

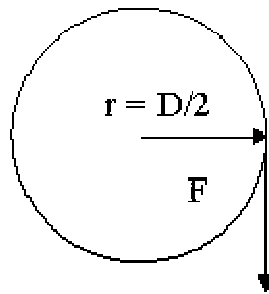
ARRANQUE DE LOS MOTORES ASINCRONOS TRIFASICOS

Durante la puesta en tensión de un motor, la corriente solicitada es considerable y puede provocar una caída de tensión que afecte al funcionamiento de los receptores, especialmente en caso de insuficiencia de la sección de la línea de alimentación. En ocasiones, la caída puede llegar a ser perceptible en los aparatos de alumbrado. Para poner remedio a estos inconvenientes, ciertos reglamentos sectoriales prohíben el uso de motores de arranque directo que superen cierta potencia. Otros se limitan a imponer la relación entre corriente de arranque y la nominal en base a la potencia de los motores. Los motores de jaula son los únicos que pueden acoplarse directamente a la red por medio de un equipo simple.

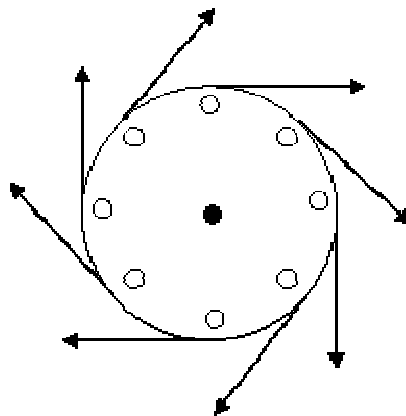
Tan solo las extremidades de los devanados del estator sobresalen de la placa de bornas. Dado que el fabricante determina de forma definitiva las características del rotor, los distintos procesos de arranque consisten principalmente en hacer variar la tensión en las bornas del estator. En este tipo de motores, cuya frecuencia es constante, la reducción de la punta de corriente conlleva de manera automática una fuerte reducción del par.



PAR MOTOR



Se denomina momento o par de fuerza, al producto de la fuerza por el brazo de palanca sobre el que actúa. Se expresa en mKg. ($M = F \cdot D / 2 = \text{Kg}$).



El par es proporcional al flujo y a la intensidad.

La suma de todos los pares constituye el momento de rotación resultante de la máquina, llamado también par motor.

El par de arranque o momento de rotación del motor depende de la conexión a la red. Si se conecta directamente a la tensión de alimentación, el par es elevado, pero también lo es la intensidad absorbida, siendo entonces necesario emplear algún procedimiento para reducir la intensidad que absorbe el motor en ese instante.

El motor de arranque debe producir un par de valor suficiente como para vencer la resistencia que ofrecen los mecanismos propios y las cargas que vayan aplicadas al eje del motor. Además, este par debe ser mayor en cada instante al par resistente para obtener un par acelerador.

INSTITUTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA ANTONIO JOSE CAVANILLES
FAMILIA ELECTRICIDAD ELECTRONICA
SISTEMAS DE ARRANQUE DE MOTORES

El hecho de que el par dependa de la corriente absorbida trae malas consecuencias para el arranque. Generalmente, se precisan fuertes pares de arranque y, en consecuencia, la corriente absorbida supera los valores límite de las compañías suministradoras de energía y del Reglamento de Baja Tensión, el cual fija los valores de la relación entre la corriente máxima y la nominal del motor. Son los siguientes:

MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA		MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA	
Potencia nominal del motor	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga	Potencia nominal del motor	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga
De 0,75 kW a 1,5 kW	2,5	De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 5 kW	2,0	De 1,5 kW a 5 kW	3,0
De mas de 5 kW	1,5	De 5,0 kW a 15 kW	2,0
		De mas de 15,0 kW	1,5

Disminuir los valores de la intensidad equivale a un descenso muy acusado en el par.

Para evitar este problema se recurre a diversos procedimientos que tienen por objeto arrancar el motor con un par máximo sin superar una corriente determinada.

En los motores de poca potencia disminuye rápidamente al aumentar la velocidad. En motores de gran potencia, disminuye lentamente al principio, y al final del proceso de arranque cayendo bruscamente.

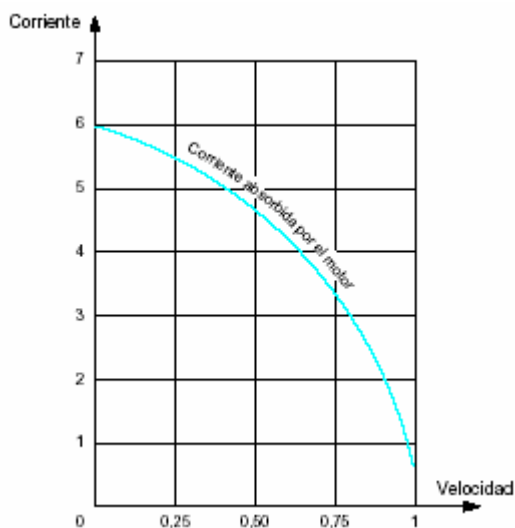
En cuanto al deslizamiento si aumenta, la velocidad, la I_n disminuye y al disminuir, también lo hace el par.

La frecuencia depende directamente del deslizamiento, y si este aumenta también lo hace la frecuencia, por lo que si al aumentar el deslizamiento la I_n disminuía si aumenta la frecuencia, también lo hará, y en consecuencia el par disminuye.

ARRANQUE DIRECTO.

Se trata del modo de arranque más sencillo en el que el estator se acopla directamente a la red. El motor se basa en sus características naturales para arrancar.

$I_{\text{arranque}} = 5 \text{ a } 8 I_{\text{nominal}}$.



Curva de corriente/velocidad en el arranque directo

A pesar de las ventajas que conlleva (sencillez del equipo, elevado par de arranque, arranque rápido, bajo coste), solo es posible utilizar el arranque directo en los siguientes casos:

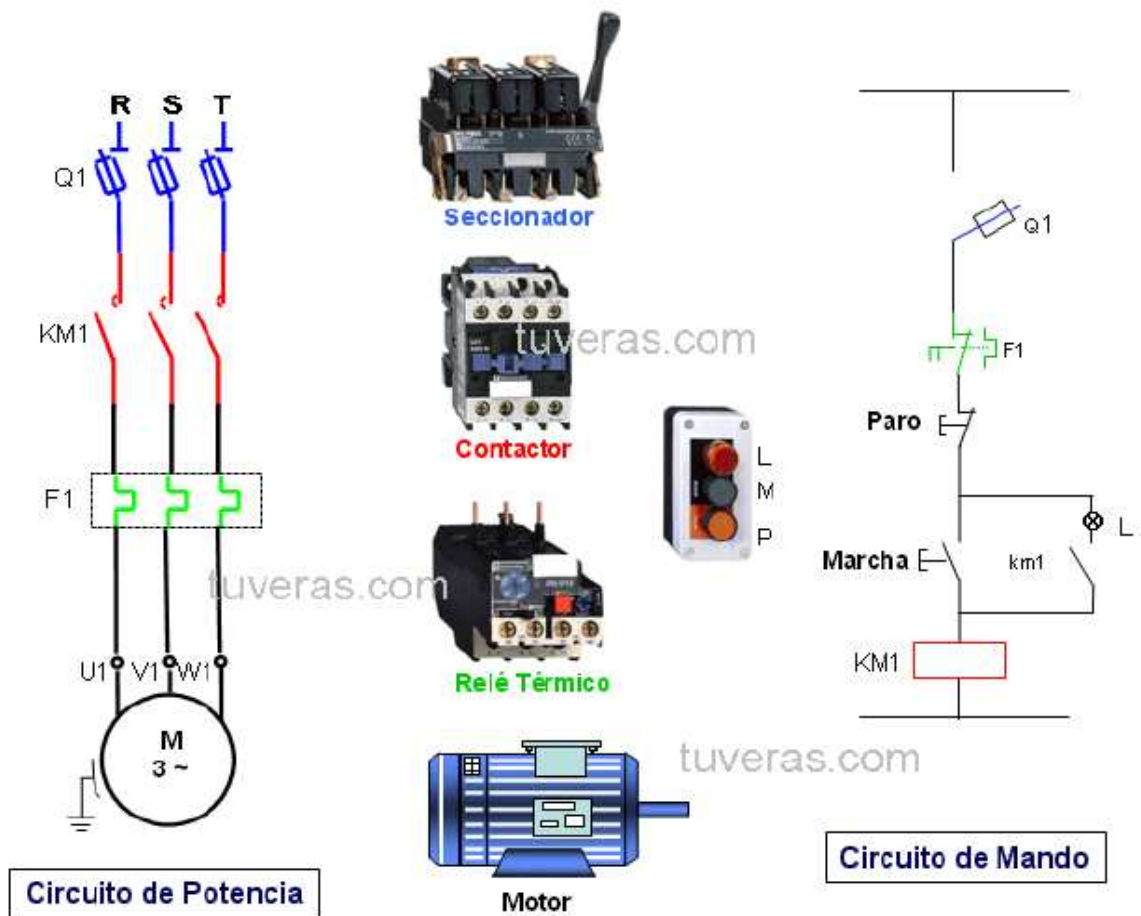
- La potencia del motor es débil con respecto a la de la red, para limitar las perturbaciones que provoca la corriente solicitada.
- La máquina accionada no requiere un aumento progresivo de velocidad y dispone de un dispositivo mecánico (un reductor) que impide el arranque brusco.
- El par de arranque debe ser elevado.

Por el contrario, siempre que:

- La caída de tensión provocada por la corriente solicitada pueda perturbar el buen funcionamiento de otros aparatos conectados a la misma línea
- La máquina accionada no pueda admitir sacudidas mecánicas.
- La seguridad o la comodidad de los usuarios se vea comprometida (ejem. En el caso de escaleras mecánicas).

Será imprescindible recurrir a una artimaña para disminuir la corriente solicitada o el par de arranque. En estos casos el medio más utilizado consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida.

INSTITUTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA ANTONIO JOSE CAVANILLES
FAMILIA ELECTRICIDAD ELECTRONICA
SISTEMAS DE ARRANQUE DE MOTORES



ARRANQUE ESTRELLA-TRIANGULO.

Solo es posible utilizar este modo de arranque en motores en los que las dos extremidades de cada uno de los tres devanados estatoricos vuelvan a la placa de bornas. Por otra parte el bobinado debe realizarse de manera que el acoplamiento en triangulo corresponda con la tensión de la red.

El principio consiste en arrancar en motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de la red, lo que equivale a dividir la tensión nominal del motor en estrella por $\sqrt{3}$.

La punta de corriente durante el arranque se divide por 3

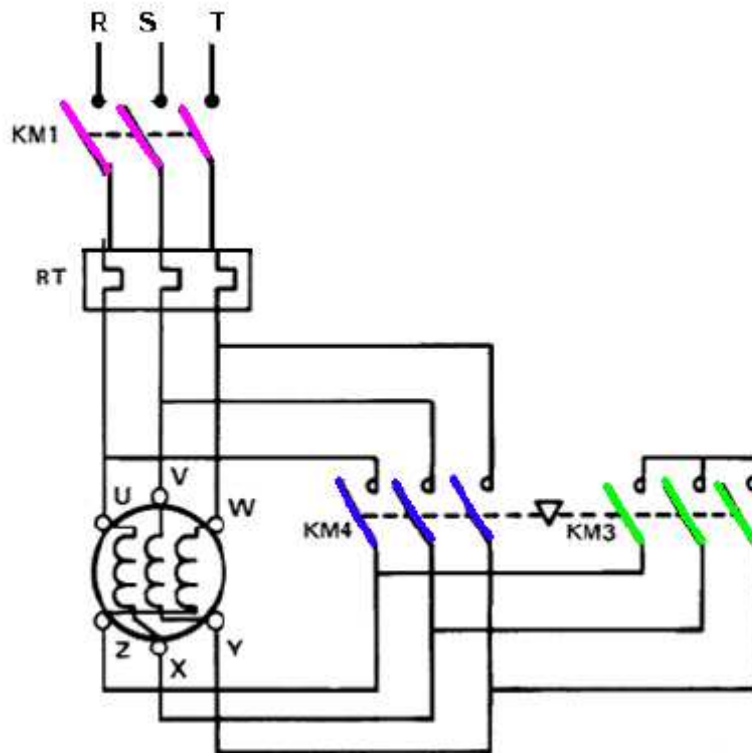
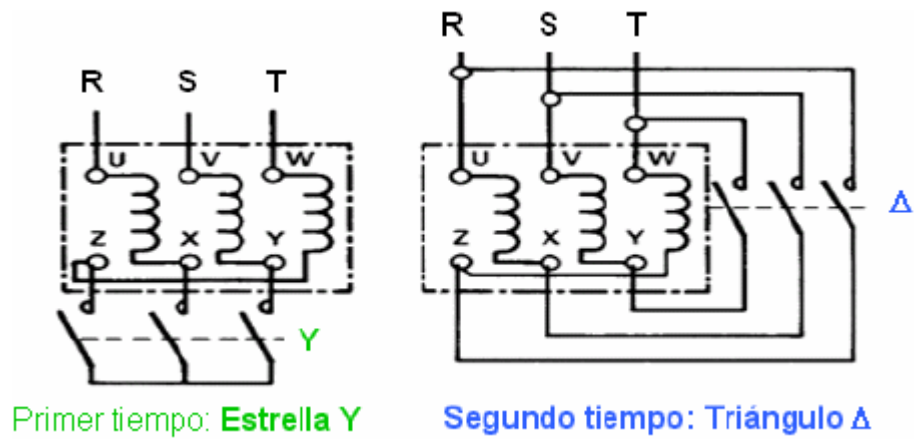
$$I_d = 1,5 \text{ a } 2,6 I_n$$

El par de arranque se divide igualmente por 3, ya que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación.

La velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y 85% de la velocidad nominal. En ese momento los devanados se acoplan en triangulo y el motor rinde según sus características naturales.

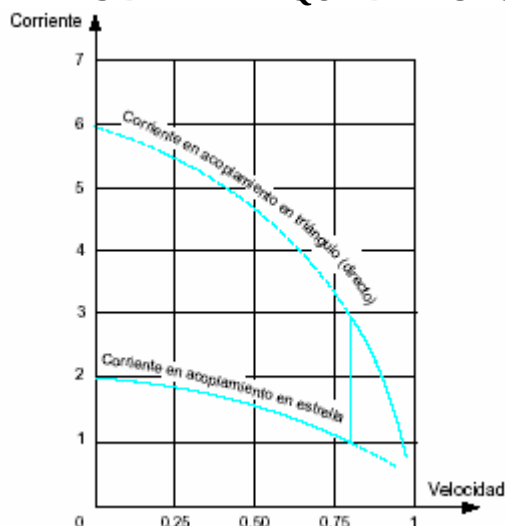
El arranque estrella-triangulo es apropiado para maquinas cuyo par resistente es débil o que arrancan en vacio.

INSTITUTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA ANTONIO JOSE CAVANILLES
FAMILIA ELECTRICIDAD ELECTRONICA
SISTEMAS DE ARRANQUE DE MOTORES



ARRANQUE ESTRELLA-TRIANGULO

INSTITUTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA ANTONIO JOSE CAVANILLES
FAMILIA ELECTRICIDAD ELECTRONICA
SISTEMAS DE ARRANQUE DE MOTORES



Curvas de corriente/velocidad del arranque estrella-triángulo

ARRANQUE ESTATORICO POR RESISTENCIAS

El principio consiste en arrancar el motor bajo tensión reducida mediante la inserción de resistencias en serie con los devanados.

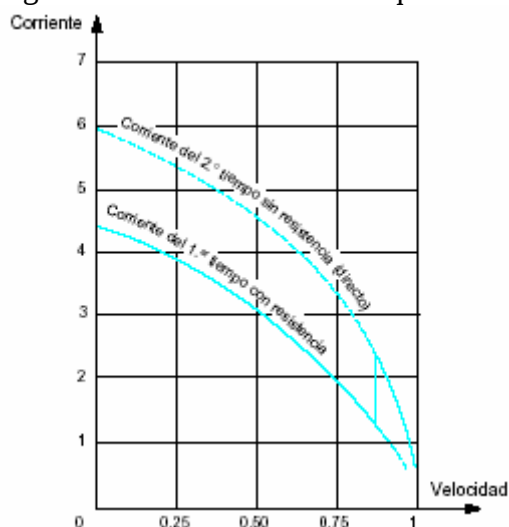
Una vez estabilizada la velocidad, las resistencias se eliminan y el motor se acopla directamente a la red.

El valor de la resistencia se calcula en base a la punta de corriente que no se debe superar durante el arranque, o al valor mínimo del par de arranque necesario teniendo en cuenta el par resistente de la maquina accionada. Generalmente los valores de corriente y de par de arranque son:

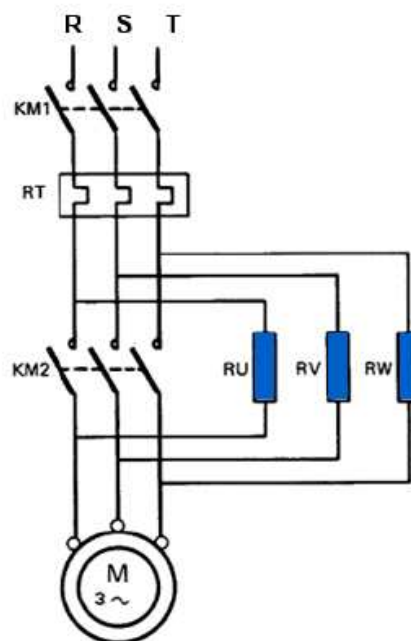
$$I_d = 4,5 I_n$$

$$C_d = 0,75 C_n$$

Durante la fase de aceleración con las resistencias, la tensión que se aplica a las bornas del motor no es constante. Equivale a la tensión de la red menos la caída de tensión que tiene lugar en la resistencia de arranque.



Curvas de corriente/velocidad del arranque estatorico por resistencias

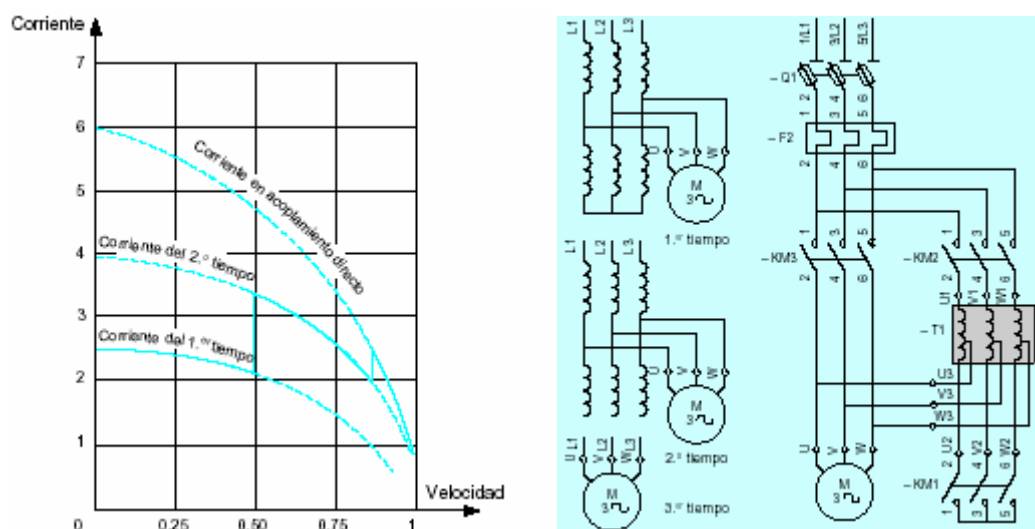


ARRANQUE POR AUTOTRANSFORMADOR

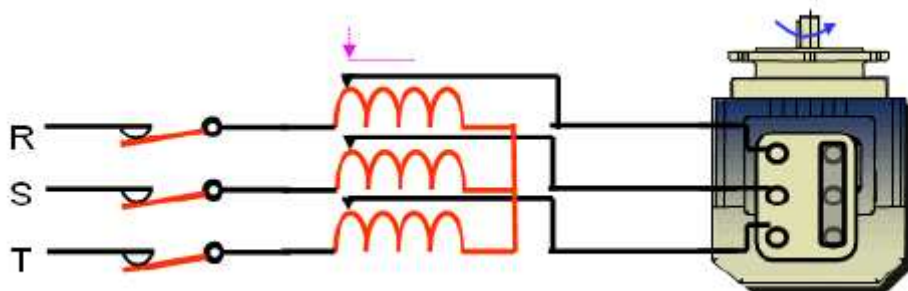
El motor se alimenta a tensión reducida mediante un auto transformador que, una vez finalizado el arranque queda fuera de servicio.

El auto transformador empieza por acoplarse en estrella y a continuación el motor se acopla a la red a través de una parte de los devanados del auto transformador. El arranque se lleva a cabo a una tensión reducida que se calcula en función de la relación

Este modo de arranque suele utilizarse en los motores con potencia superior a 100 kW. Sin embargo, el precio de los equipos es relativamente alto debido al elevado coste del autotransformador.



Curvas de corriente/velocidad del arranque por autotransformador



ARRANQUE ELECTRONICO

La alimentación del motor durante la puesta en tensión se realiza mediante una subida progresiva de la tensión, lo que posibilita un arranque sin sacudidas y reduce la punta de corriente. Para obtener este resultado, se utiliza un graduador de tiristores montados en posición de 2 por 2 en cada fase de la red.

La subida progresiva de la tensión de salida puede controlarse por medio de una rampa de aceleración, que depende del valor de la corriente de limitación.

Se garantiza:

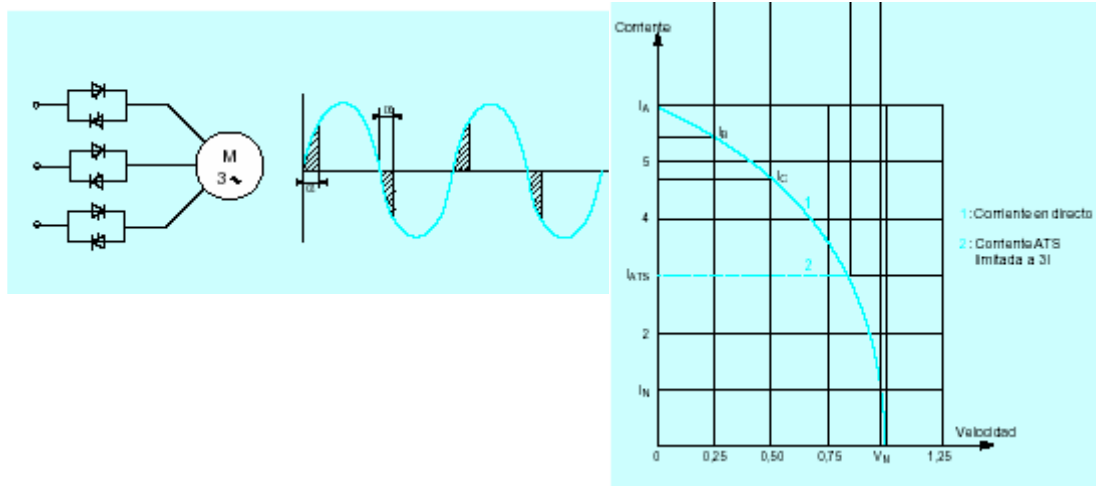
El control de las características de funcionamiento, principalmente durante los periodos de arranque y parada.

La protección térmica del motor y del arrancador.

La protección mecánica de la maquina accionada, mediante la supresión de sacudidas de par y la reducción de la corriente solicitada.

$I_d = 2 \text{ a } 5 I_n$

$C_d = 0,1 \text{ y } 0,7$ el par de arranque en directo.



Curva de corriente/velocidad del arranque electrónico

ARRANQUE ROTORICO POR RESISTENCIAS DE LOS MOTORES DE ANILLOS.

Un motor de anillos no puede arrancar en directo (devanados rotoricos cortocircuitados) sin provocar puntas de corriente inadmisibles.

Es necesario insertar en el circuito rotorico resistencias que se cortocircuiten progresivamente, al tiempo que se alimenta el estator a toda la tensión de red.

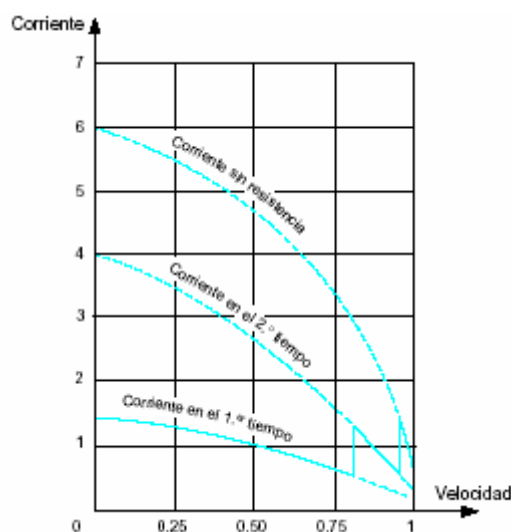
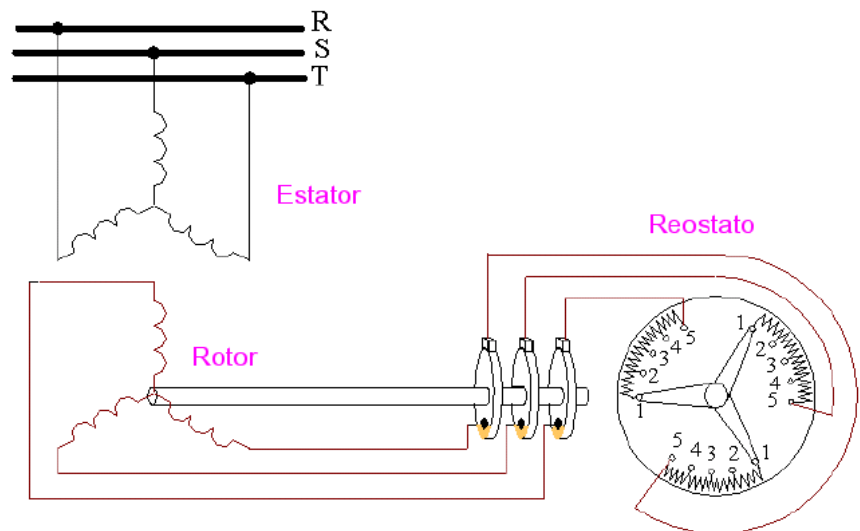
El calculo de la resistencia insertada en cada fase permite determinar la curva par-velocidad.

La velocidad es menor cuanto mayor sea la resistencia.

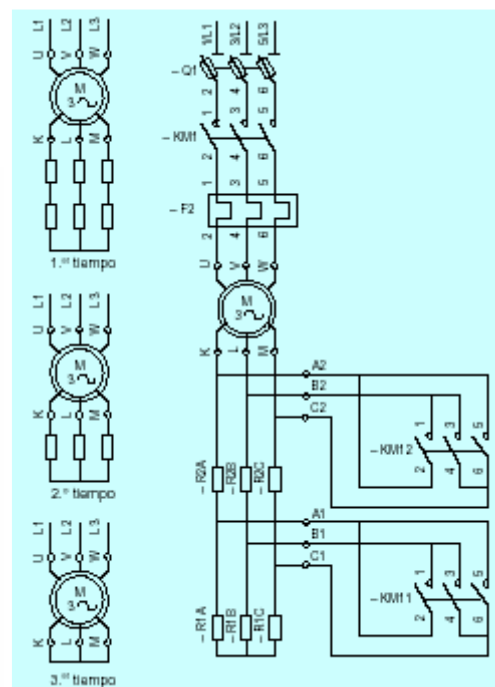
La resistencia debe insertarse por completo en el momento del arranque y la plena velocidad se alcanza cuando la resistencia esta cortocircuitada.

El motor de anillos con arranque rotorico se impone, por tanto en todos los casos en los que las puntas de corriente deben de ser débiles y cuando las maquinas deben arrancar a plena carga.

Arranque manual:



Curva de corriente/velocidad del arranque rotorico



INSTITUTO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA ANTONIO JOSE CAVANILLES
FAMILIA ELECTRICIDAD ELECTRONICA
SISTEMAS DE ARRANQUE DE MOTORES

	Motores de jaula de ardilla					Motores de anillos rozantes
	Arranque directo	Arranque estrella-triángulo	Arranque part-winding	Arranque por resistencias estatóricas	Arranque con autotransformador	Arranque por resistencias rotóricas
Intensidad de arranque	De 4 a 8 In	1,3 a 2,6 In	De 2 a 4 In	4,5 In	1,7 a 4 In	< 2,5 In
Par de arranque	0,6 a 1,5 Mn	0,2 a 0,5 Mn	0,3 a 0,75 Mn	0,6 a 0,85 Mn	0,4 a 0,85 Mn	< 2,5 Mn
Ventajas	Motor de jaula de ardilla económico y robusto					
	- Arrancador simple. - Par de arranque importante.	- Arrancador relativamente barato. - Buena relación par/intensidad.	- Arranque simple. - Par de arranque más elevado que en Y-Δ. - No hay corte de alimentación durante el arranque	- Posibilidad de regulación de los valores de arranque. - No hay corte de alimentación durante el arranque.	- Buena relación par/intensidad. - Posibilidad de regulación de los valores de arranque. - No hay corte de alimentación durante el arranque	- Muy buena relación par/intensidad. - Posibilidad de regulación de los valores de arranque. - No hay corte de la alimentación en el arranque.
Inconvenientes	- Punta de intensidad muy importante. - Asegurarse que la red admite esta punta. - No permite un arranque lento y progresivo.	- Poco par de arranque. - No hay posibilidad de regulación. - Corte de la alimentación en la conmutación de Y a Δ y fenómenos transitorios. - Conexión final en triángulo para Un.	- No hay posibilidad de regulación. - Motor especial.	- Pequeña reducción de la punta de arranque. - Necesita resistencias.	- Necesita un autotransformador costoso.	- Motor de anillos más costoso. - Necesita resistencias.
Duración del arranque	2 a 3 seg.	3 a 7 seg.	3 a 6 seg.	7 a 12 seg.	7 a 12 seg.	3 tiempos 2,5 seg. 4 a 5 tiempos 5 seg.
Aplicaciones	- Pequeñas máquinas arrancando a plana carga.	- Máquinas arrancando en vacío. - Ventiladores y bombas centrífugas de pequeña potencia.	- Máquinas arrancando en vacío o débil carga. - Usual en compresores para grupos de climatización.	- Máquinas de fuerte inercia sin problemas particulares de par y de intensidad en el arranque.	- Máquinas de gran potencia o de fuerte inercia en los casos donde la reducción de la punta de intensidad es un criterio importante.	- Máquinas de arranque en carga, progresivo, etc.
Curva intensidad/velocidad						
Curva par/velocidad						

MOTORES ASINCRONOS MONOFASICOS

Modos de arranque

Los motores monofásicos no pueden arrancar solos. Por tanto, se emplean diferentes técnicas para su arranque.

Arranque por fase auxiliar

En este tipo de motores, el estator consta de dos devanados con un decalado geométrico de 90°. Durante la puesta en tensión, y debido a las diferencias de fabricación de los bobinados, una corriente I_1 atraviesa la fase principal y una corriente más débil I_2 circula por la fase auxiliar con cierta diferencia de tiempo respecto de I_1 . Dado que los campos están generados por dos corrientes desfasadas entre sí, el campo giratorio resultante es suficiente para provocar el arranque en vacío del motor.

Cuando el motor alcanza aproximadamente el 80% de su velocidad, es posible retirar del servicio (acoplador centrífugo) la fase auxiliar o bien mantenerla. De este modo, el estator del motor está transformado en el momento del arranque o permanentemente, como estator bifásico. Para invertir el sentido de rotación, basta con invertir las conexiones de una fase. Dado que el par que se obtiene durante el arranque es débil, conviene aumentar el decalado entre los dos campos que producen los bobinados. Para ello, se emplean los siguientes procedimientos de arranque:

- Arranque por fase auxiliar y resistencia

Una resistencia situada en serie en la fase auxiliar aumenta tanto su impedancia como la diferencia de tiempo entre I_1 y I_2 .

Al finalizar el arranque, el funcionamiento es idéntico al del método de fase auxiliar.

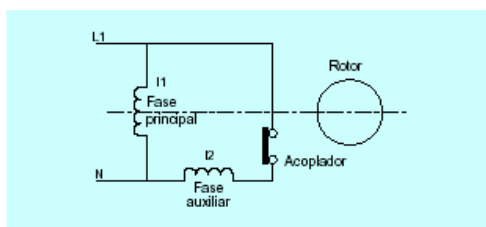
- Arranque por fase auxiliar e inductancia

Se utiliza el principio anterior, pero la resistencia se sustituye por una inductancia montada en serie en la fase auxiliar para aumentar la diferencia entre las dos corrientes.

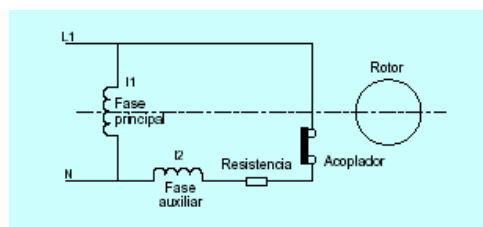
- Arranque por fase auxiliar y condensador

Es el dispositivo más utilizado. Consiste en situar un condensador en la fase auxiliar.

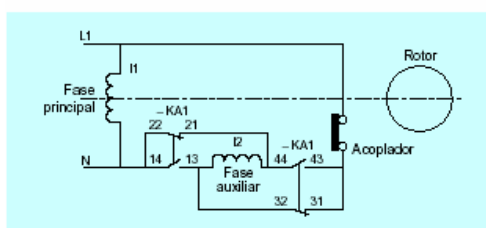
El condensador provoca un desfase inverso al de una inductancia. Por tanto, el funcionamiento durante el período de arranque y la marcha normal es muy similar al de un motor bifásico de campo giratorio. Por otra parte, tanto el par como el factor de potencia son más importantes. Una vez arrancado el motor, es necesario mantener el desfase entre ambas corrientes, pero es posible reducir la capacidad del condensador, ya que la impedancia del estator ha aumentado.



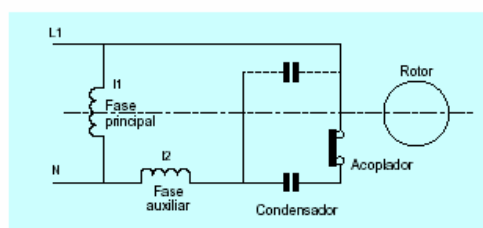
Arranque por fase auxiliar



Arranque por fase auxiliar y resistencia



Dispositivo de inversión de conexiones de la fase auxiliar



Arranque por fase auxiliar y condensador