



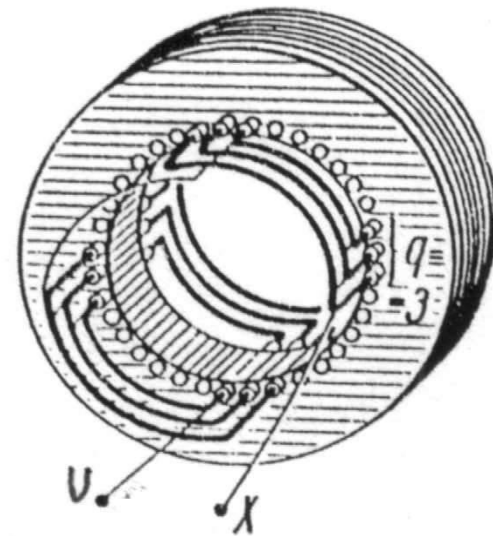
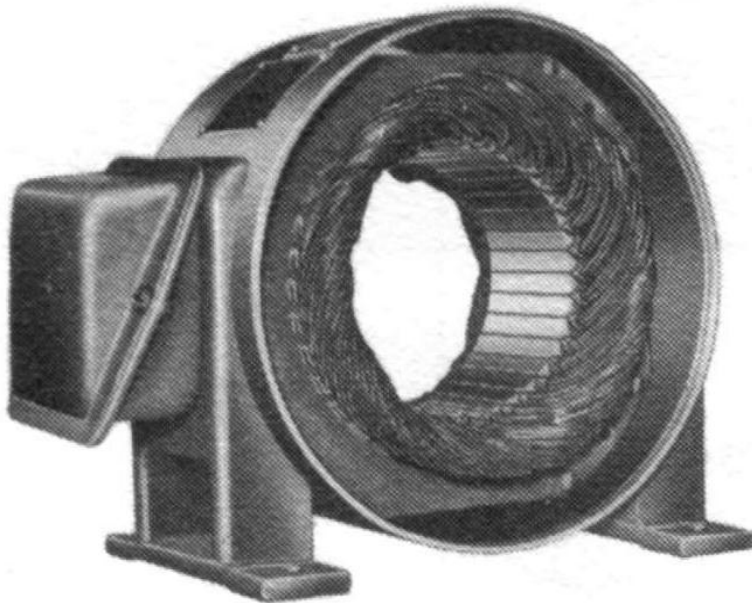
FACULTAD DE INGENIERIA
en acción continua...

Máquinas Asíncronas

Electrotecnia y Máquinas Eléctricas

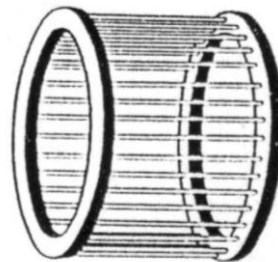
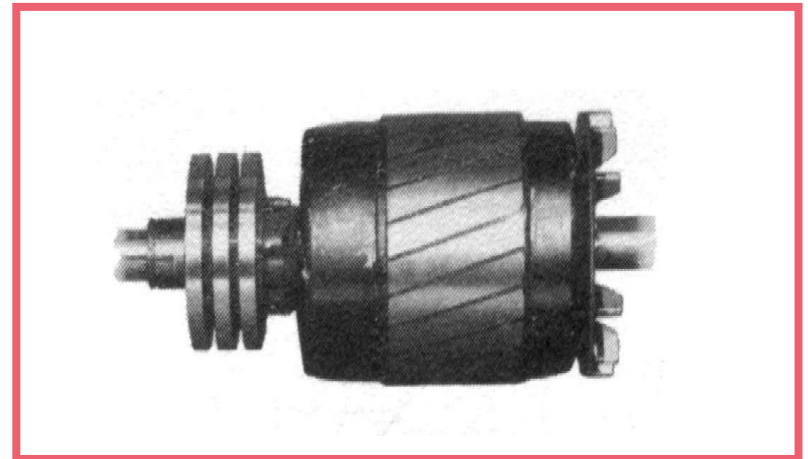
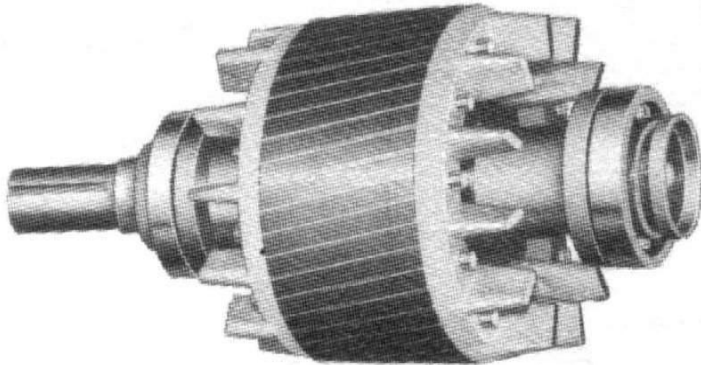
14/02/2020

Estator

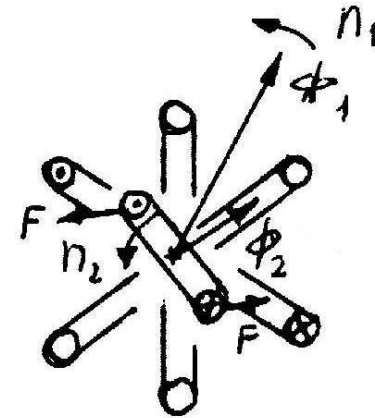
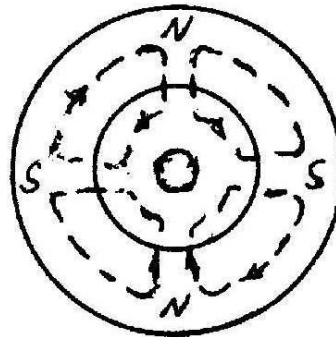
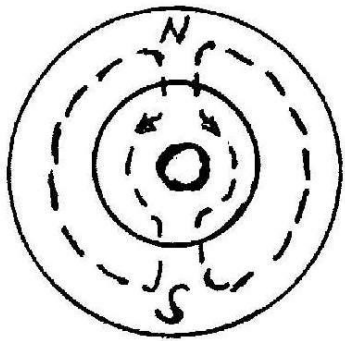


Una fase del arrollamiento de una máquina asincrónica cuadripolar.

Rotor

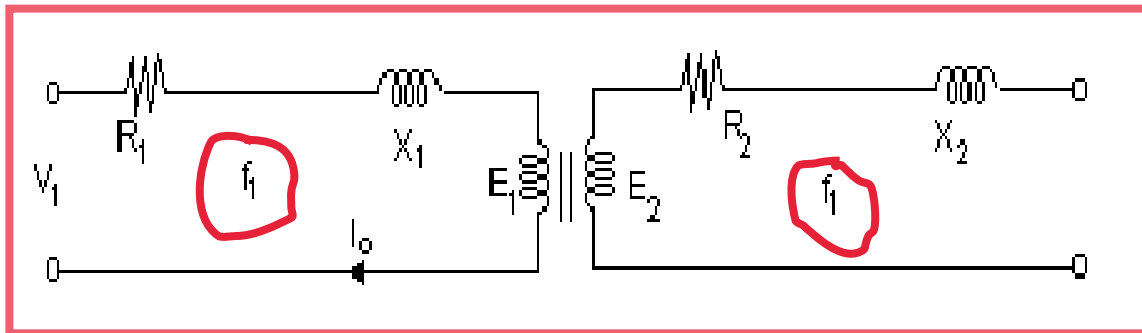


Principio de funcionamiento

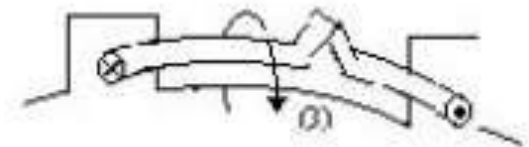
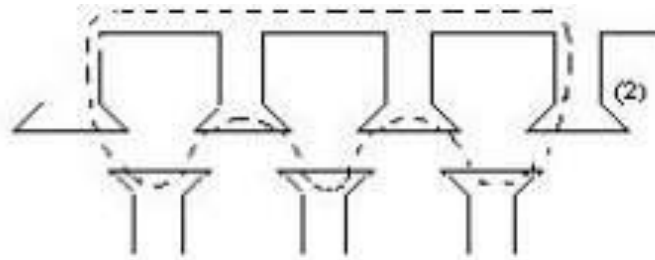
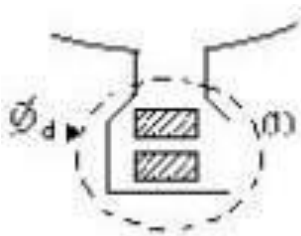


El motor a inducción como transformador

a) Circuito abierto rotor detenido

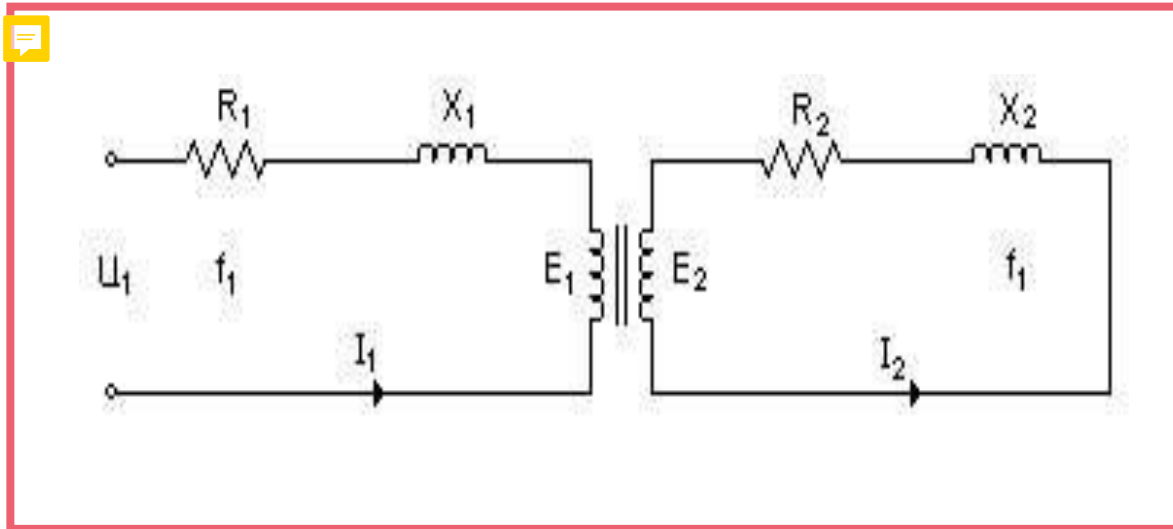


| | I_o % |
|---------|---------|
| transf. | 15 |
| motor | 18 a 40 |



El motor a inducción como transformador

b) Arrollamiento rotórico cerrado (rotor bloqueado)



| | I_{cc}/I_n |
|---------|--------------|
| transf. | 40 |
| motor | 3,8 a 8 |

El motor a inducción como transformador

c) Rotor girando, motor en marcha

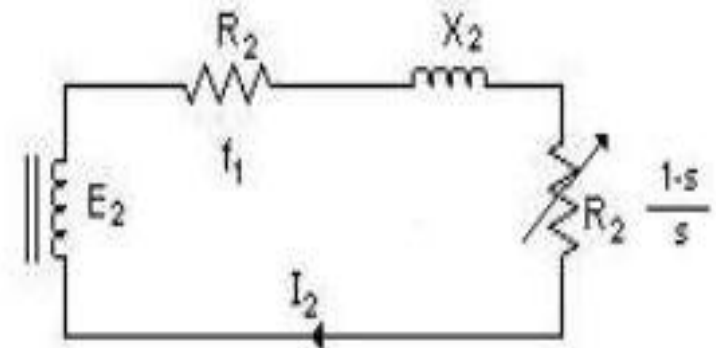
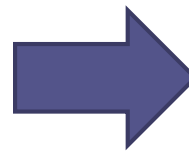
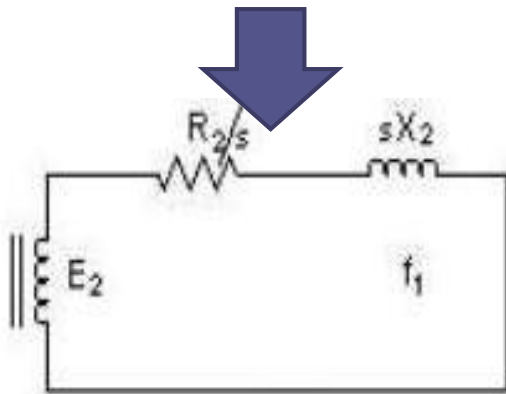
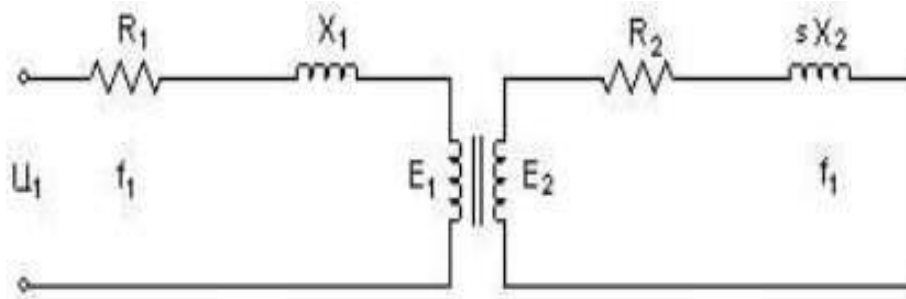
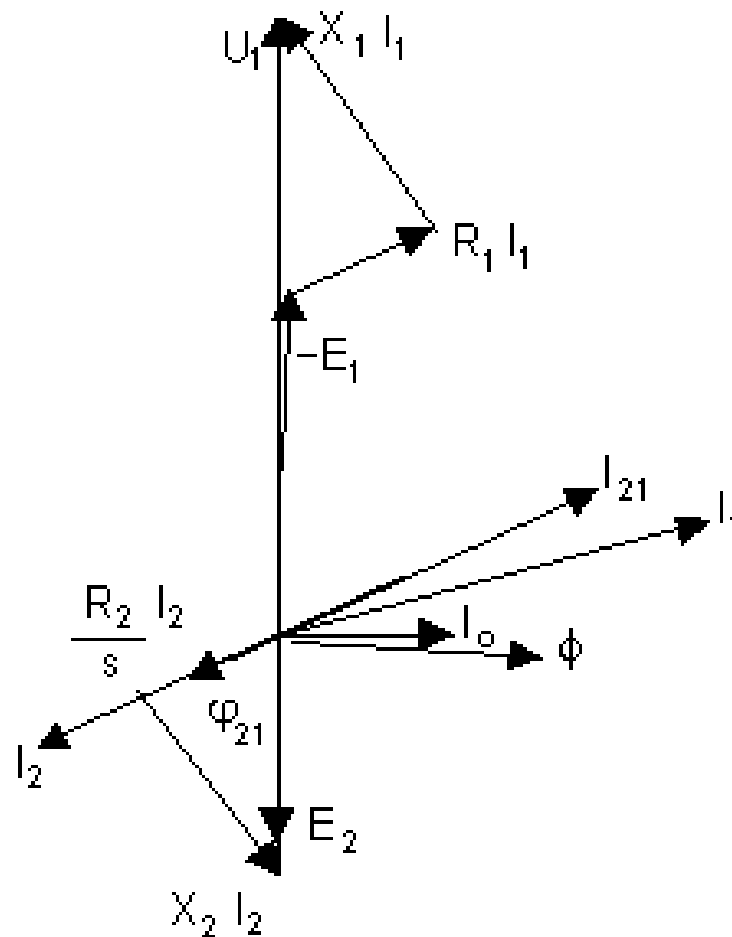
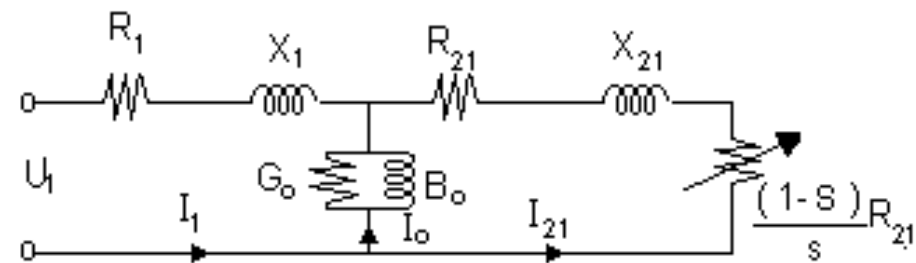
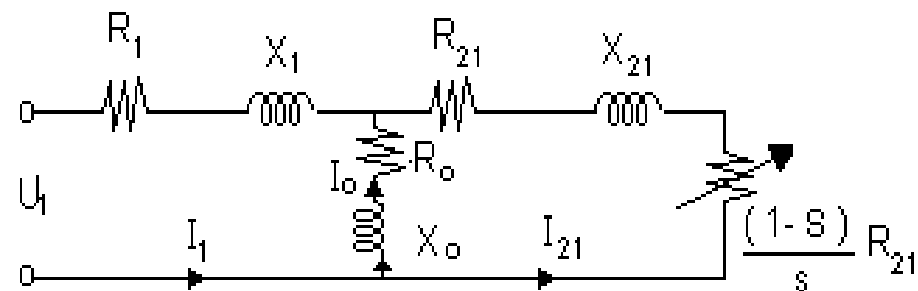
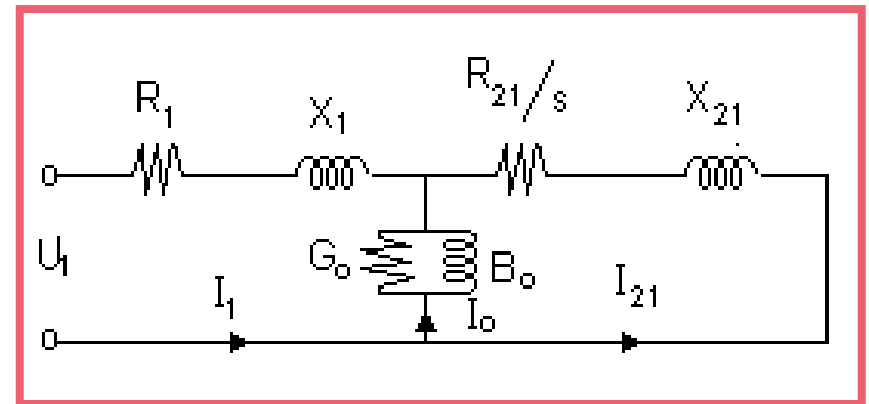
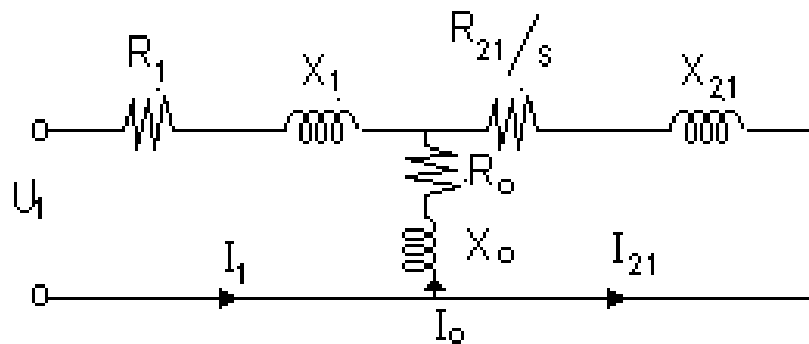


Diagrama Vectorial

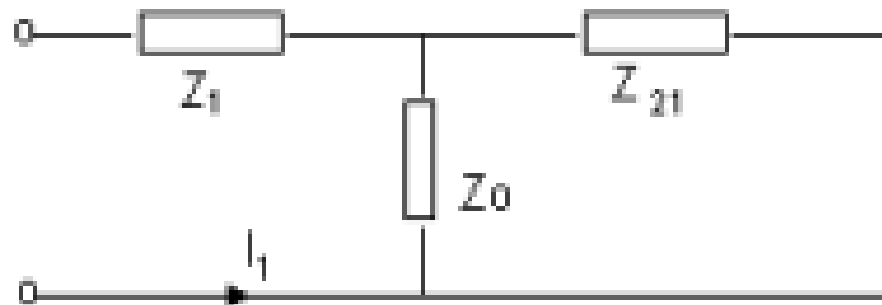


Circuito equivalente reducido al 1°

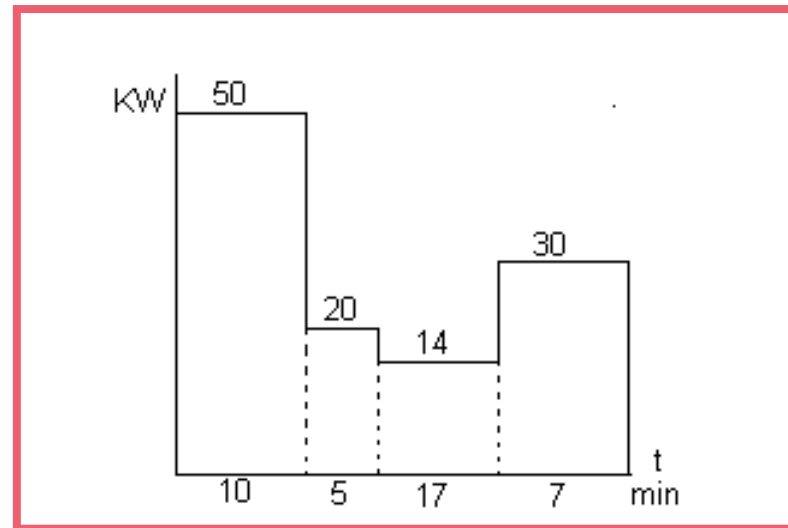


Circuito equivalente reducido al 1°

- Impedancia del motor

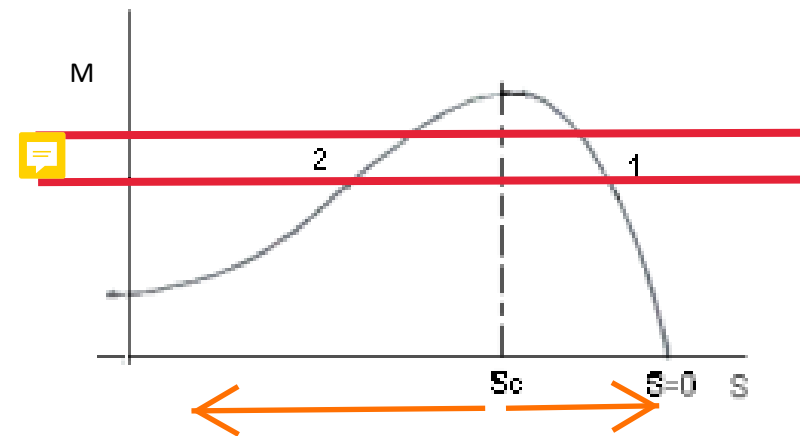
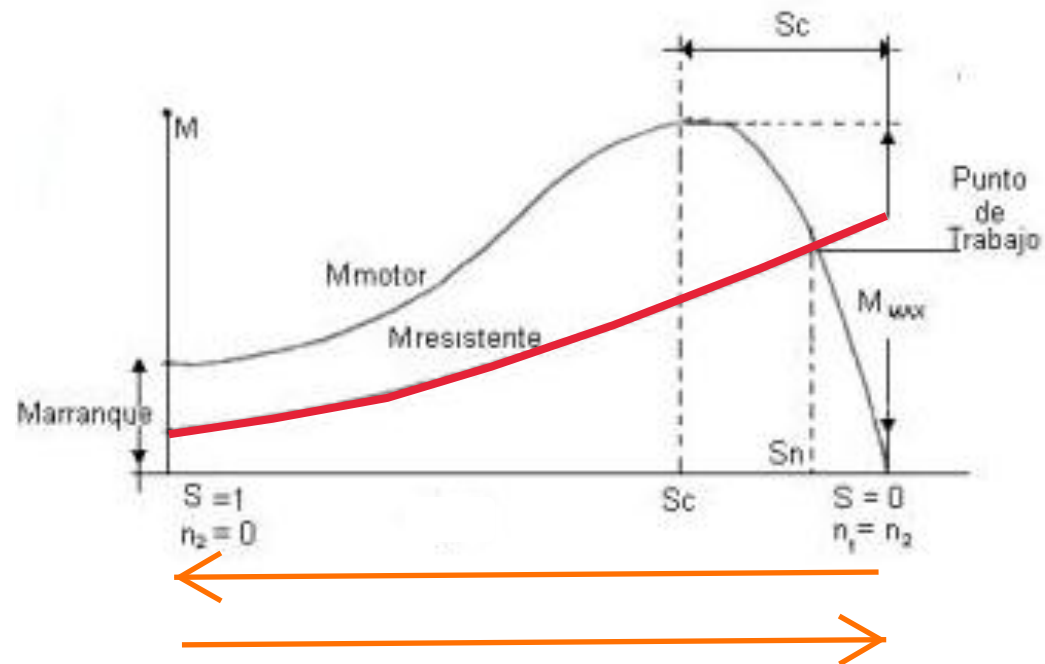


Ciclo de carga variable



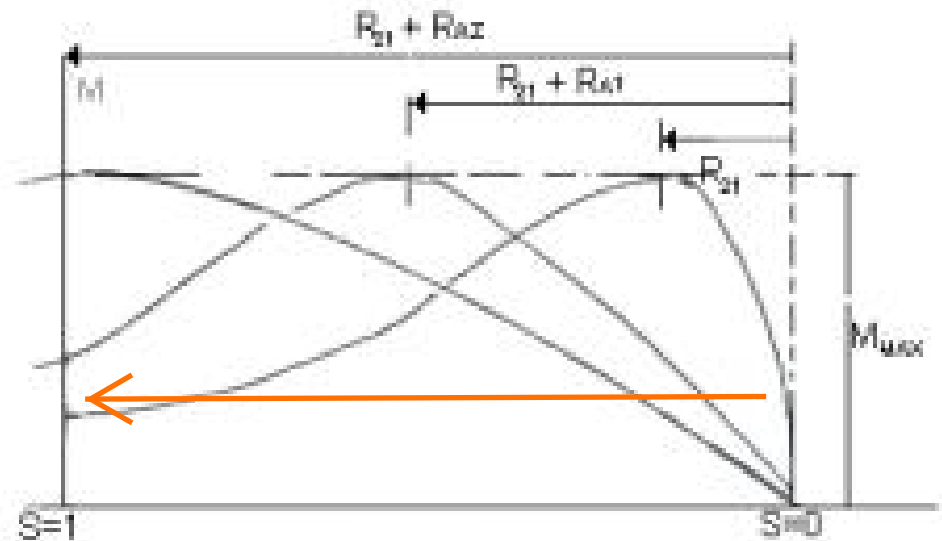
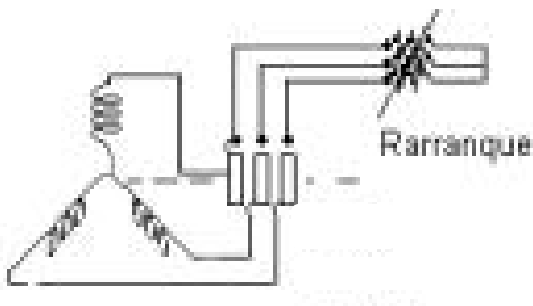
Momento motor

- Curva característica del momento



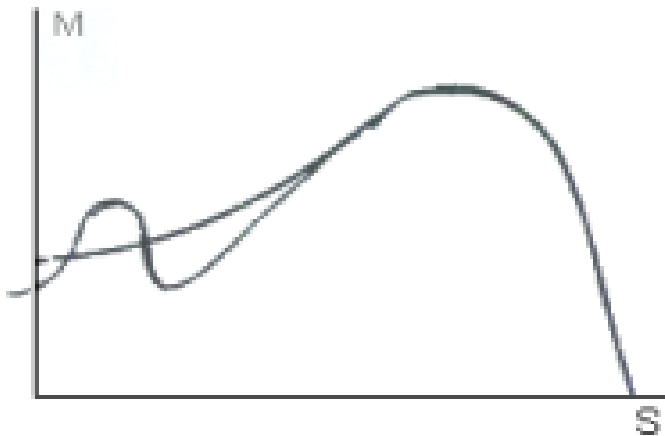
Momento motor

- Curva característica del momento. Resistencia de arranque.

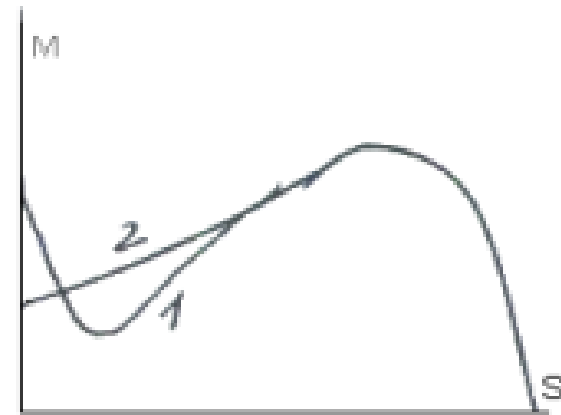


Momento motor

- Alteraciones a la curva de momento



Influencia de la 5ª y 7ª armónica



Influencia de la inclinación:

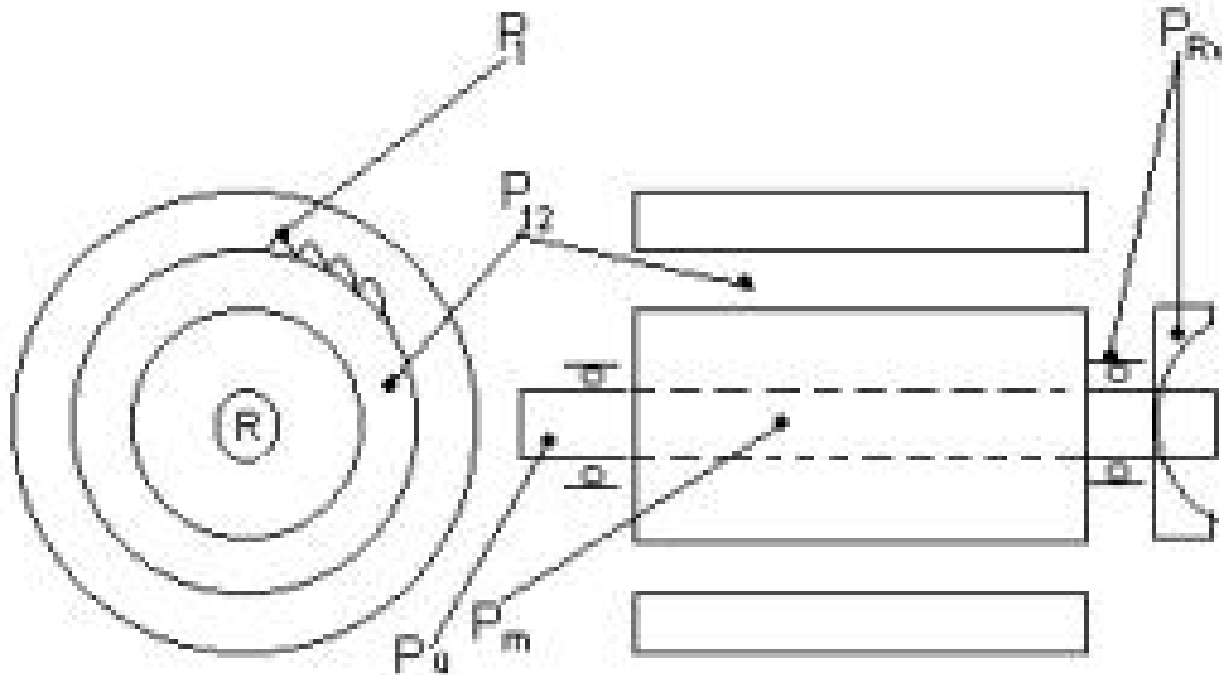
1- Ranura recta

2- Ranura inclinada

1- Balance energético

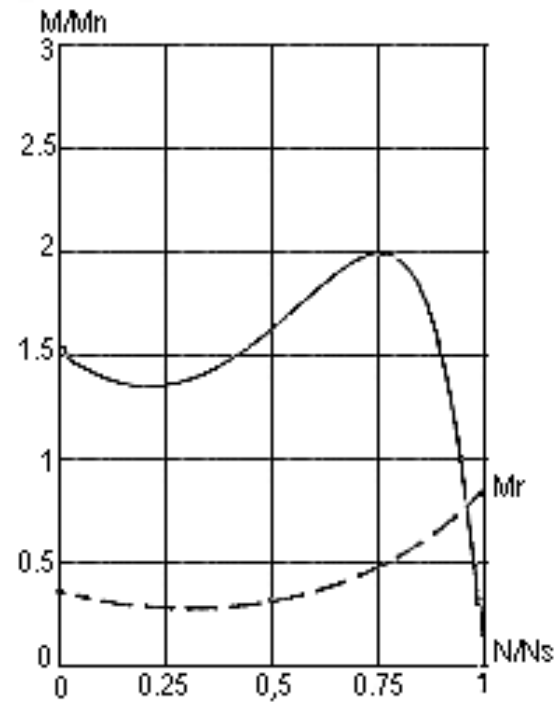
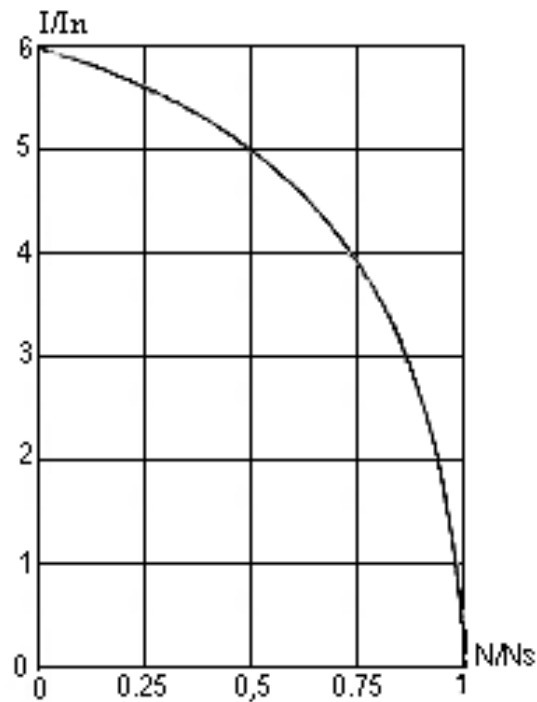


Localización en el motor

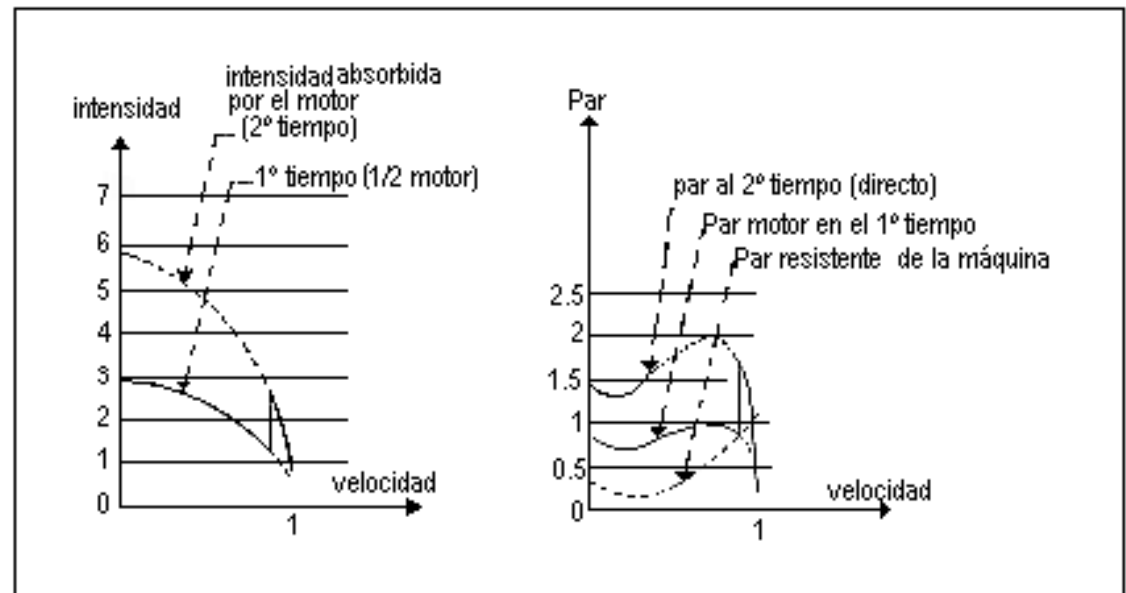
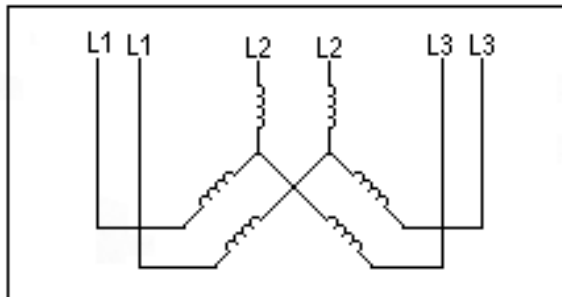


Arranque de motores asíncronos trifásicos

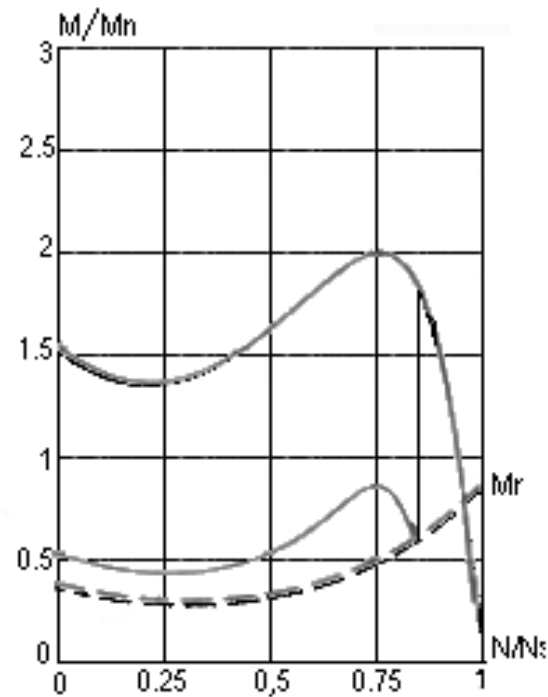
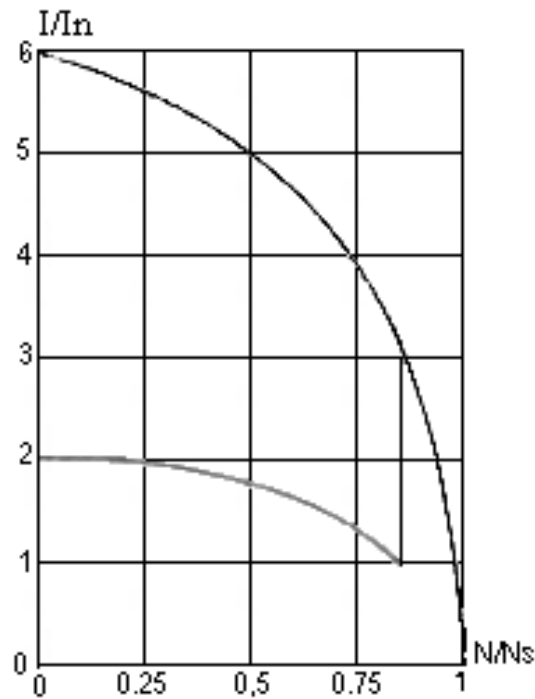
1- Arranque directo



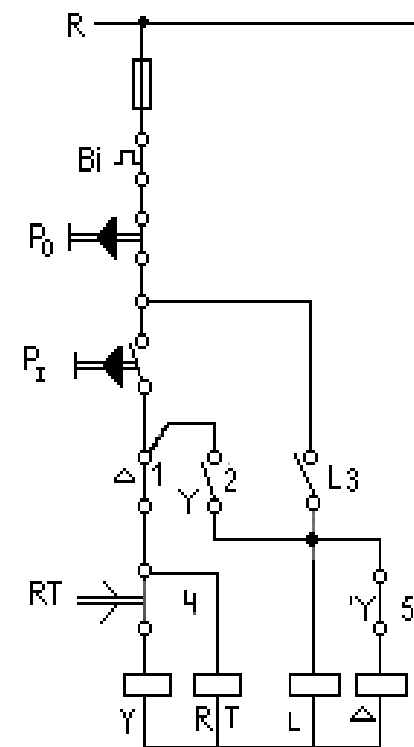
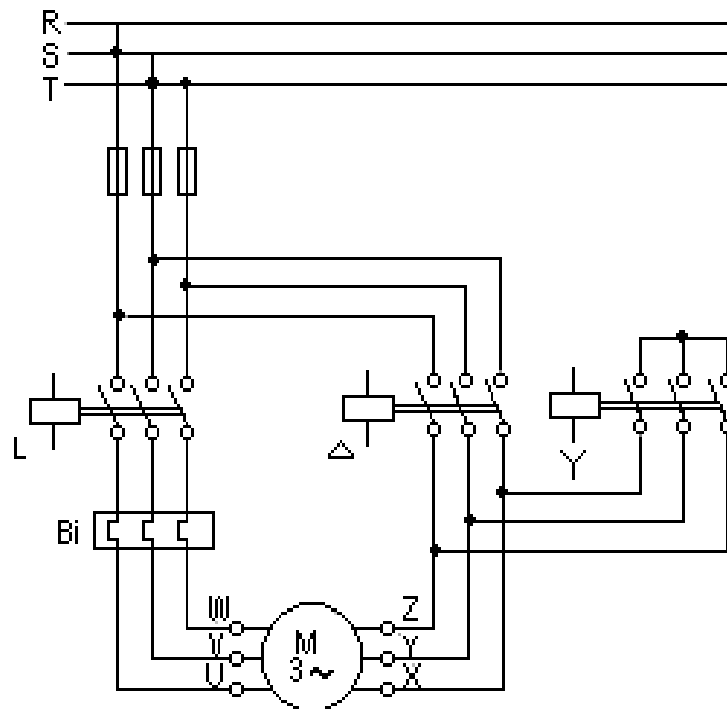
2- Motor con arrollamiento dividido



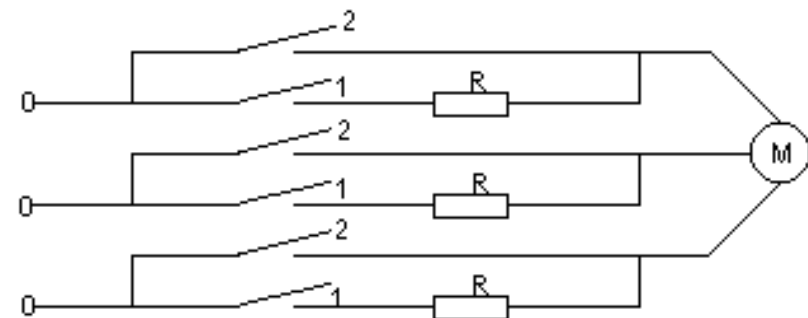
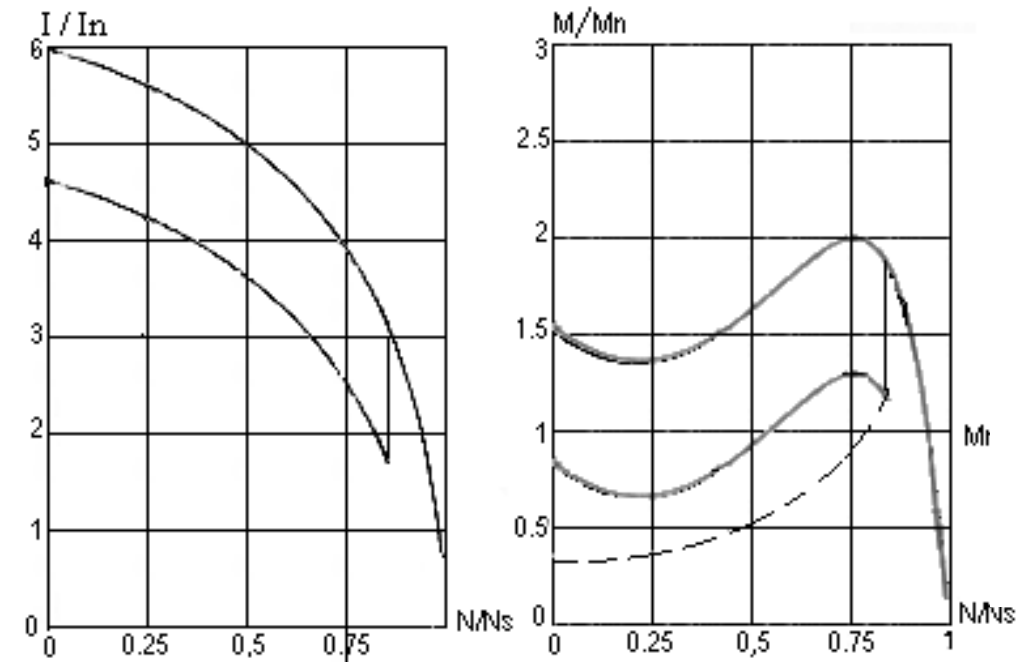
3- Conmutación estrella-triángulo



3- Conmutación estrella-triángulo



4- Estatórico por resistencias



5- Por autotransformador

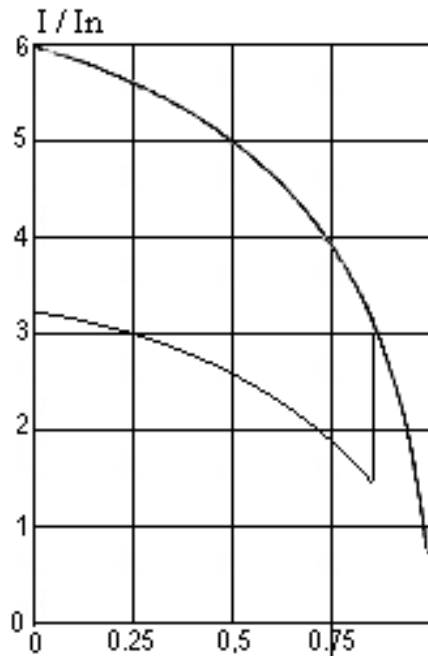


fig. 12

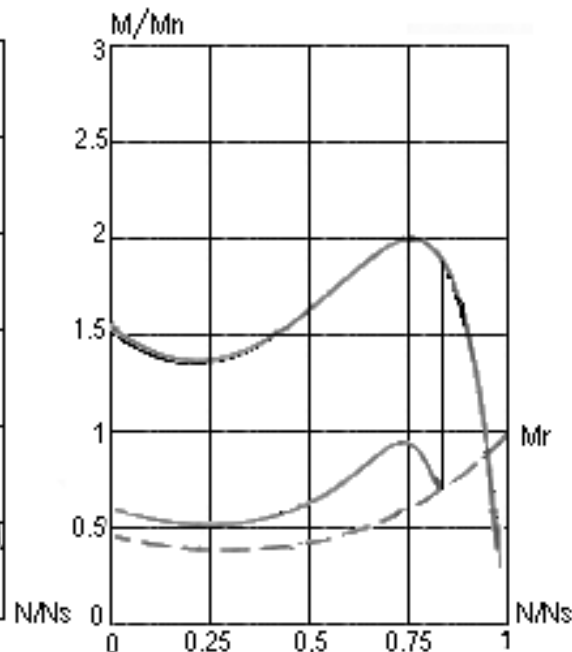


fig. 13

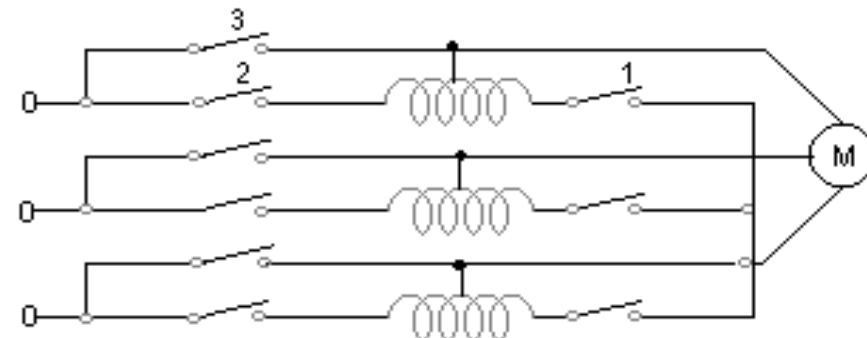
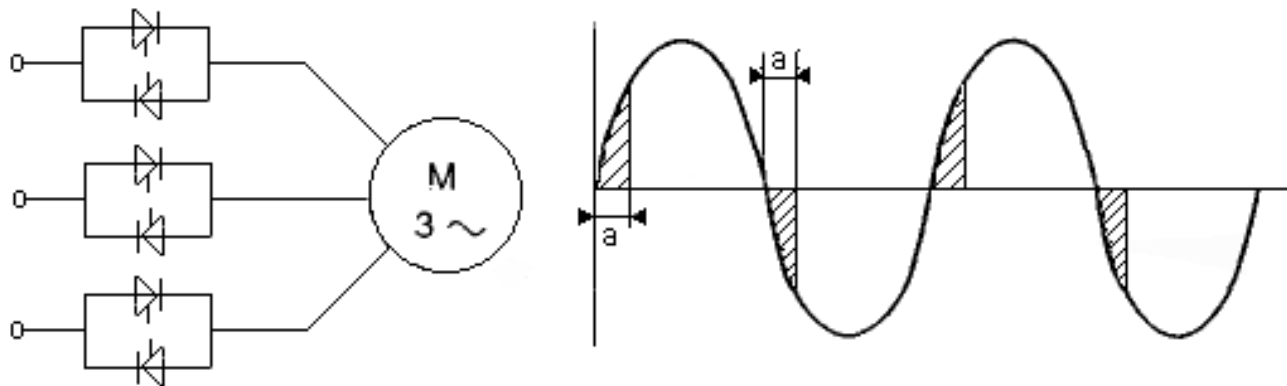


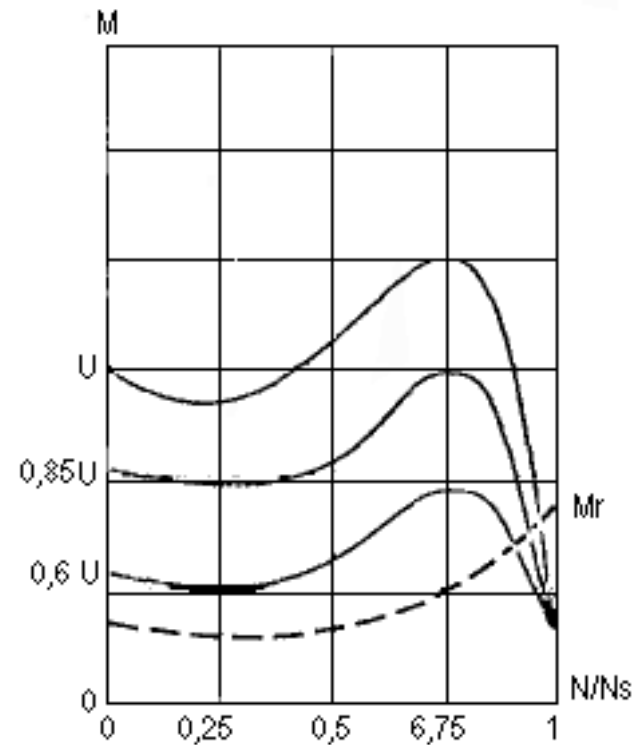
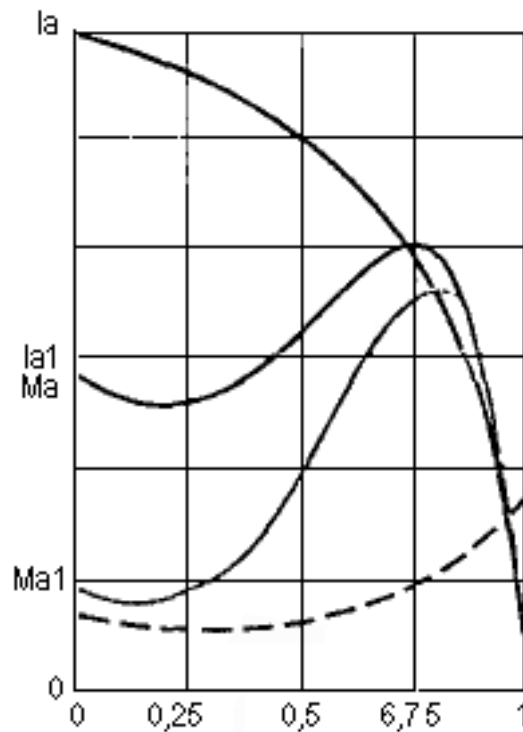
fig. 14

6- Con anillos rozantes

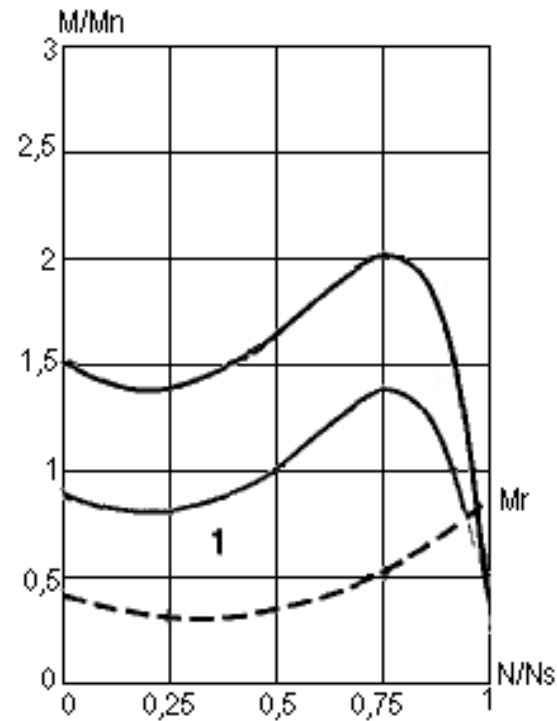
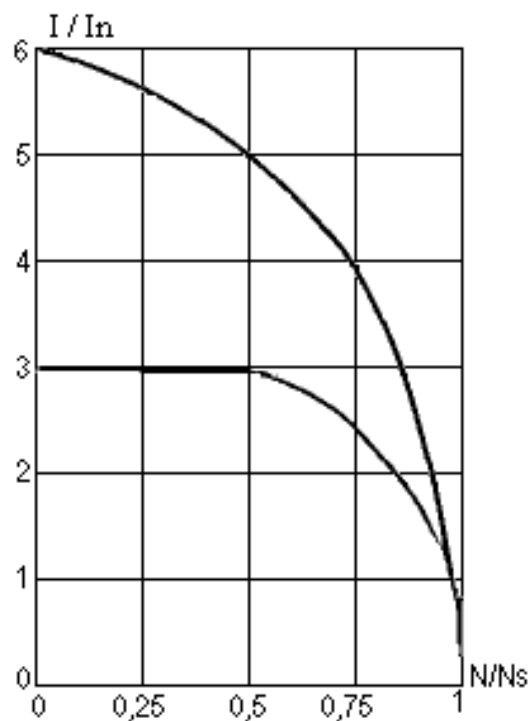
7- Arranque electrónico por tensión variable y limitación de corriente



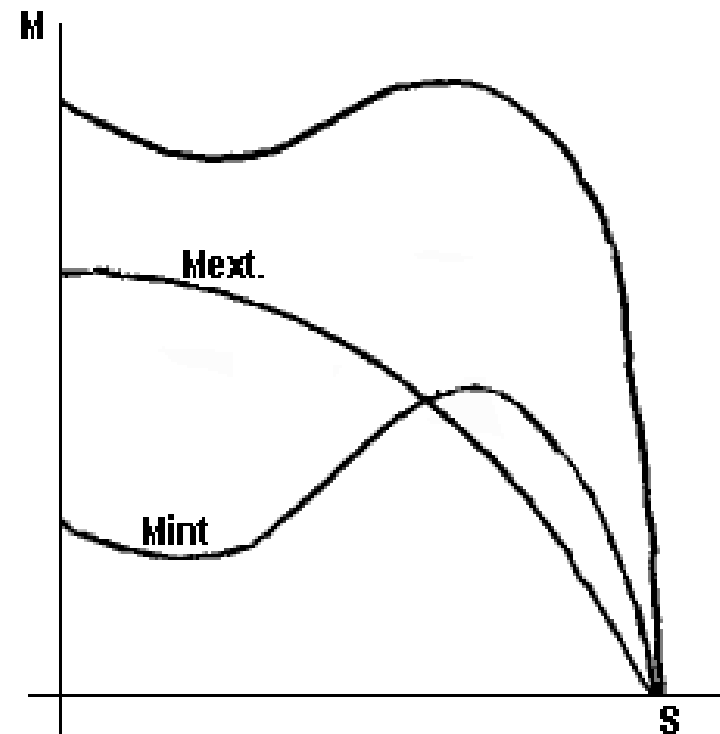
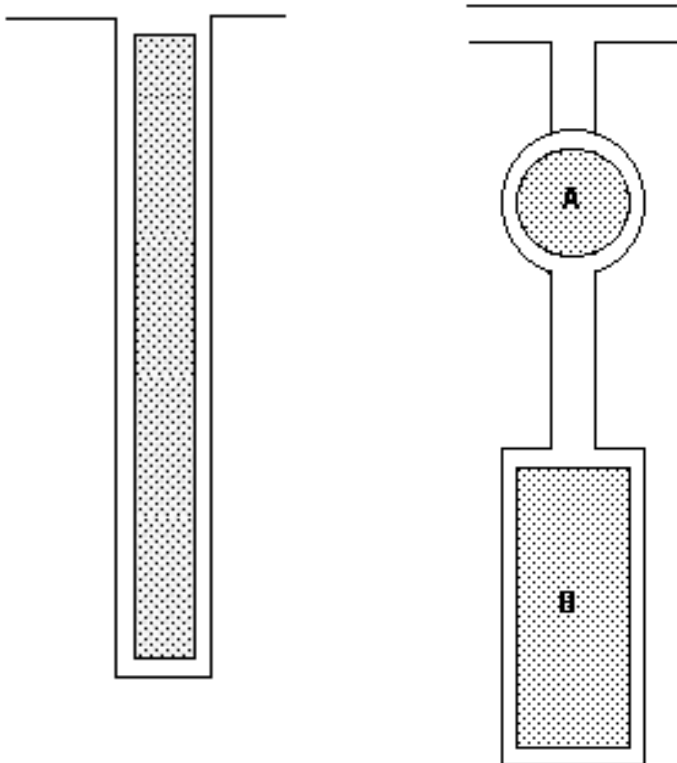
7- Arranque electrónico por tensión variable y limitación de corriente



7- Arranque electrónico por tensión variable y limitación de corriente



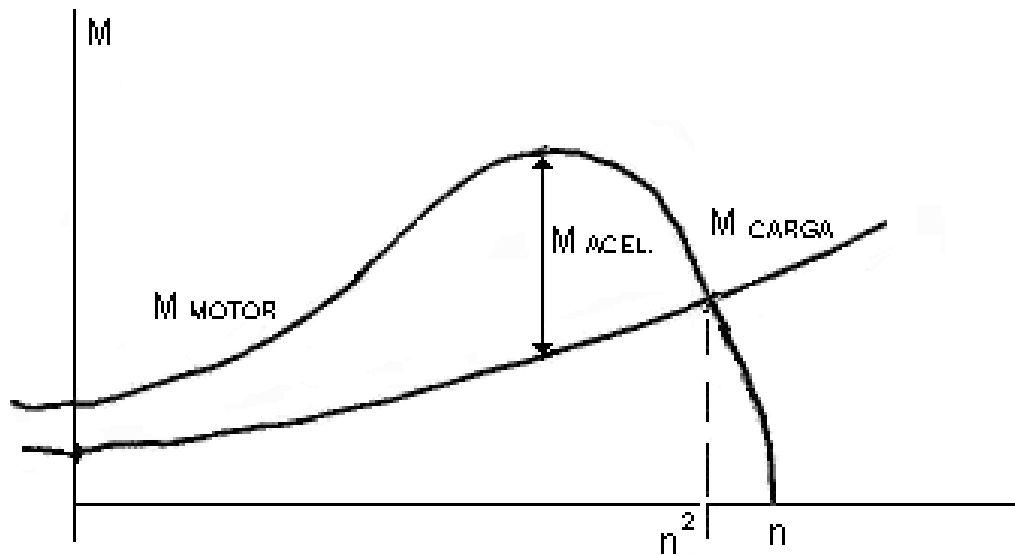
8- Jaulas especiales



Datos sobre distintas formas de arranque

| Métodos de Arranque | Sobre intensidad $I/I_{cc} \%$ | $\frac{M_{arr}}{M_n} \cdot 100 a U_n$ |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| A tensión nominal | 100 | 100 |
| Autotransformador | | |
| 80% de U_n | 71 | 64 |
| 65% | 48 | 42 |
| 50% | 28 | 25 |
| R ó X en el circuito primario | | |
| 80% de U_n | 80 | 64 |
| 65% | 65 | 42 |
| 58% | 50 | 33 |
| 50% | 50 | 25 |
| Y/ Δ | 33 | 33 |
| Devanado Parcial | 60 | 48 |
| Devanado Parcial con R | 30 ÷ 60 | 12 ÷ 48 |
| Rotor Bobinado | 25 | 150 |

Tiempo de arranque



| Vel. Motor [v/min] | versión A [seg] | versión B [seg] |
|-----------------------|--------------------|--------------------|
| 3000 | 8 | 7 |
| 1500 | 10 | 10 |
| 1000 | 12 | |
| 750 | 16 | |

Tiempo máx admisible de
arranque

Variación de velocidad

Métodos

Variando s

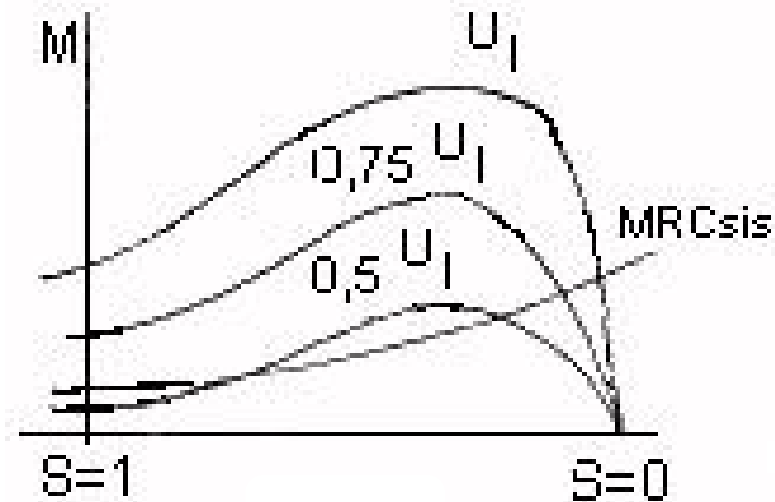
1. Control por variación de U_1
 - a) Autotransformador
 - b) Reactancia saturable
 - c) Tiristores con control de fase
2. Control por variación de I_2 .
 - a) resistencia rotórica
 - b) f.c.e.m. en el rotor

Variando n_1

3. Control por variación de p .
4. Control por variación de f .
 - a) Cicloconvertidor
 - b) Rectificador/inversor
 - I. Modulación por amplitud de pulsos PAM
 - II. Modulación por ancho de pulsos PWM

1. Control por variación de U_1

- Al cargar un motor asíncrono la velocidad se estabiliza a un cierto valor, en el que el par motor y el resistente son iguales.
- Al bajar la tensión se produce una fuerte caída del M , dado que $M = f(U^2)$
- Si la carga mantiene un M_{res} elevado a bajas velocidades se entra en la zona inestable de la curva de par y el motor se detiene.

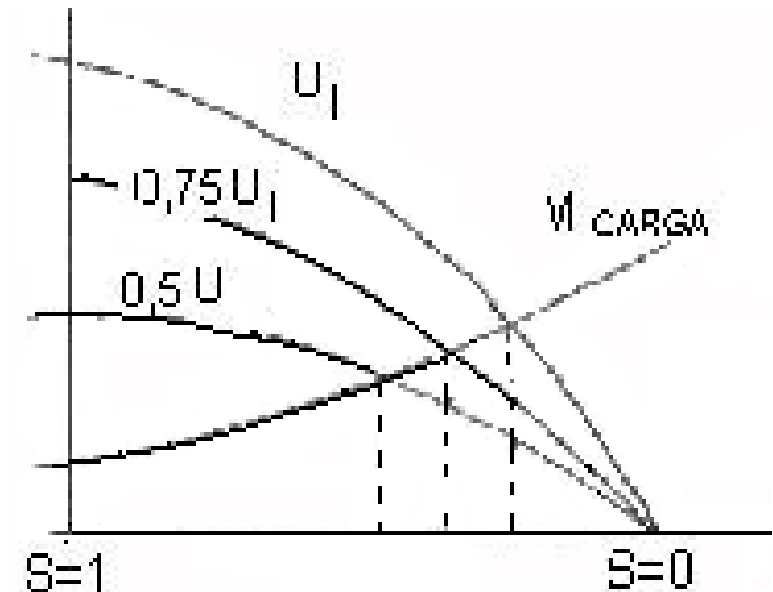


1. Control por variación de U_1

Inconveniente de
inestabilidad a bajas
velocidades

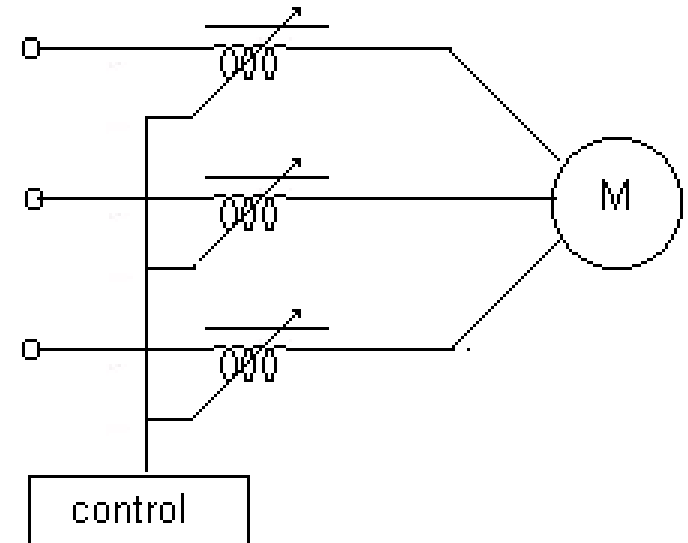


•Puede *reducirse* con los **motores de anillos rozantes**, ya que al incluir resistencias en el rotor, se logra deformar la curva, ampliando la zona estable.



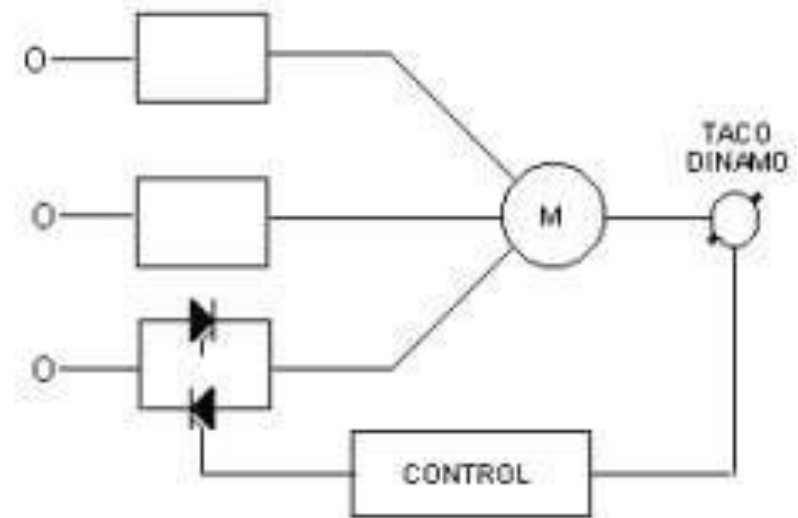
1.b) Reactancias saturables

- El devanado de excitación de la reactancia regula su impedancia y por tanto la tensión aplicada.
- Se utiliza para potencias más elevadas.



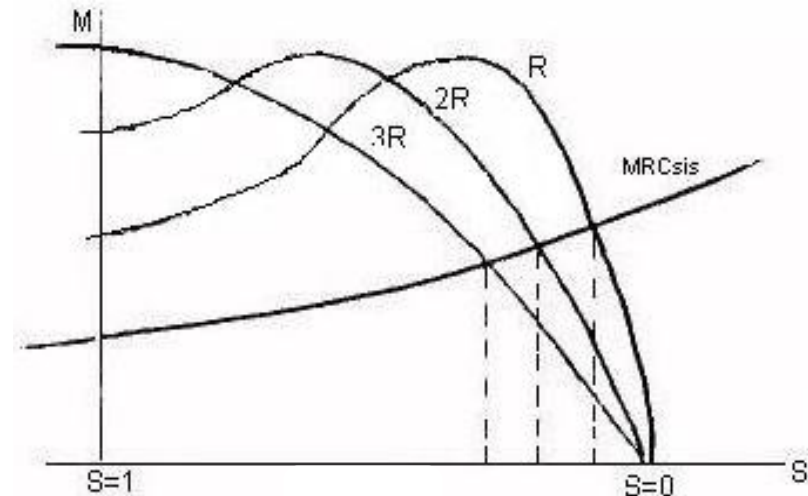
1.c) Tiristores con control de fase

- Se regula el disparo de los tiristores un cierto ángulo, lo que determina una reducción de la tensión.
- Inconvenientes: gran contenido de armónicos.



2.a) Control por variación de I_2 con resistencia rotórica.

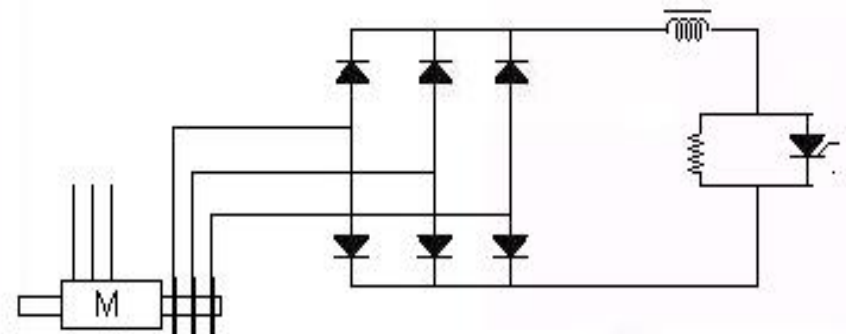
- En motores con anillos se consigue conectando reóstatos a los mismos.
- En dispositivos de arranque con intensidad reducida, se anula la resistencia una vez que se alcanza la velocidad de régimen.
- Se puede usar para reducir la velocidad por debajo de la nominal, no más allá de un 75% u 80%.
- Inconveniente: **disipación de energía y por ende bajo rendimiento.**



2.a) Control por variación de I_2 con resistencia rotórica.

- Aplicaciones con cambio frecuente de velocidad:

Se emplea un equipo estático que utiliza un rectificador, junto con una resistencia equivalente variable (dada por una resistencia y un tiristor en paralelo)



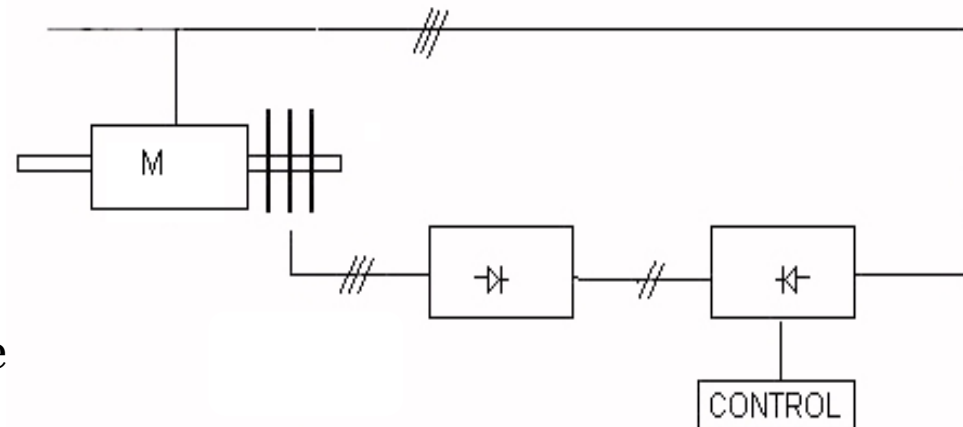
2.b) control por f.c.e.m. en el rotor

Se opone una f.c.e.m. a la tensión generada U_2 en los anillos, ya que, variando la tensión secundaria se varía la velocidad.

$$(E_{2s} = s \cdot E_2)$$

Por control estático de la I_2

- Se rectifica la tensión que entregan los anillos obteniéndose $s \cdot E_2$.
- Un inversor autónomo, constituido por tiristores, se conecta a la red. Entrega $E_2 \cdot \cos \alpha$, siendo α el ángulo de disparo de los tiristores.
- El **CONTROL** se conecta a la salida del inversor autónomo.



2.b) control por f.c.e.m. en el rotor

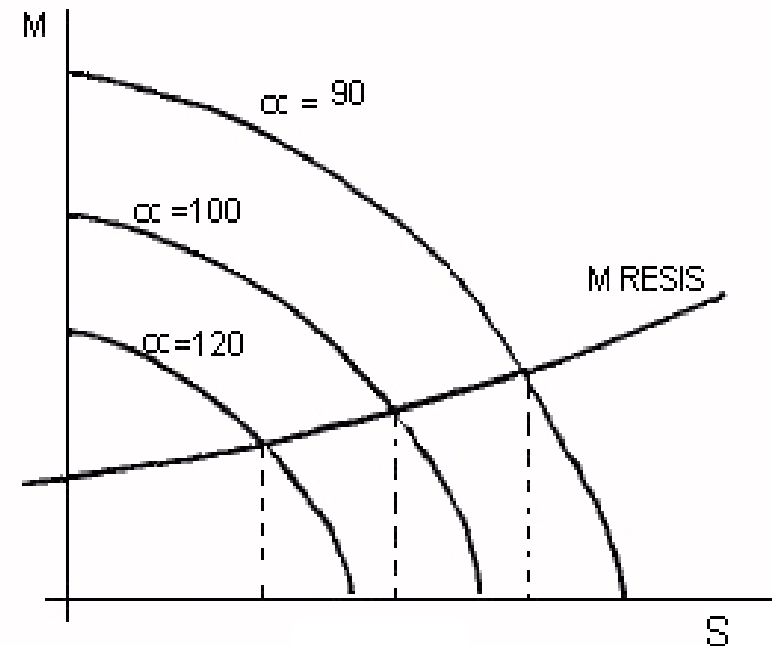
- Se verifica: $E_2 \cdot s = E_2 \cdot \cos \alpha$



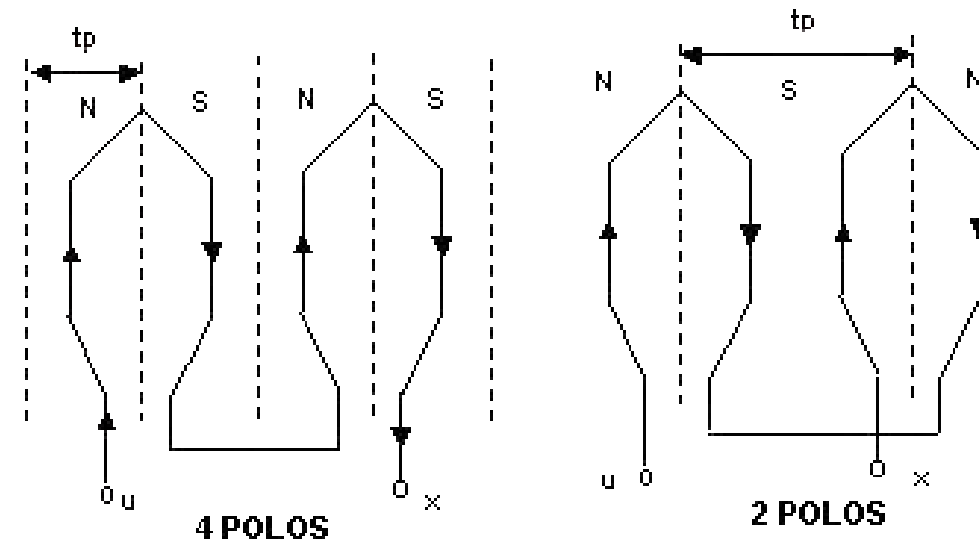
$$s = \cos \alpha$$

- Es decir:

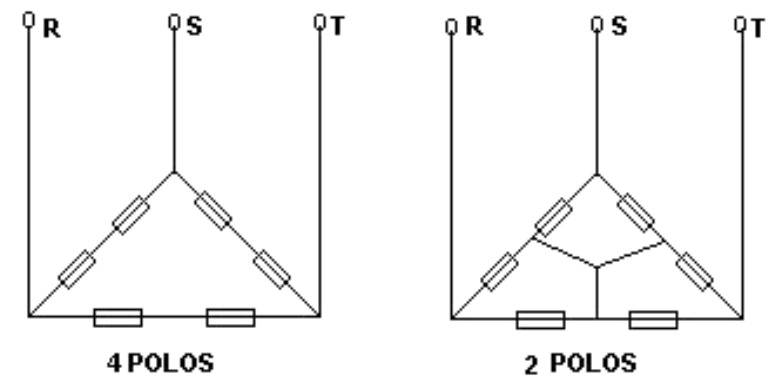
Regulando el disparo de los tiristores se regula el deslizamiento o velocidad.



3. Control por variación de p



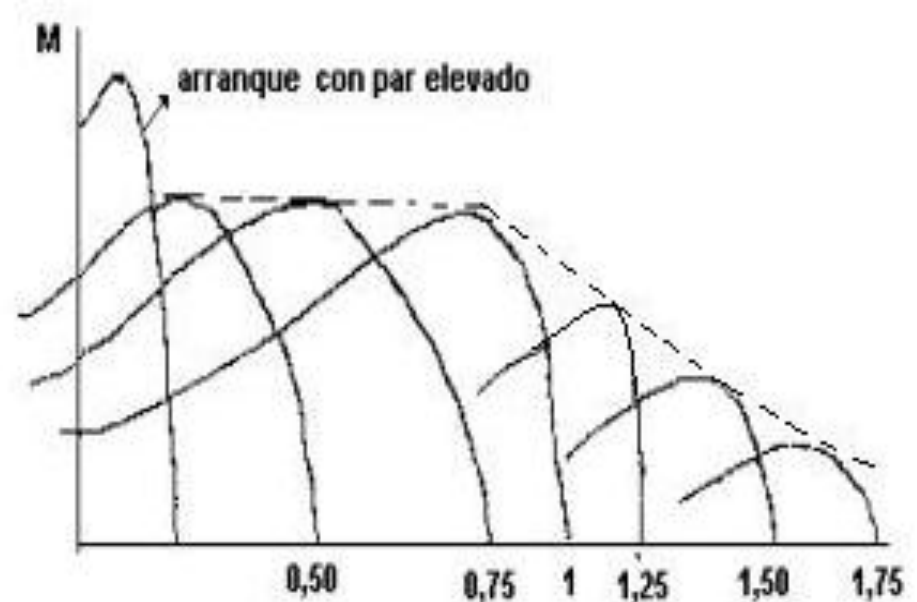
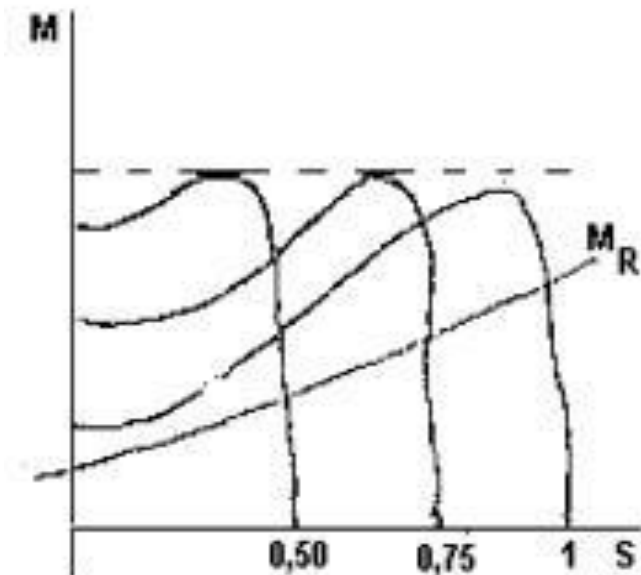
Cambio de polos



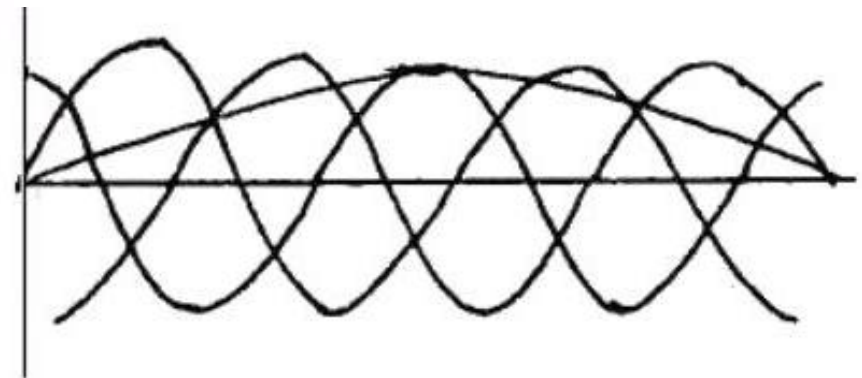
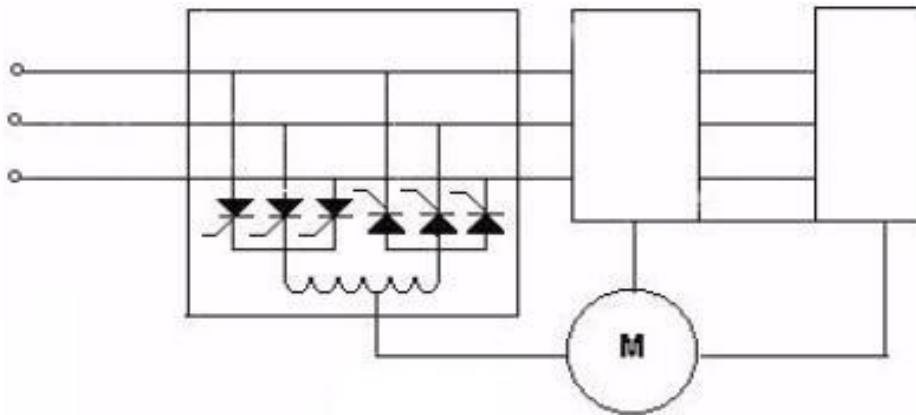
Conexión dahlander

4. Control por variación de f

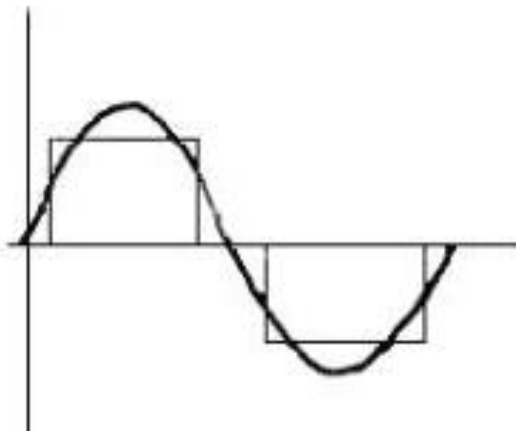
- Estos dispositivos permiten variar la velocidad y el momento de los motores, convirtiendo las magnitudes constantes: frecuencia y tensión de red, en magnitudes variables.
- La potencia decae en forma lineal con la disminución de la frecuencia.



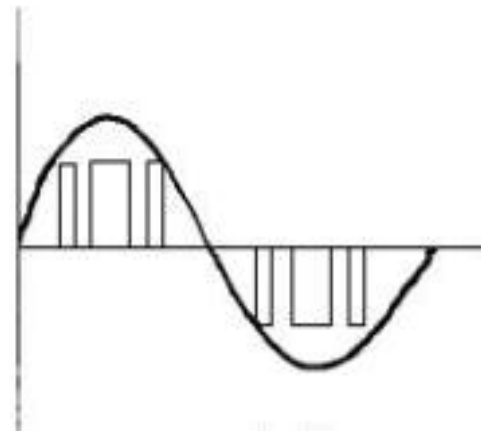
4.a) Ciclo convertidor



4.b) Rectificador inversor.



PAM



PWM

Frenado de motores asíncronos

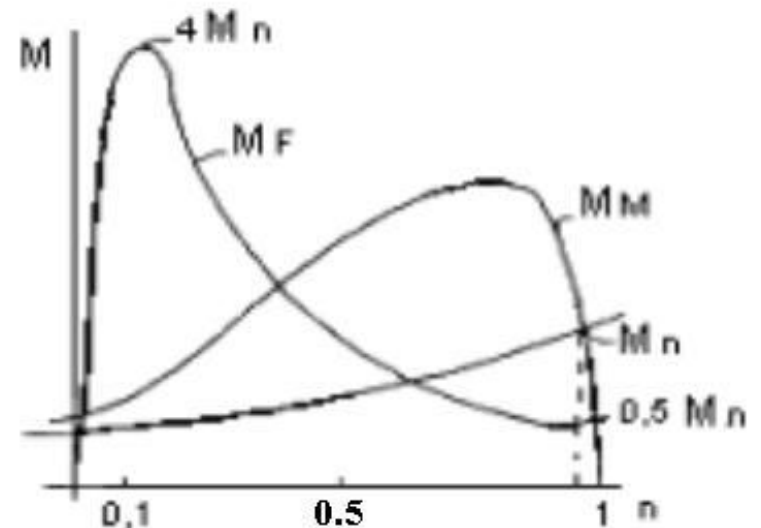
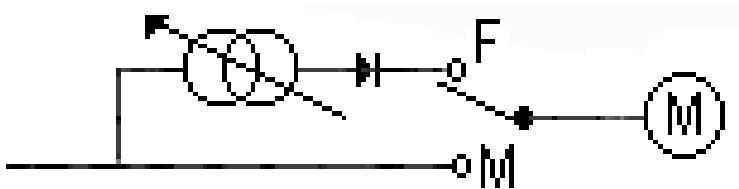
Frenado eléctrico

1. Por contracorriente
2. Por corriente continua
3. supersíncrono

1. Por contracorriente

- ?

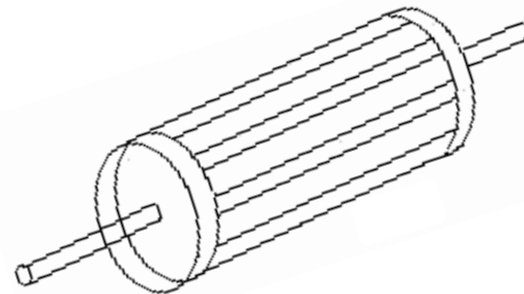
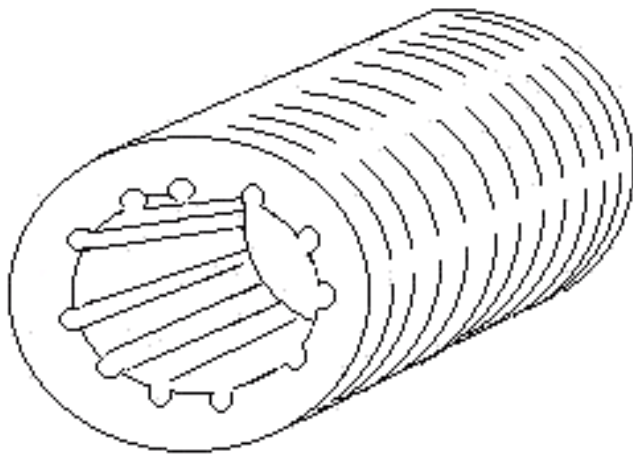
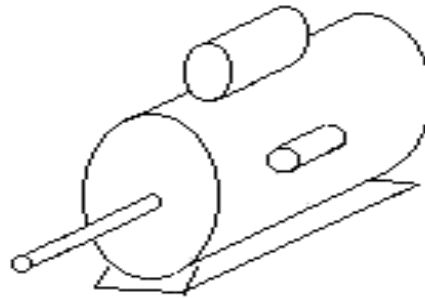
2. Frenado por corriente continua, frenado dinámico



M_M = Par motor
 M_F = Par de frenado
 M_n = Par nominal

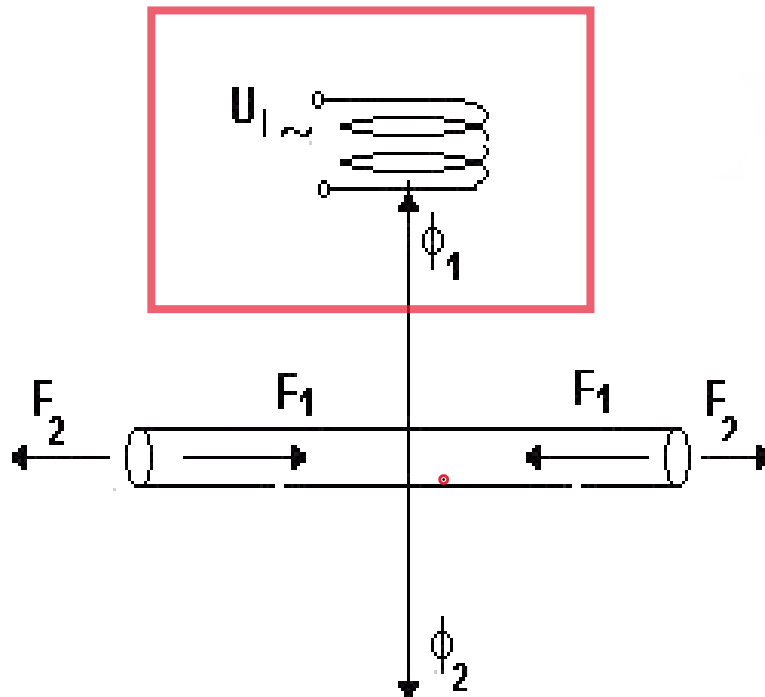
Motores asíncronos monofásicos

Forma constructiva



Principio de funcionamiento

- Campos rodantes cruzados



- Flujo sobre espira:

$$\varphi = \Phi \cdot \cos(\omega t)$$

- Considerando que:

$$\cos(\omega t) = \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2}$$

- Se descompone en 2 rodantes de sentido contrario



$$\varphi = \frac{\Phi}{2} (e^{j\omega t} + e^{-j\omega t})$$

Principio de funcionamiento

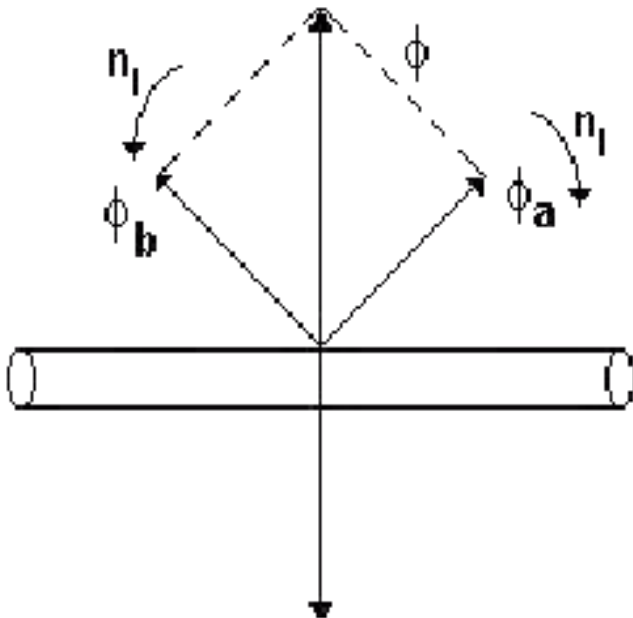
- Los campos rodantes ϕ_a y ϕ_b giran a la velocidad de sincronismo n_1 y tienen un módulo de:

$$|\phi_a| = |\phi_b| = \left| \frac{\phi}{2} \right|$$

- Se definen entonces 2 resbalamientos, y un resbalamiento total

$$s_a = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad s_b = \frac{n_1 - (-n_2)}{n_1}$$

$$s_a + s_b = 2$$



Momento motor

- A cada resbalamiento corresponde un momento:

$$M_a = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{m_1}{n_1} \cdot \frac{R_{21} \cdot I_{21a}^2}{s_a}$$

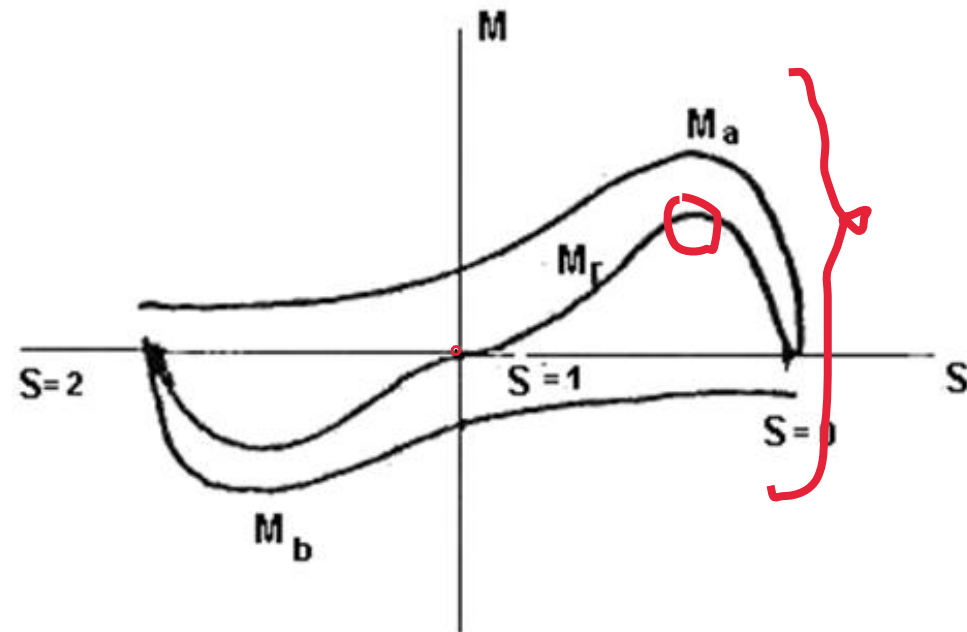
$$M_b = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{m_1}{n_1} \cdot \frac{R_{21} \cdot I_{21b}^2}{2 - s_a}$$

- Puntos característicos:

$$s = 0 \Rightarrow \mathbf{Ma = 0} ; \mathbf{Mb = -k/2}$$

$$s = 1 \Rightarrow \mathbf{Ma = k} ; \mathbf{Mb = -k}$$

$$s = 2 \Rightarrow \mathbf{Ma = k/2} ; \mathbf{Mb = 0}$$



Tipo de motores

1. Motor con fase auxiliar arranque resistivo

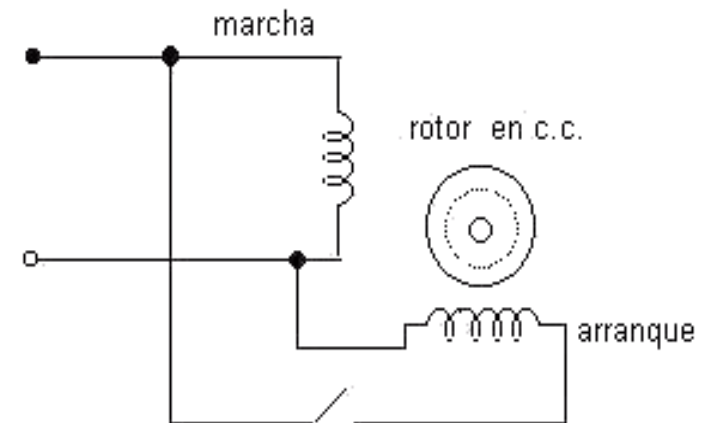


Diagrama vectorial

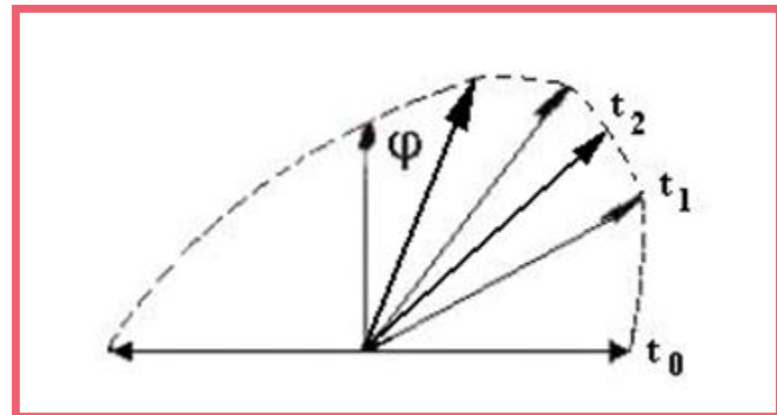


Diagrama de flujos

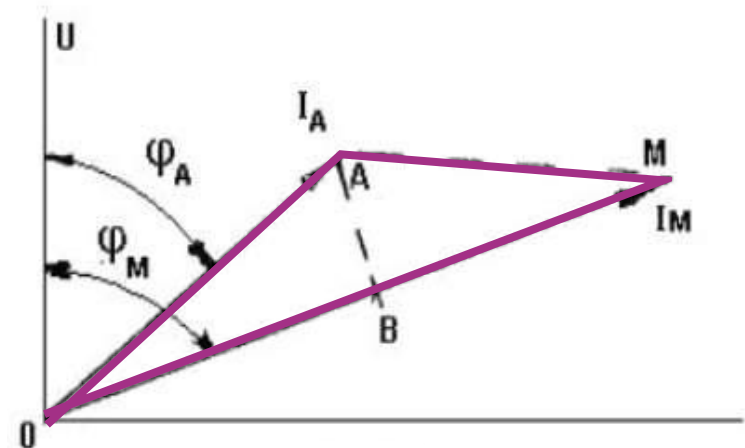
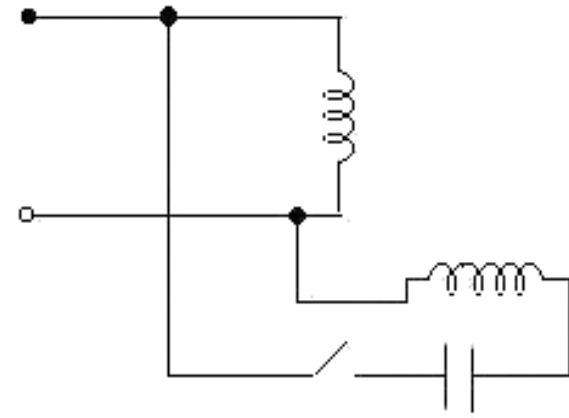
Tipo de motores

2. Motor con capacitor de arranque

- El momento de arranque es proporcional a la superficie del triángulo OAM.

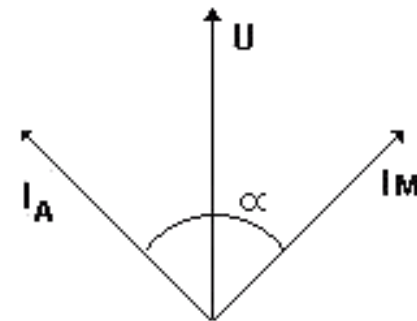
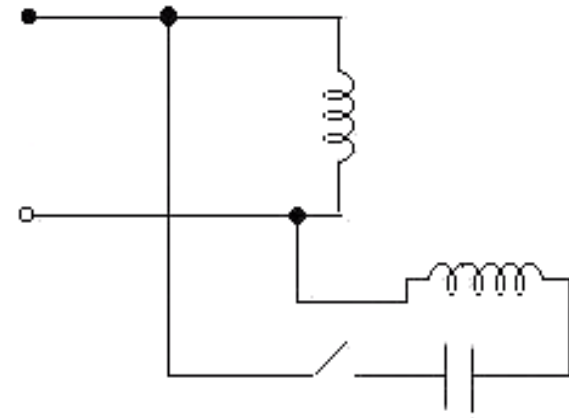
$$M = \frac{P}{n} = \frac{UI}{n} = \frac{1}{n} \text{sup triángulo}$$

$$\text{Sup}_{\text{OAM}} = \frac{\Delta}{2} = \frac{OM \cdot AB}{2} = \frac{1}{2} I_M \cdot I_A \cdot \text{sen}(\varphi_M - \varphi_A)$$



2. Motor con capacitor de arranque

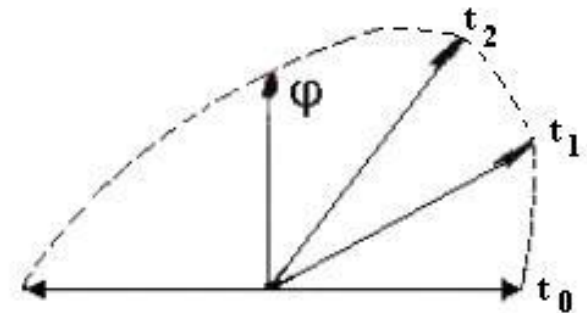
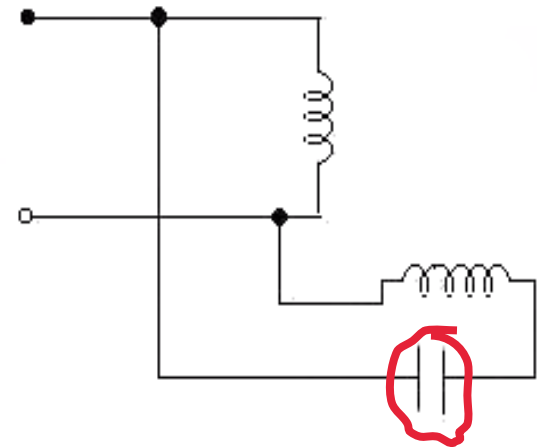
- Por lo tanto al aumentar el ángulo entre las corrientes (cercano a los 90°) mejora notablemente el momento de arranque.-
- El condensador utilizado es del tipo electrolítico (polarizado).



Tipo de motores

3. Motor con capacitor permanente

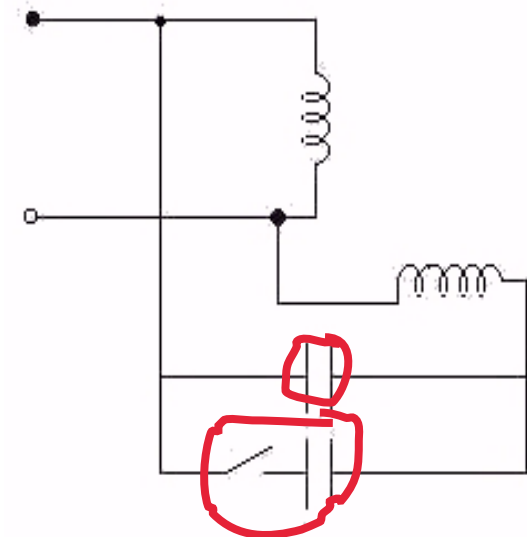
- Trabaja como motor bifásico, produciendo un campo rodante imperfecto, pero mejor que en los anteriores.
- Emplean condensadores en aceite o cerámico de **baja capacitancia**, lo que resulta en *momentos de arranque bajos*, hasta un 50 % del nominal.



Tipo de motores

4. Motor con capacitor de arranque y marcha

- Para un óptimo funcionamiento se requiere
 - En el arranque: gran capacidad (I_{arr} grande y muy desfasada)
 - En marcha: menor capacidad (I_n menor y poco desfasado)
- Este motor lo logra con:
 - C arranque (electrolítico) = 10. C marcha (aceite, cerámico)
- Son los mejores motores, pero los más caros.

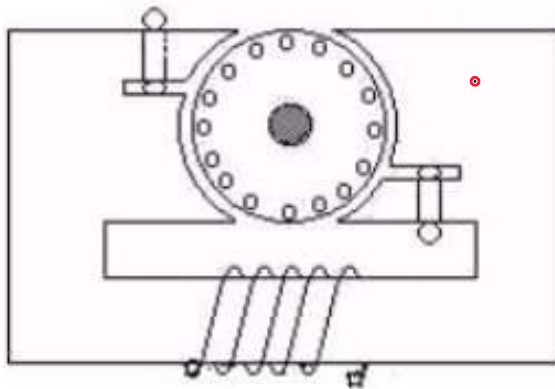


Tipo de motores

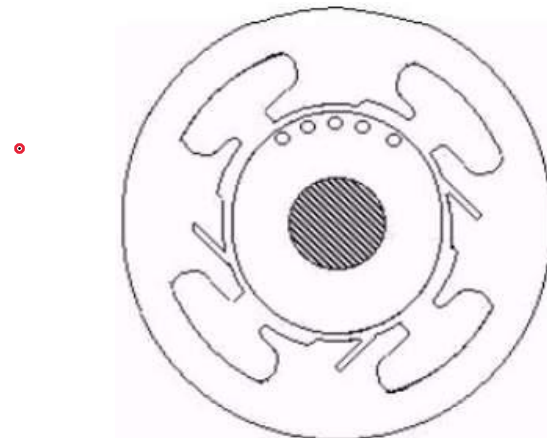
5. Motor con polos sombra

a) Características constructivas

- El estator se caracteriza por tener, en un extremo de la expansión polar, una espira cortocircuitada de gran sección.
- Para aumentar el momento de arranque se construye el entrehierro no uniforme.



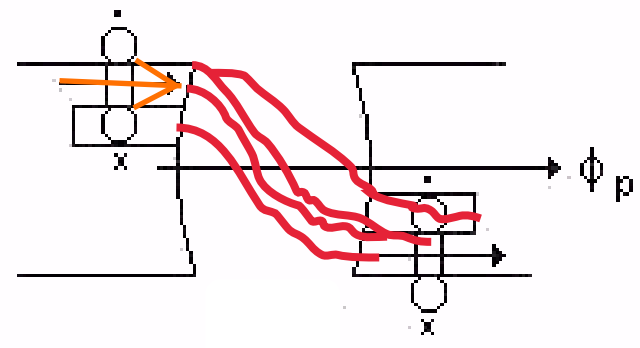
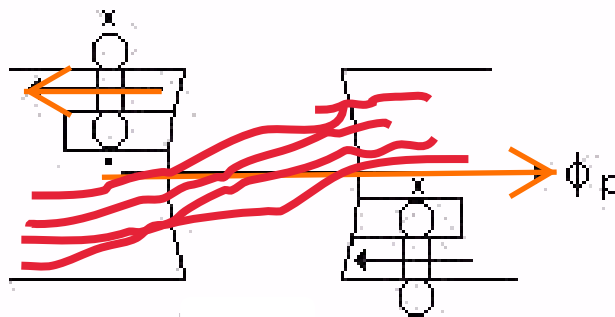
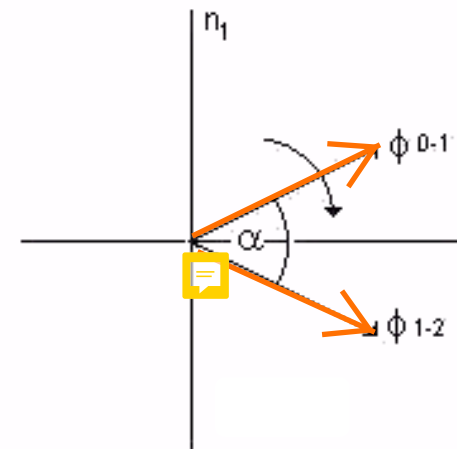
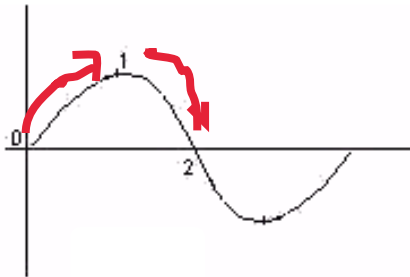
Bipolares



Tetrapolares

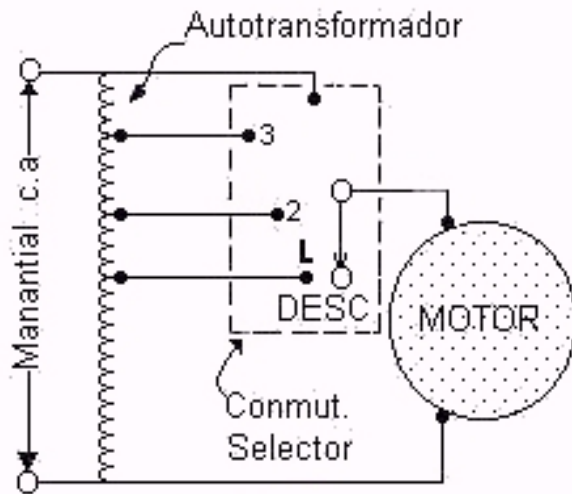
5. Motor con polos sombra

b) Principio de funcionamiento

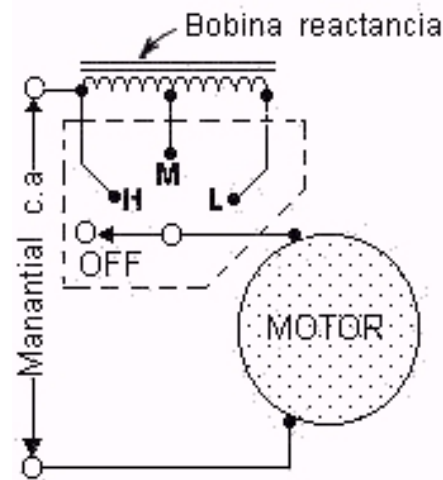


5. Motor con polos sombra

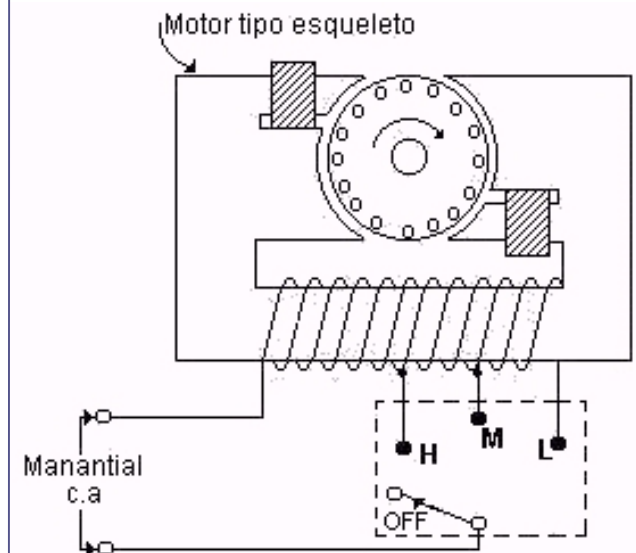
c) Variación de velocidad



Por autotransformador



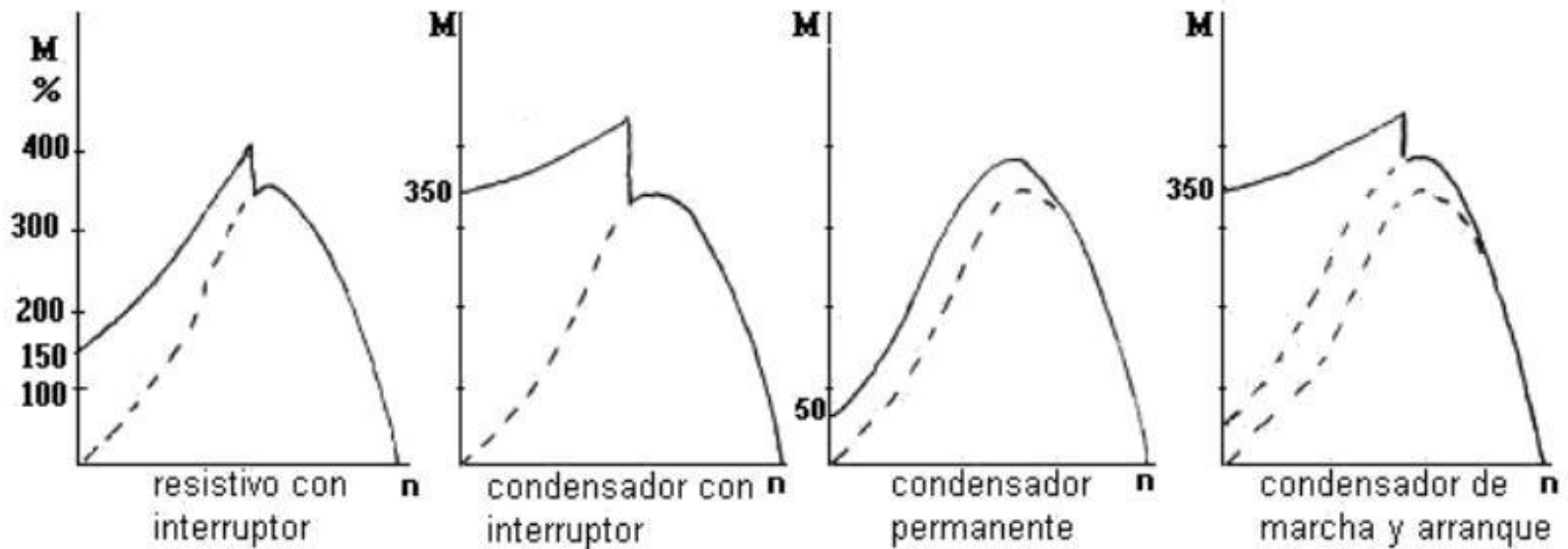
Por bobina de reactancia



Por bobinado con tomas

5. Motor con polos sombra

d) Curvas características



Inversión de marcha

