



Escuela de Educación Técnica N°460 “Guillermo Lehmann”

Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

Escuela de Educación Técnica N°460 “Guillermo Lehmann”

Modulo:

*Operación, mantenimiento y ensayos de
equipos electromecánicos*

Temas:

El motor de inducción jaula de ardilla trifásico
Motores de inducción monofásicos

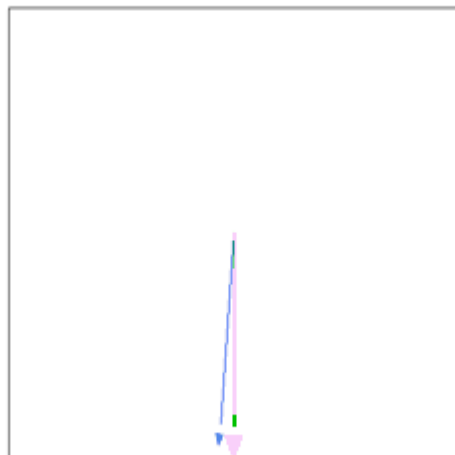
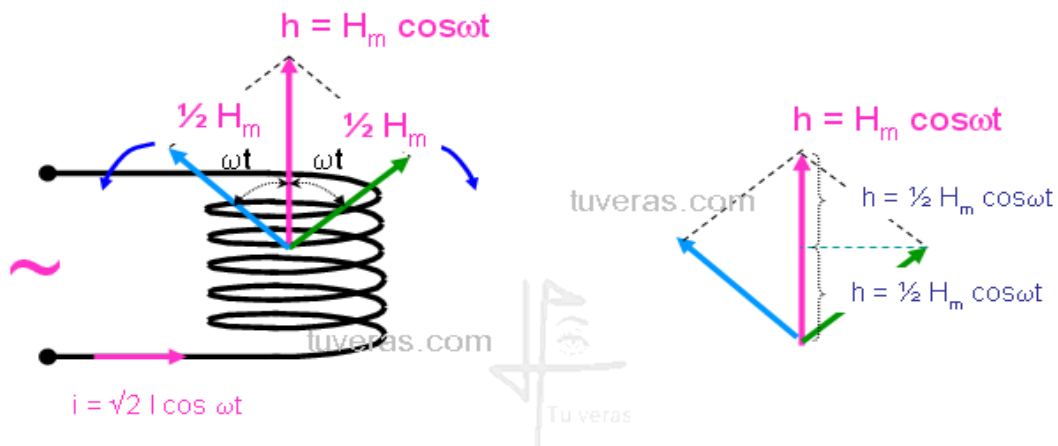
Electromecánica



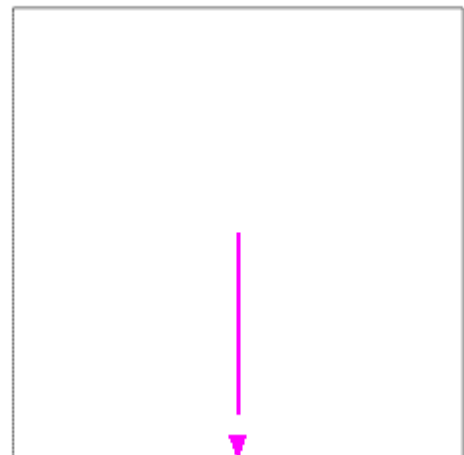
Teorema de Leblanc

"El campo magnético $h = H_m \cos \omega t$ en el eje de una bobina recorrida por una corriente alterna $i = \sqrt{2} \cos \omega t$ se puede considerar como la resultante de dos campos magnéticos de valor $H_m/2$ que giran en sentidos opuestos con la velocidad angular ω "

$$h = 2 \left(\frac{1}{2} H_m \right) \cos \omega t = H_m \cos \omega t$$



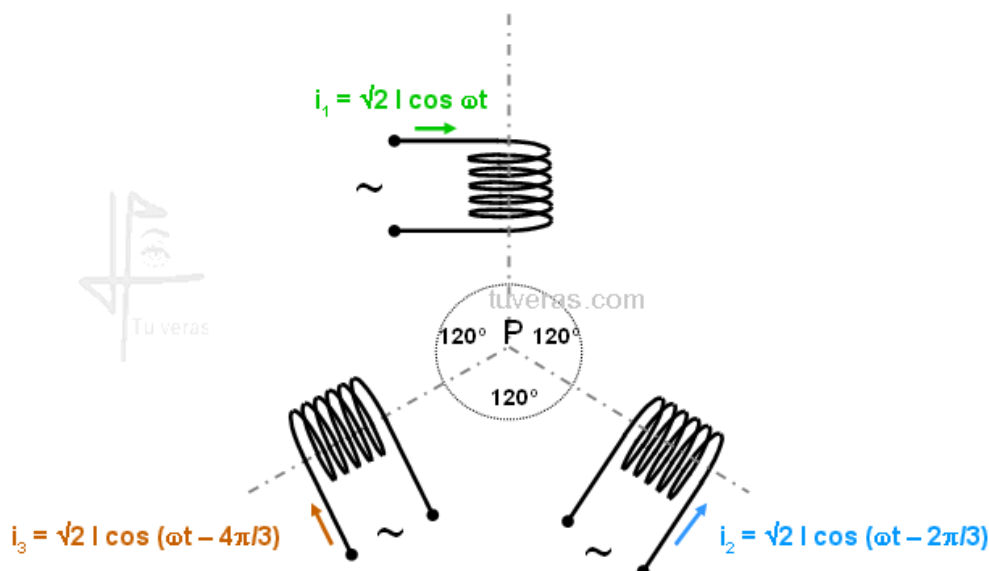
=



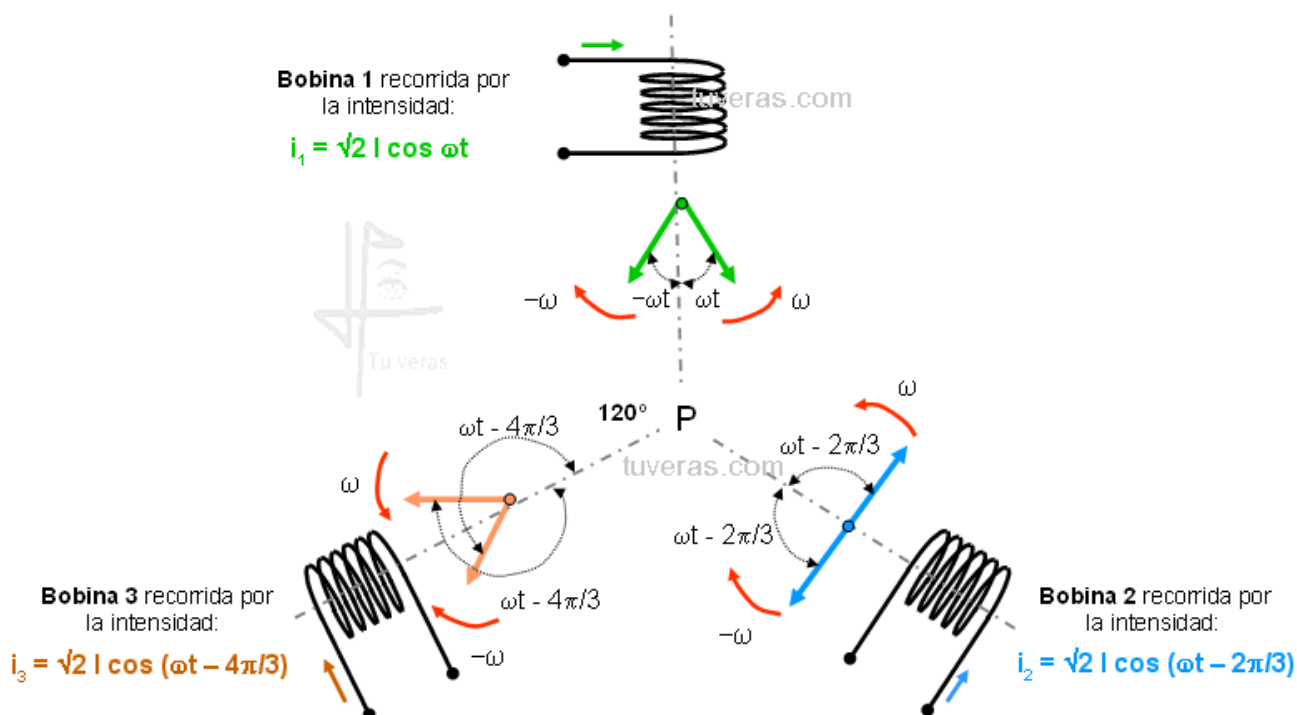


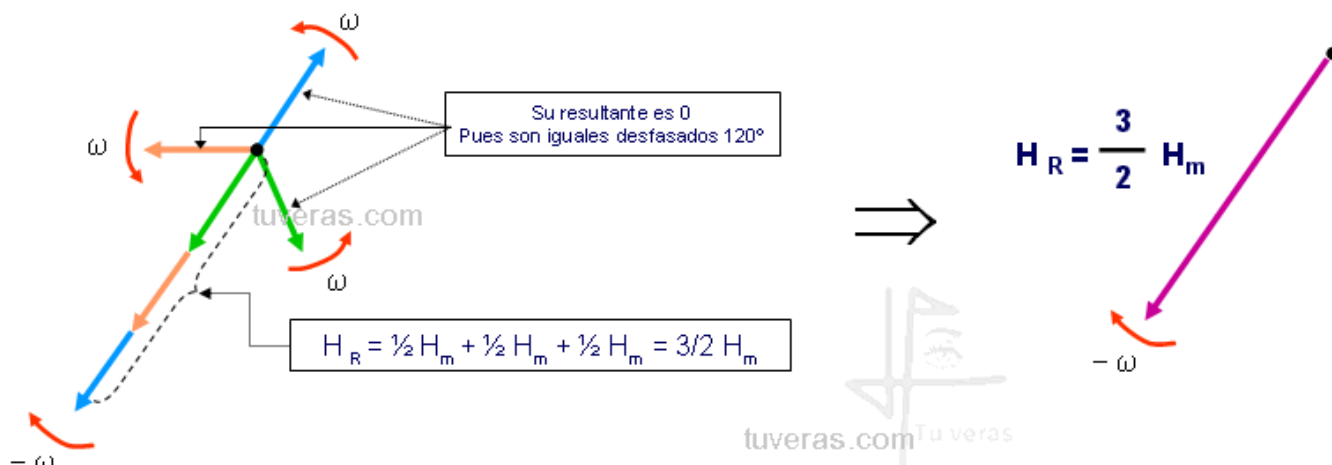
Sistema trifásico

Aplicaremos el Teorema de Leblanc a tres bobinas dispuestas según la figura y alimentadas por un sistema trifásico de corrientes



Dibujemos los campos magnéticos H en el centro P en un instante. Tomando como referencia el campo creado por i_1 y como los campos creados por i_2 e i_3 están desfasados respecto de aquel $2\pi/3$ y $4\pi/3$ tenemos:





Obtenemos en P un campo magnético de valor $H_R = \frac{3}{2} H_m$ y que gira a la velocidad ω

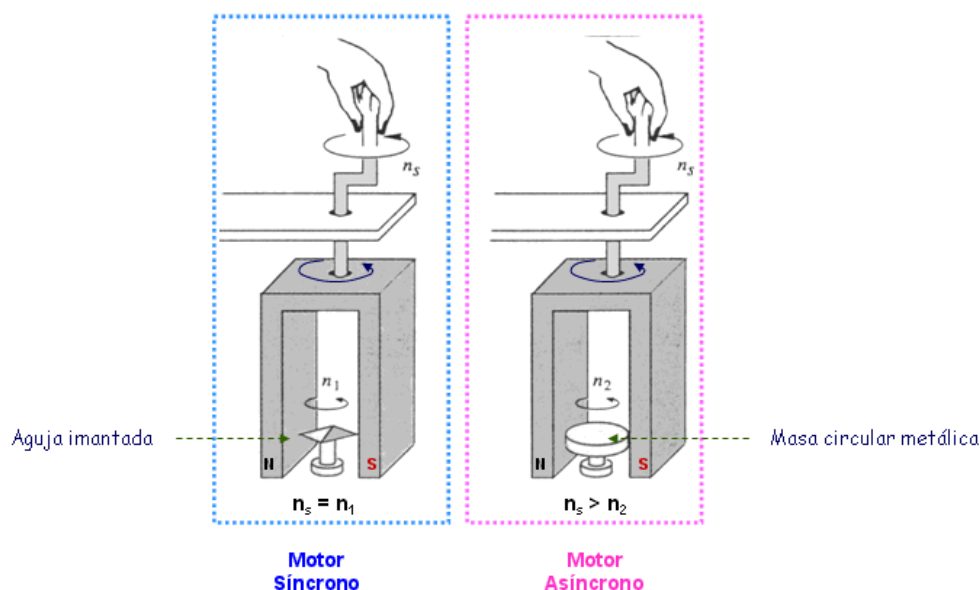
La Máquina de Corriente Alterna Rotativa

A continuación demostraremos como se origina un campo magnético giratorio en las bobinas de las máquinas eléctricas de c. a. rotativas, tanto para el caso de una distribución sinusoidal del campo magnético en el entrehierro, Teorema de Leblanc. Estos campos magnéticos giratorios son los que dan lugar al par resistente en los generadores y al par motor en los motores.

Símil del Motor Asíncrono y Síncrono

Si hacemos girar un imán en forma de U a la velocidad n_s alrededor de una aguja enmantada, esta girará a una velocidad $n_1 = n_s \Rightarrow$ **motor síncrono**

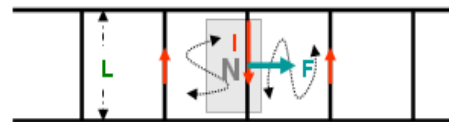
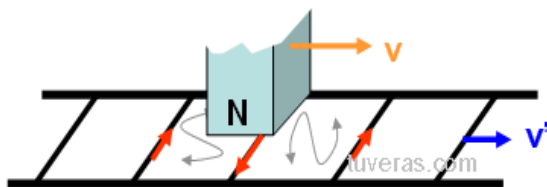
Si hacemos girar un imán en forma de U a la velocidad n_s alrededor de una masa circular metálica, esta girará a una velocidad $n_2 < n_s \Rightarrow$ **motor asíncrono**





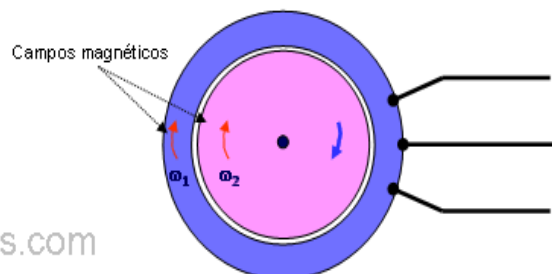
Principio de Funcionamiento

Para explicar el funcionamiento de un motor asíncrono trifásico, nos vamos a servir del siguiente símil. Supongamos que tenemos un imán moviéndose a lo largo de una escalerilla conductora tal y como se indica en la figura adjunta. Este imán en su desplazamiento a velocidad v provoca una variación de flujo sobre los recintos cerrados que forman los peldaños de la escalera. Esta variación de flujo genera una f.e.m., definida por la Ley de Faraday, $e = - (d\Phi / dt)$, que a su vez hace que por dichos recintos circule una corriente. Esta corriente eléctrica provoca la aparición de una fuerza sobre la escalera definida por $F = I L B$ que hace que la escalera se desplace en el mismo sentido que lo hace el imán.



La escalera nunca podrá desplazarse a la velocidad del imán, pues en el supuesto caso de que se desplazase a la misma velocidad que el imán, la variación de flujo sobre los recintos cerrados sería nula, y por tanto la f.e.m. inducida también y por tanto la fuerza resultante también sería nula.

En un motor asíncrono la escalera es el desarrollo lineal del rotor y el campo magnético que se desplaza es originado por un sistema trifásico de corrientes que circulan por el estator (Teorema de Ferraris)



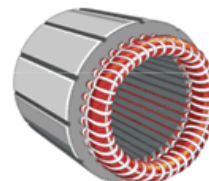


Constitución de la Máquina Asíncrona Trifásica. Tipos de Motores

Estator

Devanado trifásico
distribuido en ranuras a 120°

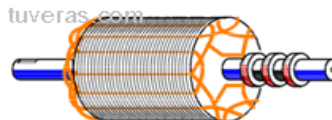
Tienen tres devanados en el estator. Estos devanados están desfasados $2\pi/(3P)$, siendo P el número de pares de polos de la máquina.



Rotor

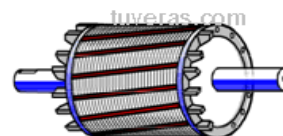
Bobinado

Rotor devanado: los devanados del rotor son similares a los del estator con el que está asociado. El número de fases del rotor no tiene por qué ser el mismo que el del estator, lo que sí tiene que ser igual es el número de polos. Los devanados del rotor están conectados a anillos colectores montados sobre el mismo eje.



Jaula de ardilla

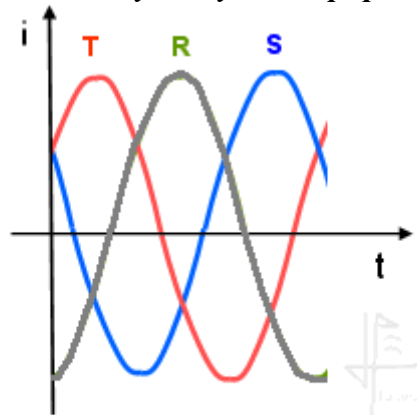
Los conductores del rotor están igualmente distribuidos por la periferia del rotor. Los extremos de estos conductores están cortocircuitados, por tanto no hay posibilidad de conexión del devanado del rotor con el exterior. La posición inclinada de las ranuras mejora las propiedades de arranque y disminuye los ruidos.



En las siguientes imágenes podremos observar como el campo magnético giratorio del estator, creado por el sistema de corrientes trifásicas R S T, y que gira a la velocidad N_S *corta* los conductores del rotor, que gira a una velocidad $N_R < N_S$ (N_S flecha rosa, N_R punto verde)

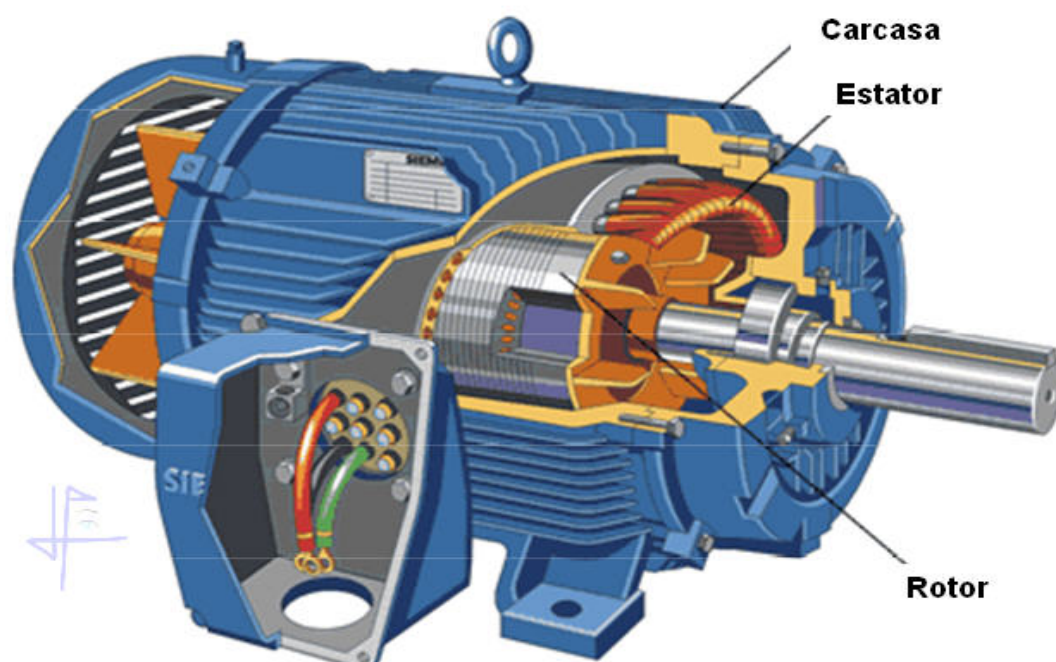
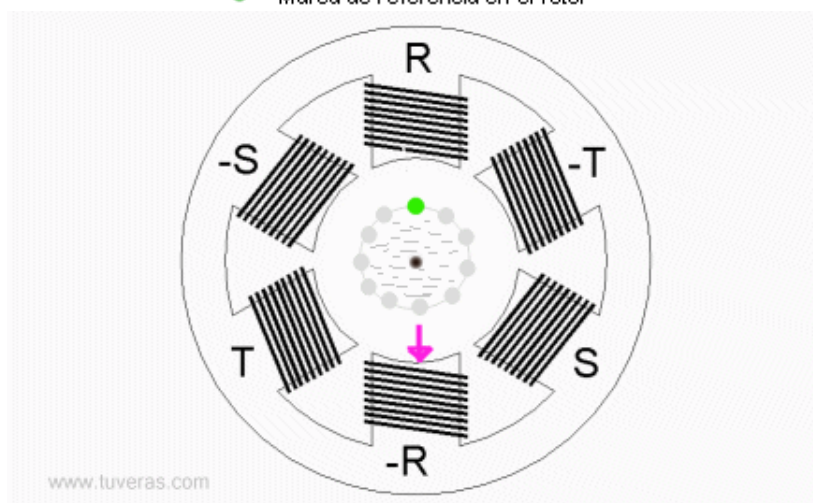


Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos



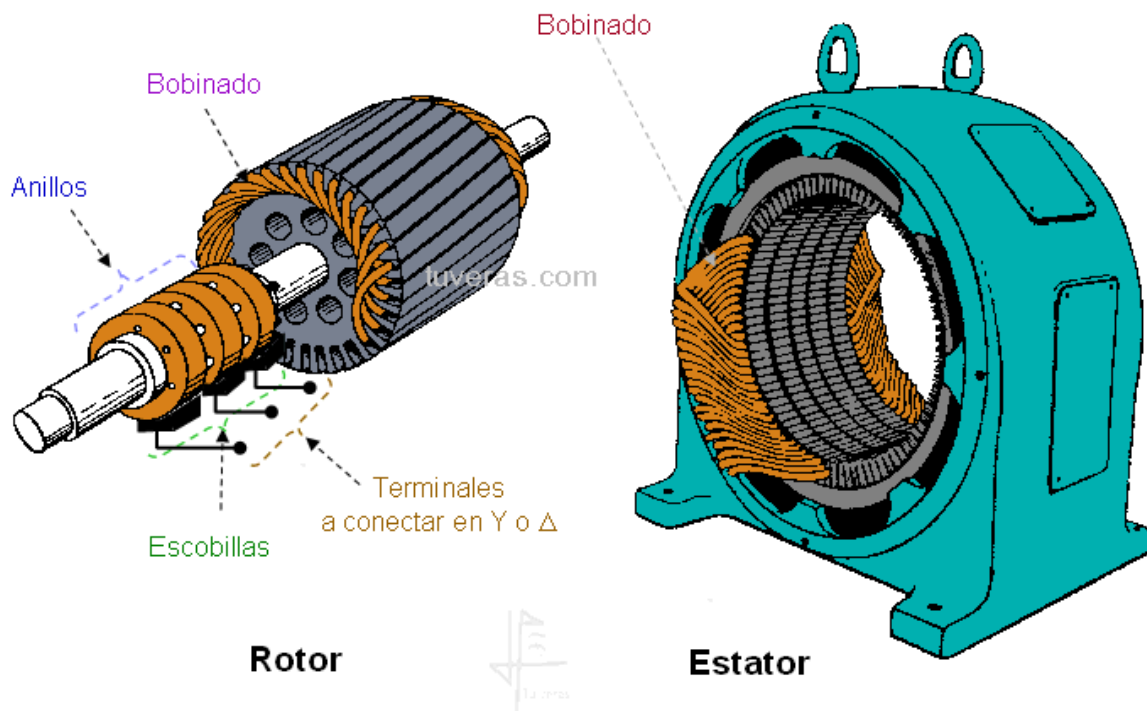
➡ Campo magnético giratorio del estator

● Marca de referencia en el rotor





Motor con Rotor Bobinado



Motor con Rotor en Jaula de Ardilla

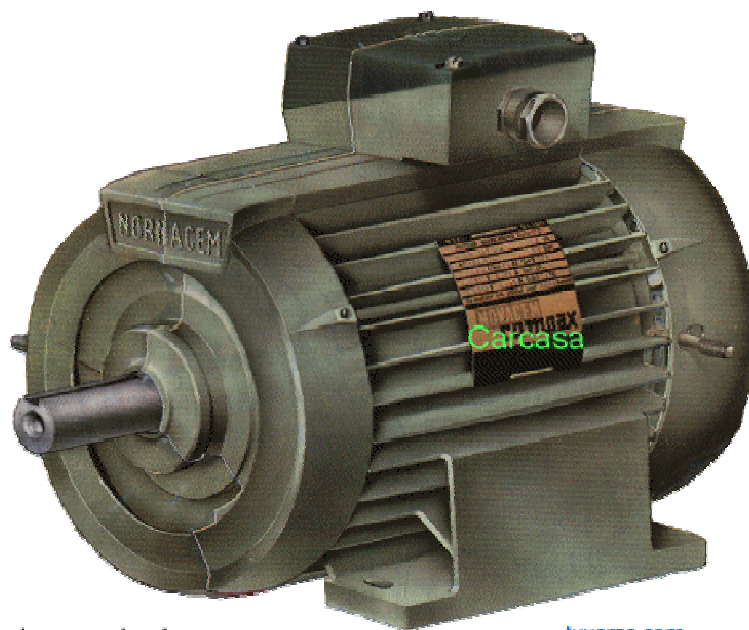
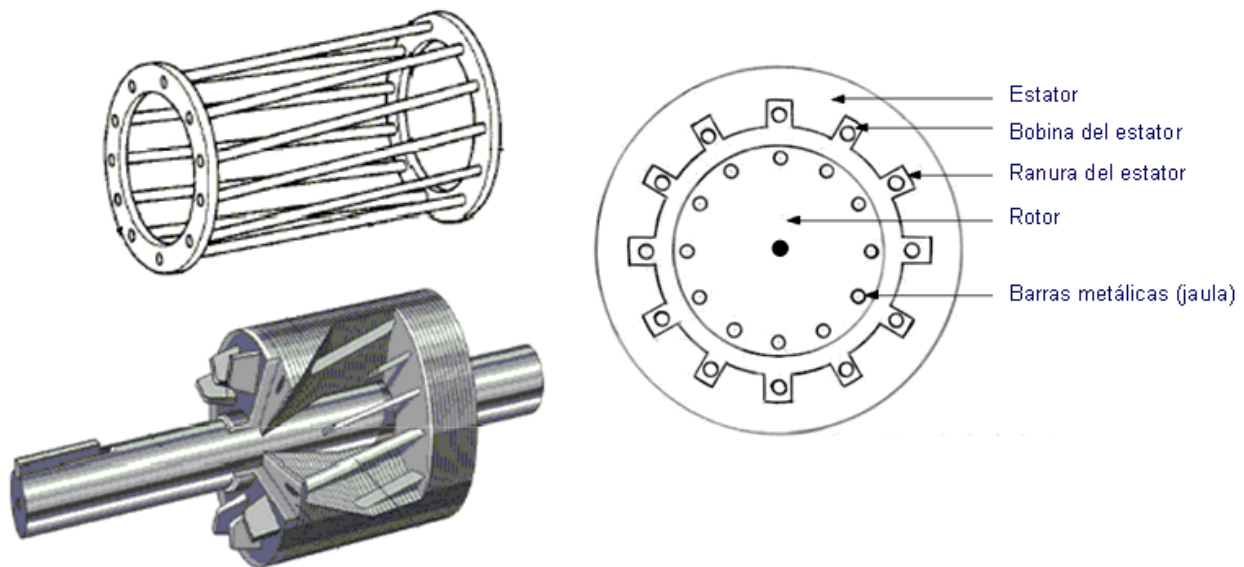


imagen animada

tuveras.com



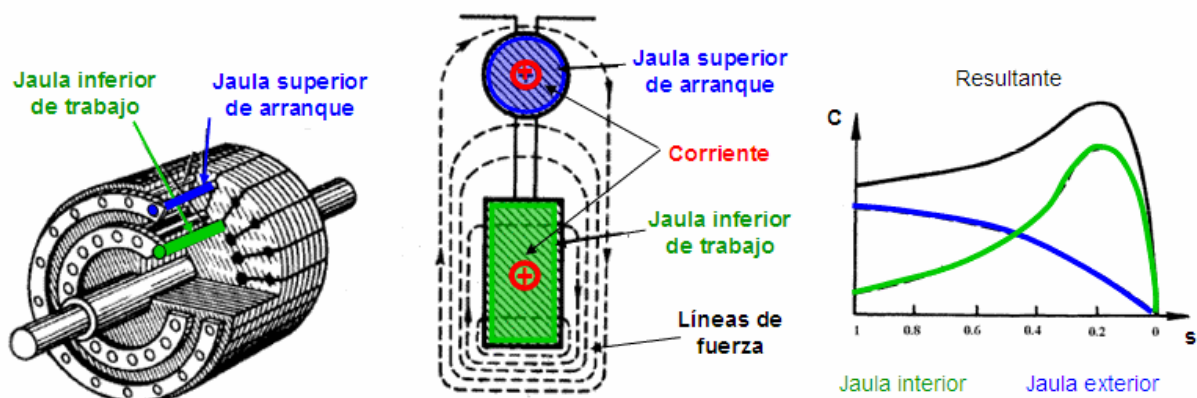
Motor con Rotor en Doble Jaula de Ardilla

El rotor en estos motores está constituido por dos jaulas, una externa, de menor sección y material de alta resistividad, y otra interna de sección mayor y material de baja resistividad. Ambas jaulas están separadas entre sí en cada ranura por medio de una delgada rendija que aumenta el flujo de dispersión en la jaula inferior. De este modo se consigue una jaula exterior de alta resistencia y baja reactancia y una jaula interior de baja resistencia y alta reactancia.

En el arranque (la reactancia predomina sobre la resistencia, pues f es grande) la corriente fluye en su mayor parte por la jaula exterior (menor reactancia).

A la velocidad nominal (la resistencia predomina sobre la reactancia, f es muy pequeña) la corriente fluye en su mayor parte por la jaula interior (menor resistencia).

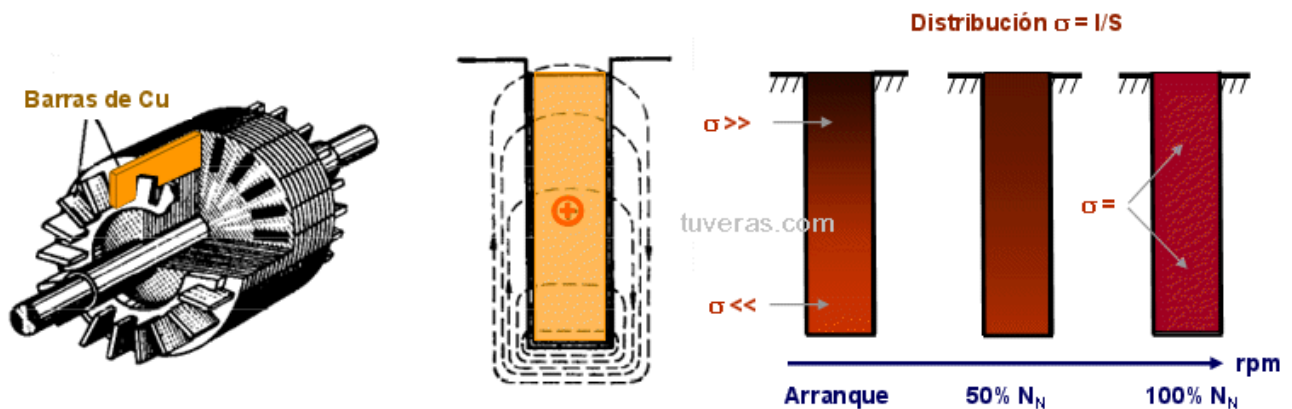
Con todo esto se consigue que en el arranque la resistencia sea alta, lo que implica alto par de arranque y baja intensidad, y a la velocidad nominal, como la resistencia es baja, se tiene buen rendimiento.



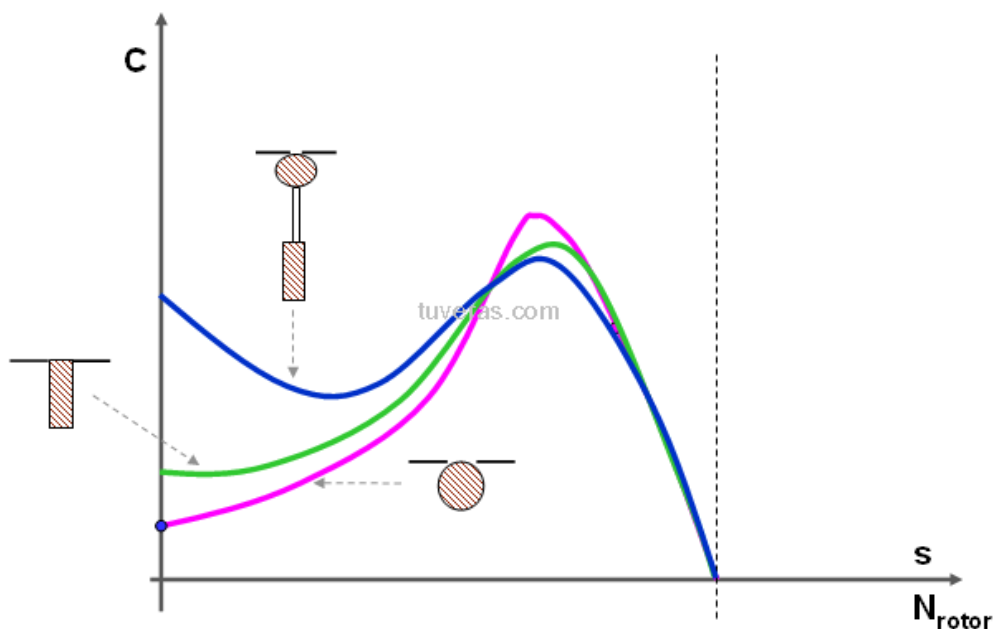


Motor con Rotor de Ranuras Profundas

Un efecto análogo al anterior se obtiene mediante un rotor de **ranuras profundas**, ocupadas por barras altas y profundas, donde debido al efecto autoinductivo y de Foucault, la corriente se distribuye de forma diferente en el arranque y en el funcionamiento de trabajo.



Par en los Motores de Jaula de Ardilla

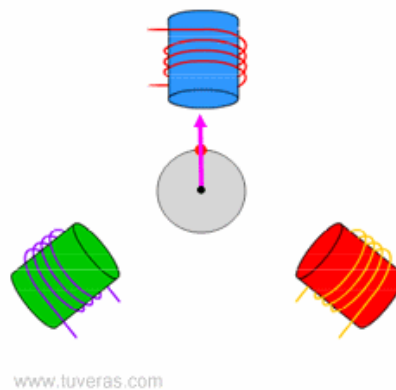




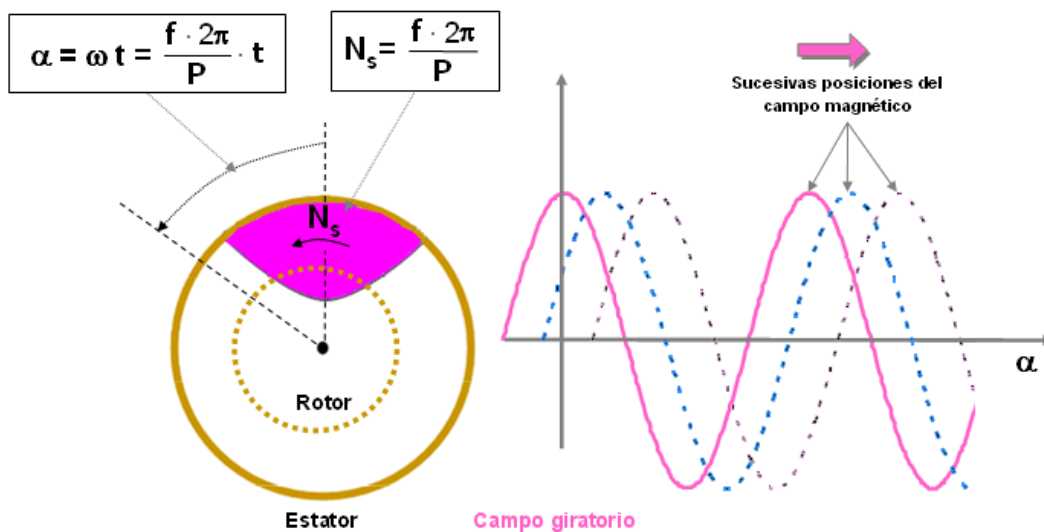
Motor jaula normal		Motor de doble jaula		Motor con ranura profunda	
I_{arrq}/I_n	M_{arrq}/M_n	I_{arrq}/I_n	M_{arrq}/M_n	I_{arrq}/I_n	M_{arrq}/M_n
4-7	0.8-1.2	3.3-5.5	1-2	4-4.8	1.2-1.5

Campo Magnético Giratorio

El Campo magnético giratorio se obtiene con tres devanados desfasados 120° (acoplados en estrella o triángulo) y conectados a un sistema trifásico de c. a.



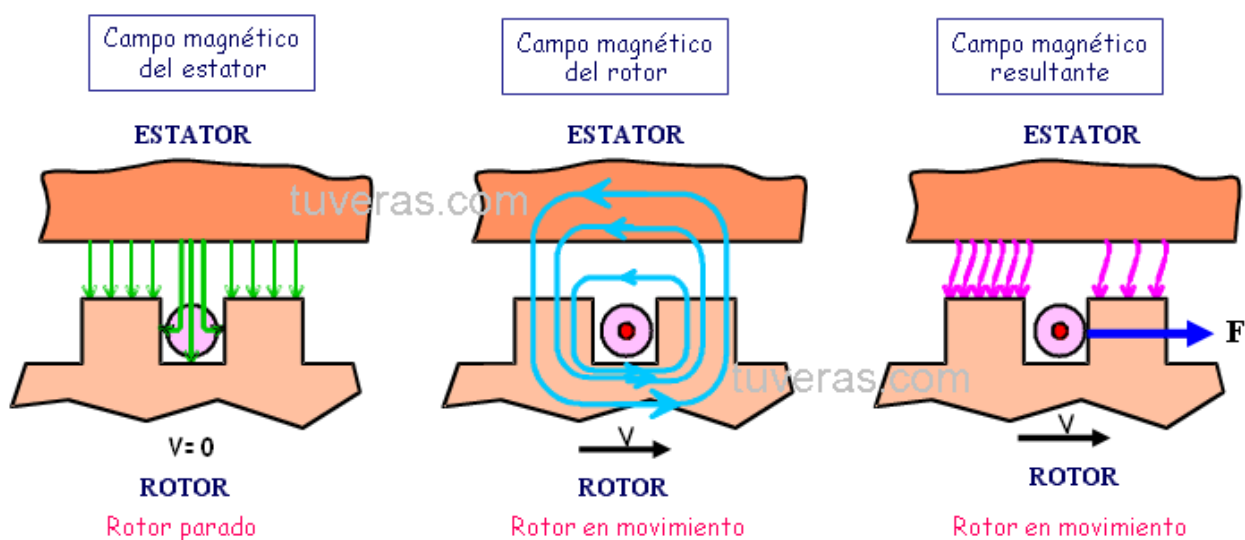
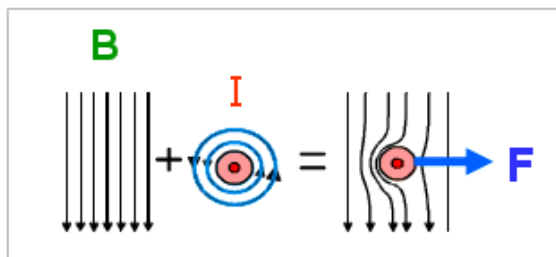
Si por el arrollamiento polifásico del estator del motor de una máquina síncrona circula una corriente de pulsación ω y si hay p pares de polos, se origina un campo magnético giratorio de p pares de polos y que giran a la velocidad ω/p (Teorema de Ferraris). Si el campo tiene distribución senoidal:





Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

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





Principio de Funcionamiento del Motor Asíncrono

Campo magnético giratorio en el estator $N_s = \frac{f \cdot 2\pi}{P}$

El campo magnético induce f. e. m. en el rotor

Circulan corrientes por el rotor

Fuerzas electromagnéticas
entre las corrientes del rotor y el campo magnético del estator

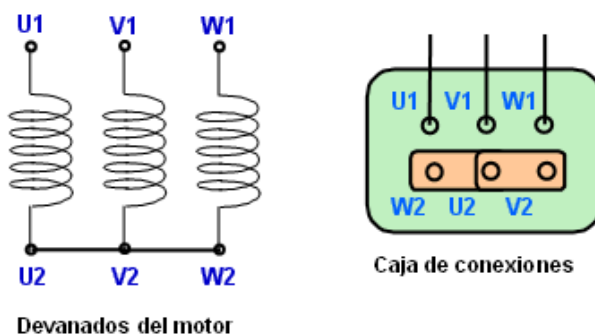
Par en el rotor: el rotor gira

El rotor **gira a una velocidad N_r inferior** a la velocidad de sincronismo N_s
pues en caso contrario no se induciría f. e. m. en el rotor
y por lo tanto no habría par motor

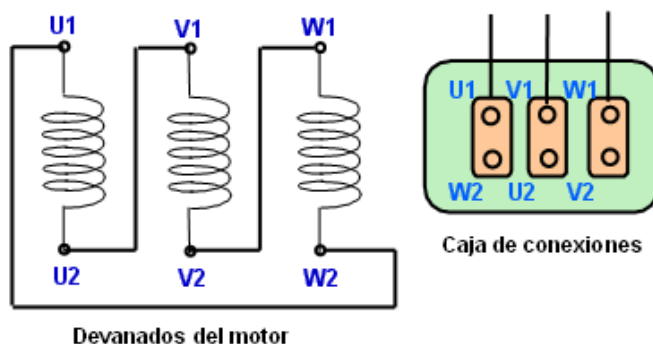


Conexión de los Devanados

Conexión en Estrella

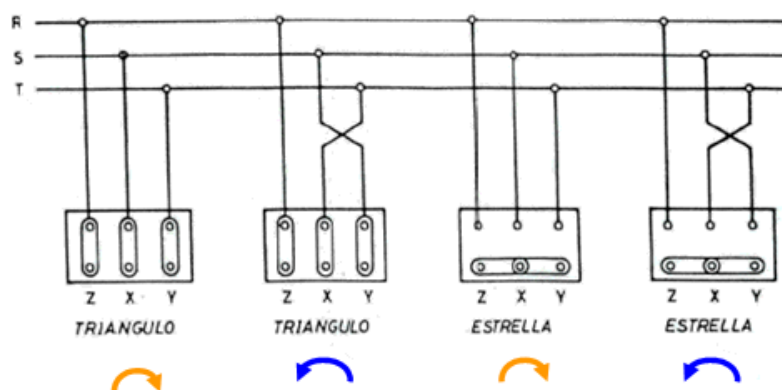


Conexión en Triángulo



Cambio del Sentido de Giro del Motor

Intercambiando dos fases cambia el sentido de giro del campo magnético del estator y por lo tanto el sentido de giro del rotor





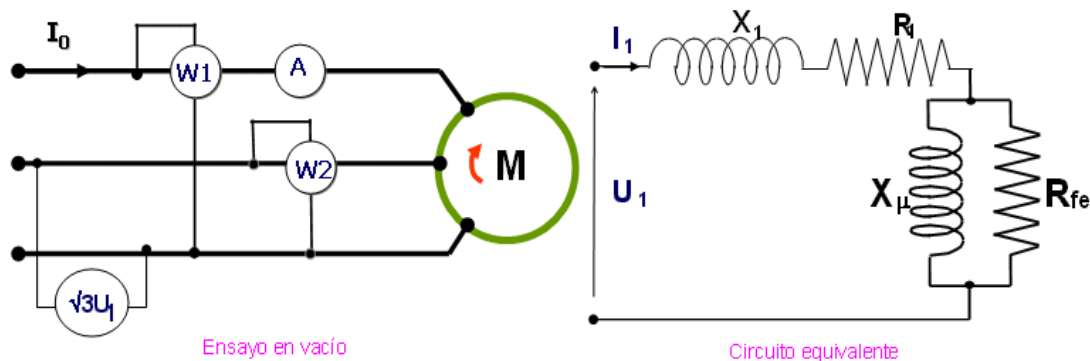
Ensayo de Vacío o de Rotor Libre

Se hace funcionar el motor sin carga mecánica a la tensión nominal U_1 y frecuencia nominal f . En estas condiciones la velocidad de giro del motor estará muy cercana a la velocidad de sincronismo, de tal forma $s \rightarrow 0 \Rightarrow R'_2 \cdot [(1-s) / s] \rightarrow$ es muy grande. En estas circunstancias la potencia P_0 consumida por el motor es:

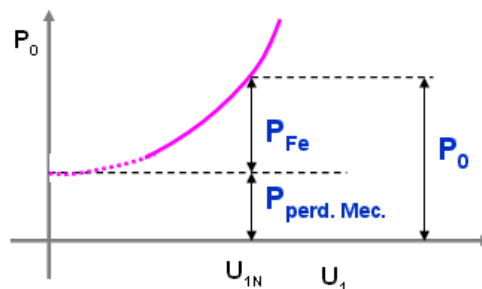
$$P_0 = W_1 + W_2 = P_{Cu1} + P_{Fe} + P_{Perd. Mec}$$

$$P_{Cu1} \ll \ll y \quad P_{Cu1} \ll P_{Fe} + P_{Perd. Mec} \quad (\text{pues } I_0 \ll I_N)$$

$$P_0 \approx W_1 + W_2 = P_{Fe} + P_{Perd. Mec}$$



El problema que se plantea en este ensayo es que la potencia absorbida por el motor funcionando a rotor libre, es la suma de las pérdidas en el hierro más las pérdidas mecánicas. Es necesario separarlas, para ello, se procederá de la siguiente forma: comenzando por la tensión nominal de alimentación, se irán realizando sucesivas medidas de potencia a diferentes tensiones, hasta llegar a una tensión de alimentación de aproximadamente el 25% de la tensión nominal, construyendo una gráfica (de tipo parabólico) como la que se muestra en la figura adjunta. Una vez construida la gráfica anterior, se prolongará dicha curva hasta que corte al eje de ordenadas. El punto de corte nos indica las pérdidas mecánicas, ya que entonces las pérdidas en el Fe serán nulas al no existir flujo. Por tanto a la tensión nominal de alimentación, las pérdidas en el hierro serán la potencia total absorbida menos las pérdidas mecánicas



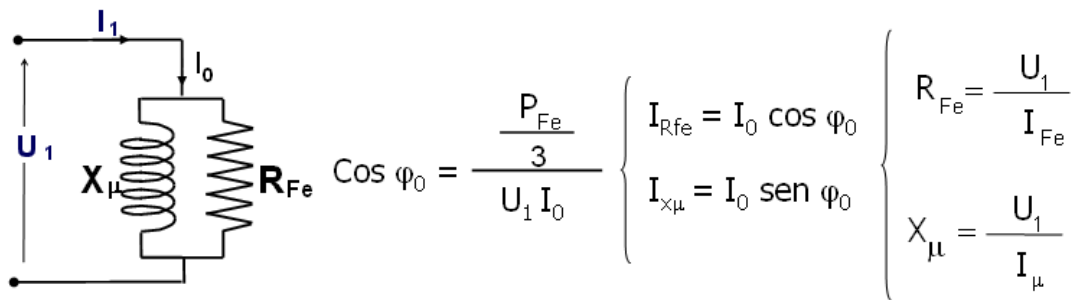
Nótese que las pérdidas mecánicas se consideran constantes para diferentes valores de tensión de alimentación porque una vez que el motor comienza a girar lo hace prácticamente a la misma velocidad, muy cercana a la de sincronismo, para diferentes tensiones de alimentación, con lo que las pérdidas mecánicas se pueden considerar constantes.

Una vez separadas las pérdidas en el hierro de las pérdidas mecánicas, tenemos que:



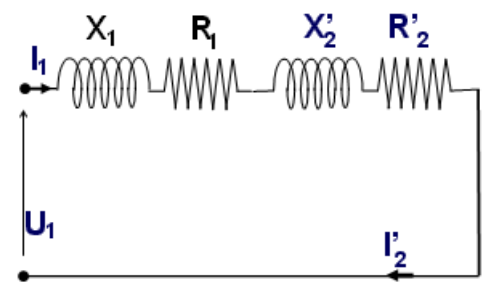
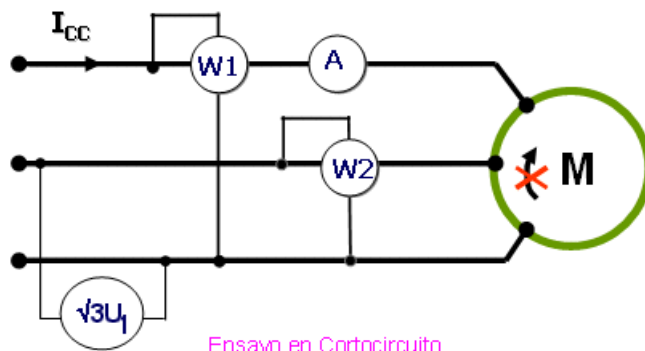
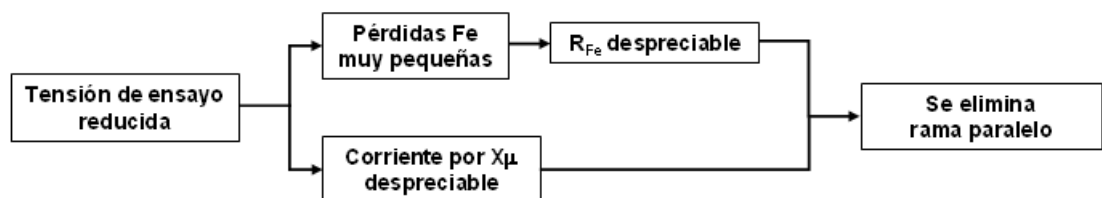
Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

El circuito equivalente queda en la forma que indica el diagrama de debajo. Entonces:



Ensayo de Cortocircuito o de Rotor Bloqueado

El ensayo se realiza bloqueando el rotor e impidiendo que gire ($N_2=0$, $s = 1$, $R'_c = 0$) y se aplica al estator una tensión creciente desde 0 hasta que la corriente del motor sea la nominal ($I_{1cc} = I_{1N}$).





Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

$$P_{cc} = W_1 + W_2 = P_{Cu1} + P_{Cu2}$$

$$\begin{aligned} \cos \varphi_{cc} &= \frac{\frac{P_{cc}}{3}}{U_{1cc} I_{1N}} \\ Z &= \frac{U_{1cc}}{I_{1N}} \end{aligned} \left\{ \begin{array}{l} R_{cc} = R_1 + R'_2 \\ X_{cc} = X_1 + X'_2 \\ R_{cc} = Z \cos \varphi_{cc} \\ X_{cc} = Z \sin \varphi_{cc} \end{array} \right\} \begin{aligned} R_{cc} &= R_1 + R'_2 = \frac{U_{1cc}}{I_{1N}} \cos \varphi_{cc} \\ X_{cc} &= X_1 + X'_2 = \frac{U_{1cc}}{I_{1N}} \sin \varphi_{cc} \end{aligned}$$

R_1 se obtiene por medición directa sobre los devanados del estator

X_{cc} se reparte entre X_1 y X'_2 a falta de otra información $X_1 = X'_2$

Arranque

Bajo la acción de los pares motor o electromagnético C y del par resistente C_R se produce el comportamiento dinámico del motor, que responde a la ecuación:

$$C - C_R = J d\omega/dt$$

Donde J es el momento de inercia de las partes giratorias y ω la velocidad angular del rotor

Para que se produzca el arranque del motor es necesario que el par de arranque del motor sea superior al par resistente de la carga, de esta manera se produce una aceleración que hace girar el motor a una velocidad cada vez mayor, obteniéndose el régimen permanente cuando se igualan el par motor y resistente.

En el arranque se produce una elevada corriente I_a (en el circuito equivalente la resistencia de carga vale 0 pues el deslizamiento vale 1). Para reducir las corrientes en el momento del arranque se emplean diferentes métodos como veremos a continuación, actuando normalmente sobre U o R , pero se ha de tener en cuenta que el par C también sufre modificación.

$$I_a = \frac{k \cdot U}{\sqrt{X^2 + (R/s)^2}} \quad C = \frac{k \cdot U^2}{X^2 + (R/s)^2}$$

Acción sobre U (blue arrows pointing to U in both formulas)
Acción sobre R (green arrows pointing to R in both formulas)



Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

Métodos de arranque

Arranque directo de la red

{ Sólo válido en motores pequeños

Arranque mediante inserción de resistencias en el rotor

{ Sólo válido para motores de rotor bobinado y anillos rozantes

Arranque con resistencias en el estator

{ Procedimiento poco empleado. Como remedio de urgencia

Arranque estrella – triángulo

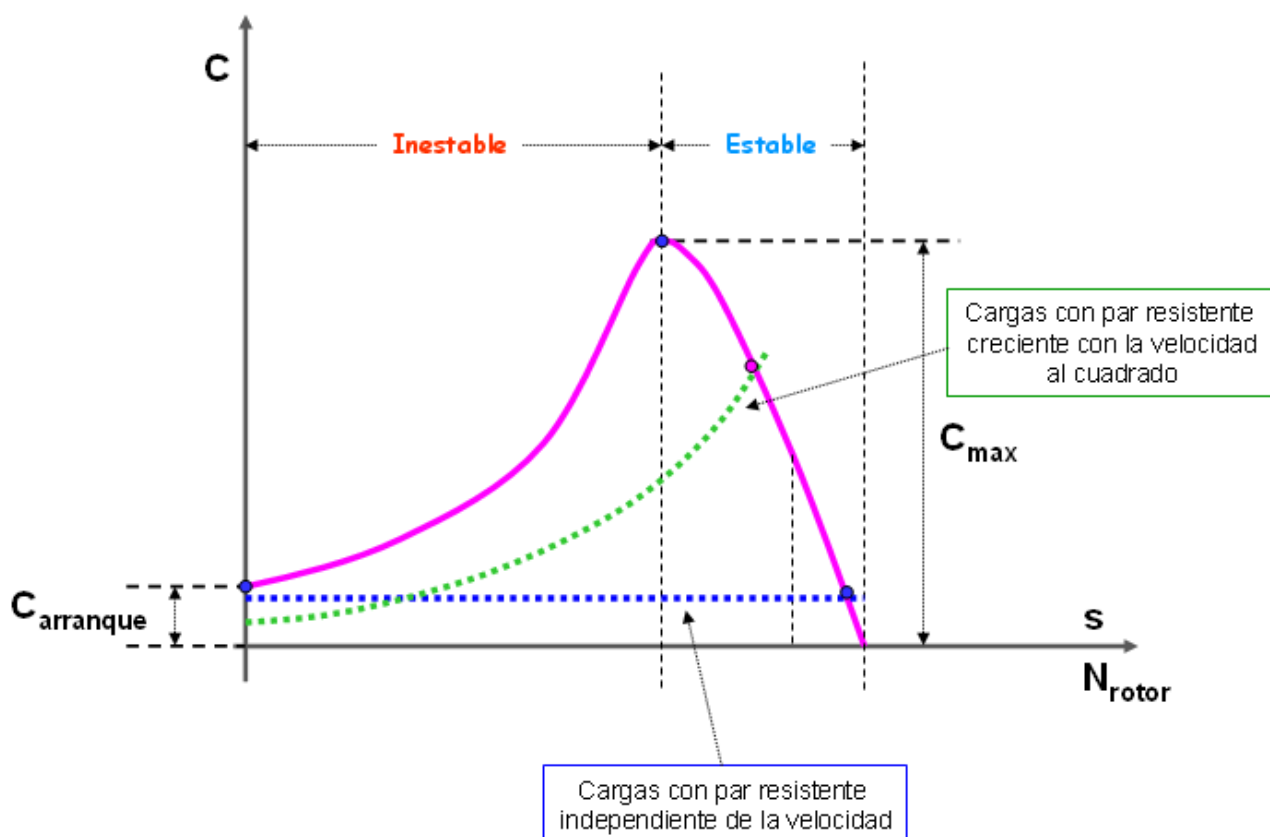
{ El método más barato y utilizado

Arranque con autotransformador

{ Reducción de la tensión durante el arranque mediante autotransformador

Arranque con arrancadores estáticos

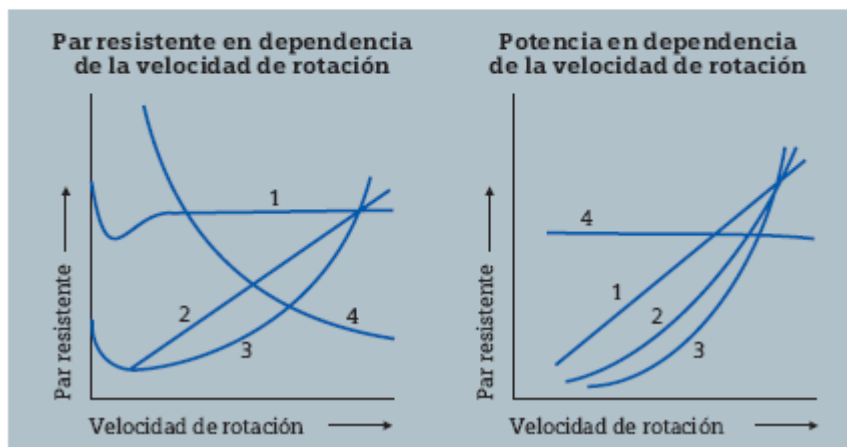
{ Mediante un equipo electrónico





Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

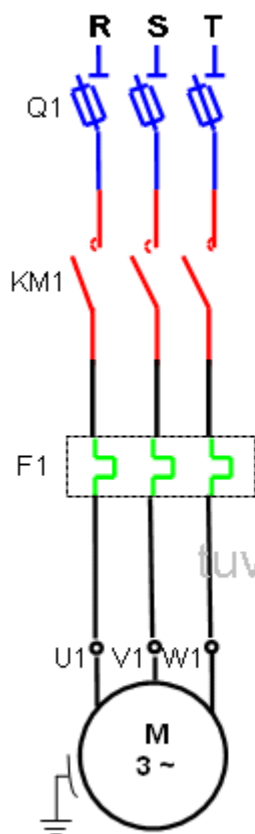
Para comprobar los procesos de arranque y de frenado, y para seleccionar la velocidad del motor a utilizar, se necesita conocer la curva del par resistente de la máquina accionada (par de carga), en dependencia de la velocidad de rotación. Las formas básicas representativas de los pares resistentes se reproducen en la figura inferior izquierda. En la figura inferior derecha se muestra el curso correspondiente de la potencia necesaria.



1. Par resistente prácticamente constante, potencia proporcional a la velocidad de rotación.
Se establece normalmente, en mecanismos elevadores, bombas y compresores de émbolo que impulsen venciendo una presión constante, laminadores, cintas transportadoras, molinos sin efecto ventilador, máquinas herramientas con fuerza de corte constante.
2. El par resistente crece proporcionalmente con la velocidad de rotación y la potencia aumenta proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad.
3. El par resistente crece proporcionalmente con el cuadrado de la velocidad de rotación, y la potencia con el cubo de la velocidad de rotación.
Rige normalmente para bombas centrífugas, ventiladores y soplantes centrífugos, máquinas de émbolo que alimenten una red de tuberías abiertas.
4. El par resistente decrece en proporción inversa con la velocidad de rotación, permaneciendo constante la potencia.
Solamente se considerará este caso para procesos de regulación, presentándose en los tornos y máquinas herramientas similares, máquinas bobinadoras y descortezadoras.



Arranque Directo



Circuito de Potencia



Seccionador



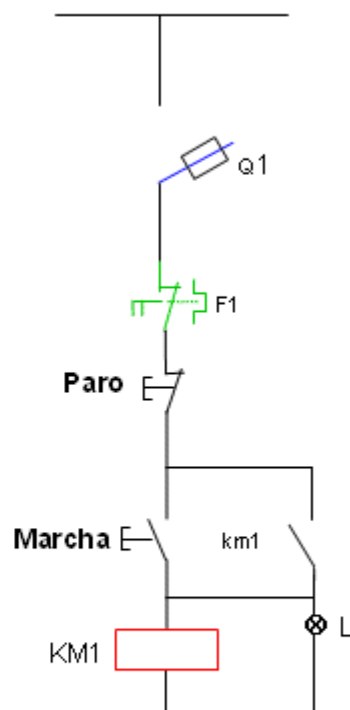
Contactor



Relé Térmico



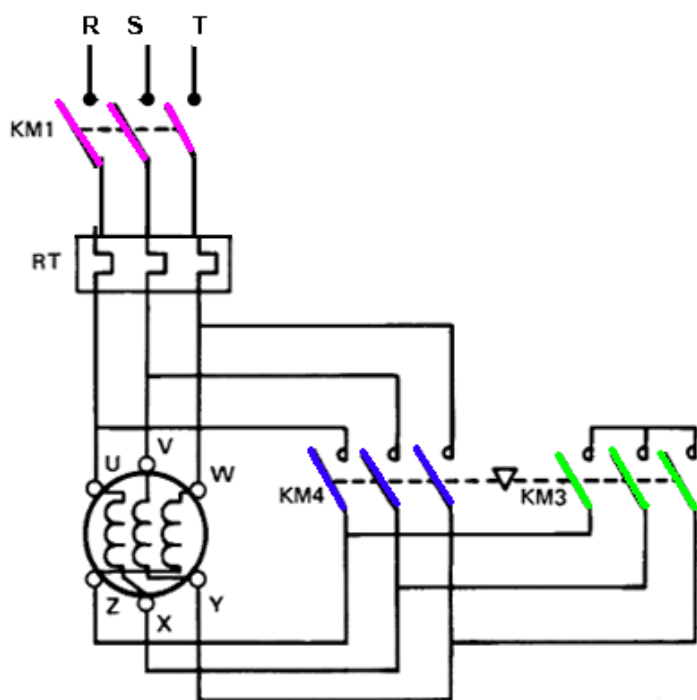
Motor



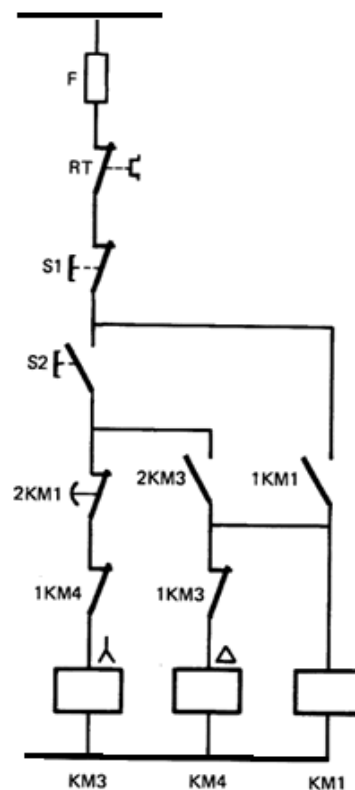
Circuito de Mando



Arranque Estrella-Triángulo



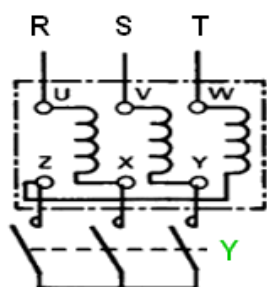
Circuito de Potencia



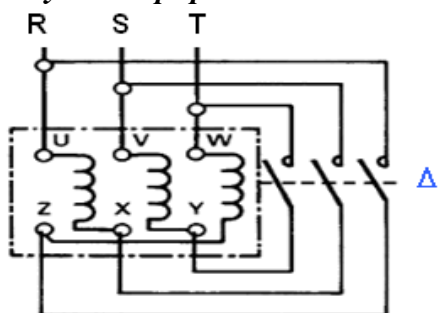
Circuito de Mando



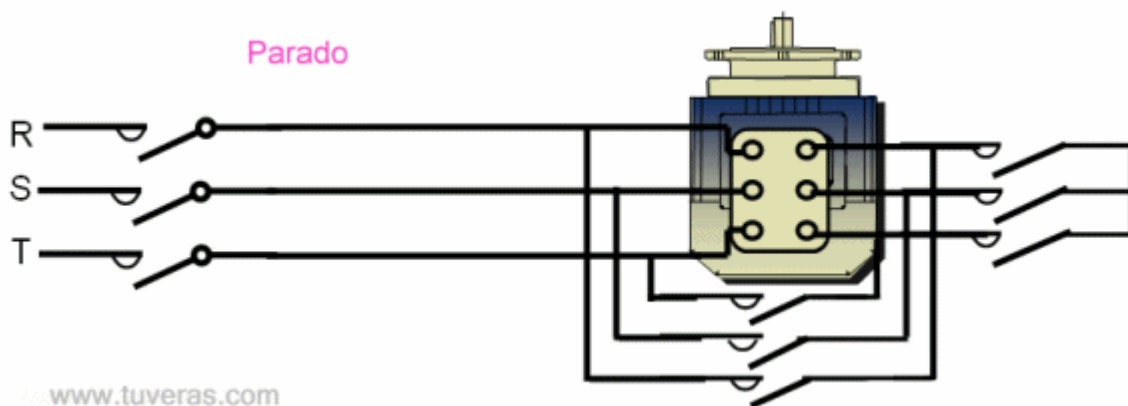
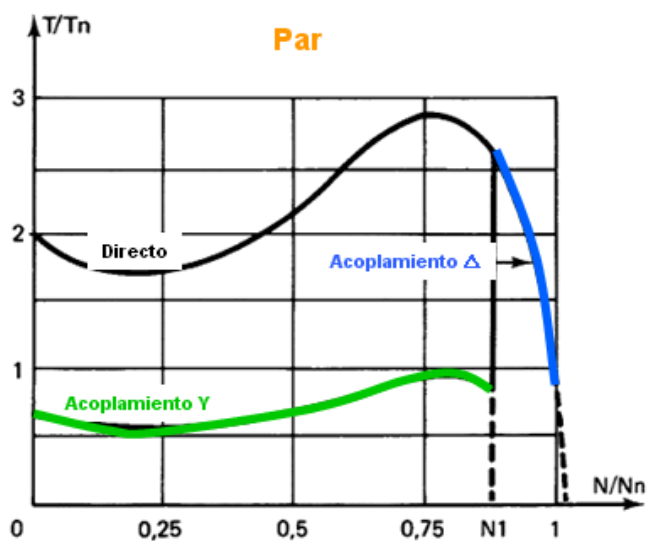
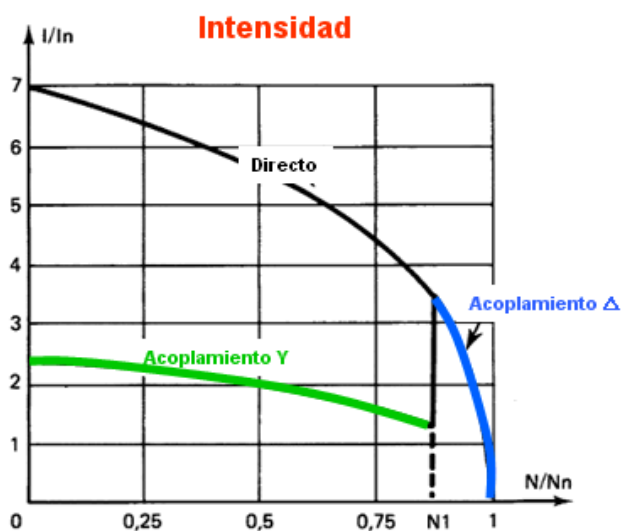
Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos



Primer tiempo: **Estrella Y**

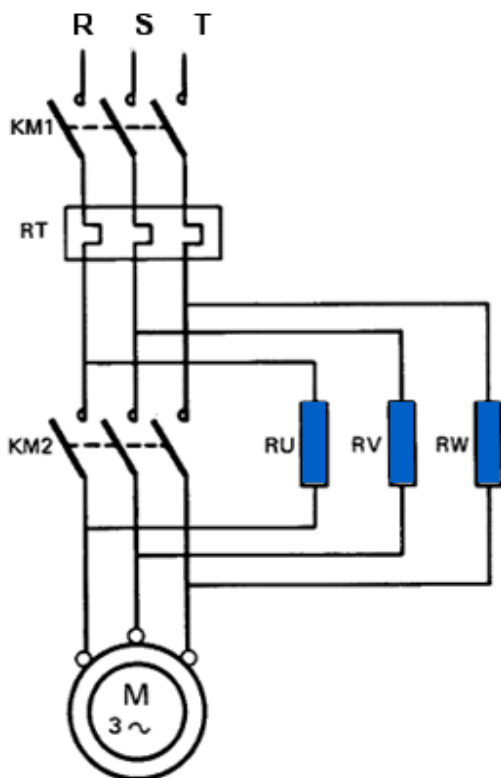


Segundo tiempo: **Triángulo Δ**

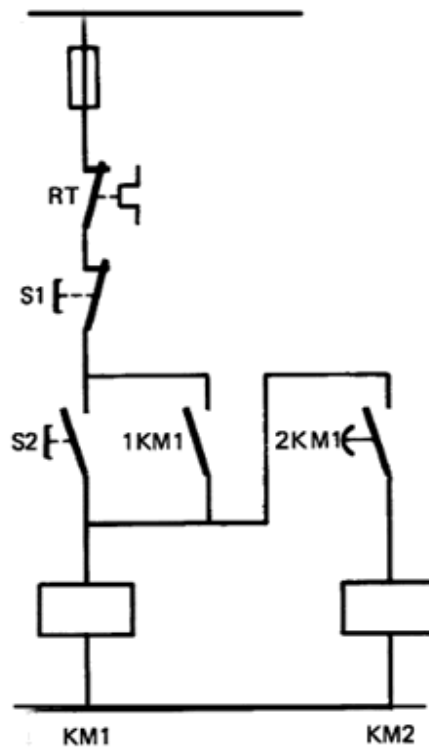




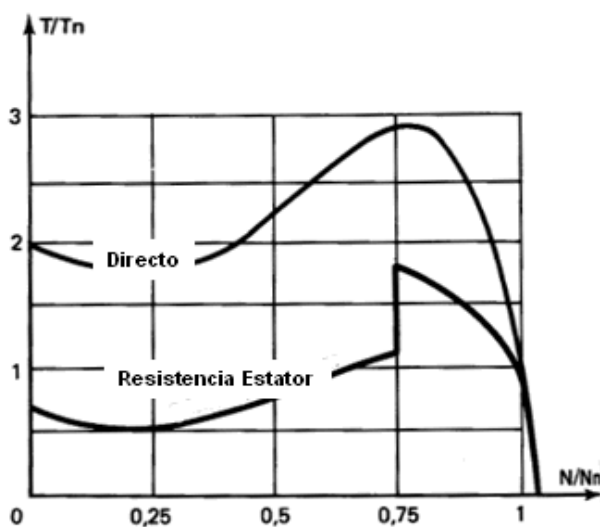
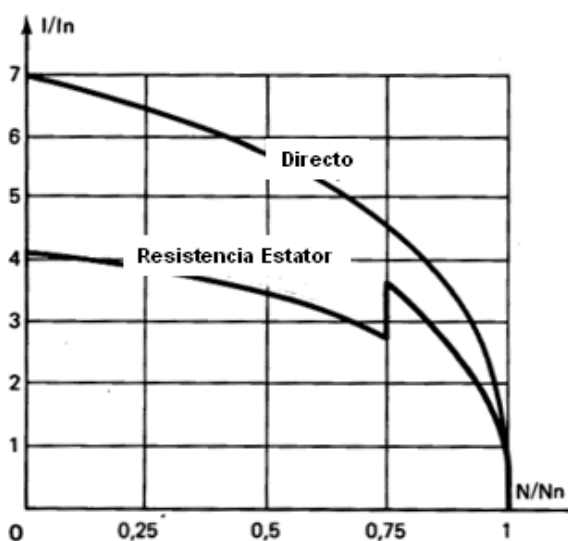
Arranque Por Resistencias Estatóricas

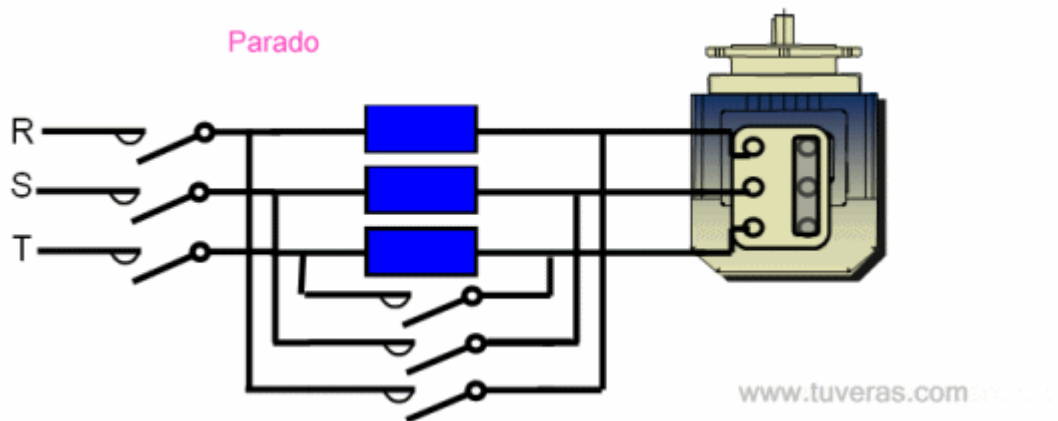


Circuito de Potencia



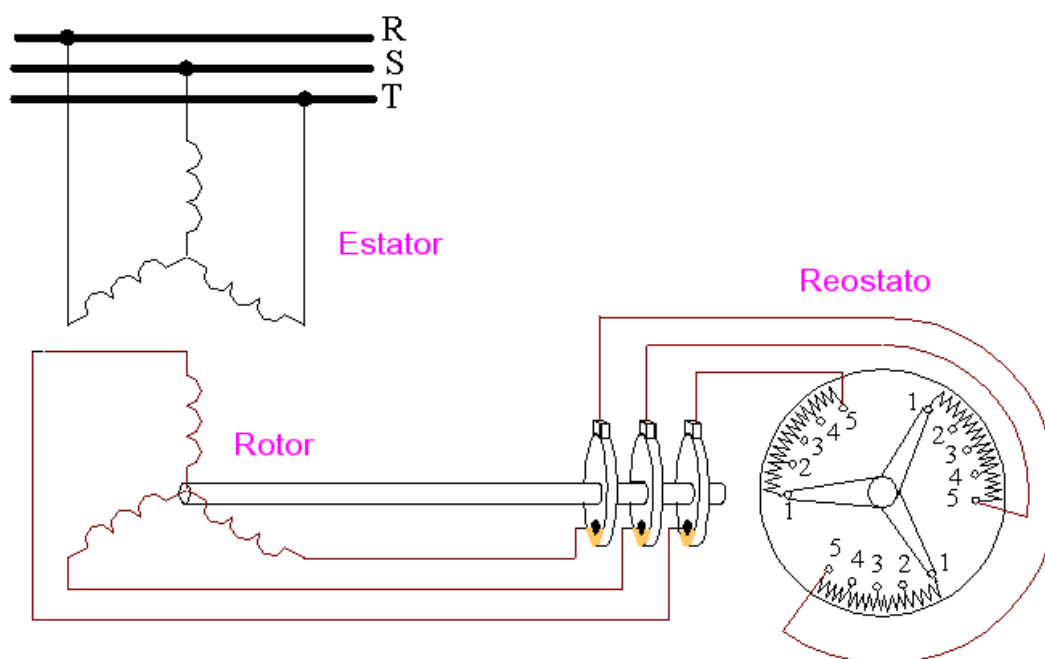
Circuito de Mando





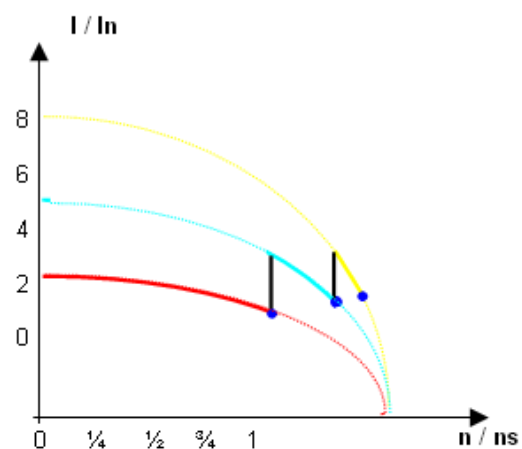
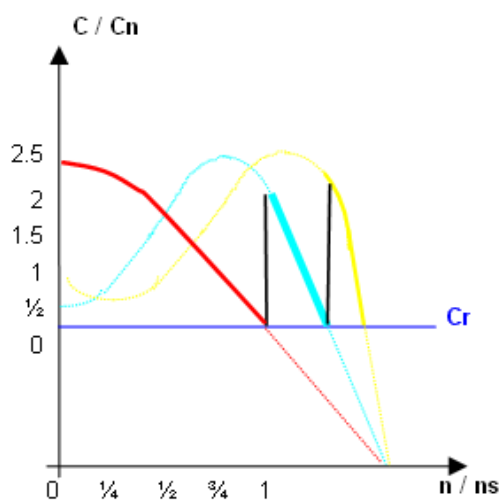
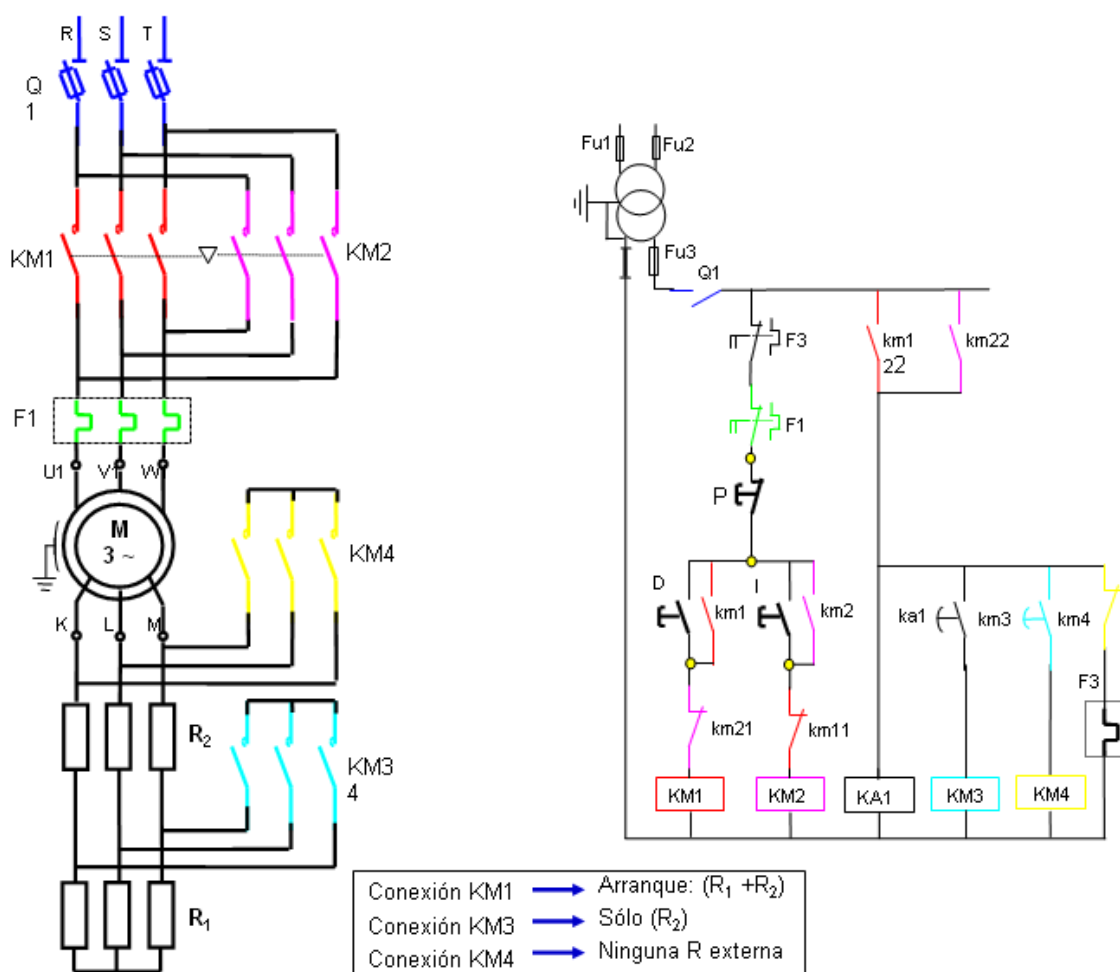
Arranque por Resistencias Rotóricas

Arranque manual:



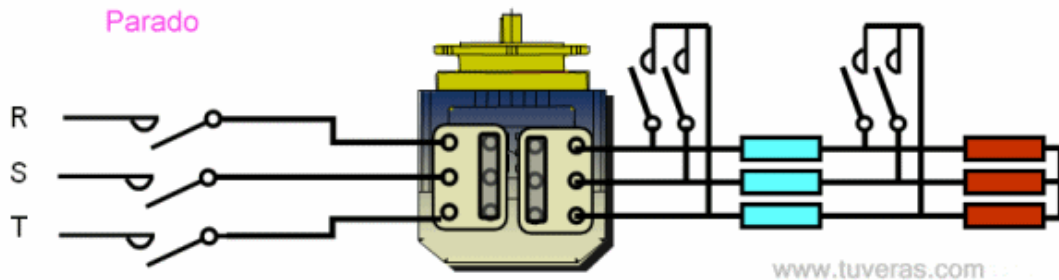


Arranque con contactores (más inversión de giro):

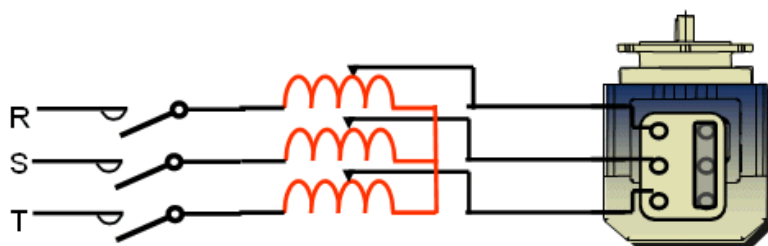




Parado



Arranque por Autotransformador



Parado

Variación de Velocidad de los Motores Asíncronos

Se puede variar la velocidad del motor actuando sobre alguna de las variables de las que depende:

$$\left. \begin{aligned} s &= \frac{N_s - N_r}{N_s} \\ N_s &= \frac{f \cdot 60}{P} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_r = N_s (1 - s) = \frac{60 f}{P} (1 - s)$$

Diagram illustrating the variables affecting the speed of an asynchronous motor:

- Velocidad de rotación** (Rotational speed) is represented by N_r .
- frecuencia** (frequency) is represented by f .
- Pares de polos** (Number of poles) is represented by P .
- deslizamiento** (slip) is represented by s .

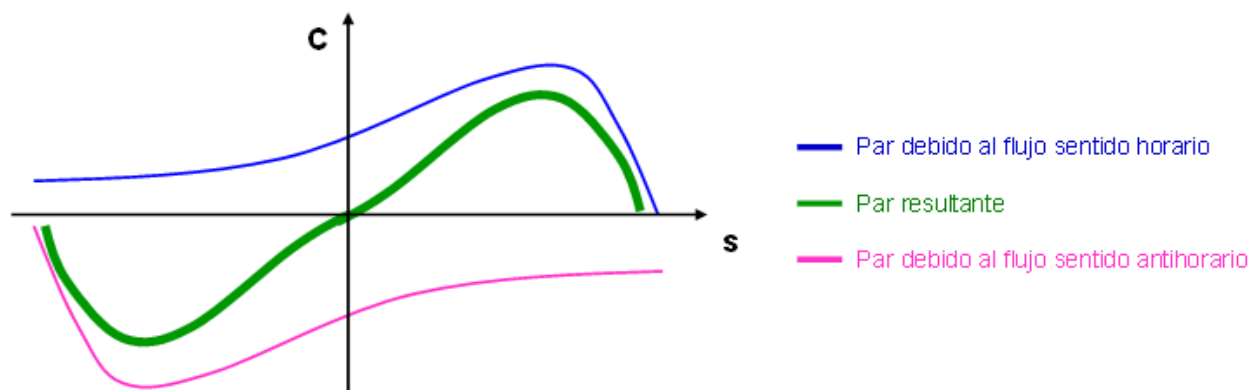


Motor Asíncrono Monofásico

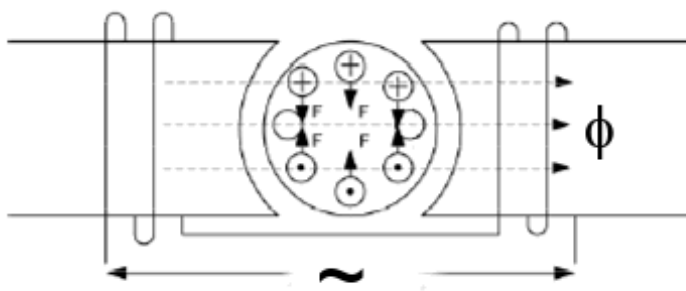
Para aplicaciones de muy baja potencia (de hasta 1CV) se usan este tipo de motores de inducción. En ellos, el estator se alimenta con una única tensión, por lo que no es posible generar un campo magnético giratorio; consiguiéndose tan sólo, un campo pulsante, como ya hemos visto en los conceptos previos

El amollamiento del estator engendra dos conjuntos de polos ficticios que giran en sentido inverso a la velocidad angular ω/p (Teorema de Maurice-Leblanc). Llamemos polos **concordantes** a los que giran en el mismo sentido que el rotor, y polos **inversos** a los que giran en sentido inverso.

Por una parte los polos concordantes, y por otra los polos inversos, ejercen sobre el rotor pares opuestos. Sumando algebraicamente las ordenadas de las curvas de los pares $C(s)$ debidos a ambos polos, obtenemos la característica $C(s)$ del motor:



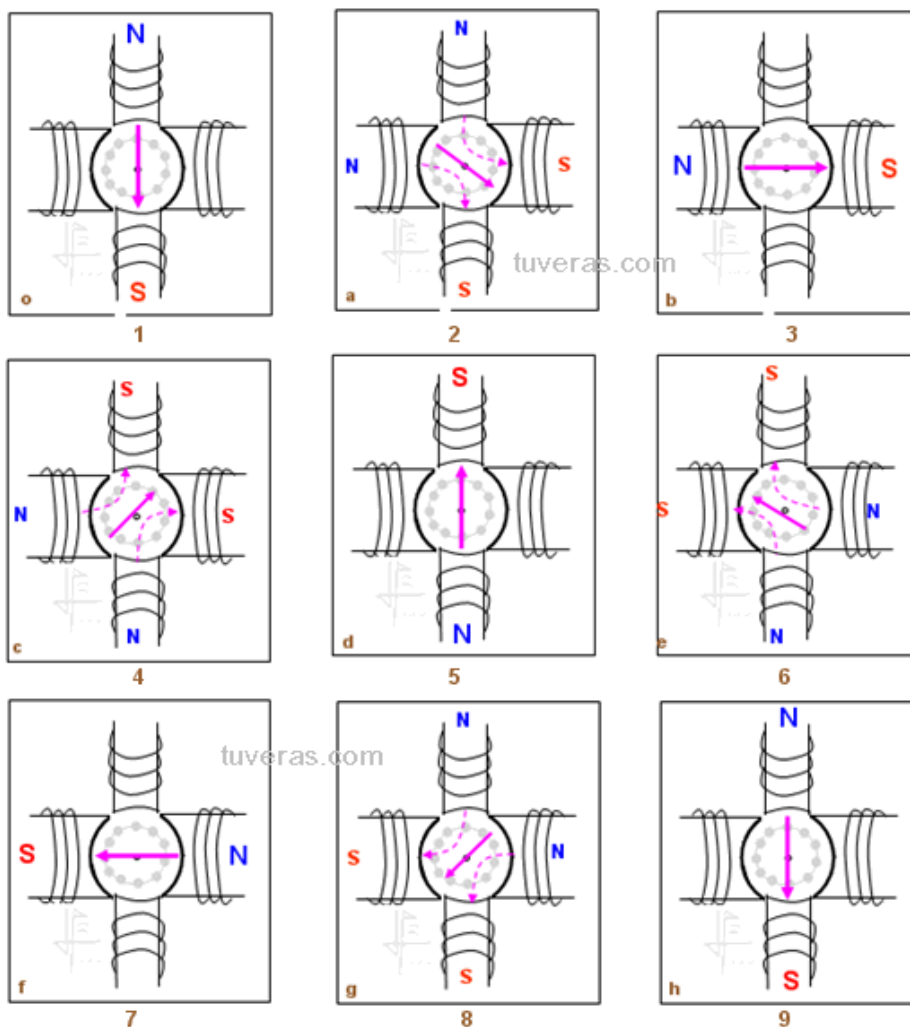
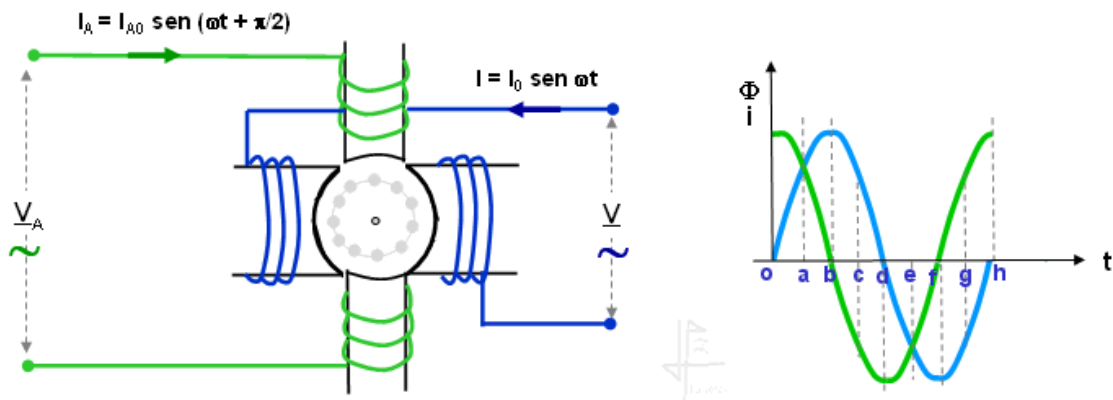
En el arranque, rotor parado, los dos pares son iguales pero de sentido contrario. Luego el motor monofásico **no arranca por sí solo**. Si por cualquier procedimiento se ayudara a girar el rotor en un sentido, aparecerá inmediatamente un par que si es superior al par resistente pondrá en funcionamiento la máquina.





Motor Asíncrono Monofásico: Arranque

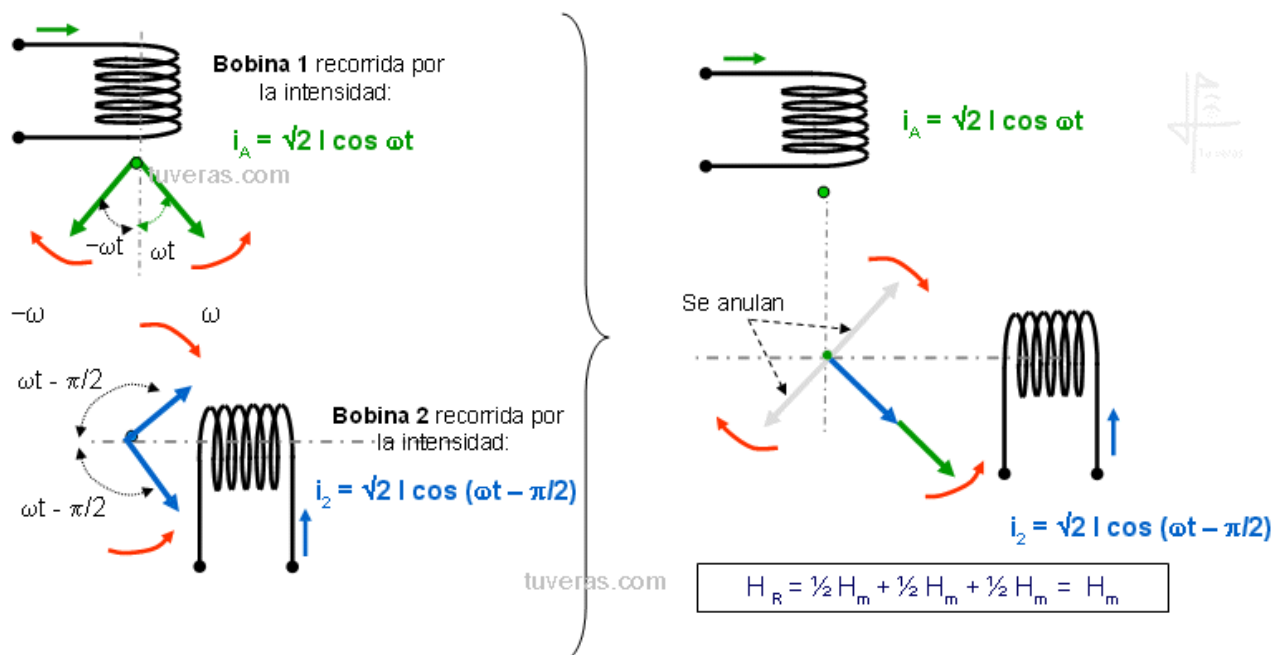
Para el arranque se crea un campo giratorio bifásico, aproximadamente, disponiendo dos devanados dispuestos formando un ángulo de 90° , y haciendo que las corrientes I_A e I que pasan por ellos estén desfasadas 90° .





Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

La aplicación del Teorema de Maurice-Leblanc (ver conceptos preliminares), nos da como resultado un campo giratorio de intensidad constante H_R y pulsación ω :

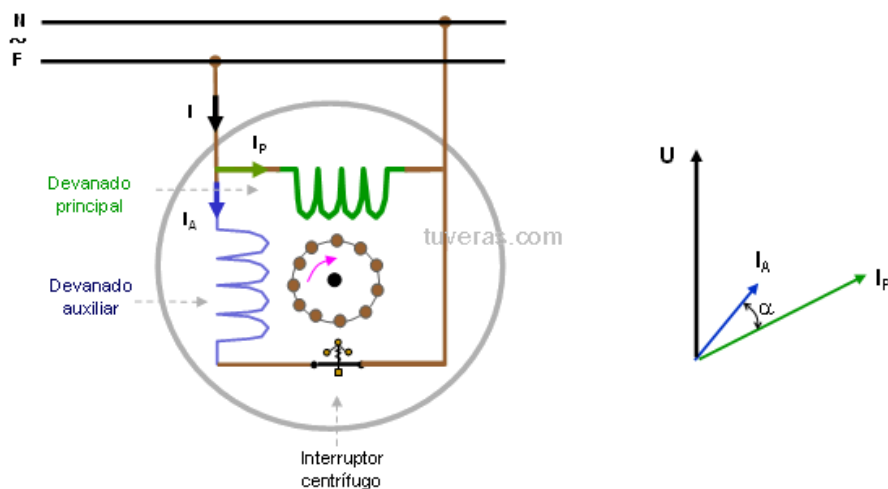


Para conseguir este campo, se utilizan dos recursos:

🔑 Método de Fase Partida.

Se emplea un arrollamiento **auxiliar**, colocado en el estator, con un desplazamiento adecuado respecto al arrollamiento **principal**, con objeto de hacer en el arranque una especie de **campo giratorio bifásico**. Para conseguir que las corrientes que pasen por esos devanados estén desfasadas del orden de 90 grados eléctricos, se utilizan dos recursos:

a) En este motor se sitúan en el estator dos devanados desfasados 90° eléctricos en el espacio según la siguiente figura. El primer devanado, denominado principal cubre el 2/3 de las ranuras y tiene gran reactancia y baja resistencia, mientras que el otro denominado auxiliar, cubre el resto del estator y tiene gran resistencia y baja reactancia, de tal forma que esta en serie con un interruptor centrífugo situado en el eje del motor.

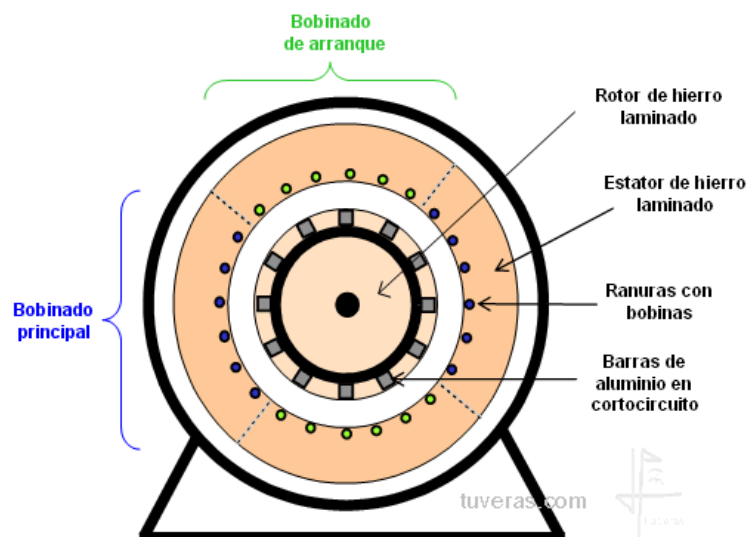
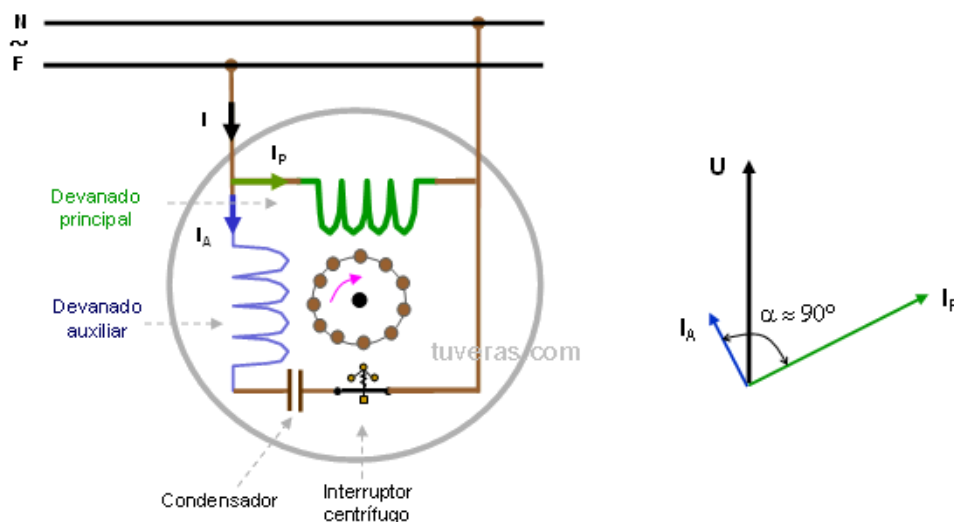




Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

El ángulo formado por \mathbf{U} e \mathbf{I}_p es superior al que existe entre \mathbf{U} e \mathbf{I}_A , en virtud de la mayor reactancia del devanado principal. En la práctica en ángulo α que forman las corrientes es próximo a los 30° , y como los arrollamientos están desfasados 90° en el espacio, resulta un campo giratorio de naturaleza elíptica debido a que los módulos de \mathbf{I}_A e \mathbf{I}_p no son iguales y forman entre sí 90° , este campo giratorio produce el despegue del motor, y cuando la velocidad del rotor alcanza un valor del orden del 70% de nominal, el interruptor centrífugo desconecta el devanado auxiliar que al estar realizado con un hilo delgado no es capaz de soportar un funcionamiento continuo

b) Añadir al devanado secundario un condensador en serie, con ello se logra que la corriente que pase por la rama principal y por esta última queden desfasados casi 90° . Una vez arrancado el motor se puede desconectar el condensador (con un interruptor centrífugo montado en el eje, por ejemplo).

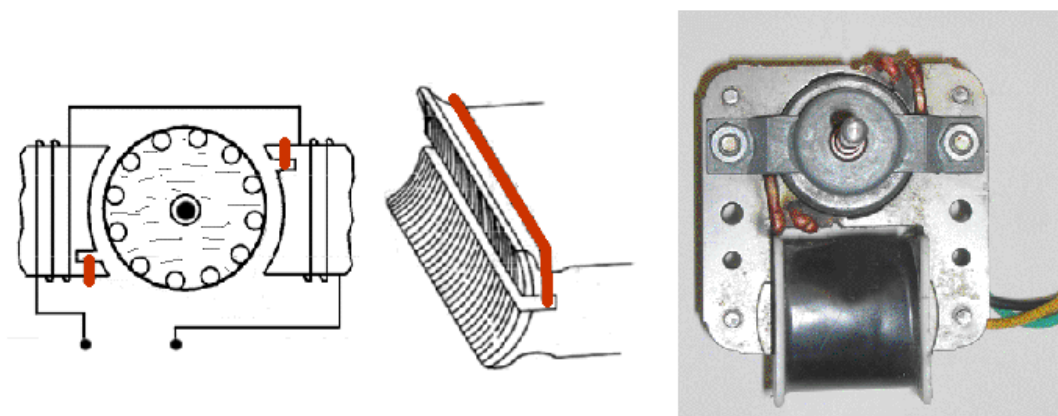




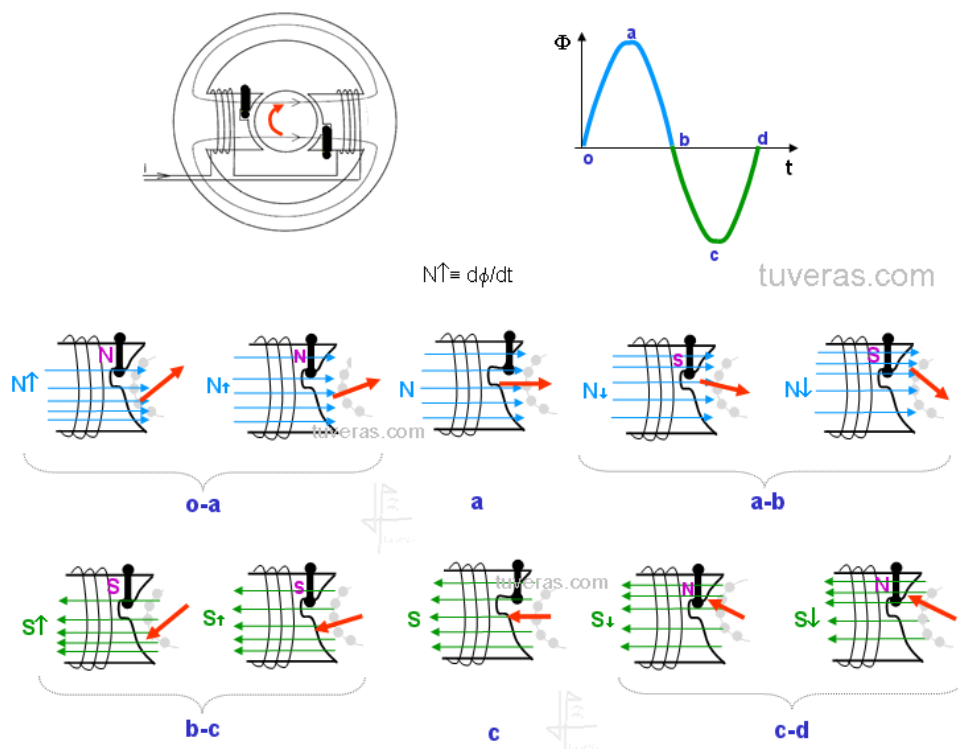
Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

🔑 Método de Espira de Sombra

El método de la espira de sombra, se usa para los motores muy pequeños. Consiste en utilizar un estator con polos salientes. Cada polo saliente se divide en dos partes, y en una de ellas se coloca una bobina conductora que lo abraza. Por esas bobinas, cuando el flujo que pasa por ella varíe, aparecerán sendas corrientes que crearán otros tantos campos magnéticos, debilitando al flujo que los crearon oponiéndose a ellos. De esta forma se consigue debilitar el campo magnético en los polos sombreados cuando el campo está creciendo, y aguantar la magnitud del campo cuando éste está disminuyendo. El efecto total es que se tiene dos campos magnéticos pulsantes; no están desplazados en el espacio 90 grados (como mucho 45 grados), pero su efecto conjunto es la creación de un débil campo giratorio que posibilite el arranque del motor

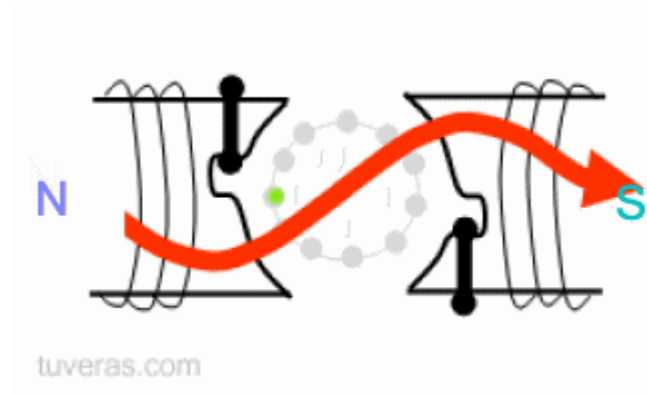


Veamos las diferentes fases del flujo resultante (para conocer la polaridad de las corrientes inducidas en la espira de sombra, recuerda la Ley de Lenz):

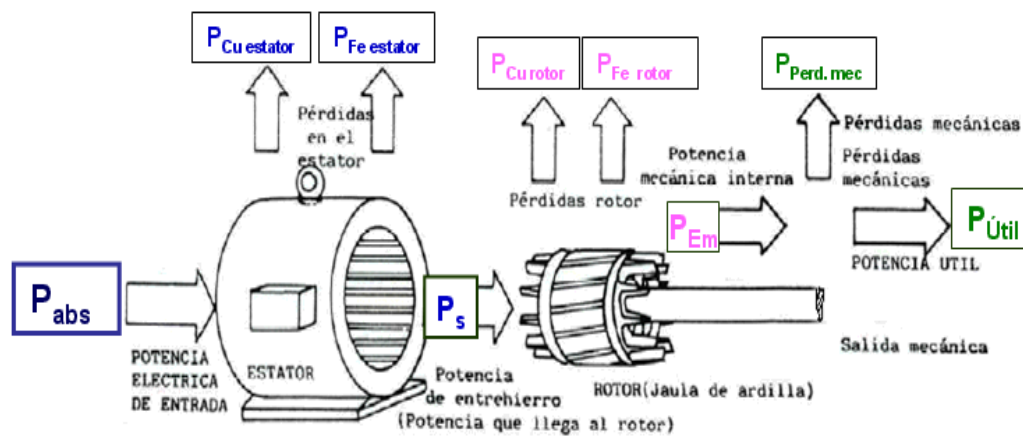




Se crea pues, un campo magnético giratorio tal como se muestra en la siguiente figura:

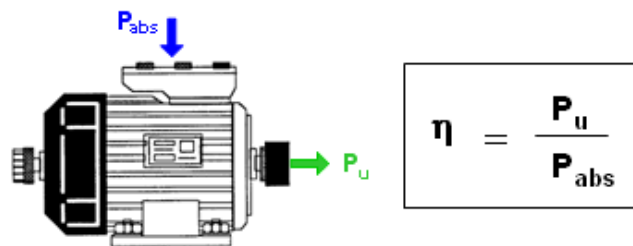


POTENCIA





Rendimiento



$$P_u = P_{abs} - P_{Cu\ est} - P_{Fe\ est} - P_{Cu\ rot} - P_{Perd\ méca}$$

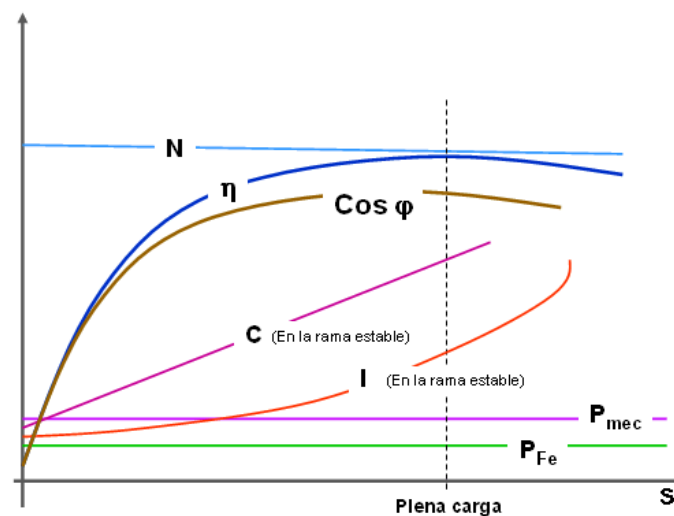
Es interesante considerar el rendimiento del rotor:

$$\eta_{rotor} = \frac{P_{Em}}{P_S}$$

$$\eta_{rotor} = \frac{P_{Em}}{P_S} = \frac{P_S (1 - S)}{P_S}$$

$$\eta_r = 1 - S$$

El rendimiento de un motor asíncrono depende esencialmente del deslizamiento, el cual debe ser muy pequeño para que el rendimiento sea aceptable





Escuela de Educación Técnica N°460 “Guillermo Lehmann”

Operación, mantenimiento y ensayos de equipos electromecánicos

Trabajos

Prácticos



El motor de inducción jaula de ardilla trifásico

EQUIPO REQUERIDO

A fin de obtener la lista de los aparatos necesarios para este ejercicio, consulte la Tabla de utilización de los equipos del Apéndice C.

PROCEDIMIENTO

¡ATENCIÓN!

Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de voltajes elevados. No realice ninguna conexión en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

Montaje del equipo

- ☐ 1. Dentro del Puesto de trabajo EMS, instale los siguientes módulos: la Fuente de alimentación, el Motor de impulsión / Dinamómetro, el Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos y la Interfaz para la adquisición de datos (DAI).

Acople mecánicamente el Motor de impulsión / Dinamómetro al Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos.

- ☐ 2. En la Fuente de alimentación, asegúrese de que el interruptor principal esté en la posición O (apagado) y que la perilla de control de voltaje se encuentre girada completamente hacia la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté conectada a una fuente trifásica.

- ☐ 3. Asegúrese de que el cable chato de la computadora esté conectado al módulo DAI.

Conecte las entradas ALIMENTACIÓN BAJA POTENCIA de los módulos DAI y Motor de impulsión / Dinamómetro a la salida 24 V - CA de la Fuente de alimentación.

En la Fuente de alimentación, coloque el interruptor 24 V - CA en la posición I (encendido).

- ☐ 4. Inicie la aplicación Aparatos de Medición.

En la aplicación Aparatos de Medición, abra el archivo de configuración existente ACMOTOR1.CFG y luego seleccione ver especial 2.

- ☐ 5. Conecte el equipamiento como lo muestra la Figura 4-9.



El motor de inducción jaula de ardilla trifásico

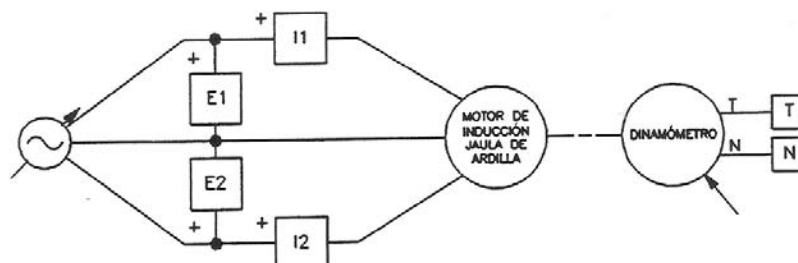


Figura 4-9. Motor de inducción jaula de ardilla conectado al Dinamómetro.

- ☐ 6. Ajuste los controles del módulo Motor de impulsión / Dinamómetro de la siguiente forma:

Selector MODO DIN.
Selector MODO CONTROL DE CARGA MAN.
Perilla CONTROL DE CARGA MÍN. (izquierda)
Selector VISUALIZADOR PAR (T)

Nota: Si realiza el ejercicio empleando LVSIM™EMS, usted podrá enfocar con el zoom el módulo Motor de impulsión / Dinamómetro. De esta manera puede ver en el panel frontal, las notas adicionales relativas a los controles antes de ajustarlos.

Características del motor de inducción jaula de ardilla

- ☐ 7. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de voltaje para que los voltajes de línea, indicado por el medidor E1, y el nominal del motor de inducción jaula de ardilla resulten iguales.

Nota: Las características de cualquiera de las máquinas Lab-Volt están indicadas en el ángulo inferior izquierdo del panel frontal del módulo. Si usted está realizando el ejercicio empleando LVSIM™EMS, usted podrá obtener las características de cualquiera de ellas dejando el puntero del ratón sobre el rotor de la máquina de su interés. Después de unos segundos, aparecerá en la pantalla un recuadro con las características de dicha máquina.

¿Cuál es el sentido de rotación del motor de inducción jaula de ardilla?

En el espacio en blanco de más abajo, anote la velocidad indicada por el medidor N de la aplicación Aparatos de Medición.

$n = \text{_____} \text{ r/min}$



El motor de inducción jaula de ardilla trifásico

¿Resulta la velocidad en vacío casi igual a la velocidad del campo magnético giratorio (velocidad de sincronismo) dada en la sección Presentación?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 8. En la aplicación Aparatos de Medición, asegúrese de que la función para corregir el par del medidor T esté seleccionada. Ahora, dicho medidor indica el par de salida del motor de inducción jaula de ardilla.

En el Motor de impulsión / Dinamómetro, ajuste la perilla CONTROL DE CARGA para que la potencia mecánica desarrollada por el motor de inducción jaula de ardilla (que aparece en el medidor Pm de la aplicación Aparatos de Medición) resulte igual a 175 W (potencia nominal de salida del motor).

En los espacios en blanco de más abajo, anote la velocidad nominal, el par y la corriente de línea del motor de inducción jaula de ardilla. La corriente de línea aparece en el medidor I1.

$n_{NOM.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ r/min}$

$T_{NOM.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{plg)}$

$I_{NOM.} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ A}$

En el Motor de impulsión / Dinamómetro, gire la perilla CONTROL DE CARGA completamente hacia la izquierda. El par indicado por el visualizador del Motor de impulsión / Dinamómetro debería ser 0 N·m (0 lbf·plg).

- ☐ 9. En la Tabla de Datos, registre los valores del voltaje de línea E_{LINEA} , corriente de línea I_{LINEA} , potencia activa P, potencia reactiva Q, velocidad n y par T de salida del motor (indicados por los medidores E1, I1, C, A, N y T, respectivamente).

En el Motor de impulsión / Dinamómetro, regule la perilla CONTROL DE CARGA para que el par indicado por el visualizador del módulo alcance 1,8 N·m (15,0 lbf·plg), por etapas de 0,3 N·m (3,0 lbf·plg). Registre cada valor ajustado del par en la Tabla de Datos.

En el Motor de impulsión / Dinamómetro, ajuste cuidadosamente la perilla CONTROL DE CARGA para que el par indicado por el visualizador del módulo aumente por etapas de 0,1 N·m (1,0 lbf·plg), hasta que la velocidad del motor comience a disminuir bastante rápido (región del par máximo). Registre cada valor adicional ajustado del par en la Tabla de Datos.

Una vez que la velocidad del motor se estabilizó, registre los datos en la Tabla de Datos.



El motor de inducción jaula de ardilla trifásico

Nota: Mientras se lleva a cabo esta etapa, la corriente nominal de línea del Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos puede exceder su valor de régimen. Por lo tanto, se aconseja completarla dentro de un intervalo de 5 minutos o menos.

- ☐ 10. Después de registrar todos los datos, lleve la perilla CONTROL DE CARGA del Motor de impulsión / Dinamómetro a la posición MÍN. (completamente hacia la izquierda), gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda y apague la Fuente de alimentación.

En la ventana Tabla de Datos, confirme que todos los datos fueron almacenados y edite la tabla para guardar sólo los valores del voltaje de línea $E_{LÍNEA}$, corriente de línea $I_{LÍNEA}$, potencia activa P, potencia reactiva Q, velocidad n y par T de salida del motor (valores de las columnas E1, I1, C, A, N y T, respectivamente). Luego titule la tabla de datos DT411 e imprima dicha tabla.

Nota: Consulte el Apéndice E de este manual para saber cómo editar, titular e imprimir una tabla de datos.

¿Encuentra usted que la corriente de línea del motor, que aparece en la columna I1, crece cuando la carga mecánica aplicada al motor de inducción jaula de ardilla aumenta?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 11. En la ventana Gráfico, realice los ajustes apropiados para lograr un gráfico de la velocidad n (obtenida del medidor N), en función del par del motor (obtenido del medidor T). Titule el gráfico G411, llame Par del motor de inducción al eje X, nombre Velocidad del motor de inducción al eje Y e imprima el gráfico.

Nota: Consulte el Apéndice E de este manual con el objeto de conocer cómo utilizar la ventana Gráfico de la aplicación Aparatos de Medición para obtener y titular un gráfico, ponerle nombre a sus ejes e imprimirlo.

Explique brevemente cómo varía la velocidad cuando la carga mecánica aplicada al motor de inducción jaula de ardilla aumenta, es decir, cuando se incrementa el par.

- ☐ 12. Indicar sobre el gráfico G411, los valores nominales correspondientes a la velocidad y al par del motor de inducción jaula de ardilla medidos anteriormente.



El motor de inducción jaula de ardilla trifásico

Empleando el gráfico G411, determine el par máximo del motor de inducción jaula de ardilla.

$$T_{\text{MÁXIMO}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{plg)}$$

Determine el par para la velocidad mínima empleando el gráfico G411. Este par es una buena aproximación del par de arranque del motor de inducción jaula de ardilla.

$$T_{\text{ARRANQUE}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ N}\cdot\text{m (lbf}\cdot\text{plg)}$$

Compare los pares máximo y de arranque con el par nominal del motor de inducción jaula de ardilla.

- ☐ 13. En la ventana Gráfico, realice los ajustes apropiados para lograr un gráfico de las potencias activa (P) y reactiva (Q) (obtenidas a partir de los medidores C y A, respectivamente) en función de la velocidad del motor (obtenida del medidor N), empleando los valores registrados en la tabla de datos (DT411). Titule el gráfico G411-1, llame Velocidad del motor de inducción al eje X, llame Potencias activa y reactiva del motor de inducción al eje Y e imprima el gráfico.

¿Encuentra usted que el gráfico G411-1 confirma que el motor de inducción jaula de ardilla siempre extrae potencia reactiva de la fuente de alimentación c.a.?

☐ Sí ☐ No

¿Encuentra usted que el gráfico G411-1 confirma que el motor de inducción jaula de ardilla extrae más potencia eléctrica de la fuente de alimentación c.a. cuando arrastra una carga más pesada?

☐ Sí ☐ No

Observe que cuando el motor de inducción jaula de ardilla gira sin carga, la potencia reactiva excede la activa. ¿Qué manifiesta lo anterior?

- ☐ 14. En la ventana Gráfico, realice los ajustes apropiados para lograr un gráfico de la corriente de línea I_{LINEA} (obtenida del medidor I1) como una función de la velocidad del motor (obtenida del medidor N), empleando los valores registrados anteriormente en la tabla de datos (DT411). Titule



El motor de inducción jaula de ardilla trifásico

el gráfico G411-2, llame Velocidad del motor de inducción al eje X, nombre Corriente de línea del motor de inducción al eje Y e imprima el gráfico.

¿Cómo varía la corriente de línea cuando la velocidad del motor disminuye?

- ☐ 15. Indicar sobre el gráfico G411-2 la corriente nominal de línea del motor de inducción jaula de ardilla medida anteriormente.

¿Cuántas veces más grande es la corriente de línea en el arranque con relación a la corriente de línea nominal? (utilice la corriente de línea medida a velocidad mínima como corriente de arranque)

Sentido de rotación

- ☐ 16. En el Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos, intercambie dos de los tres conductores conectados a los arrollamientos del estator.

Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de voltaje para que los voltajes de línea, indicado por el medidor E1, y el nominal del motor de inducción jaula de ardilla resulten iguales.

¿Cuál es el sentido de rotación del motor de inducción jaula de ardilla?

¿Encuentra usted que el motor gira en sentido opuesto al indicado anteriormente en este ejercicio?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 17. Gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda y apague la Fuente de alimentación. Coloque el interruptor 24 V - CA de la fuente en la posición O (apagado) y desconecte todos los cables.



El motor de inducción jaula de ardilla trifásico

CONCLUSIÓN

En este ejercicio, ha observado que cuando se aplica el voltaje nominal de línea a los arrollamientos del estator de un motor de inducción jaula de ardilla, sin carga mecánica acoplada, el rotor gira a aproximadamente la misma velocidad que el campo magnético giratorio (velocidad de sincronismo). Usted ha visto que intercambiando dos de los tres conductores que alimentan los arrollamientos del estator se invierte la secuencia de fases y, en consecuencia, el motor gira en sentido contrario. También ha notado que las corrientes de línea del motor aumentan mientras la carga mecánica crece, lo que demuestra que el motor de inducción jaula de ardilla requiere más potencia eléctrica para arrastrar cargas más pesadas. Ha trazado el gráfico velocidad en función del par y lo ha empleado para determinar los pares nominal, máximo y de arranque del motor de inducción jaula de ardilla. Además, ha trazado el gráfico potencia reactiva en función de la velocidad y ha observado que este tipo de motor extrae potencia reactiva de la fuente de alimentación c.a. para crear su campo magnético. Finalmente, ha trazado el gráfico corriente de línea en función de la velocidad y ha notado que la corriente durante el arranque es varias veces mayor que la nominal de línea.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. La velocidad del campo magnético giratorio creado por una fuente trifásica se llama
 - a. velocidad en vacío.
 - b. velocidad de sincronismo.
 - c. velocidad de deslizamiento.
 - d. velocidad nominal.
2. La diferencia entre la velocidad de sincronismo y la velocidad del rotor de un motor de inducción jaula de ardilla
 - a. se conoce como deslizamiento.
 - b. siempre es mayor que 10%.
 - c. se conoce como par de deslizamiento.
 - d. siempre es menor que 1%.
3. El motor de inducción jaula de ardilla consume potencia reactiva porque
 - a. emplea una fuente trifásica.
 - b. no requiere potencia activa.
 - c. requiere esa potencia para crear el campo magnético giratorio.
 - d. tiene una jaula de ardilla.



El motor de inducción jaula de ardilla trifásico

4. Cuando se incrementa la carga de un motor de inducción jaula de ardilla, ¿aumenta o disminuye su velocidad?
 - a. Aumenta.
 - b. Disminuye.
 - c. Permanece la misma porque es independiente de la carga del motor.
 - d. Oscila alrededor de su valor original.

5. ¿Qué sucede cuando se invierten dos de los tres conductores que alimentan el motor de inducción jaula de ardilla?
 - a. El motor no arranca.
 - b. Nada.
 - c. El motor invierte su sentido de rotación.
 - d. El motor consume más potencia reactiva.



PROCEDIMIENTO

¡ATENCIÓN!

Durante esta experiencia de laboratorio, usted estará en presencia de voltajes elevados. No realice ninguna conexión en los circuitos bajo tensión, salvo indicación contraria.

Montaje del equipo

- ☐ 1. Dentro del Puesto de trabajo EMS, instale los siguientes módulos: la Fuente de alimentación, el Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos, el Motor con arranque por condensador, la Carga capacitiva y la Interfaz para la adquisición de datos (DAI).
- ☐ 2. En la Fuente de alimentación, asegúrese de que el interruptor principal esté en la posición O (apagado) y que la perilla de control de voltaje se encuentre girada completamente hacia la izquierda. Asegúrese de que la Fuente de alimentación esté conectada a una fuente trifásica.
- ☐ 3. Asegúrese de que el cable chato de la computadora esté conectado al módulo DAI.

Conecte las entradas ALIMENTACIÓN BAJA POTENCIA de los módulos DAI y Motor de impulsión / Dinamómetro a la salida 24 V - CA de la Fuente de alimentación.

En la Fuente de alimentación, coloque el interruptor 24 V - CA en la posición I (encendido).

- ☐ 4. Inicie la aplicación Aparatos de Medición.

En la aplicación Aparatos de Medición, abra el archivo de configuración existente ACMOTOR1.CFG y luego seleccione ver especial 1.



Motores de inducción monofásicos

- ☐ 5. Conecte el equipamiento como lo muestra la Figura 4-26.

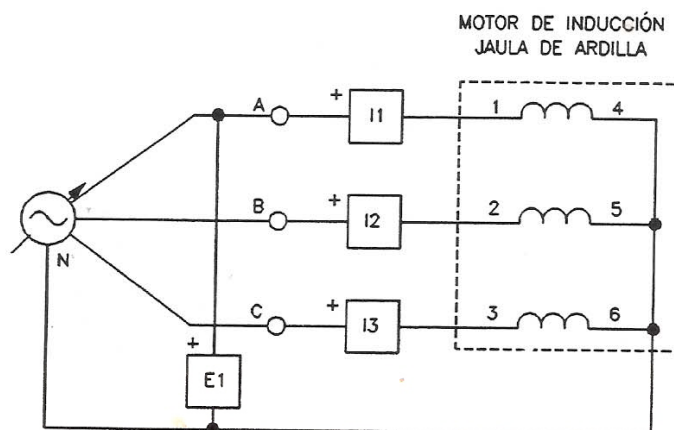


Figura 4-26. Motor de inducción jaula de ardilla trifásico.

Funcionamiento monofásico y bifásico de un motor de inducción jaula de ardilla trifásico

- ☐ 6. Encienda la Fuente de alimentación y ajuste la perilla de control de voltaje para que el voltaje aplicado a cada arrollamiento del motor (indicado por el medidor E1) sea igual al voltaje nominal de esos arrollamientos.

Nota: Los valores nominales de voltaje y corriente de los arrollamientos del Motor de inducción jaula de ardilla de cuatro polos están indicados en el panel frontal del módulo.

¿Encuentra usted que el motor de inducción jaula de ardilla arranca inmediatamente y que gira normalmente?

☒ Sí ☐ No

- ☐ 7. Inicie la aplicación Analizador de Fasores y elija el fasor de voltaje E1 como fasor de referencia. Luego seleccione las sensibilidades apropiadas para observar el fasor de voltaje E1 y los fasores de corrientes I1, I2 e I3. Estos fasores representan el voltaje de línea a neutro de la fuente c.a. y las corrientes de línea en el motor de inducción jaula de ardilla trifásico.

Los fasores I1, I2 e I3, ¿tienen igual magnitud y están separados por un ángulo de fase de 120° , mostrando de esta manera que ellos crean un campo magnético giratorio normal?

☒ Sí ☐ No



Motores de inducción monofásicos

- ☐ 8. Apague la Fuente de alimentación.

Abra el circuito en el punto A de la Figura 4-26. Asegúrese de que la entrada VOLTAJE E1 del módulo DAI permanezca conectada a la fuente c.a.

- ☐ 9. Encienda la Fuente de alimentación.

¿Encuentra usted que el motor de inducción jaula de ardilla arranca inmediatamente y que gira normalmente?

☐ Sí ☐ No

En la aplicación Analizador de Fasores, observe los fasores de corriente I2 e I3. ¿Hay un desfasaje entre ambos fasores para crear un campo magnético giratorio?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 10. Apague la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda.

Abra el circuito en el punto B de la Figura 4-26.

- ☐ 11. Encienda la Fuente de alimentación, coloque la perilla de control de voltaje en alrededor del 50% y espere aproximadamente 5 segundos. Luego, apague la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda.

¿Encuentra usted que el motor de inducción jaula de ardilla arranca inmediatamente y que gira normalmente?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 12. Utilice el módulo Carga capacitiva para conectar un condensador en el circuito del motor, como lo muestra la Figura 4-27. Ajuste la capacitancia de dicho condensador con el valor indicado en la misma figura.



Motores de inducción monofásicos

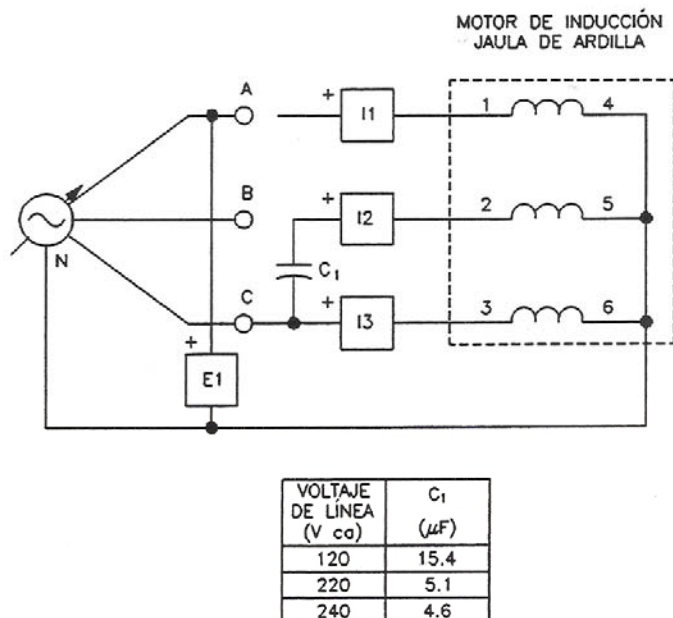


Figura 4-27. Adición de un condensador en el circuito del motor.

- ☐ 13. Encienda la Fuente de alimentación y gire lentamente la perilla de control de voltaje hasta 100%. Mientras aumenta el voltaje, observe los fasores I2 e I3 en la aplicación Analizador de Fasores.

¿Encuentra usted que el motor de inducción jaula de ardilla comienza a girar? Explique brevemente la causa.

- ☐ 14. En el módulo Carga capacitiva, abra los interruptores para desconectar el condensador del circuito del motor y corte la corriente de uno de los dos arrollamientos del motor de inducción jaula de ardilla.

¿Encuentra usted que el motor continúa girando, lo que demuestra que una vez que arrancó puede seguir funcionando con una alimentación monofásica?

☐ Sí ☐ No

Apague la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda.



Motores de inducción monofásicos

Funcionamiento de un motor de inducción monofásico (del tipo con arranque por condensador)

- ☐ 15. Quite todos los conductores, con excepción del cable de alimentación 24 V CA. Luego monte el circuito del motor con arranque por condensador de la Figura 4-28.

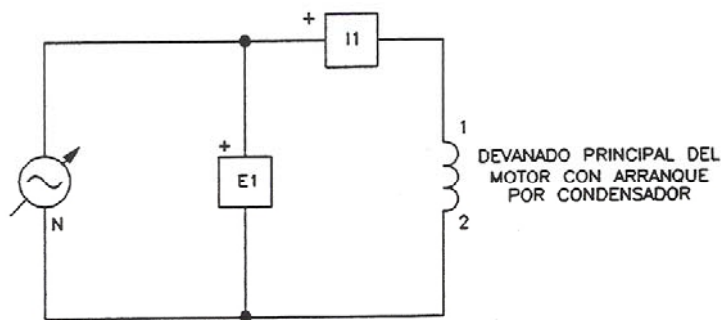


Figura 4-28. Circuito del motor con arranque por condensador.

- ☐ 16. Encienda la Fuente de alimentación y coloque la perilla de control de voltaje alrededor del 10%.

En la aplicación Analizador de Fasores, seleccione las sensibilidades apropiadas para observar los fasores de voltaje E1 y de corriente I1. Note que el fasor I1 (corriente del arrollamiento principal) atrasa el fasor E1 (voltaje de la fuente).

En la Fuente de alimentación, ajuste la perilla de control de voltaje en la posición 50%.

¿Encuentra usted que el motor con arranque por condensador comienza a girar?

☐ Sí ☐ No

- ☐ 17. Apague la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda.

Conecte el devanado auxiliar del módulo Motor con arranque por condensador, como lo muestra la Figura 4-29.



Motores de inducción monofásicos

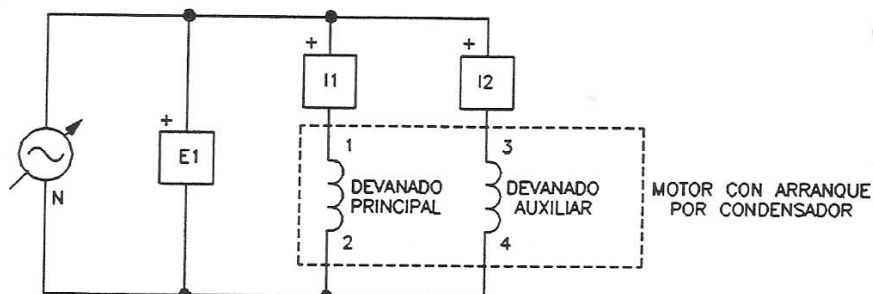


Figura 4-29. Conexión del devanado auxiliar al circuito del motor con arranque por condensador.

- ☐ 18. Encienda la Fuente de alimentación y gire lentamente la perilla de control de voltaje hasta alrededor del 10%.

En la aplicación Analizador de Fasores, observe los fasores de corriente I1 e I2.

El desfase del fasor I2 (corriente en el devanado auxiliar) con respecto al fasor E1, ¿es menor que el desfase del fasor I1 (corriente del arrollamiento principal) con respecto al mismo fasor E1, confirmando de esta manera que la impedancia del devanado auxiliar es más resistiva y menos inductiva cuando el motor está arrancando?

☐ Sí ☐ No

El desfase entre los fasores de corriente I1 e I2, ¿es menor que 90°?

☐ Sí ☐ No

En la Fuente de alimentación, ajuste la perilla de control de voltaje en la posición 50%.

¿Encuentra usted que el motor con arranque por condensador comienza a girar?

☐ Sí ☐ No

Nota: Mientras se lleva a cabo esta etapa se puede exceder la corriente nominal del devanado auxiliar del Motor con arranque por condensador. Por lo tanto, se aconseja completarla dentro de un intervalo lo más corto posible.

No obstante, si el disyuntor del Motor con arranque por condensador se desengancha, apague la Fuente de alimentación, reponga el disyuntor, encienda nuevamente la fuente y continúe la práctica.



Motores de inducción monofásicos

- ☐ 19. Apague la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda.

Modifique el circuito del motor conectando el condensador del módulo Motor con arranque por condensador en serie con el devanado auxiliar, como lo ilustra la Figura 4-30.

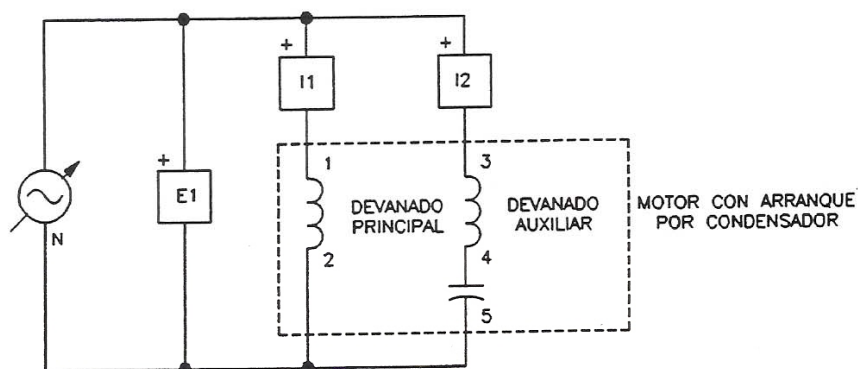


Figura 4-30. Conexión de un condensador en serie con el devanado auxiliar.

- ☐ 20. Encienda la Fuente de alimentación y gire lentamente la perilla de control de voltaje hasta alrededor del 10%.

En la aplicación Analizador de Fasores, observe los fasores de corriente I1 e I2.

La conexión de un condensador en serie con el devanado auxiliar, ¿crea un desfase de aproximadamente 90° entre los fasores de corriente I1 e I2?

☐ Sí ☐ No

En la Fuente de alimentación, gire lentamente la perilla de control de voltaje hasta la posición 50%.

¿Encuentra usted que el motor con arranque por condensador comienza a girar?

☐ Sí ☐ No

Deje funcionar el motor durante unos minutos mientras observa los fasores de corriente I1 e I2 en la aplicación Analizador de Fasores.

Describa qué sucede.



Motores de inducción monofásicos

- ☐ 21. Apague la Fuente de alimentación y gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda.

En el módulo Motor con arranque por condensador, reponga el disyuntor que se desenganchó.

Modifique el circuito del motor conectando el interruptor centrífugo del módulo Motor con arranque por condensador en serie con el devanado auxiliar y con el condensador, como lo ilustra la Figura 4-31.

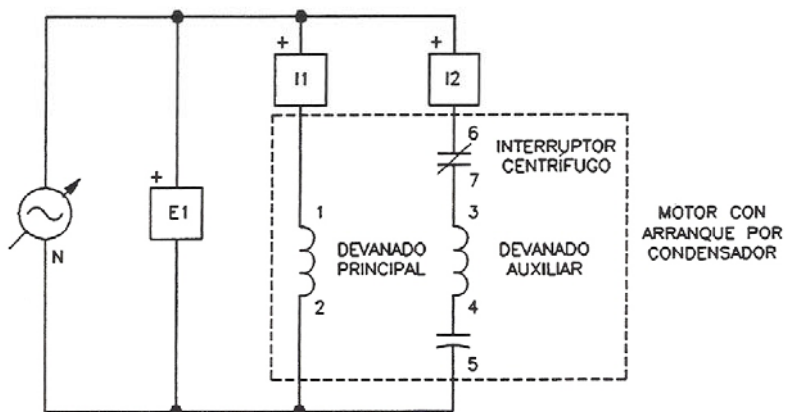


Figura 4-31. Conexión de un interruptor centrífugo en serie con el devanado auxiliar y con el condensador.

- ☐ 22. Encienda la Fuente de alimentación y gire lentamente la perilla de control de voltaje hasta 100%. Mientras aumenta el voltaje, observe los fasores I1 e I2 en la aplicación Analizador de Fasores.

¿Encuentra usted que el motor con arranque por condensador comienza a girar?

☐ Sí ☐ No

Explique brevemente por qué el fasor I2 (corriente del devanado auxiliar) desaparece poco después que el motor comenzó a girar.

- ☐ 23. Gire la perilla de control de voltaje completamente hacia la izquierda y apague la Fuente de alimentación. Coloque el interruptor 24 V - CA de la fuente en la posición O (apagado) y desconecte todos los cables.



Motores de inducción monofásicos

CONCLUSIÓN

En este ejercicio usted ha observado que un motor de inducción jaula de ardilla trifásico arranca y funciona casi normalmente, cuando se lo alimenta con sólo dos de las tres fases de la fuente c.a. trifásica, porque se mantiene un campo magnético giratorio. Sin embargo, ha visto que cuando se conecta una sola fase al motor, éste no es capaz de comenzar a rotar dado que no se crea ningún campo magnético giratorio. Además, usted ha demostrado que la adición de un devanado auxiliar y de un condensador al motor de inducción, le permite arrancar y funcionar normalmente cuando se encuentra alimentado por una fuente c.a. monofásica. También vio que esto último produce dos corrientes (la del arrollamiento principal y la del devanado auxiliar) que están desfasadas casi 90° y que crean el campo magnético giratorio necesario durante el arranque del motor. Finalmente, ha podido observar que se emplea un interruptor centrífugo para desconectar el devanado auxiliar, una vez que el motor de inducción monofásico alcanza suficiente velocidad para mantener el campo magnético giratorio.

PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Cuando un motor de inducción jaula de ardilla trifásico está conectado a sólo dos fases, dicho motor
 - a. funciona casi normalmente.
 - b. rota en sentido opuesto.
 - c. no arranca.
 - d. afecta la cantidad de potencia reactiva que suministra.
2. Cuando un motor de inducción jaula de ardilla trifásico está conectado a sólo una fase, dicho motor
 - a. funciona casi normalmente.
 - b. rota en sentido opuesto.
 - c. no arranca.
 - d. afecta la cantidad de potencia reactiva que suministra.
3. A un motor de inducción monofásico se le adiciona un devanado auxiliar y un condensador para ayudarlo
 - a. a arrancar.
 - b. a aumentar el par de arranque.
 - c. a producir un desfase entre las corrientes de los arrollamientos.
 - d. Todas las anteriores.



Motores de inducción monofásicos

4. Los motores de inducción monofásicos del tipo con arranque por condensador utilizan un interruptor centrífugo para
 - a. adicionar un devanado auxiliar y un condensador al circuito del motor.
 - b. quitar un devanado auxiliar y un condensador del circuito del motor.
 - c. adicionar resistencia sólo en el circuito de arranque.
 - d. quitar resistencia sólo del circuito de arranque.

5. El devanado auxiliar tiene pocas espiras y alambre fino. Por lo tanto tiene
 - a. baja resistencia y alta inductancia.
 - b. baja resistencia y baja inductancia.
 - c. alta resistencia y alta inductancia.
 - d. alta resistencia y baja inductancia.