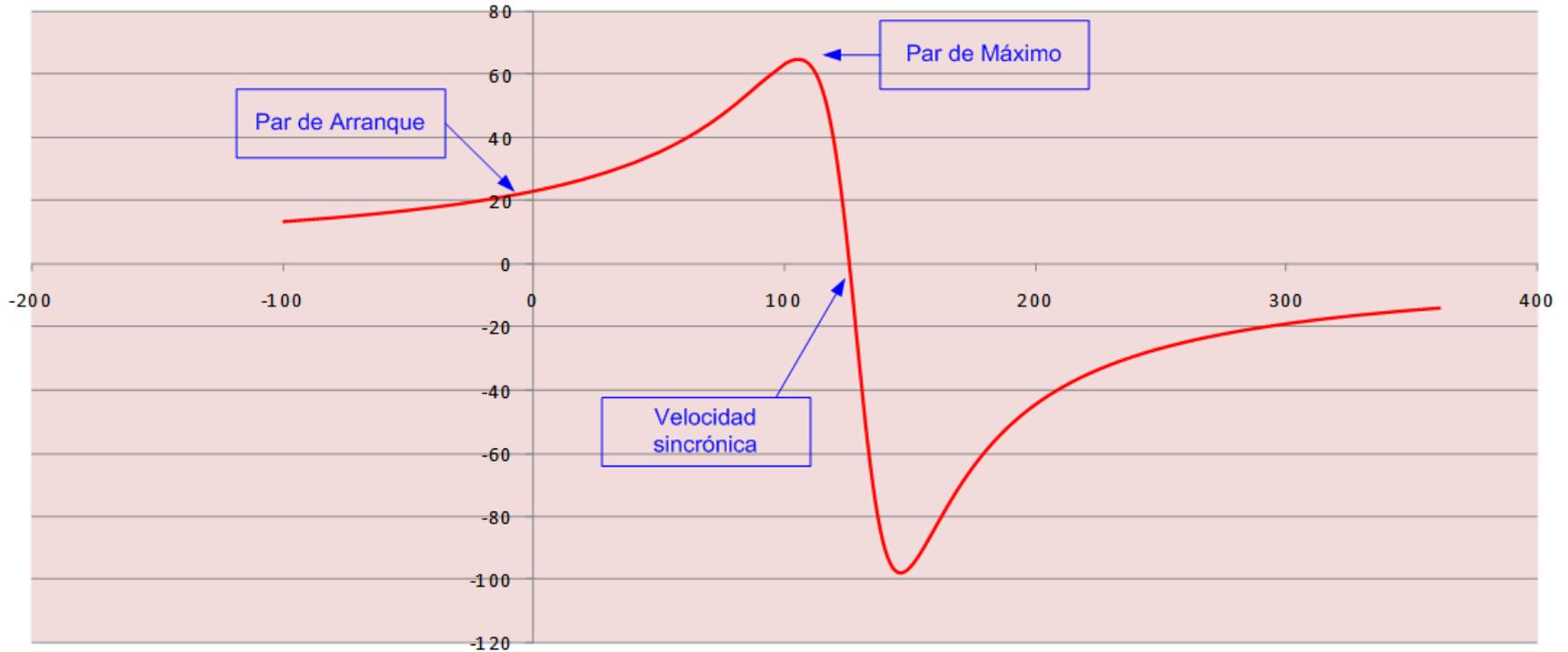
Máquinas de inducción

Balance de potencia: Gráfico Par - velocidad



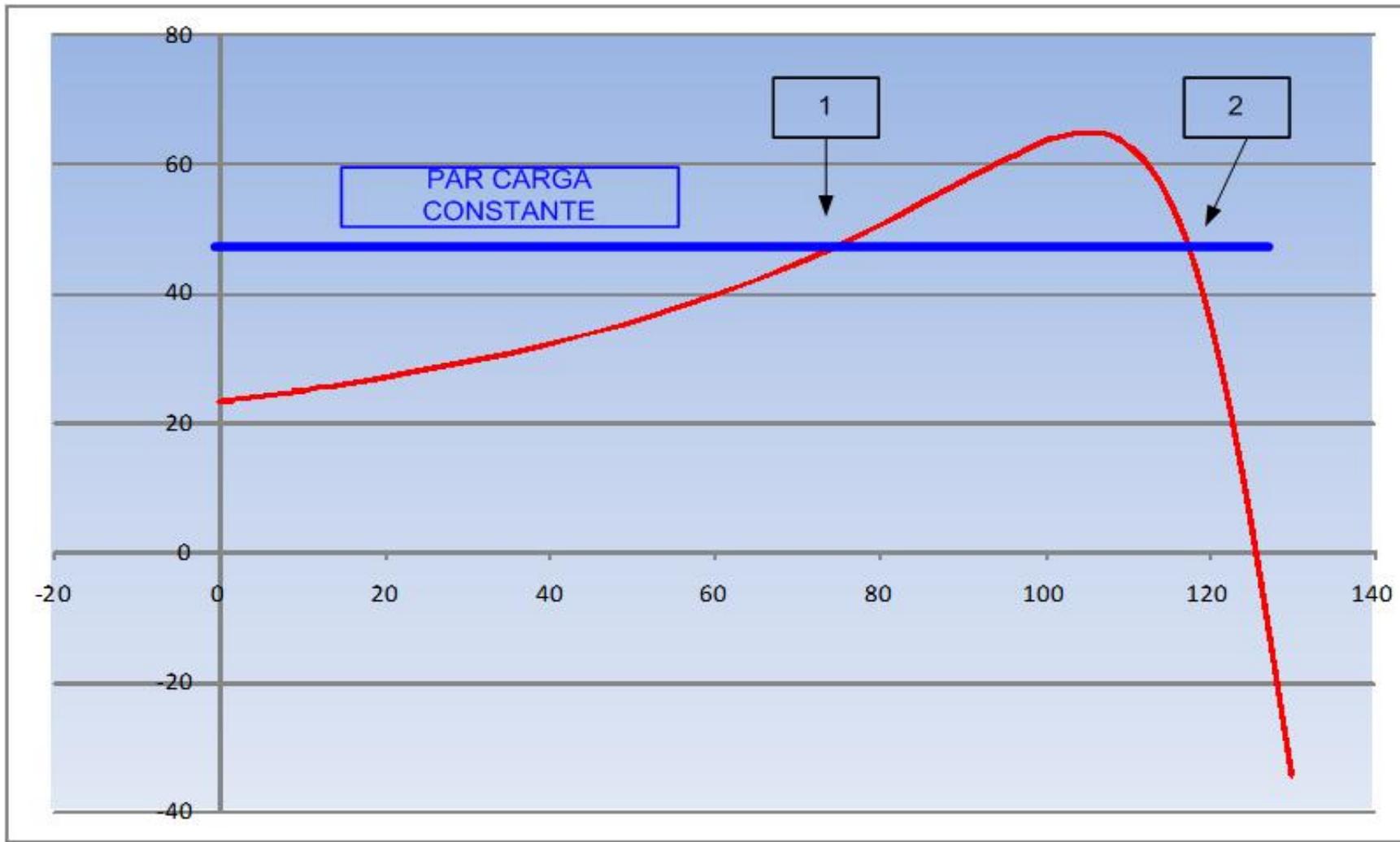
Máquinas de inducción

Balance de potencia: Gráfico Par - velocidad



Máquinas de inducción

Balance de potencia: Gráfico Par – velocidad. Estabilidad



Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción, objetivos:

1. Reducir la corriente de arranque.
2. Arranque suave.
3. Par de arranque adecuado a la aplicación.
4. Implementación de motor y arranque económicamente más conveniente.

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

1. Arranque directo
2. Arranque estrella – triángulo
3. Arranque con autotransformador
4. Arranque con resistencias estatóricas
5. Arranque con resistencias rotóricas
6. Motores de inducción con doble jaula
7. Motores de inducción con devanados partidos
8. Arranques con dispositivos de estado sólido:
Arrancadores y Variadores de velocidad.

Máquinas de inducción

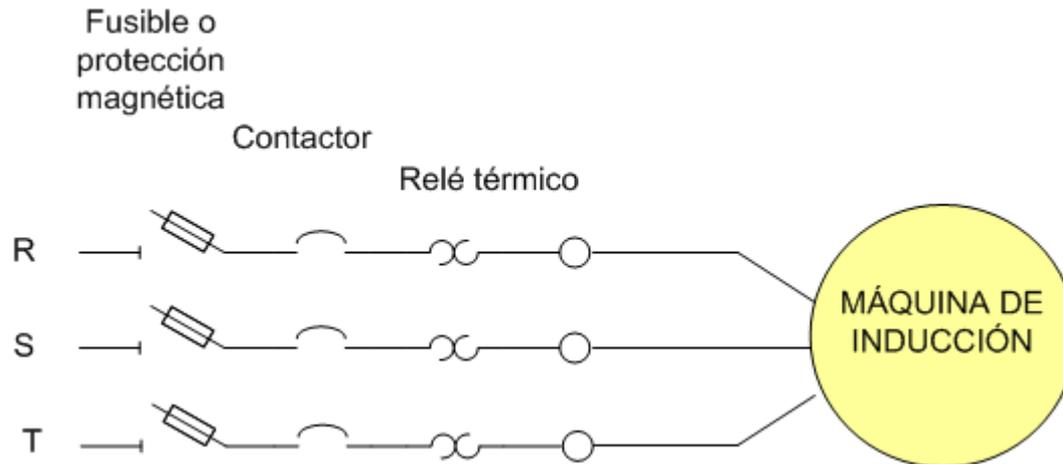
Arranque de un motor de inducción: Arranque directo

CARACTERÍSTICAS:

- Es el más sencillo y económico.
- Corriente de arranque de 5 a 8 veces la nominal.
- Buen par de arranque, puede llegar a 1.5 veces el par nominal
- Hasta 7 hp

RECOMENDADO:

- La potencia del motor es pequeña
- Aplicación permite arranque brusco
- Se necesita par de arranque elevado



Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción: Arranque directo

Al ser tan elevada, la **corriente de arranque** genera calentamientos que si se prolongan en el tiempo pueden dañar el motor.

Dependerá fuertemente del par de oposición, de la potencia nominal del motor y de las características del mismo.

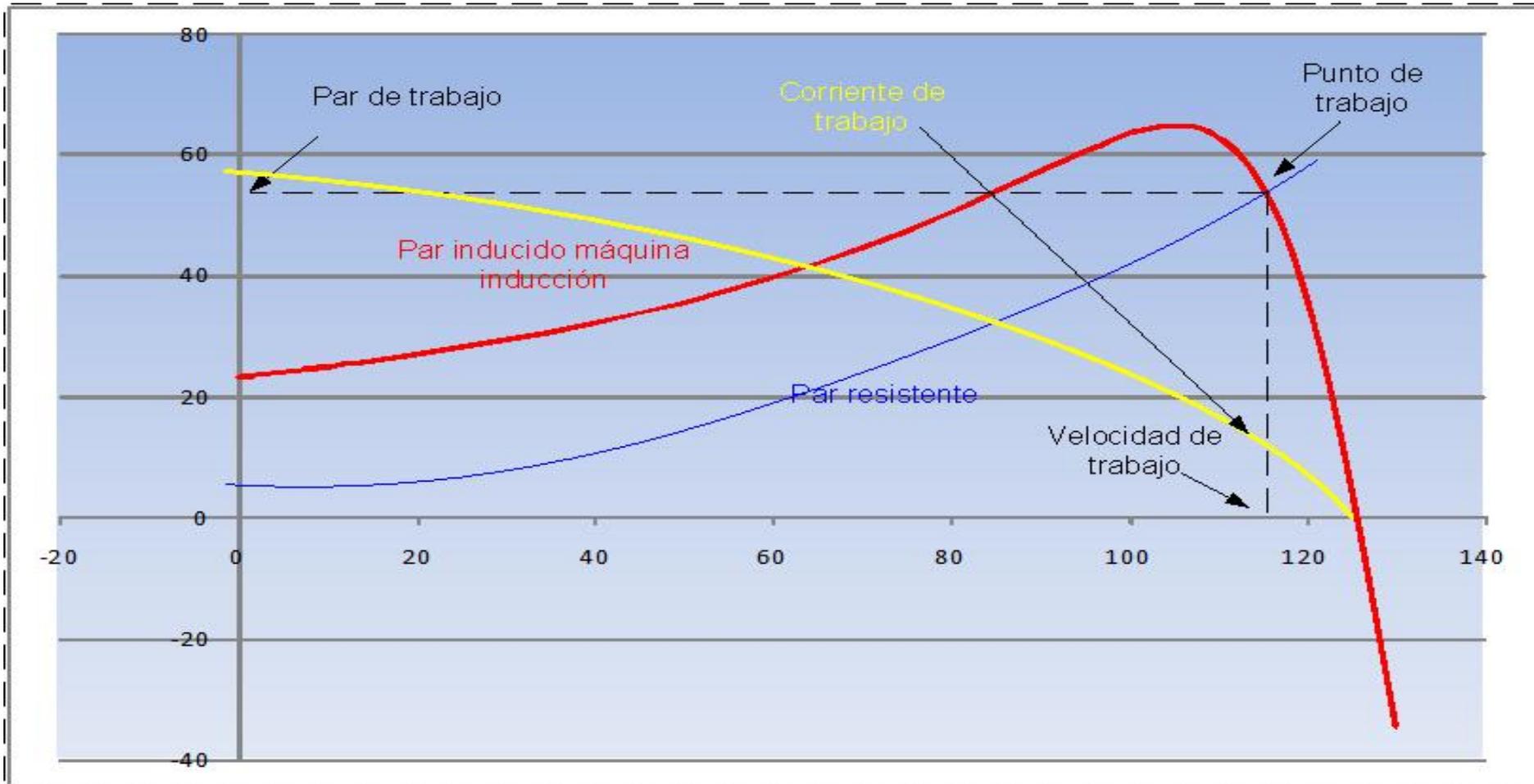
La norma prevé que los motores tengan un código que permite calcular el límite de la corriente admisible.

$$S_{arranque}(VA) = K \left(\frac{VA}{hp} \right) \times S_N(hp)$$

$$I_{arranque}(A) = \frac{S_{arranque}(VA)}{\sqrt{3}V_T(V)}$$

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción: Arranque directo

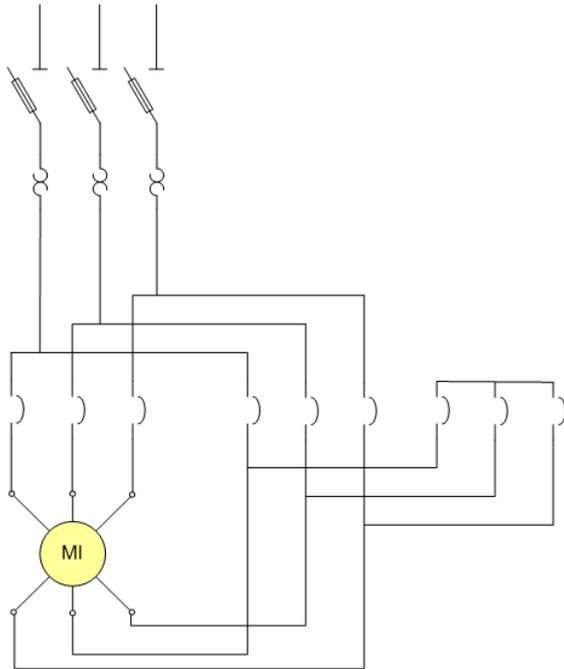


Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Arranque estrella - triángulo

CARACTERÍSTICAS:

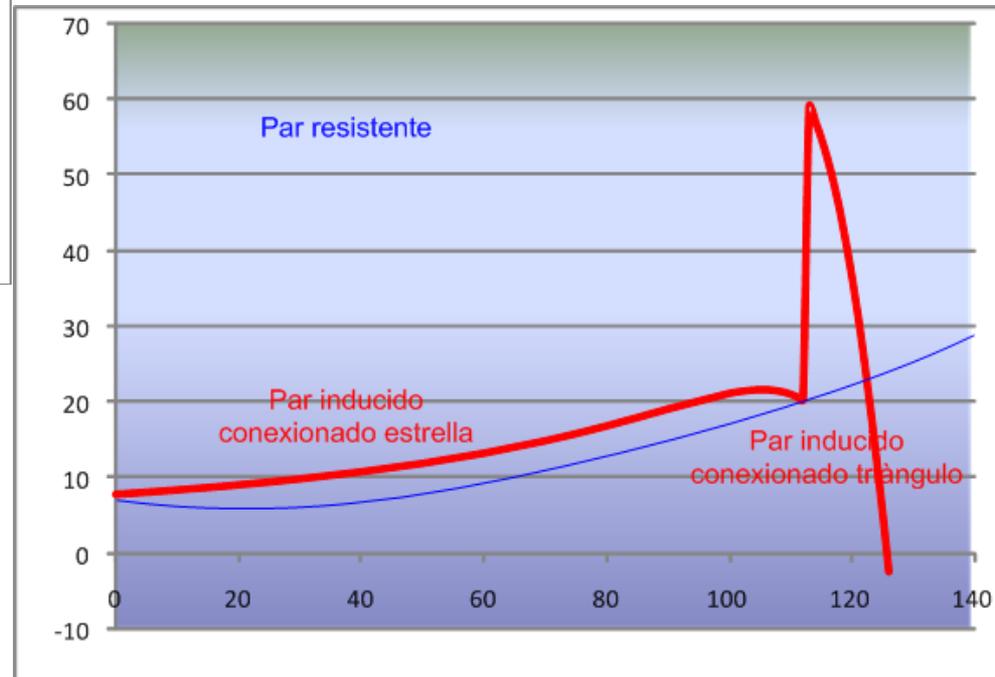
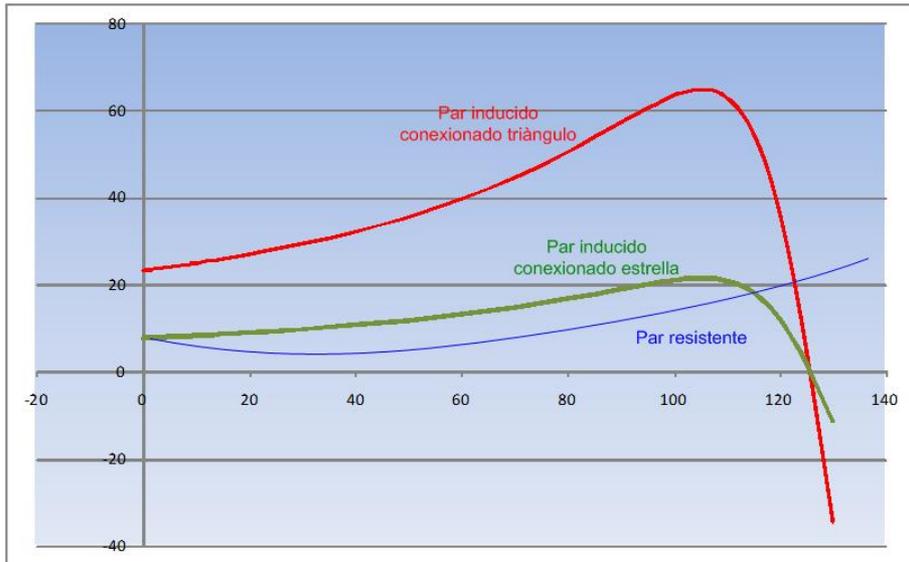


- Es relativamente sencillo de implementar y no muy costoso.
- Es posible realizarlo si son accesibles todos los extremos de los bobinados y si el par de arranque que se obtiene es superior al de la carga.
- Arranque con tensión reducida.
- El par de arranque se reduce a la tercera parte (comparado a arranque en triángulo).
- La corriente se reduce en un factor de $\sqrt{3}$

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

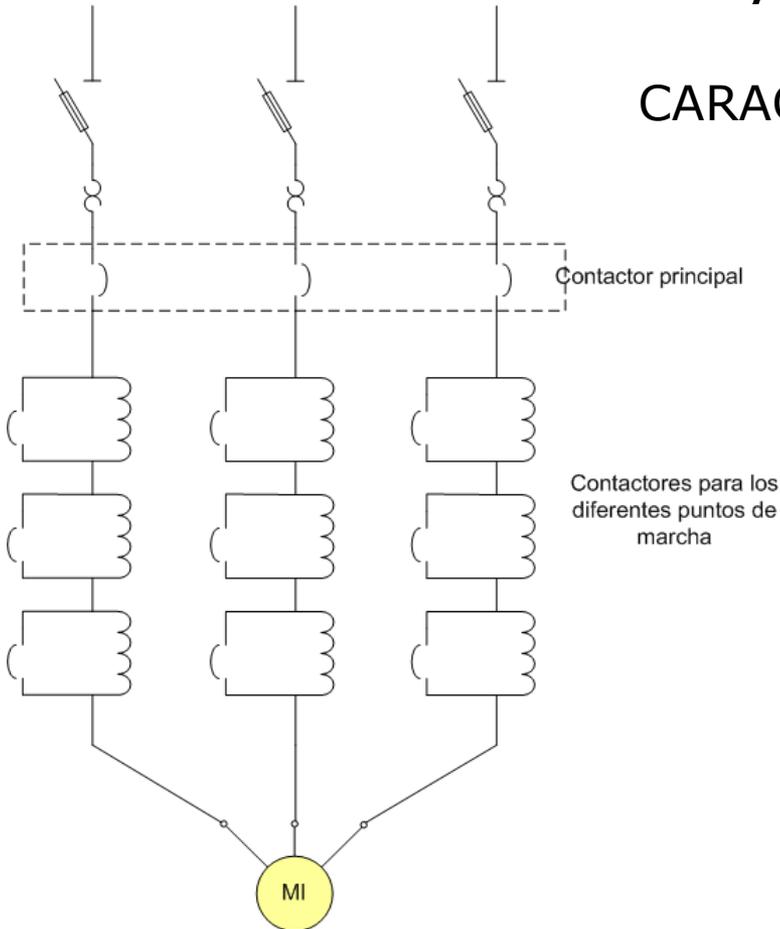
Arranque estrella - triángulo



Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Arranque con autotransformador



CARACTERÍSTICAS:

- Es un tipo de arranque caro.
- Se debe asegurar que para la mayor caída de tensión la máquina arranque.
- Arranque con tensión reducida.
- La curva es similar a la de estrella – triángulo pero aparecen más escalones de arranque.

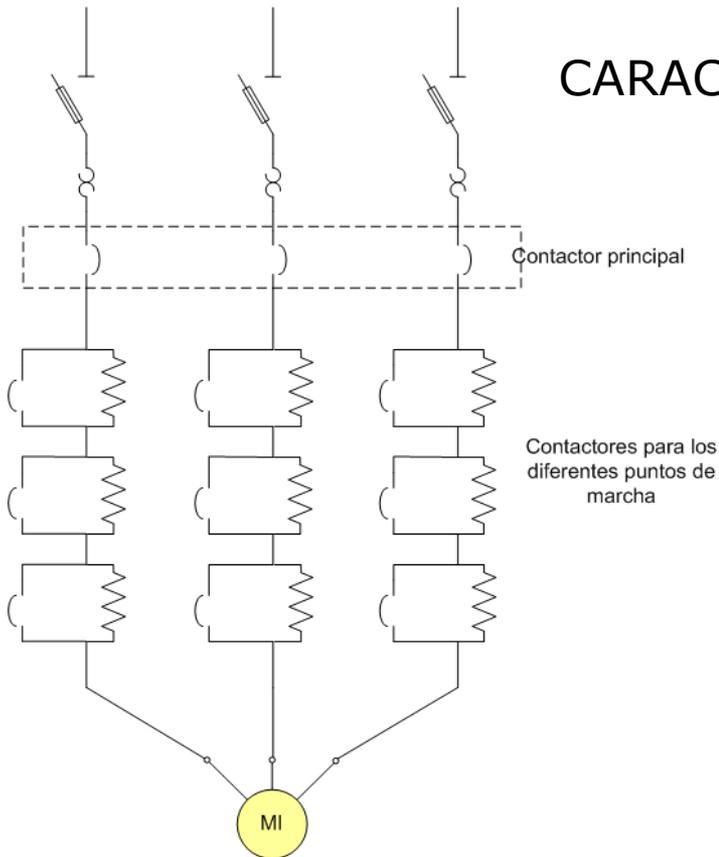
Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Arranque con resistencias estatóricas.

CARACTERÍSTICAS:

- Se debe asegurar que para la mayor caída de tensión la máquina arranque.
- Arranque con tensión reducida.
- Hay consumo de potencia activa.
- La curva es similar a la de estrella – triángulo pero aparecen más escalones de arranque.

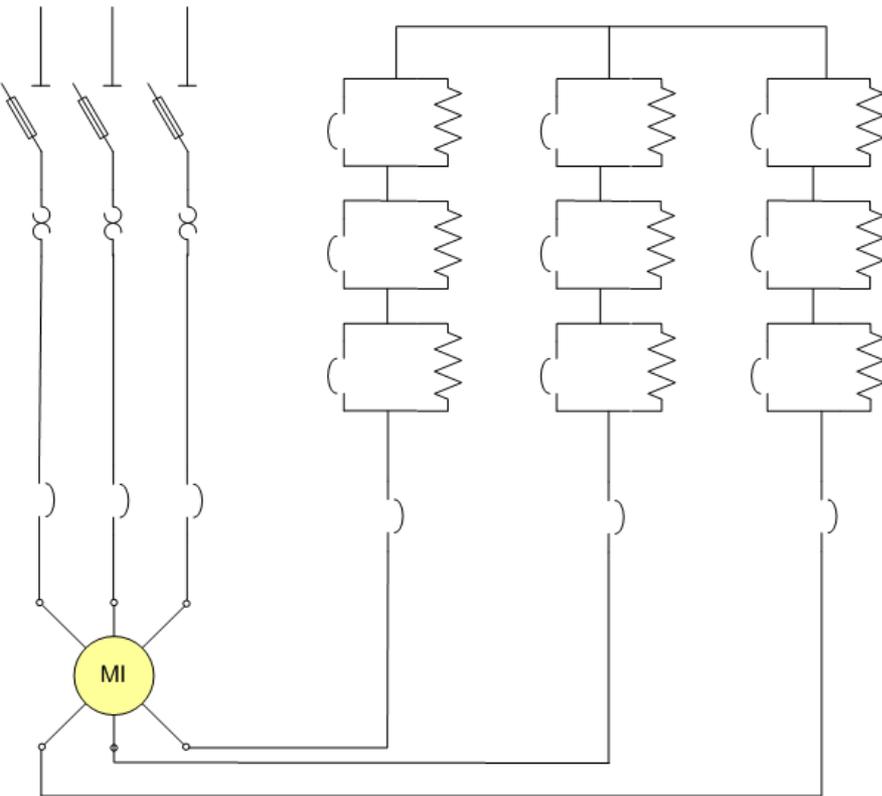


Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Arranque con resistencias rotóricas

CARACTERÍSTICAS:



- Se puede implementar para los motores de rotor bobinado únicamente.
- Este tipo de motores son caros.
- Un control muy bueno del par.

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Arranque con resistencias rotóricas

$$S_{\max} = \frac{R_2}{\sqrt{(R_{Th}^2 + (X_{Th} + X_2)^2)}}$$

$$\Gamma_{ind_{MAX}} = \frac{3V_{Th}^2}{2R_2 \left[R_{Th} + \sqrt{(R_{Th}^2 + (X_{Th} + X_2)^2)} \right]}$$

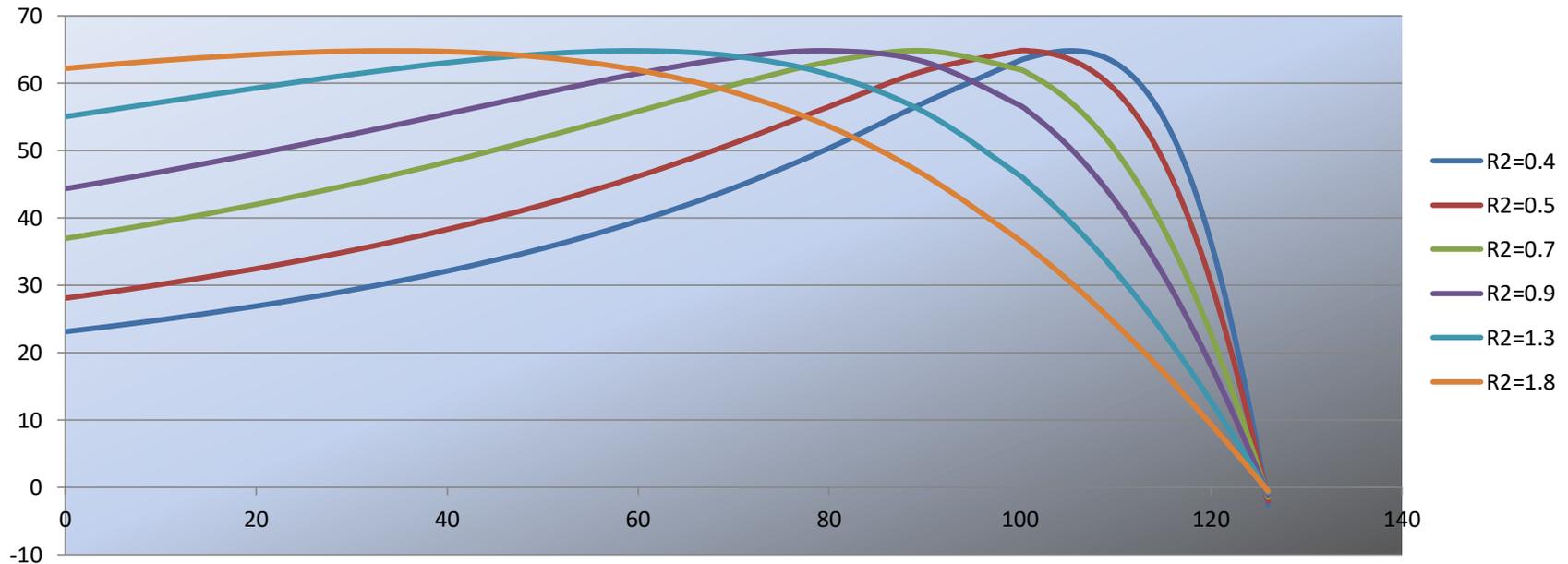
Al variar R_2 se genera una familia de curvas, la ordenada

del máximo se corresponde con $\Gamma_{ind_{MAX}}$

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Arranque con resistencias rotóricas

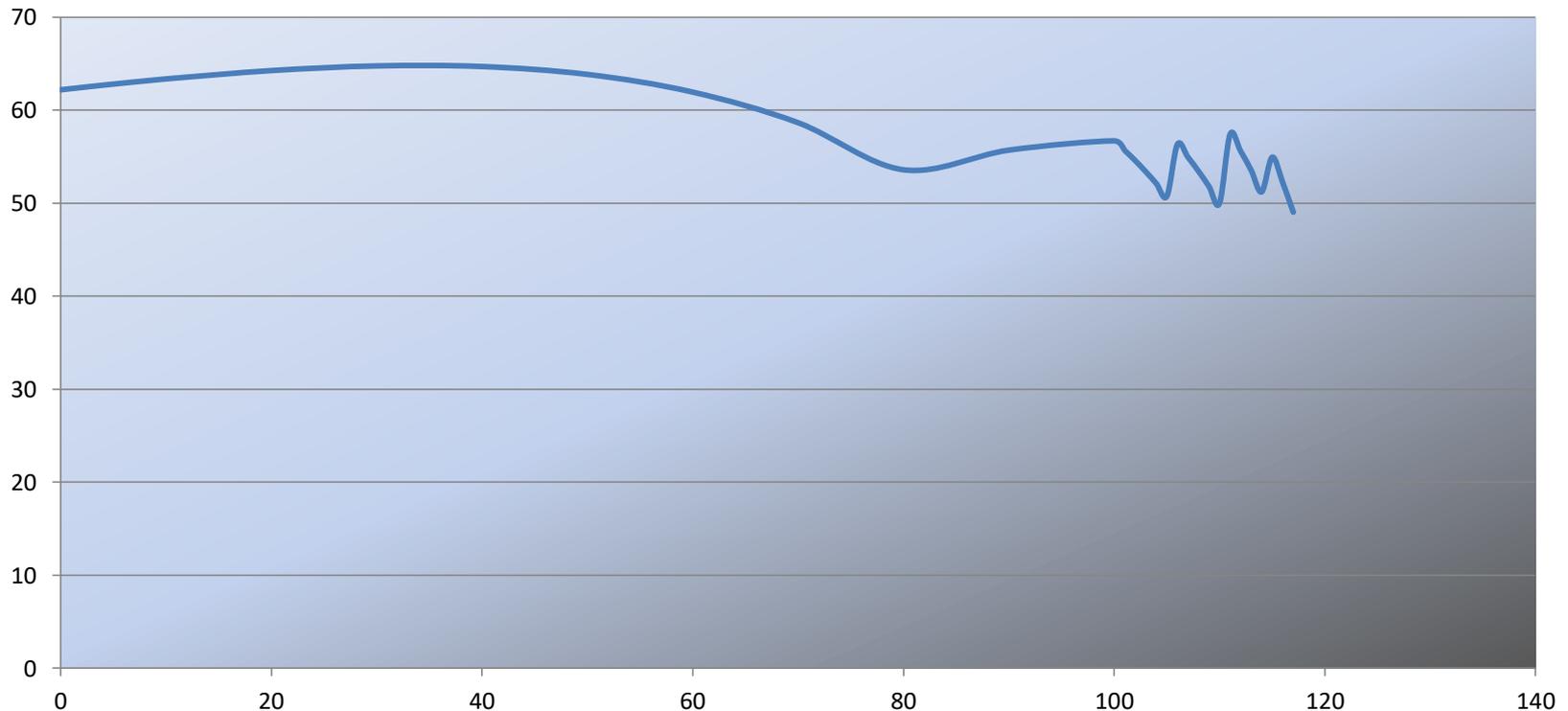


Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Arranque con resistencias rotóricas

Par c/resist rotóricas



Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Motores de inducción con doble jaula

El rotor de estos motores de jaula de ardilla está conformado por dos jaulas:

1. La externa de menor sección y material de alta resistividad.
2. La interna de mayor sección y material de baja resistividad.

Las jaulas están separadas en cada ranura por una estrecha rendija que aumenta el flujo de dispersión en la jaula interna:

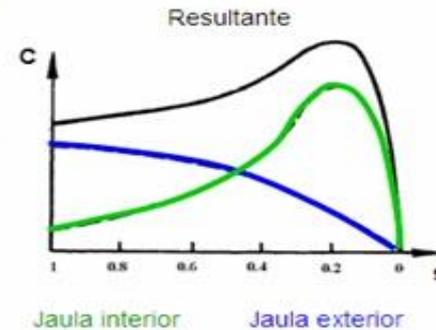
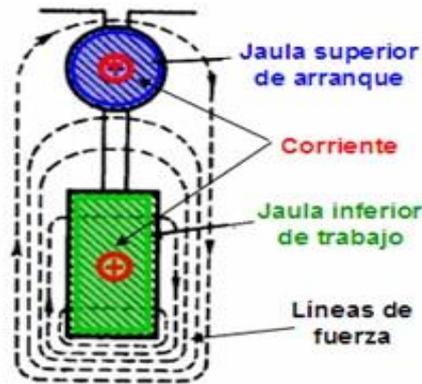
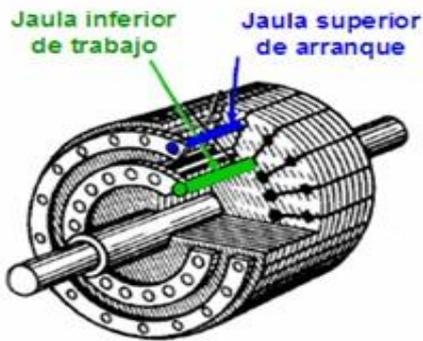
1. La externa de alta resistividad y baja reactancia.
2. La interna de baja resistividad y alta reactancia.

En el arranque la frecuencia en el rotor es la de la red y luego se hace muy pequeña. Como conclusión para el arranque predomina la jaula externa y en la marcha normal la interna, similar a rotor bobinado c/resist rotóricas.

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

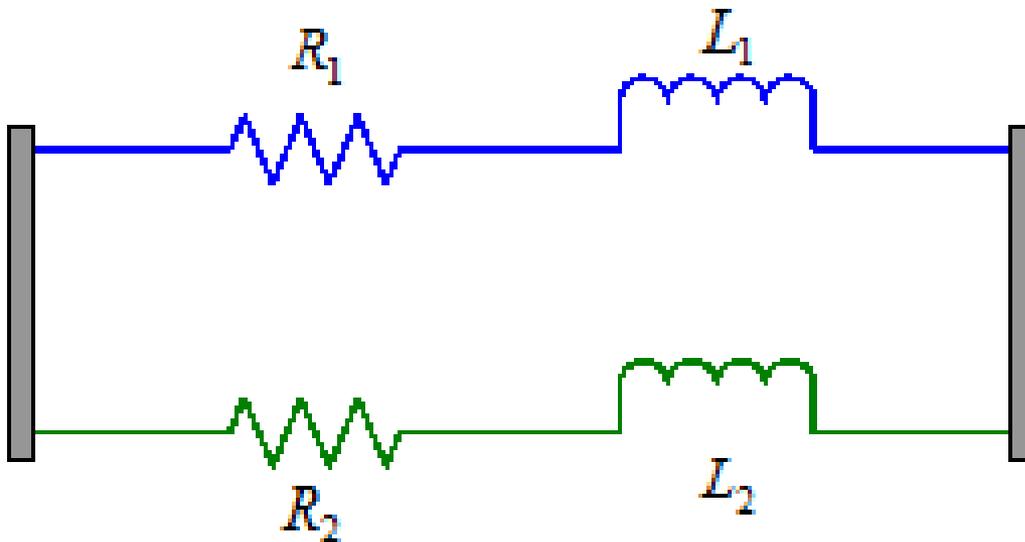
Motores de inducción con doble jaula



Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Motores de inducción con doble jaula



$$f_R = sf_E$$

$$s_{Arranque} = 1$$

En condiciones cercanas a las nominales

$$f_E \gg f_R$$

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción:

Motores de inducción con devanados partidos

Tiene el devanado estático desdoblado en dos devanados en paralelo, durante el arranque se alimenta uno solamente. Luego que el motor arrancó se alimenta el otro logrando la plena potencia.

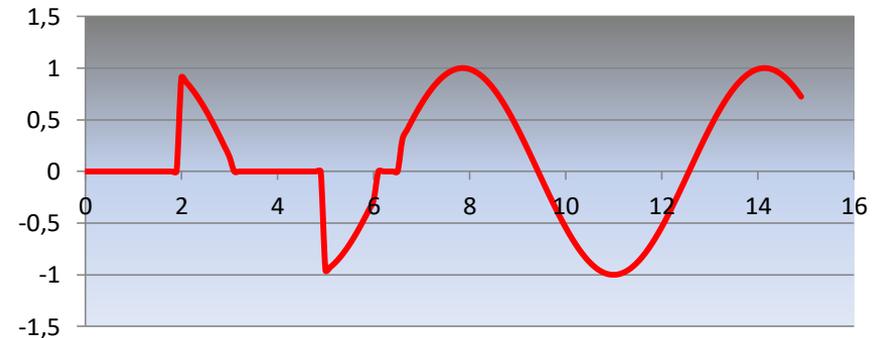
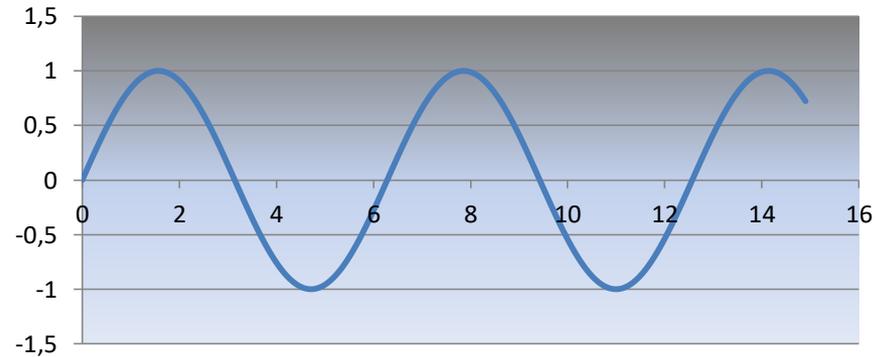
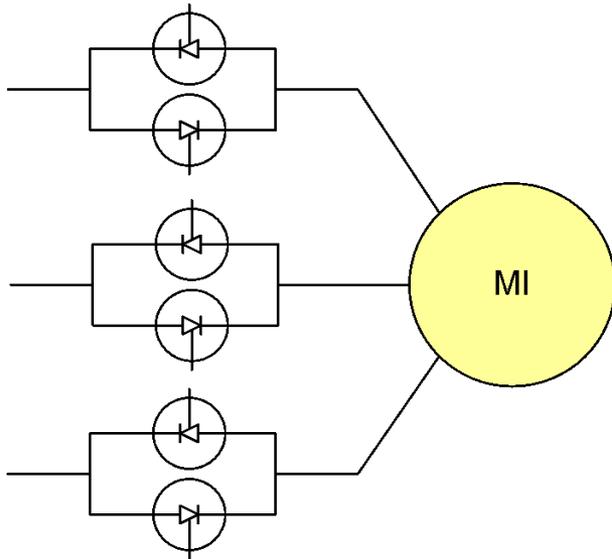
Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción

Arranques con dispositivos de estado sólido:

Arrancadores (*softstarter*) y Variadores de velocidad.

Softstarters



Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción

Arranques con dispositivos de estado sólido:

Arrancadores (*softstarter*) y Variadores de velocidad.

Variadores de velocidad: PWM, Modulación por ancho de pulso, permite variar la frecuencia de la tensión de alimentación.

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción

Arranques con dispositivos de estado sólido:

Arrancadores (*softstarter*) y Variadores de velocidad.

1. Se puede ajustar el par de arranque.
2. Tienen implementadas protecciones para la máquina.

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción

Protecciones genéricas a implementar

1. Protección contra cortocircuito.
2. Protección contra sobrecarga.
3. Protección por fuga a tierra.
4. Protección por bajo voltaje.
5. Protección por falta de fase.
6. Protección por cambio de fase (secuencia).
7. Protección por sobretensión.

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción

Protecciones comunes que ya están implementadas en los variadores de velocidad

1. Protecciones del motor.
2. Protecciones del variador.
3. Arranque y control de la velocidad. Frenado dinámico.
4. Ahorro de energía, control de par.
5. Regulación proporcional.
6. Rampa.
7. Límite de tiempo en baja velocidad.
8. Visualización de parámetros

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción

Características técnicas de variadores

1. 0.5 a 400 Hz.
2. Sobretorque transitorio, 150 a 170 % del torque normal.
3. Torque de frenado, 150 % c/resistencias de frenado.
4. Frecuencia de conmutación 2 a 15 kHz.
5. Entradas lógicas programables.
6. Sálidas programables.
7. Rampas de aceleración y desaceleración.
8. Frenado de parada por inyección de cc.
9. Ley tensión-frecuencia.

Máquinas de inducción

Arranque de un motor de inducción: Clases de motores de inducción.- Según norma NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

Clase	Par de arranque	Corriente de arranque	Deslizamiento plena carga
A	Normal (2 a 3 veces el nominal)	Alta (5 a 8 veces la nominal)	Menor 5 % (bajo)
B	Igual clase A	75 % de clase A	Mas bajo que A
C	Alto (2.5 veces clase A)	Idem clase B	Mas bajo que A
D	Alto (5 veces clase A)	Baja	Idem clase A

Máquinas de inducción

Control de velocidad de un motor de inducción

Como ya sabemos

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

n_s Velocidad sincrónica

f_E Frecuencia de la red eléctrica

p Pares de polos de la máquina de inducción

Máquinas de inducción

Control de velocidad de un motor de inducción

1. Polos consecuentes.
2. Variadores de frecuencia.

$$n_s = 60 f_E / p$$

Ambos métodos se basan en variar la velocidad sincrónica.

Máquinas de inducción

Control de velocidad de un motor de inducción

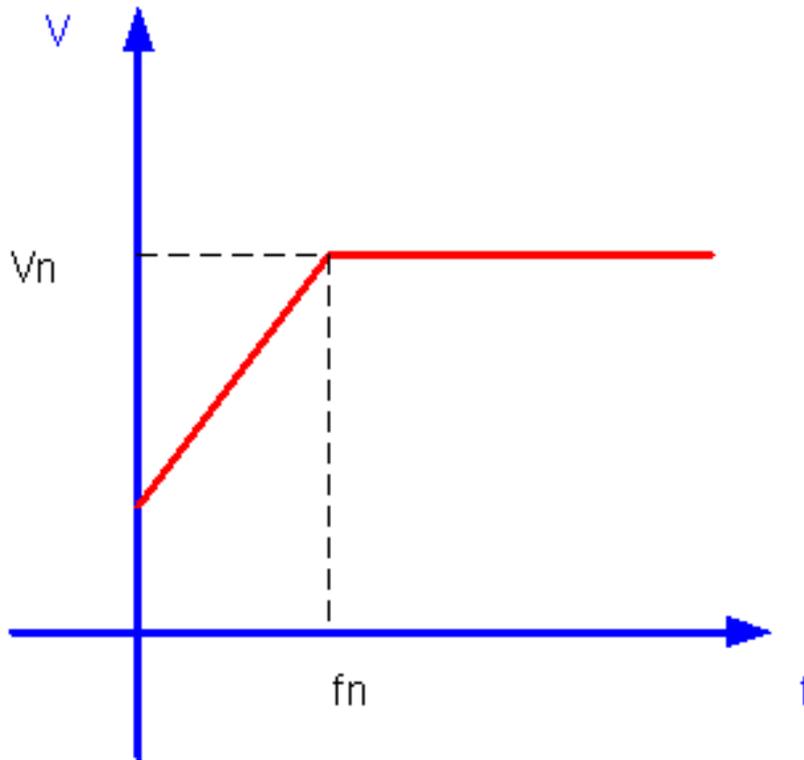
Teniendo en cuenta que la frecuencia de nuestra red eléctrica es 50 Hz y que el número de pares de polos es siempre un número natural:

Número pares polos	Vel sincrónica (rpm)
1	3000
2	1500
3	1000
4	750
5	600
6	500

El deslizamiento de una máquina generalmente es menor a un 10%, como consecuencia de esto la gama de velocidades disponibles será muy estrecha

Máquinas de inducción

Control de velocidad de un motor de inducción



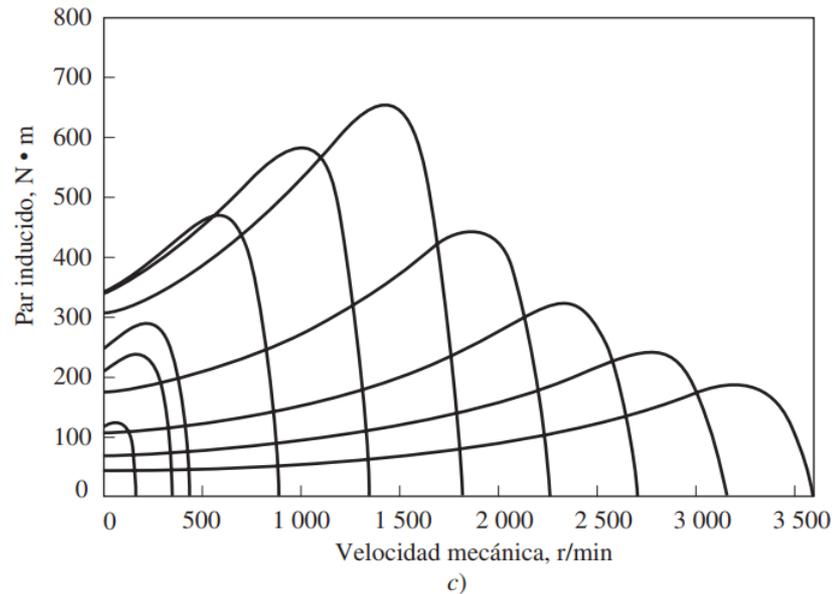
Cuando se opera con el variador a una velocidad inferior a la sincrónica, se debe reducir el voltaje en forma lineal para evitar que el material ferromagnético sature saturación.

Esto se puede deducir de la Ley de Faraday, si se mantiene el voltaje cte y se reduce la frecuencia debe aumentar el flujo magnético

Máquinas de inducción

Control de velocidad de un motor de inducción

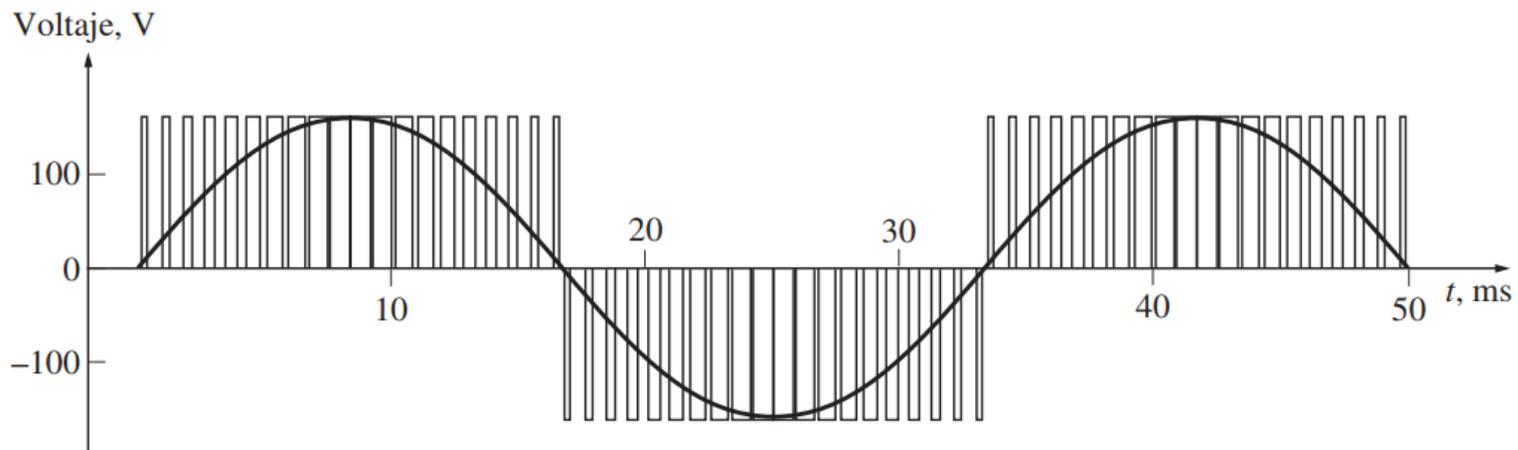
Variando el voltaje linealmente con la frecuencia a velocidades inferiores a la sincrónica y luego mateniéndolo constante obtenemos curvas de control de velocidad del siguiente tipo



Máquinas de inducción

Control de velocidad de un motor de inducción

Los variadores de velocidad podemos considerarlos como unos dispositivos eléctricos que convierten un voltaje sinusoidal de una frecuencia base en otro voltaje sinusoidal de una frecuencia diferente. Los mas comunes son los que utilizan un método denominado "Modulación por ancho de pulso" (PWM).



Máquinas de inducción

Rotor de “jaula de ardilla” y su número de polos

Número de polos del estator = **Número de polos del rotor**

El rotor de jaula automáticamente genera el mismo número de polos que los que tenga el estator

Máquinas de inducción

Rotor de “jaula de ardilla” y su número de polos

n_s Velocidad campo giratorio estator.
Tiene una distribución sinusoidal

n_m Velocidad campo giratorio rotor.
Tiene una distribución sinusoidal, inducido por el campo del estator

Máquinas de inducción

Rotor de “jaula de ardilla” y su número de polos:

Aplicando la Ley de Faraday $e = Blv$

La velocidad relativa de ambos campos giratorios será:

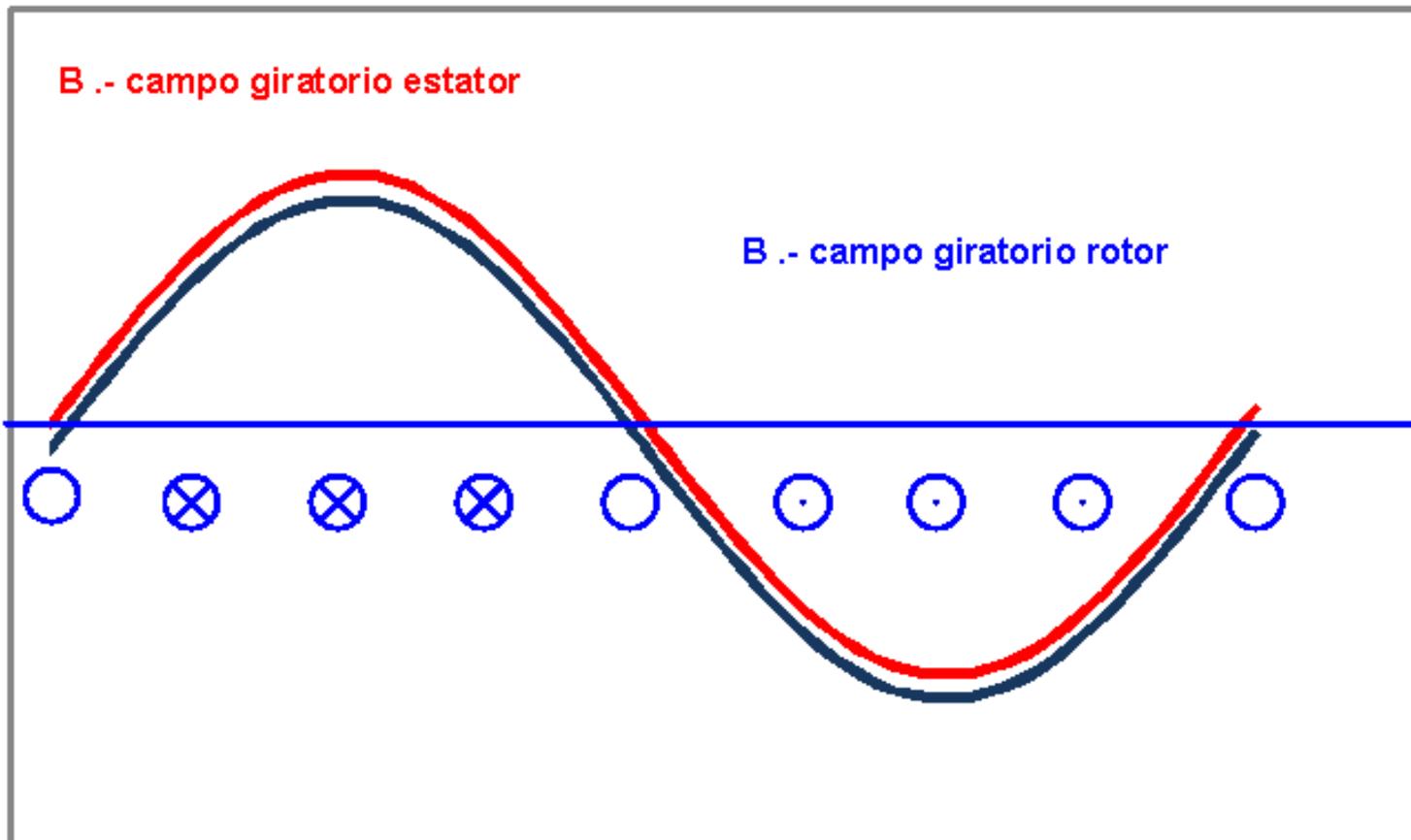
$$n_s - n_m$$

Entonces ambos campos giratorios tendrán una distribución sinusoidal y el desfase entre ambos se reducirá al reducirse el deslizamiento.

Máquinas de inducción

Rotor de "jaula de ardilla" y su número de polos

$$n_s - n_m = 0$$



Máquinas de inducción

Rotor de “jaula de ardilla” y su número de polos:

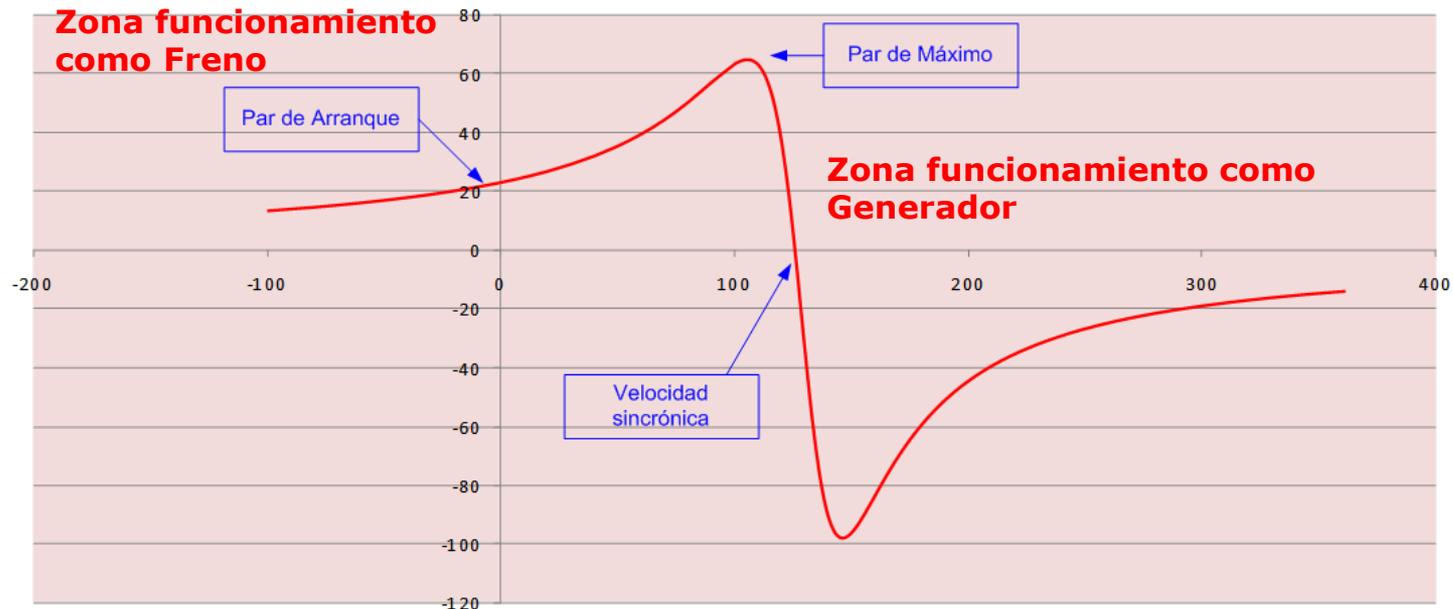
Como se puede apreciar se genera una distribución de campo que tiene la misma cantidad de polos

Máquinas de inducción

Funcionamiento como freno:

Cuando el par inducido es positivo y la velocidad tiene un sentido opuesto al campo giratorio, estamos en la zona de funcionamiento como freno.

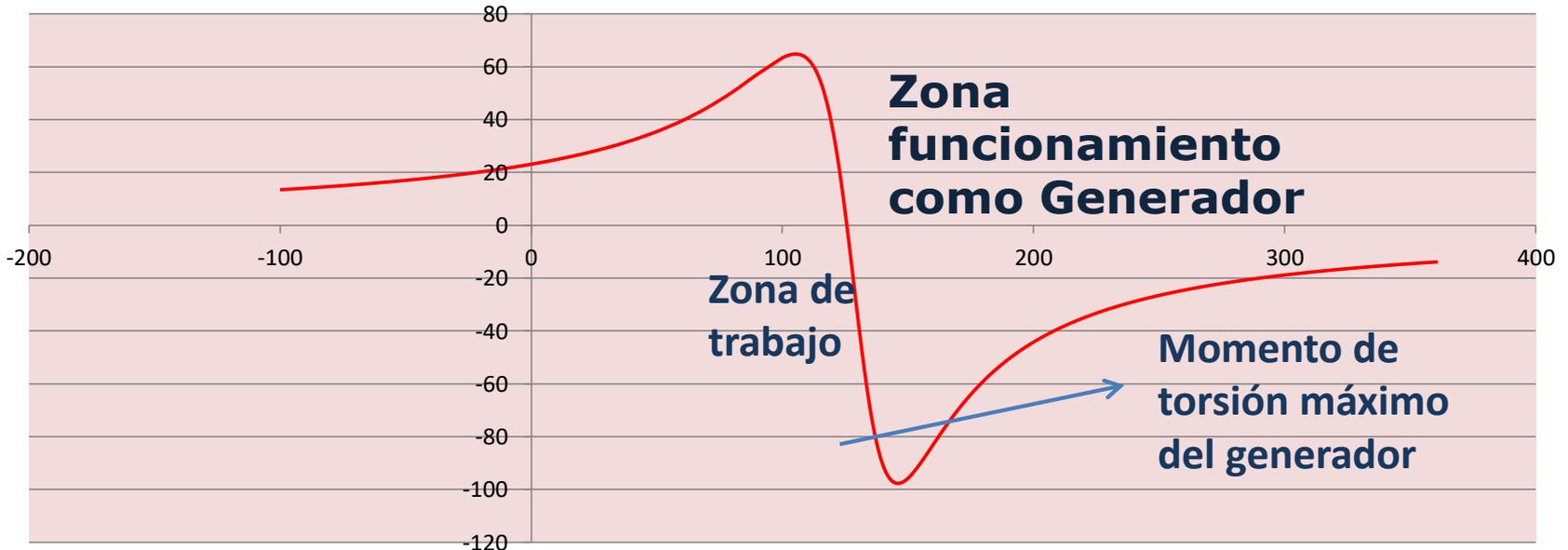
Esto puede suceder cuando tenemos la máquina funcionando como motor e intercambiamos la conexión de dos fases.



Máquinas de inducción

Generador de inducción:

Como ya vimos si se logra que la máquina de inducción gire a una velocidad superior a la sincrónica, el par inducido se invierte y la máquina funciona como generador.



Máquinas de inducción

Generador de inducción:

Si se supera el par inducido como generador máximo la máquina gira a una velocidad excesiva.

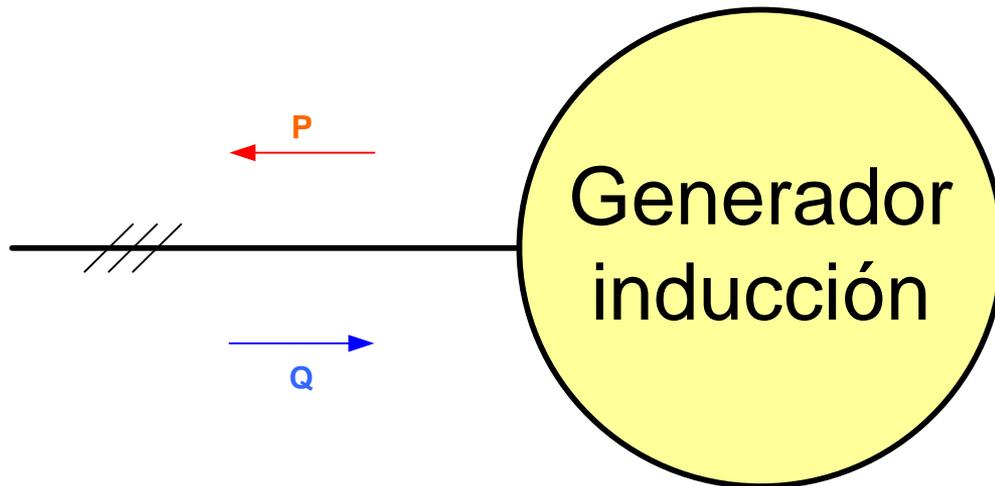
Ventajas y limitaciones:

Ventajas	Limitaciones
Robustez y simplicidad.	Carece de circuito de campo separado.
No necesita circuito de campo separado.	No puede generar potencia reactiva, la absorbe (necesaria para mantener campo estator)
No necesita girar a una velocidad fija.	Control externo del voltaje generado.
Cuanto mayor sea el par inducido mayor será la potencia generada	

Máquinas de inducción

Generador de inducción:

La maquina de inducción funcionando como generador consume potencia reactiva



Máquinas de inducción

Generador de inducción:

a) Conectado a la red eléctrica

- Conectado a un motor primario
- Velocidad mayor que la de sincronismo
- Devanado estatórico conectado a la red eléctrica
- No necesita regulador de velocidad para el motor primario
- La red eléctrica debe proporcionarle Q

Máquinas de inducción

Generador de inducción:

b) Aislado

- Conectado a un motor primario
- Velocidad mayor que la de sincronismo
- Devanado estático conectado a la carga
- Debe ser provisto de Energía Reactiva (bco condensadores)
- Necesita regulador de tensión y frecuencia

Máquinas de inducción

Generador de inducción:

- Se utilizan máquinas con rotor de jaula y/o rotor bobinado
- Voltaje habitual de generación 700 V, requiere transformador elevador
- Las máquinas de rotor bobinado permiten ajustar el deslizamiento (1%)
- Se utilizan máquinas que permiten variar número de polos (en gral 2 velocidades)

Máquinas de inducción

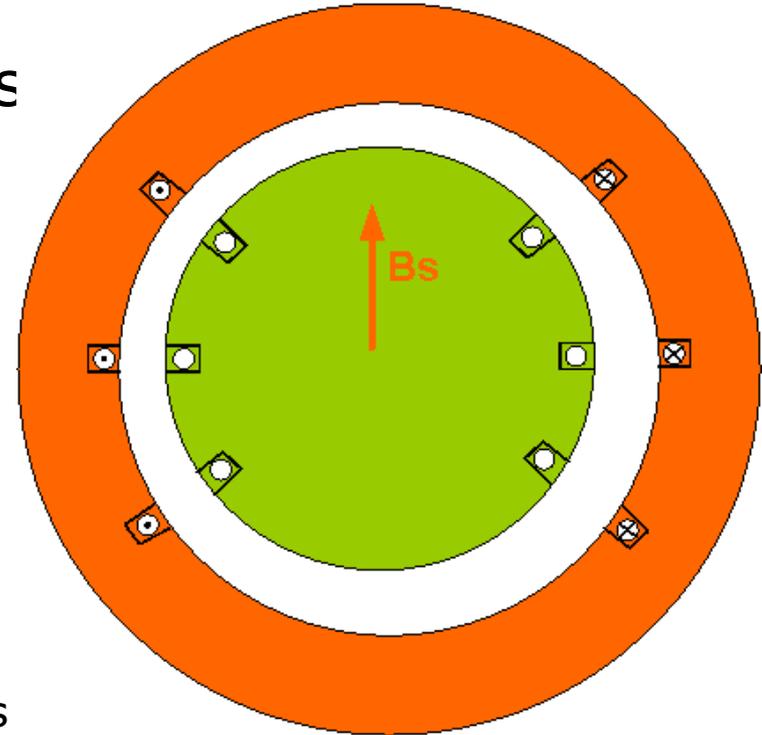
Motores de inducción monofásicos

Características constructivas:

- Una sola fase
- Rotor tipo jaula
- Genera un campo en un dirección fija
- Corriente alimentación sinusoidal, campo sinusoidal

Consecuencias:

- No existe campo giratorio, la dirección es fija
- Al no existir movimiento relativo del campo respecto a las barras del rotor, no se genera fem inducida
- No existe par de arranque
- La máquina no gira

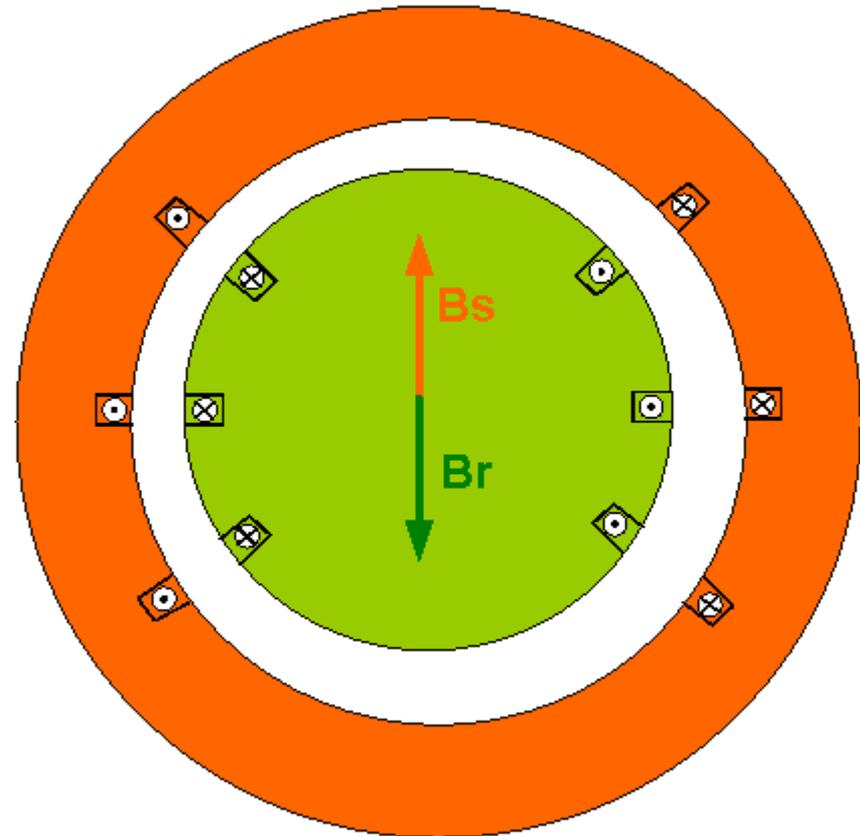


Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Circulara una corriente por las barras del rotor por efecto inductivo = transformador

Aparece B_r misma dirección pero sentido opuesto a B_s , no hay par inducido:

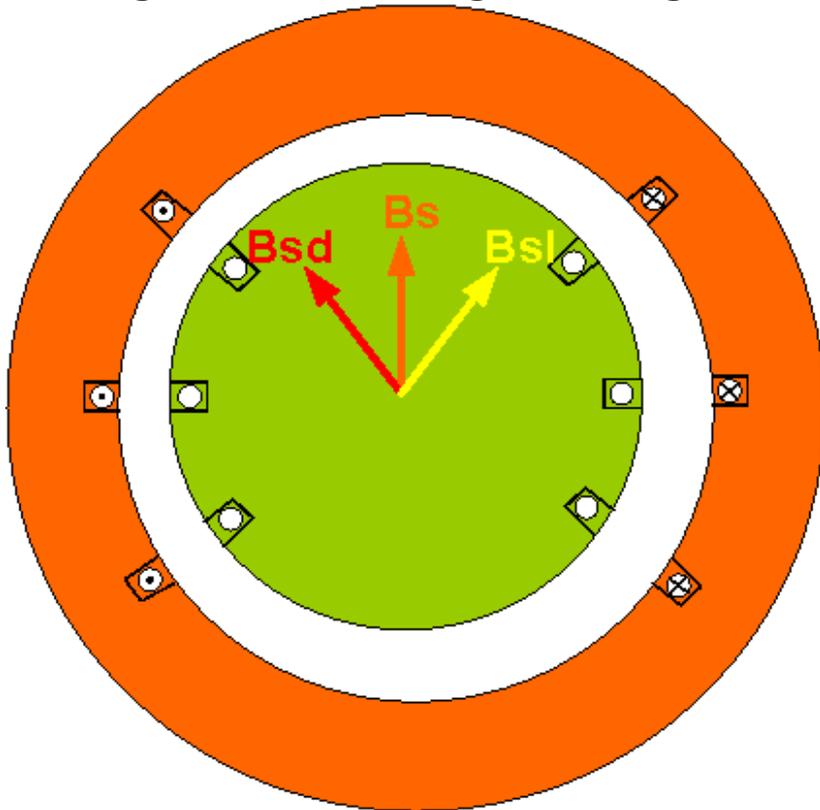


Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Teoría del doble campo giratorio

Se descompone el campo magnético del estator en dos campos giratorios de igual magnitud pero girando en sentido opuesto.



B_{sd} y B_{sl} .- son campos giratorios.
 B_s .- no

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Teoría del doble campo giratorio, descomposición de un campo fijo en dos campos giratorios

$$H_s = H_M \cos \omega t$$

$$H_d = \frac{H_M}{2} \cos \omega t \vec{i} - \frac{H_M}{2} \operatorname{sen} \omega t \vec{j} = \frac{H_M}{2} e^{-j\omega t}$$

$$H_l = \frac{H_M}{2} \cos \omega t \vec{i} + \frac{H_M}{2} \operatorname{sen} \omega t \vec{j} = \frac{H_M}{2} e^{j\omega t}$$

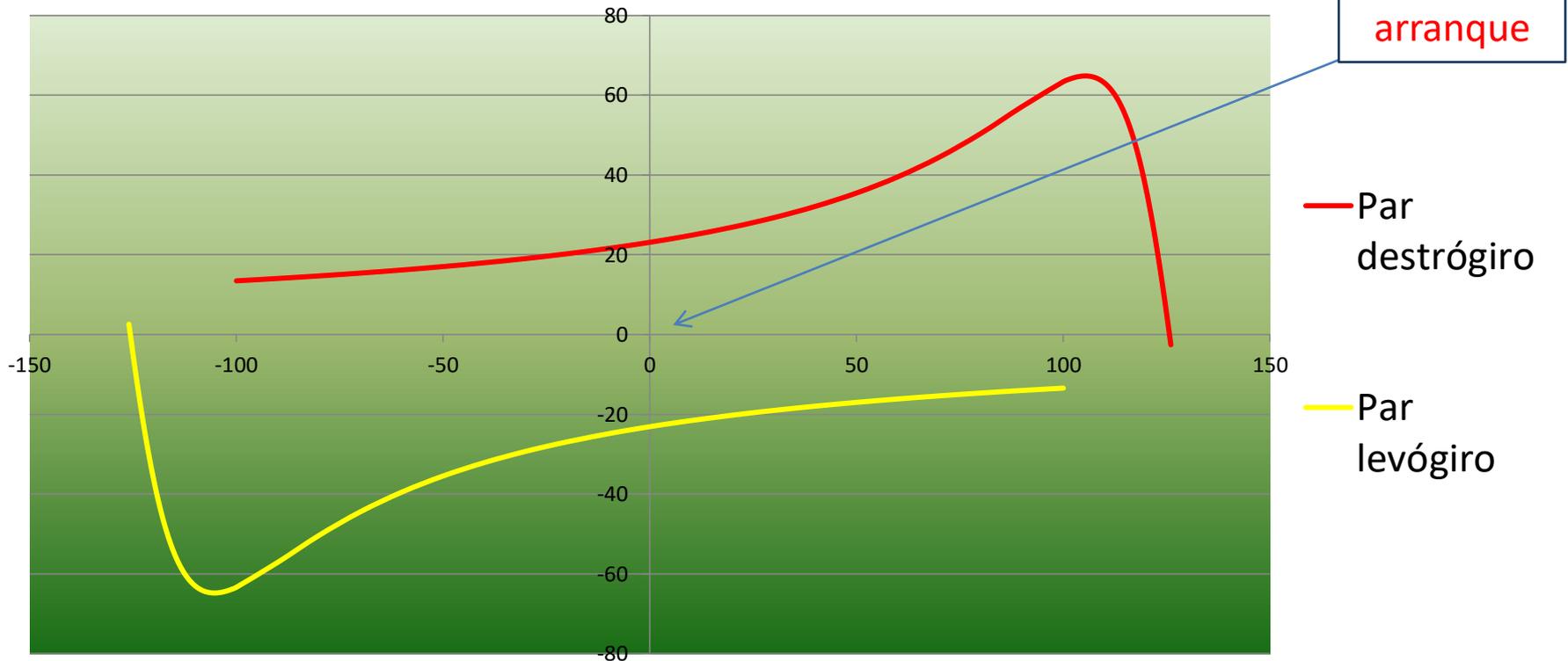
$$H_s = H_d + H_l$$

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Teoría del doble campo giratorio, descomposición de un campo fijo en dos campos giratorios.

Ver que la suma da una senoide, par medio nulo.



Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Si el rotor girara en algún sentido en sentido destrógiro:

- La frecuencia de las corrientes depende del deslizamiento que será diferente para "cada uno de los motores"
- X_2 de uno será mucho mayor que el del otro.

Consecuencia:

- Destrógiro: X_2 pequeño (f pequeño). Tensión inducida en fase con la corriente del rotor.
- Levógiro: X_2 grande. Tensión inducida a 90° con la corriente del rotor. Genera un campo 180° desfasado con el del estator.

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Modelo:

Hacemos girar el rotor en un sentido, el par correspondiente prevalece sobre el otro y se genera un par inducido que hace que el conjunto gire.

$$s_f = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 - \frac{n}{n_s}$$

$$s_b = \frac{n_s - (-n)}{n_s} = 1 + \frac{n}{n_s} = 2 - s_f$$

$$s_b = 2 - s_f$$

s_f

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Modelo:

El campo correspondiente a S_f se comporta como un motor con un deslizamiento menor que 1.

El campo correspondiente a S_b se comporta como un freno.

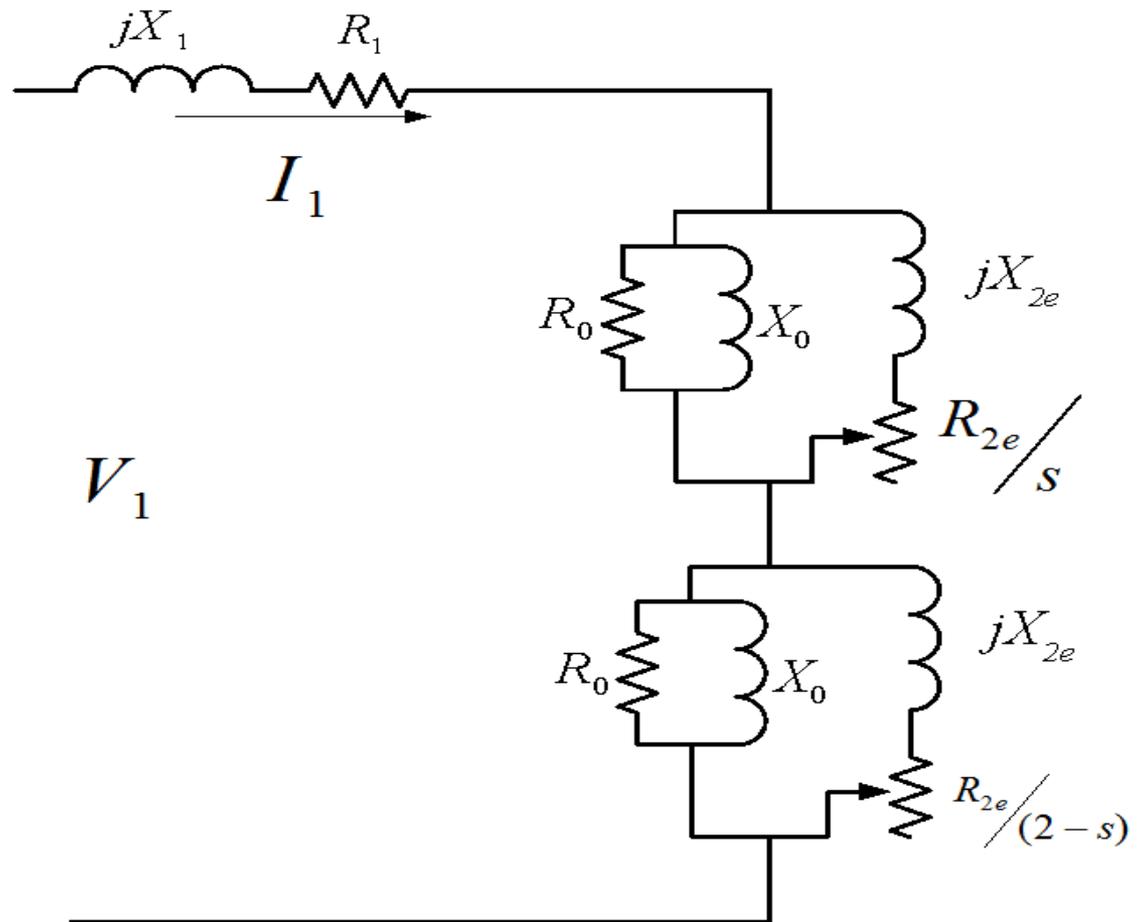
$$\Gamma_{ind} = \Gamma_{ind_d} + \Gamma_{ind_l}$$

De acuerdo al gráfico, apenas el rotor sale del reposo existirá para inducido y el motor continuará girando.

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Modelo:



Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Arranque:

1. Embobinados de fase partida.
2. Embobinados con condensador.
3. Estator con polos sombreados.

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Arranque: Embobinados de fase partida

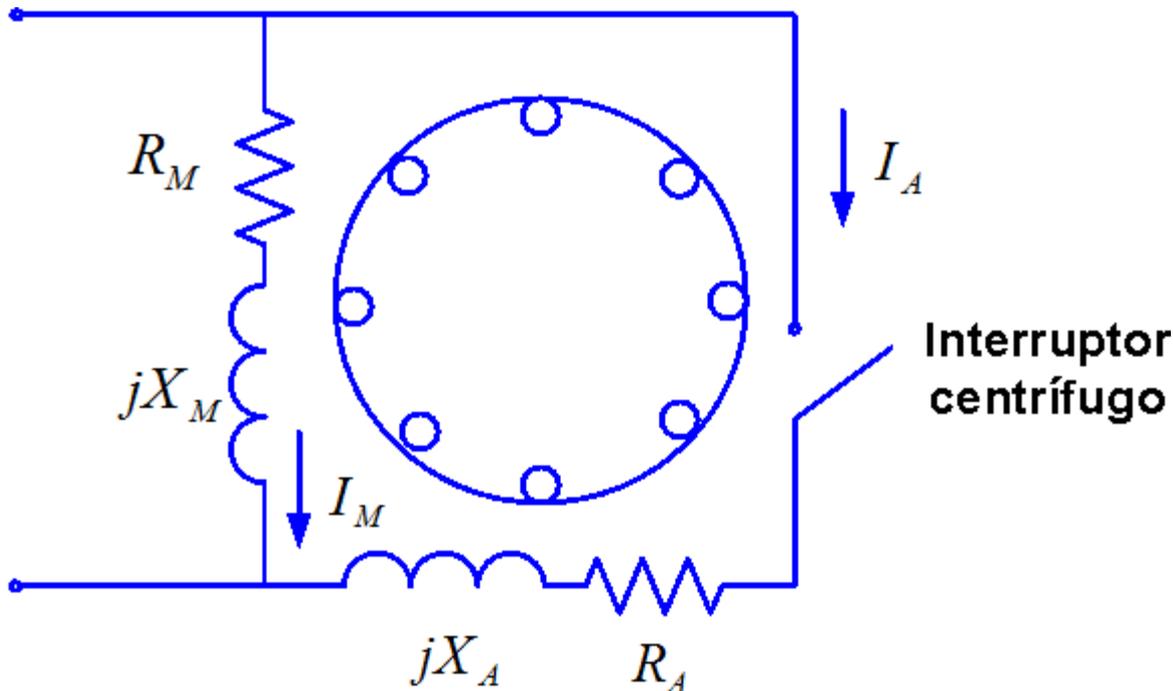
El motor posee dos embobinados, el principal y el de arranque, éste último se desconecta del circuito luego que el motor arrancó. Ambos embobinados están desfasados 90° eléctricos

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Arranque: Embobinados de fase partida.

Par de arranque moderado



$$\left| \frac{R_A}{jX_A} \right| > \left| \frac{R_M}{jX_M} \right|$$

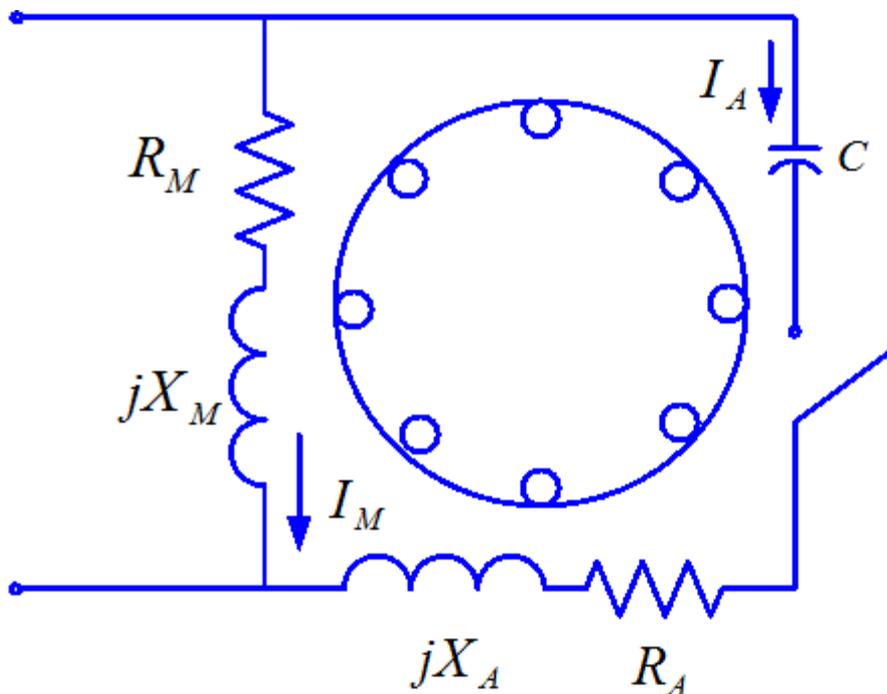
La corriente de arranque adelanta a la del motor, como consecuencia aparece un par neto distinto de cero.

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Arranque: Arranque por condensador.

Par de arranque mejorado



Eligiendo el condensador se puede lograr aumentar el par de arranque hasta 3 veces el anterior.

Interruptor centrífugo

Existe una variante con condensador permanente

Máquinas de inducción

Motores de inducción monofásicos

Arranque: Estator con polos sombreados.

Son motores de bajo par de arranque y pequeñas potencias

