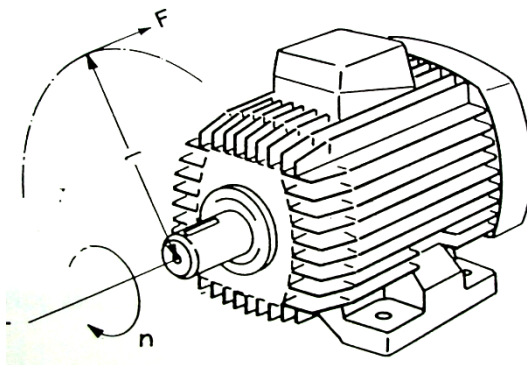
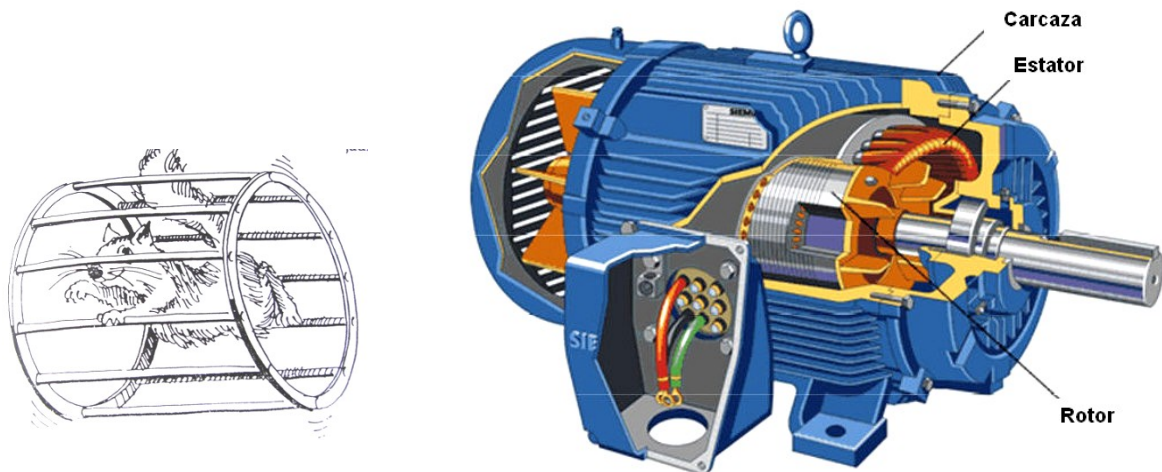


MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA.



*Sistemas Automáticos de
Producción Alimentaria*

I.E.S. ANDRÉS DE VANDELVIRA

DEPARTAMENTO DE SAP ©J. Garrigós

[Noviembre 2011]

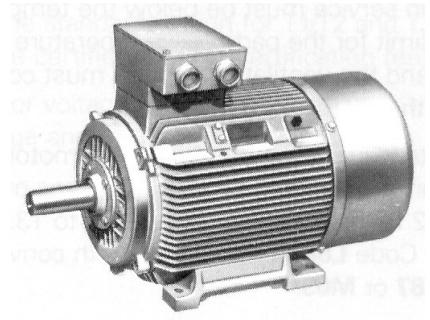


ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS ASÍNCRONAS DE INDUCCIÓN	2
2. MOTORES DE ROTOR DE JAULA DE ARDILLA.....	4
3. MOTORES DE ROTOR DE ANILLOS ROZANTES	5
4. CONEXIÓN DE LOS BOBINADOS DE UN MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO.....	6
5. PLACA DE CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR TRIFÁSICO.....	8
6. SISTEMAS DE ARRANQUE DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS	10
6.1. MOTOR TRIFÁSICO EN ARRANQUE DIRECTO	10
6.2. ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO DE UN MOTOR TRIFÁSICO	11
6.3. ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE ROTOR BOBINADO	14
6.4. ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO POR AUTOTRANSFORMADOR.	15
6.5. ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO POR RESISTENCIAS ESTATÓRICAS.	16
7. CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES ASÍNCRONOS.	17
7.1. CONTROL DE VELOCIDAD MEDIANTE EL CAMBIO DEL NÚMERO DE POLOS DE LA MÁQUINA.....	18
7.2. CONTROL DE VELOCIDAD POR CAMBIO DE FRECUENCIA.....	18
7.3. CONTROL DE VELOCIDAD POR MODIFICACIÓN DEL DESLIZAMIENTO	20
8.BALANCE DE POTENCIAS EN UN MOTOR ASÍNCRONO	20
9.CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR ASÍNCRONO.	22
10.MOTOR MONOFÁSICO DE FASE PARTIDA.....	23

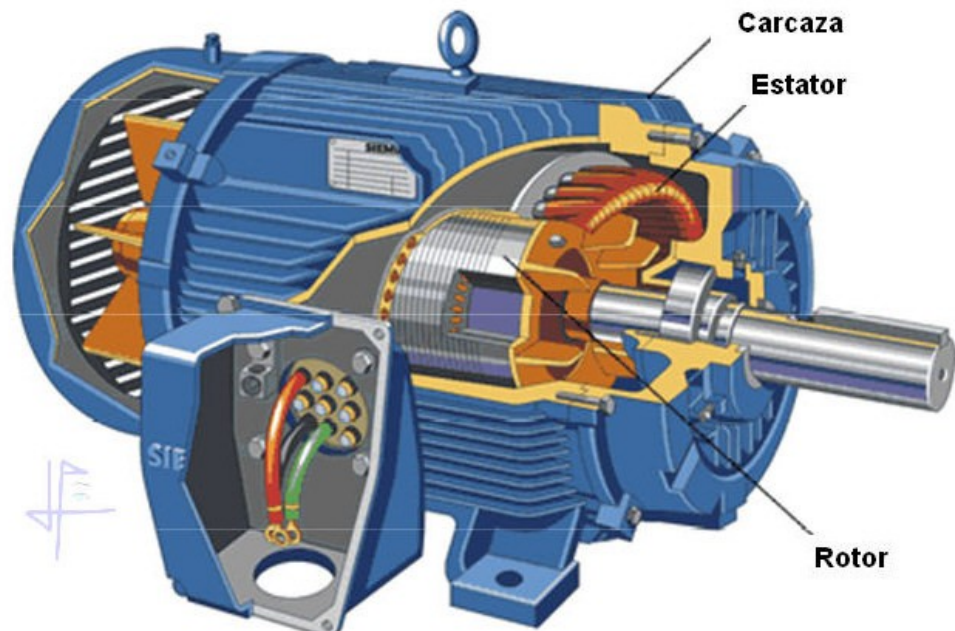
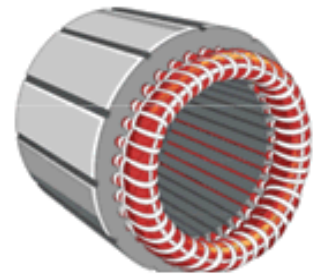
1. INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS ASÍNCRONAS DE INDUCCIÓN

Dado que la mayoría de las máquinas utilizadas en la industria están movidas por motores asíncronos alimentados por corriente alterna trifásica, en este apartado daremos unas ideas muy generales y básicas de este tipo de motores.



Como toda máquina eléctrica, los motores asíncronos constan de dos partes fundamentales y distintas:

- **El estator.-** Es la parte fija del motor. Está constituido por una carcasa en la que está fijada una corona de chapas de acero al silicio provistas de unas ranuras. Los bobinados de sección apropiada están dispuestos en dichas ranuras formando las bobinas que se dispondrán en tantos circuitos como fases tenga la red a la que se conectará la máquina.
- **El rotor.-** Es la parte móvil del motor. Esta situado en el interior del estator y consiste en un núcleo de chapas de acero al silicio apiladas que forman un cilindro, en el interior del cual se dispone un bobinado eléctrico. Los tipos más utilizados son
 - **Rotor de jaula de ardilla**
 - **Rotor bobinado.**



A este tipo de motores se les denomina motores de inducción debido a que su funcionamiento se basa en la interacción de campos magnéticos producidos por corrientes eléctricas. En el caso de los motores a los que hace referencia estas notas, las corrientes que circulan por el rotor son producidas por el fenómeno de inducción electromagnética, conocido comúnmente como ley de Faraday, que establece que si una

espira es atravesada por un campo magnético variable en el tiempo se establece entre sus extremos una diferencia de potencial dado por la expresión:

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

de donde:

e = Diferencia de potencial inducida en la espira en voltios

Φ = Flujo que corta a la espira en Weber

t = Tiempo en segundos

El signo menos de la ecuación es una expresión de la ley de Lenz. Esta establece que la polaridad del voltaje inducido en la bobina es tal que si sus extremos se pusieran en cortocircuito, produciría una corriente que causaría un flujo para oponerse al cambio de flujo original. Puesto que el voltaje inducido se opone al cambio que lo causa, se incluye el signo menos en la ecuación.

Si se distribuye espacialmente alrededor del estator de un motor los bobinados de un sistema de tensiones trifásicos decaídas 120° se genera un campo magnético giratorio (ya estudiado en el primer trimestre). La velocidad de giro de este campo magnético, denominada **velocidad de sincronismo**, viene dada por la expresión:

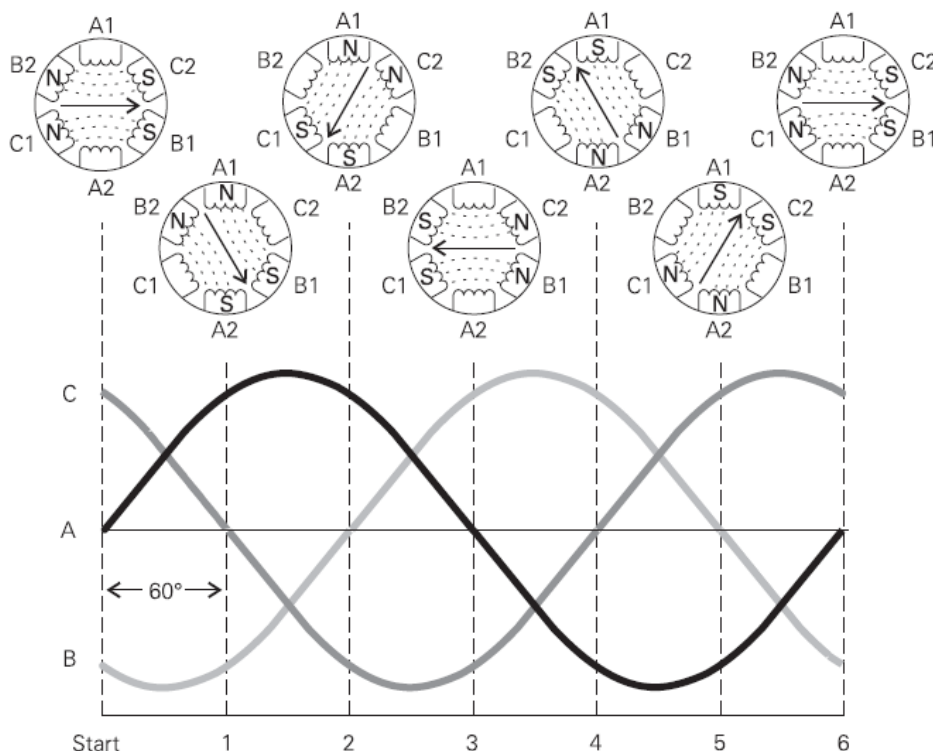
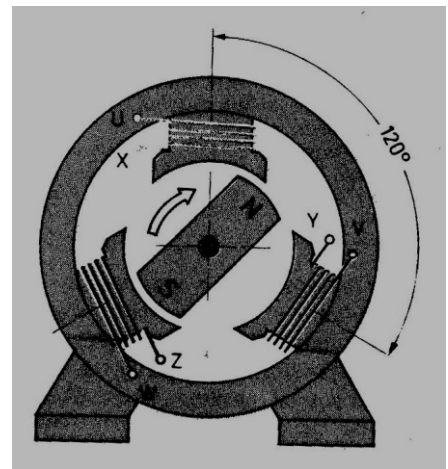
$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

de donde:

n = Velocidad de giro del campo magnético en r.p.m

f = Frecuencia de la corriente eléctrica de alimentación de la máquina

p = Número de pares de polos magnéticos establecidos en el bobinado del estator



Campo magnético giratorio creado por una corriente alterna trifásica

De este modo tendremos que las velocidades de sincronismo normalizadas en nuestro país para las máquinas eléctricas serían:

Nº pares de polos	r.p.m. del campo magnético
p=2	n=3000 r.p.m
p=4	n=1500 r.p.m
p=6	n=1000 r.p.m
.	.
.	.

En los motores eléctricos, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de giro del campo magnético del estator, debido a la fricción del rotor en los cojinetes, rozamiento con el aire y a la carga acoplada al eje del rotor, por tal motivo se les conoce a estos motores con el nombre de **motores asíncronos**

Tal y como se acaba de indicar, la velocidad de giro del rotor es ligeramente inferior a la velocidad de sincronismo, a ésta diferencia se le da el nombre de **deslizamiento** que se expresa generalmente en tanto por ciento, referido a la velocidad de sincronismo. Se designa por la letra “s”, y viene dado por la expresión:

Deslizamiento absoluto

$$s = n1 - n2$$

Deslizamiento relativo

$$s\% = \frac{n1 - n2}{n1} * 100$$

de donde

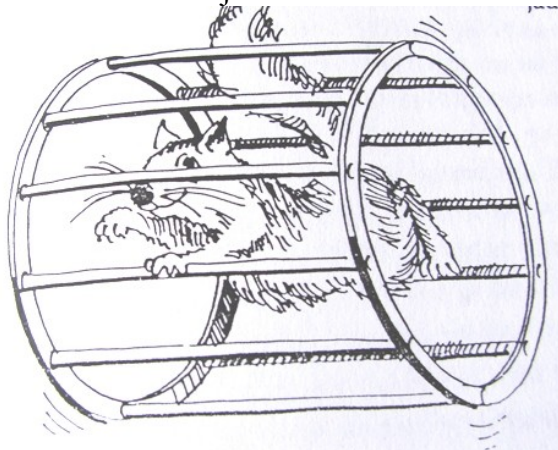
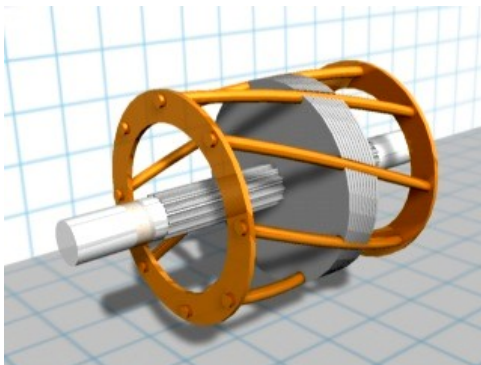
$s = \text{deslizamiento}$, $n1 = \text{velocidad de sincronismo}$, $n2 = \text{velocidad de giro del rotor}$

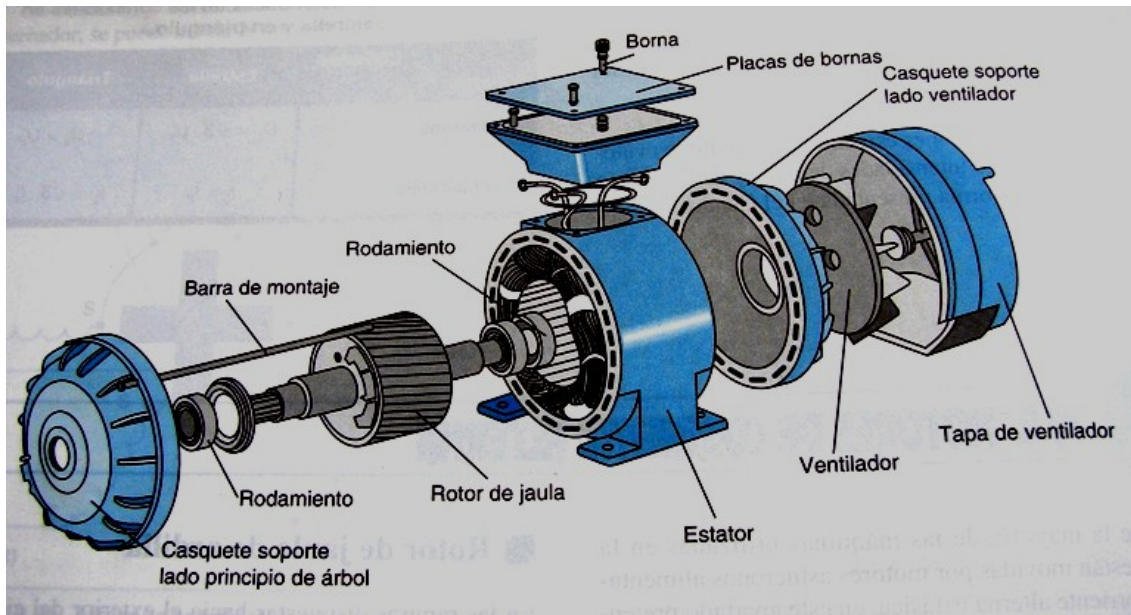
La frecuencia a que están sometidos los conductores del rotor es $f_r = s * f$ ($f = \text{frecuencia en Hz de la red eléctrica de alimentación al motor}$)

2. MOTORES DE ROTOR DE JAULA DE ARDILLA

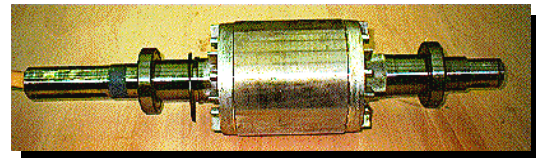
El motor de rotor de jaula de ardilla, también llamado de rotor en cortocircuito, es el más sencillo y el más utilizado actualmente. En núcleo del rotor está construido de chapas estampadas de acero al silicio en el interior de las cuales se disponen unas barras, generalmente de aluminio moldeado a presión.

Las barras del devanado van conectadas a unos anillos conductores denominados anillos extremos. El bobinado así dispuesto tiene forma de jaula de ardilla.





Las ranuras del rotor y suelen hacerse oblicuas respecto al eje para evitar así puntos muertos en la inducción electromagnética.



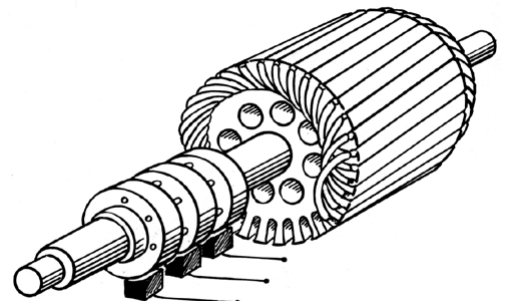
Un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla es que en el arranque absorbe una corriente muy intensa (de 4 a 7 veces la nominal o asignada), y lo hace además con un bajo factor de potencia, y a pesar de ello, el par de arranque suele ser bajo.

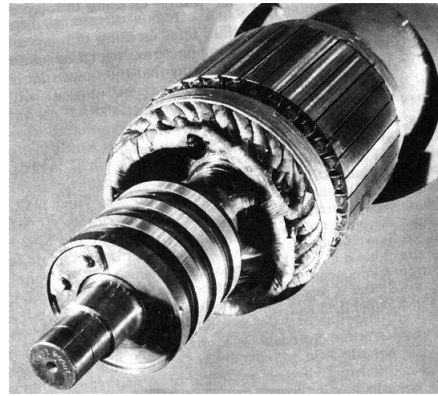
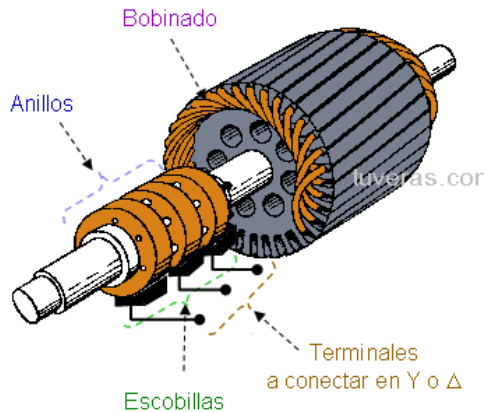
La baja resistencia del rotor hace que los motores de jaula de ardilla tengan excelentes características para marchas a velocidad constante.

Hasta hace unos cuantos años (década de los 90), un inconveniente de los motores con rotor de jaula de ardilla era que su velocidad no era regulable, pero actualmente con los variadores de velocidad electrónicos se puede conseguir un control perfecto de la práctica totalidad de parámetros del motor, entre los que destacan el par, la corriente absorbida y la velocidad de giro.

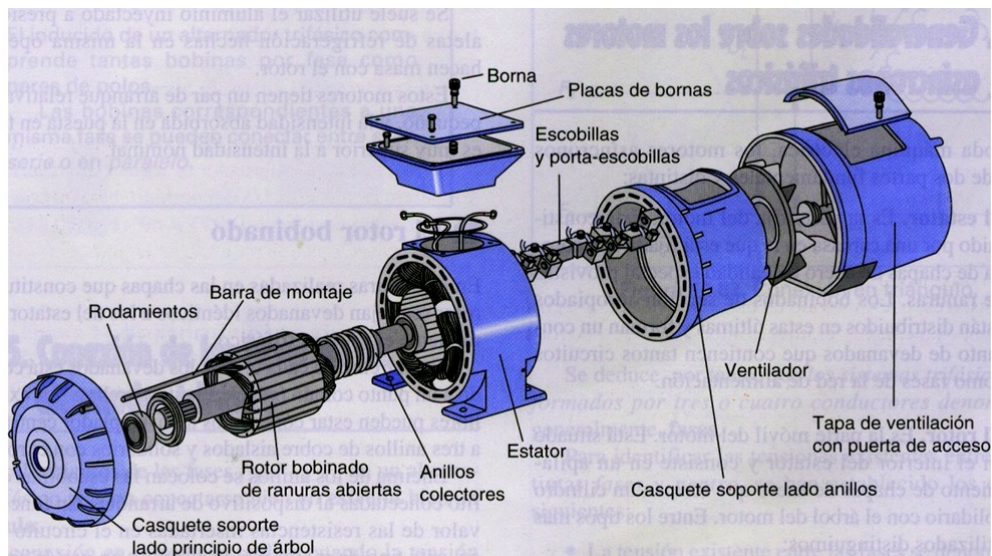
3. MOTORES DE ROTOR DE ANILLOS ROZANTES

Son motores asíncronos con un devanado trifásico de cobre dispuesto en las ranuras de rotor, que va conectado a tres anillos metálicos por uno de sus extremos, en tanto que, por el otro lado se conectan en estrella. De este modo se puede controlar desde el exterior la resistencia total del circuito rotórico, facilitando un control de la velocidad y corriente de arranque con un elevado par de arranque y un mejor factor de potencia que con el rotor en jaula de ardilla.





4.



CONEXIÓN DE LOS BOBINADOS DE UN MOTOR ELÉCTRICO TRIFÁSICO

Es estator de un motor trifásico suele bobinarse con tres devanados distintos que se corresponden con cada una de las fases a las que habrá de conectarse en la red eléctrica.

Hasta hace tan sólo unos años la designación de las bobinas era la que se indica en la figura, por lo que es usual encontrar motores y textos escrito con esa denominación.

DENOMINACIÓN DE LOS TERMINALES OBSOLETA

U ———— X

V ———— Y

W ———— Z

DENOMINACIÓN DE LOS TERMINALES ACTUAL

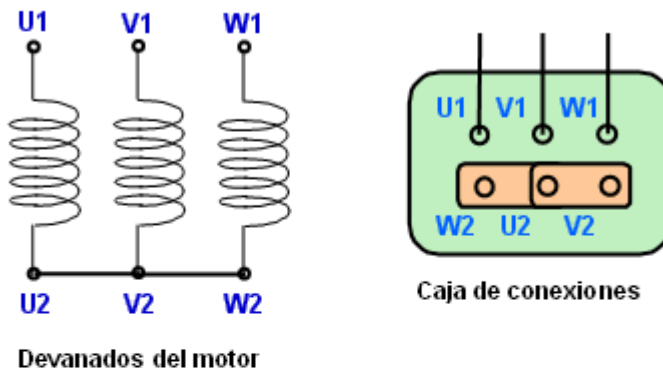
U1 ———— U2

V1 ———— V2

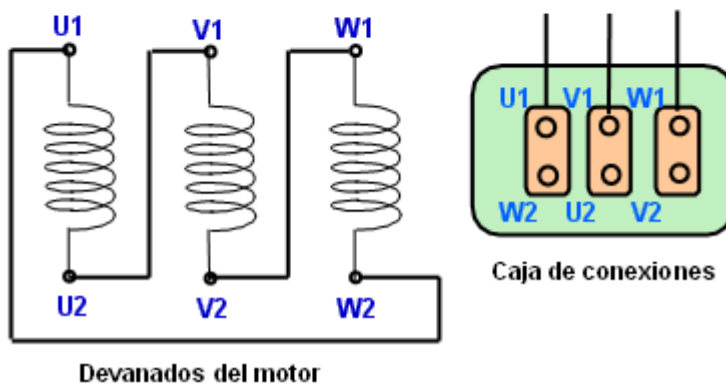
W1 ———— W2

Según la forma de conectar las bobinas se pueden obtener dos conexiones:

Conexión en Estrella

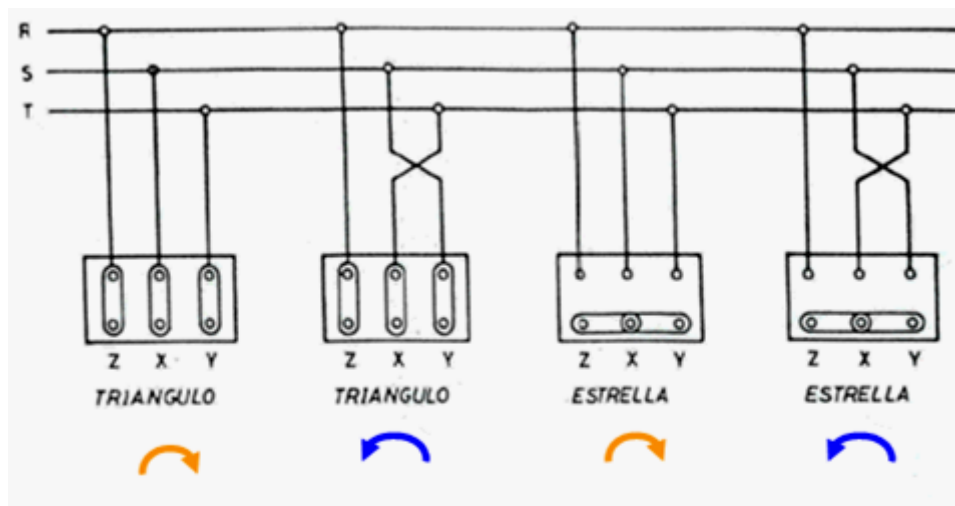


Conexión en Triángulo



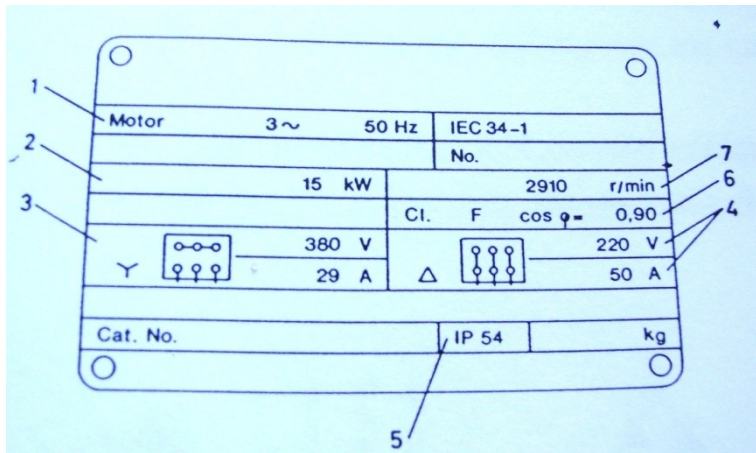
La placa de características de un motor trifásico da el valor máximo de la tensión a que se puede conectar el motor a la red eléctrica. Un motor conectado en estrella soporta la tensión más alta que indica la placa, en tanto que en triángulo la tensión máxima a que se puede conectar es la más baja indicada en dicha placa de características. Con las corrientes absorbidas ocurre justo lo contrario, correspondiendo la corriente más alta a la conexión triángulo.

Para cambiar el sentido de giro de un motor basta con intercambiar dos de las fases de alimentación.



5. PLACA DE CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR TRIFÁSICO

El dibujo de la siguiente figura representa un ejemplo de una placa de características que corresponde a un motor trifásico. Seguidamente se analiza en detalle los distintos datos y su significado.



1. Se trata de un motor trifásico de corriente alterna a 50 Hz
2. Potencia nominal o asignada en el eje del motor 15 kW. La potencia en CV de vapor será:

$$15 \text{ kW} * \frac{1000 \text{ W}}{1 \text{ kW}} * \frac{1 \text{ CV}}{736 \text{ W}} = 20 \text{ CV}$$

3. Los bobinados se pueden conectar en estrella hasta una tensión máxima de 380V, circulando en ese caso una corriente por cada línea de alimentación de 29A
4. En conexión triángulo la tensión compuesta entre las fases de alimentación podrá ser máximo de 220 V, en cuyo caso circulará por cada una de las líneas de alimentación 50 A
5. Indica el grado de protección de la carcasa del motor contra agentes externos, atendiendo a la clasificación establecida por la IEC (Comisión Electrotécnica Internacional), para el caso que nos ocupa:
 - a. IP54: Carcasa protegida a prueba de polvo y proyecciones de agua
 - b. IP55: Carcasa protegida a prueba de polvo y chorros de agua
6. Cl F nos indica la clase del motor en lo que se refiere a la máxima temperatura de funcionamiento y tipo de aislamiento, en este caso – clase F- nos indica que puede funcionar hasta una temperatura máxima de 155°C.

Por otro lado, el $\cos \varphi = 0,9$ es el factor de potencia, lo que nos permitirá hacer algunos cálculos básicos:

- a. Potencia activa absorbida de la red:

Obtendremos los mismos datos operando con los datos de conexión estrella o de triángulo. Supondremos que la tensión compuesta (entre fases) de la línea de alimentación es 380 V, por tanto:

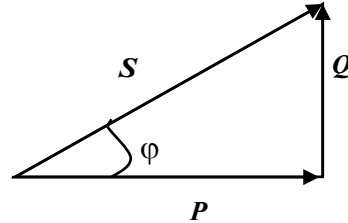
$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \varphi = 1,732 * 380 * 29 * 0,9 = 17.178 \text{ W}$$

- b. Potencia reactiva de tipo inductivo absorbida:

$$\cos \varphi = 0,9 \Rightarrow \varphi = 25^\circ 50' 30,96'' \Rightarrow \sin \varphi = 0,436$$

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin \varphi = 1,732 * 380 * 29 * 0,436 = 8322 \text{ Var}$$

- c. Considerando el triángulo de potencias, podemos averiguar la potencia aparente demandada:



$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad \sin \varphi = \frac{Q}{S} \quad \tan \varphi = \frac{Q}{P}$$

$$S = \frac{17178}{0,9} = 19087 \text{ VA}$$

- d. El rendimiento del motor lo podremos obtener de la siguiente forma:

$$\eta = \frac{\text{Potencia en el eje}}{\text{Potencia absorbida}} = \frac{15000}{17178} = 0,87$$

7. Velocidad del rotor con tensión, corrientes nominales en carga 2910 r.p.m.
8. Dado que la frecuencia es 50 Hz, el motor será de 2 polos, siendo su velocidad de sincronismo 3000 r.p.m. Con estos datos podemos calcular el deslizamiento $s = 3000 - 2910 = 90$ r.p.m. (típicamente en la práctica estos datos suelen variar un $\pm 10\%$ del valor dado por el fabricante). Si deseamos obtener el dato de deslizamiento relativo sería:

$$s\% = \frac{n_{\text{deslizamiento}}}{n_{\text{sincronismo}}} * 100 = \frac{90}{3000} * 100 = 3\%$$

Otros datos interesantes que podemos obtener son el par de salida y su relación con la velocidad y potencia del eje.

Sabemos por conceptos físicos que:

- La potencia es igual al trabajo entre el tiempo: $P = \frac{T}{t}$
- El trabajo es el producto de la fuerza por el espacio: $T = F * e$
- La velocidad lineal es: $v = \frac{e}{t}$

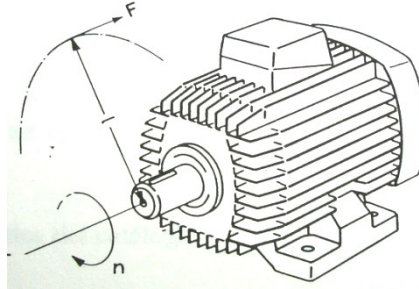
Si operamos con las expresiones anteriores, obtenemos que la potencia se puede obtener como el producto de la fuerza por la velocidad lineal:

$$\left. \begin{array}{l} P = \frac{T}{t} \\ T = F * e \end{array} \right\} P = \frac{F * e}{t}$$

$$\left. \begin{array}{l} P = \frac{F * e}{t} \\ v = \frac{e}{t} \end{array} \right\} P = F * v$$

Por otro lado, sabemos que:

- El momento o par ejercido por una fuerza es el producto de la fuerza por la distancia (longitud l) perpendicular al eje de giro: $M = F * l$



- La expresión que relaciona la velocidad lineal con la angular viene dada por la fórmula: $v = \omega * l$ donde l es el radio
- Operando con las expresiones anteriores tenemos:

$$\left. \begin{array}{l} P = F * v \Rightarrow F = \frac{P}{v} \\ M = F * l \Rightarrow F = \frac{M}{l} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \frac{P}{v} = \frac{M}{l} ; \\ v = \omega * l \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} P = \frac{M * v}{l} \\ P = \frac{M * \omega * l}{l} ; P = M * \omega \end{array} \right.$$

Pasando la velocidad angular de rd/s a r.p.m

$$1 \frac{\text{rd}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ vuelta}}{2\pi \text{ rd}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 9,55 \frac{\text{vueltas}}{\text{minuto}} = 9,55 \text{ r.p.m}$$

Obteniendo finalmente

$$P = \frac{M * n}{9,55}$$

donde:

P = Potencia del motor en el eje en W

M = Momento o par desarrollado por el motor en $N * m$

n = Velocidad en r.p.m. del rotor

- El momento desarrollado por nuestro motor será por tanto:

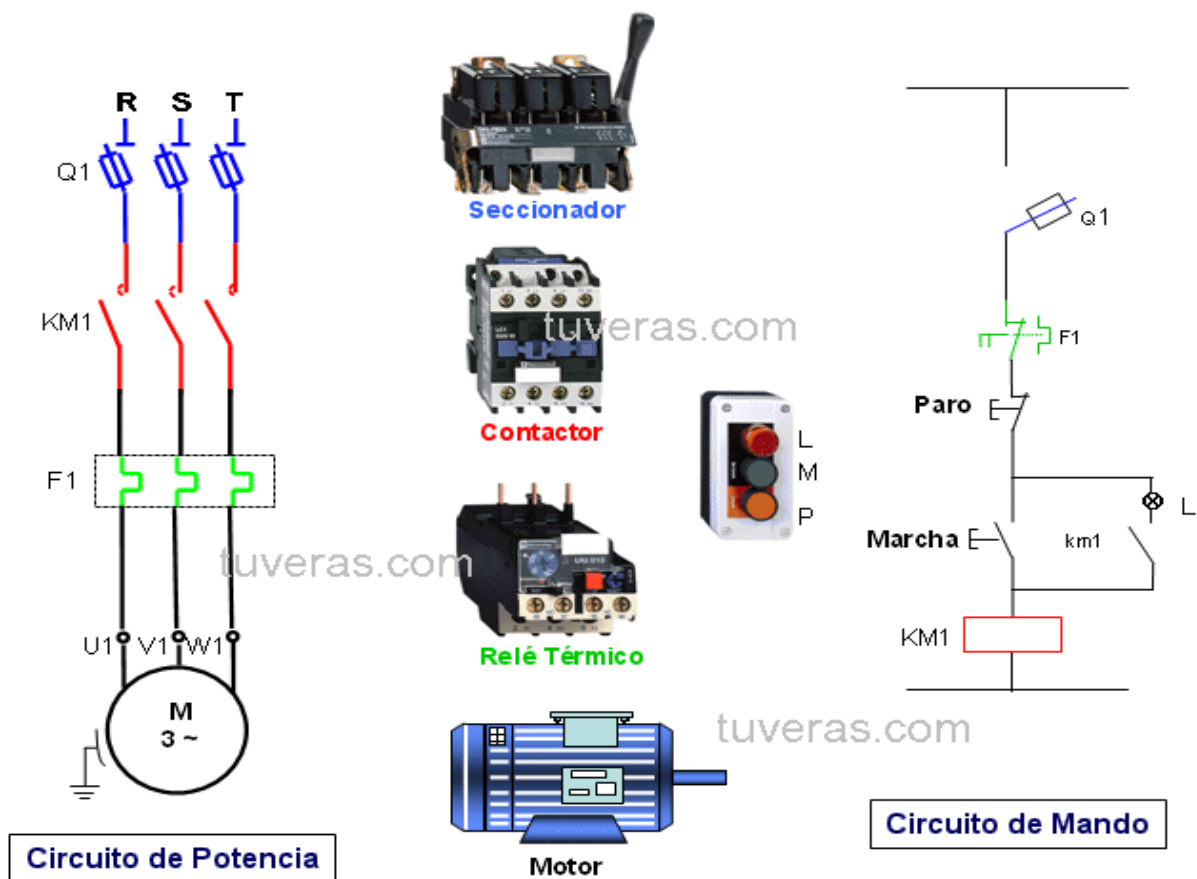
$$M = \frac{P * 9,55}{n} = \frac{15000 * 9,55}{2910} = 49,2 \text{ N.m}$$

6. SISTEMAS DE ARRANQUE DE LOS MOTORES TRIFÁSICOS

6.1. MOTOR TRIFÁSICO EN ARRANQUE DIRECTO

Como se ha comentado anteriormente, los motores de cortocircuito suelen consumir en el arranque corriente muy elevadas, que para el caso de potencias elevadas ($P > 10 \text{ kW}$) pueden provocar fluctuaciones en la red eléctrica de distribución, de ahí que para el arranque de motores se utilizan distintos procedimientos para limitar la corriente absorbida en su puesta en marcha.

A título de ejemplo se incluye la siguiente figura donde se pueden distinguir los esquemas de fuerza y maniobra del arranque de un motor trifásico, así como sus elementos de mando y protección.



6.2. ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO DE UN MOTOR TRIFÁSICO

Con independencia del arranque directo, el arrancador estrella-triángulo es el sistema de arranque más utilizado en los motores asíncronos de inducción.

Consiste en arrancar el motor con conexión estrella a una tensión $\sqrt{3}$ veces inferior a la que soporta el motor para este tipo de conexión, transcurrido un cierto tiempo, cuando el momento desarrollado por el motor conectado en estrella M_λ iguale al momento de la carga (alrededor del 80% de la velocidad nominal) conmutar las conexiones de bobinas del motor a triángulo.

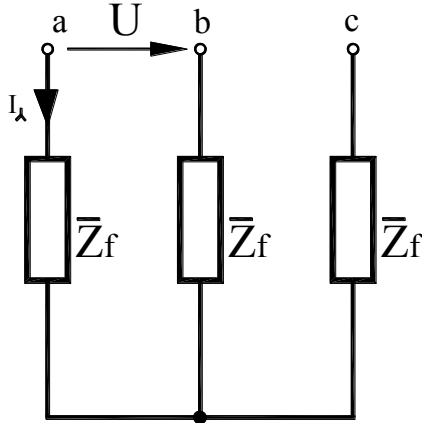
Explicación técnica.

Como se ha indicado anteriormente, el bobinado recibe una tensión $\sqrt{3}$ veces menor que la nominal o asignada a este tipo de conexión, por lo que el par y la intensidad absorbida se hace $\sqrt{3}$ veces menor.

Si tenemos en cuenta que en un sistema trifásico conectado en triángulo, la corriente de línea es $\sqrt{3}$ veces mayor que la de fase y, en el sistema estrella las intensidades de línea es igual que la de fase, se llega a la conclusión que la corriente absorbida es también $\sqrt{3}$ menor en el arranque en estrella.

Si prueba así, que la reducción de $\sqrt{3}$ veces por la tensión y $\sqrt{3}$ por la intensidad, da como resultado una reducción de $\sqrt{3} * \sqrt{3} = 3$ veces la corriente absorbida en comparación con el arranque directo.

Esta explicación se puede demostrar matemáticamente del siguiente modo:



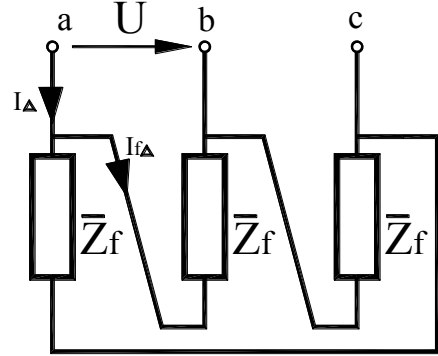
$$Z_f = \frac{U_{f\lambda}}{I_{f\lambda}}$$

$$U = \sqrt{3} * U_f$$

$$I_\lambda = I_f$$

Sustituyendo :

$$Z_f = \frac{U/\sqrt{3}}{I_\lambda}$$



$$Z_f = \frac{U_{f\Delta}}{I_{f\Delta}}$$

$$U = U_{f\Delta}$$

$$I_\Delta = \sqrt{3} * I_{f\Delta}$$

Sustituyendo :

$$Z_f = \frac{U}{I_{f\Delta}/\sqrt{3}}$$

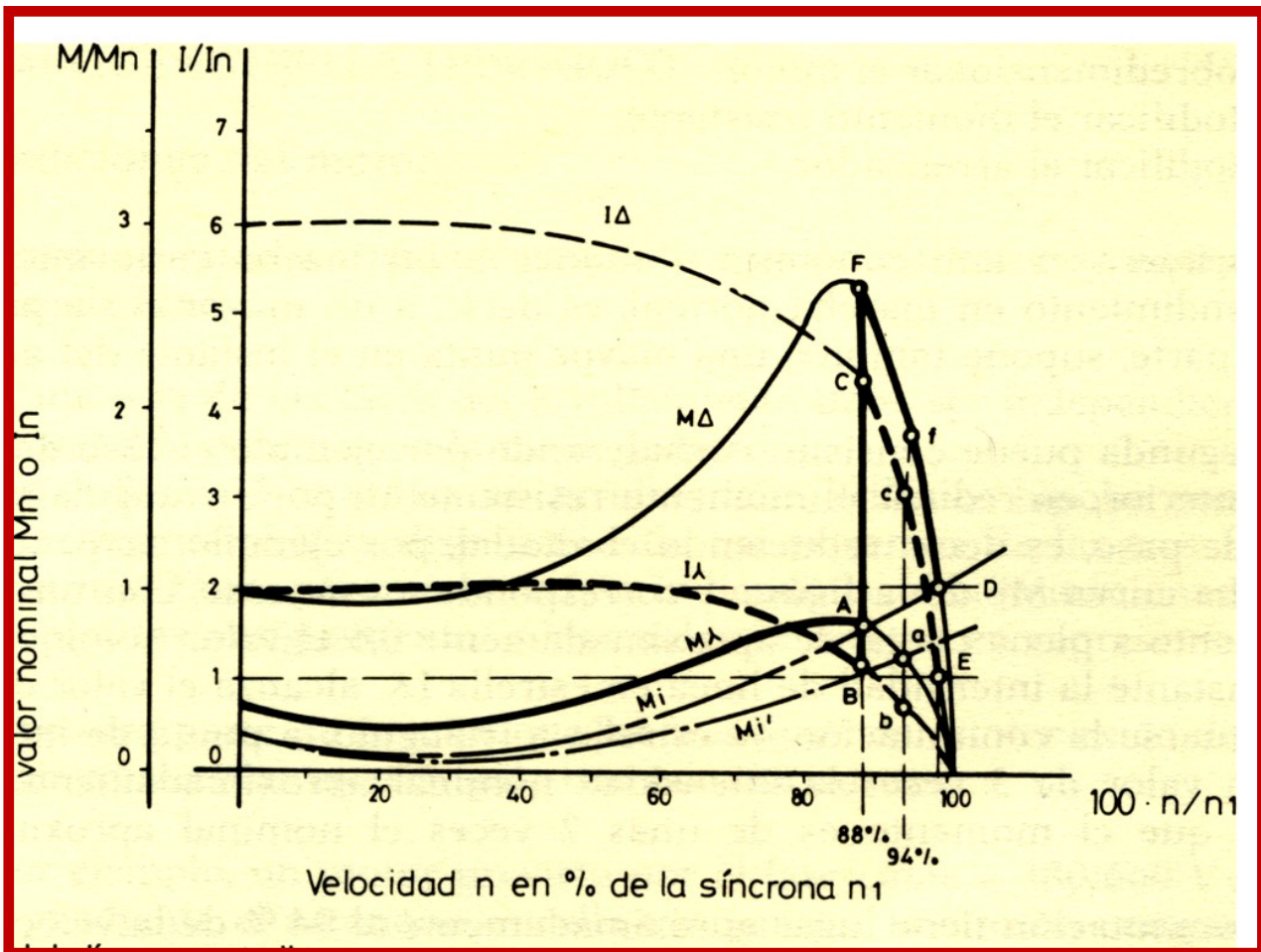
.....
Como $Z_{f\lambda} = Z_{f\Delta}$

$$\frac{U/\sqrt{3}}{I_\lambda} = \frac{U}{I_{f\Delta}/\sqrt{3}} \Rightarrow I_\lambda = \frac{I_\Delta}{3}$$

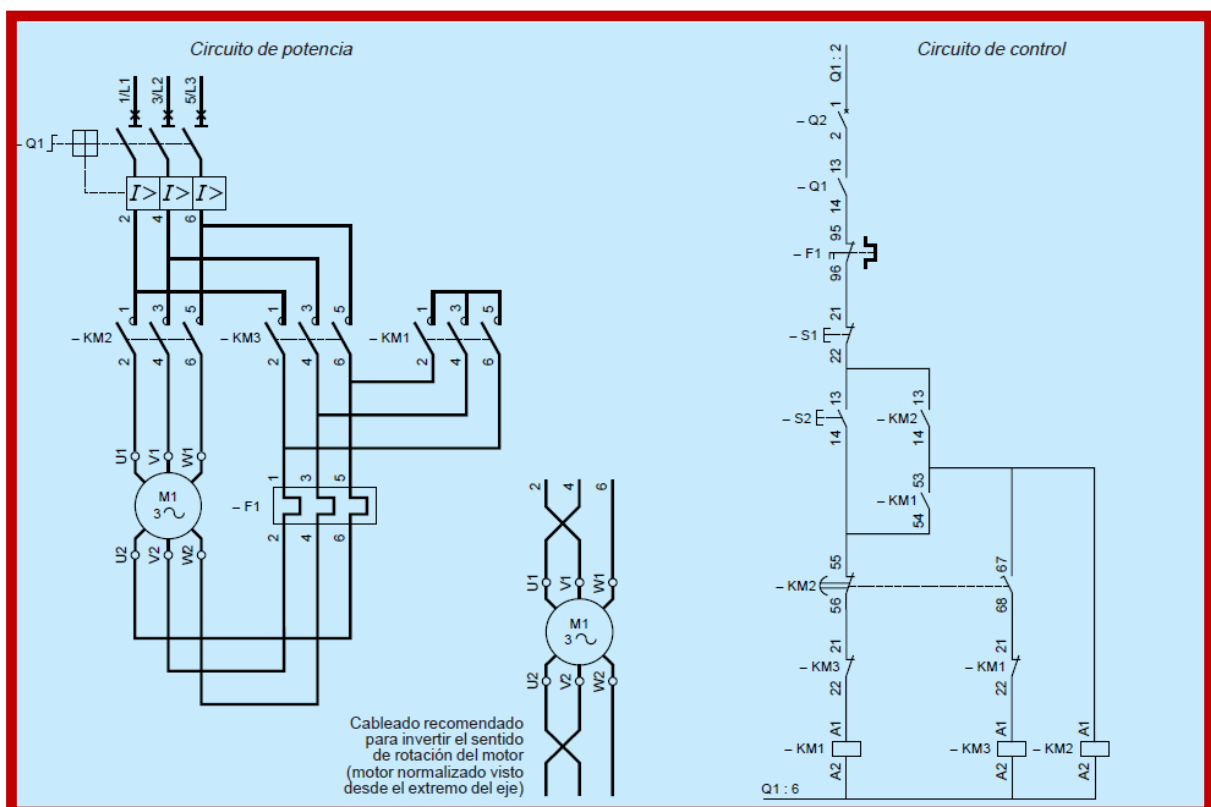
Por otro lado, la relación el momento del motor es proporcional a la tensión al cuadrado a que están sometidas las fases del mismo $M = k * U_f^2$

$$\left. \begin{array}{l} M_\Delta = k * U^2 \\ M_\lambda = k * \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \end{array} \right\} \quad \frac{M_\lambda}{M_\Delta} = \frac{k * \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2}{k * U^2} \quad M_\lambda = \frac{1}{3} M_\Delta$$

En la siguiente gráfica se pueden apreciar las relaciones entre las corriente de arranque y los momentos en un sistema estrella-triángulo, donde M_i es el momento resistente de la carga en unas condiciones particulares y M_i' en otras más favorables



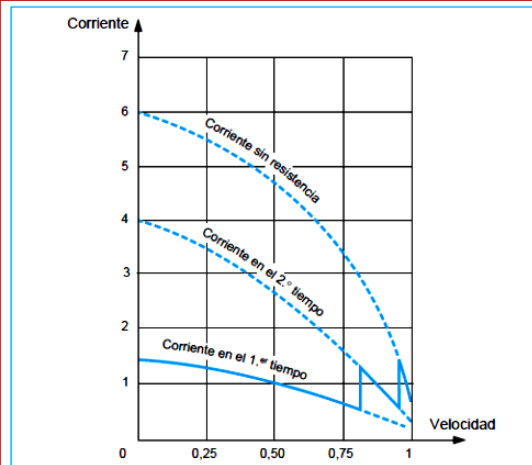
Los esquemas de la automatización del arranque mediante contactores de un arrancador estrella-triángulo son los que se indican en la siguiente figura.



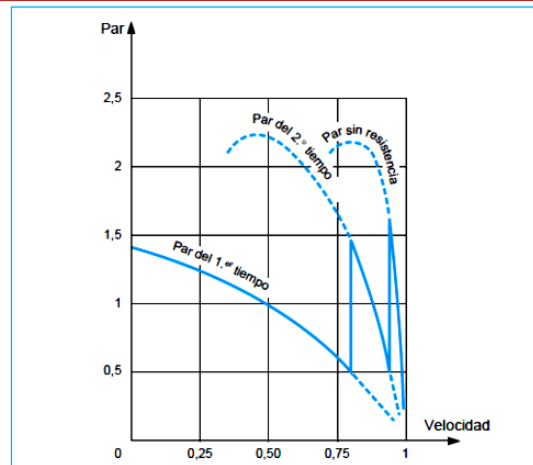
Aunque las características nominales de los contactores y relé térmico se pueden calcular fácilmente, por lo general, se utilizan tablas suministradas por los fabricantes a efectos de elección de este tipo de materiales.

6.3. ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO DE ROTOR BOBINADO

Este tipo de arranque es aplicable a los motores de rotor bobinado con anillos rozantes. Gracias a estos anillos rotóricos es posible conectar resistencias en serie con las bobinas del rotor de forma que al elevarse su impedancia se disminuya la corriente absorbida en el arranque. A medida que el rotor va adquiriendo velocidad se va disminuyendo la resistencia mediante cortocircuito de las mismas.



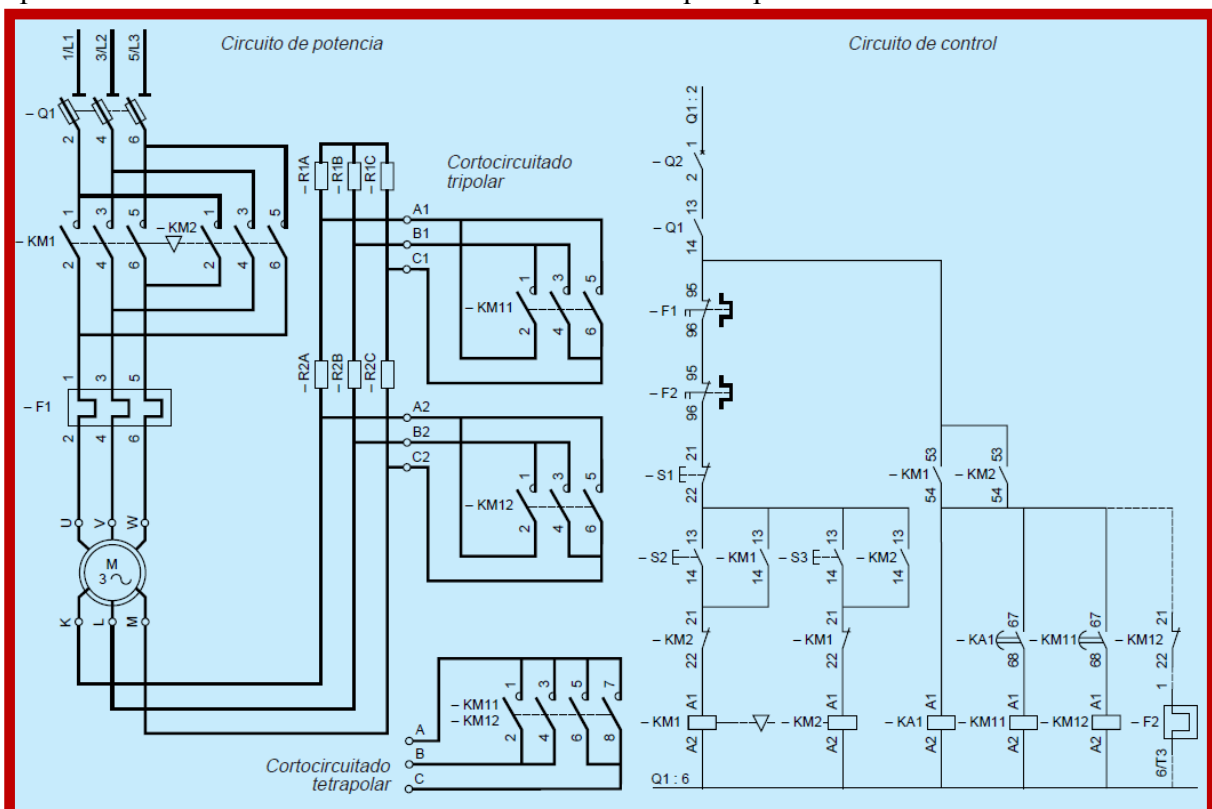
Curva de corriente/velocidad del arranque rotórico por resistencias



Curva de par/velocidad del arranque rotórico por resistencias

Curvas de corriente y par de arranque de un motor de anillos rozantes

Se muestra seguidamente los esquemas de fuerza y maniobra de un arrancador de un motor de rotor bobinado, donde F2 representa a un relé térmico temporizado de protección de las resistencias contra ciclos de arranque rápidos.

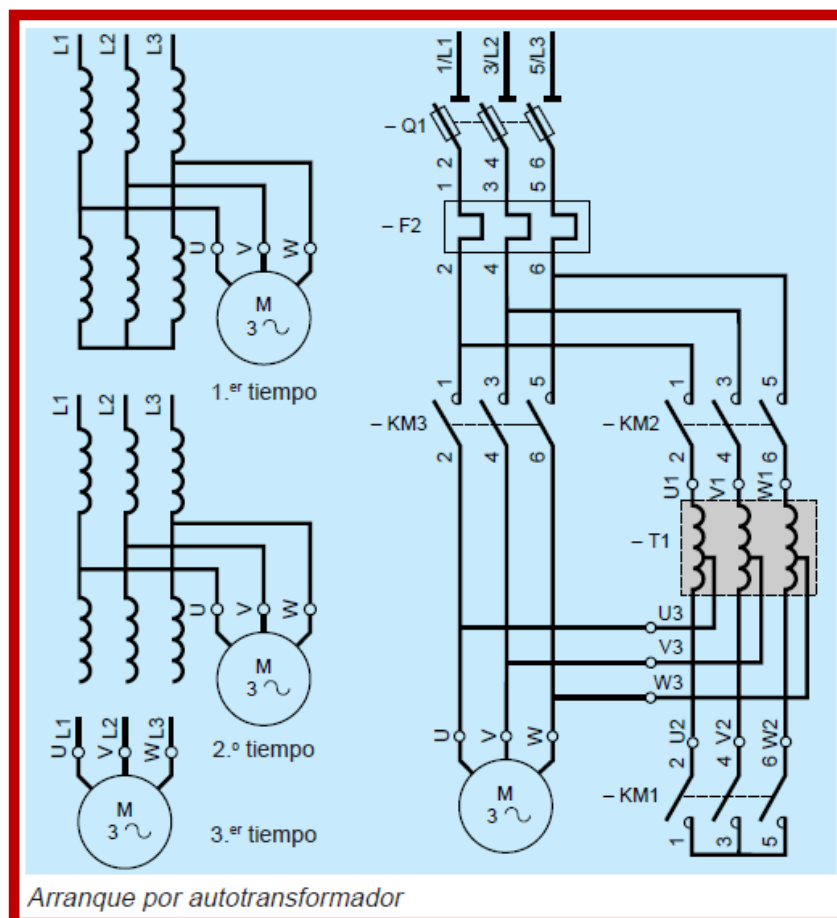
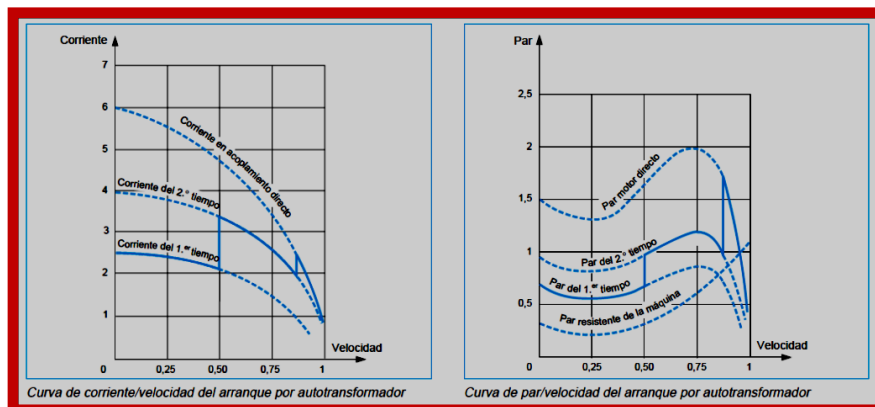


Con este tipo de arranque se mejora el factor de potencia e incluso es posible la velocidad de arranque $\pm 25 \%$ si el motor está en carga. La regulación de velocidad se debe a la variación del deslizamiento puesto que al aplicar menos tensión a los bobinados del rotor (parte de la tensión inducida queda aplicada a las resistencias exteriores) aumenta el deslizamiento disminuyendo la velocidad del rotor.

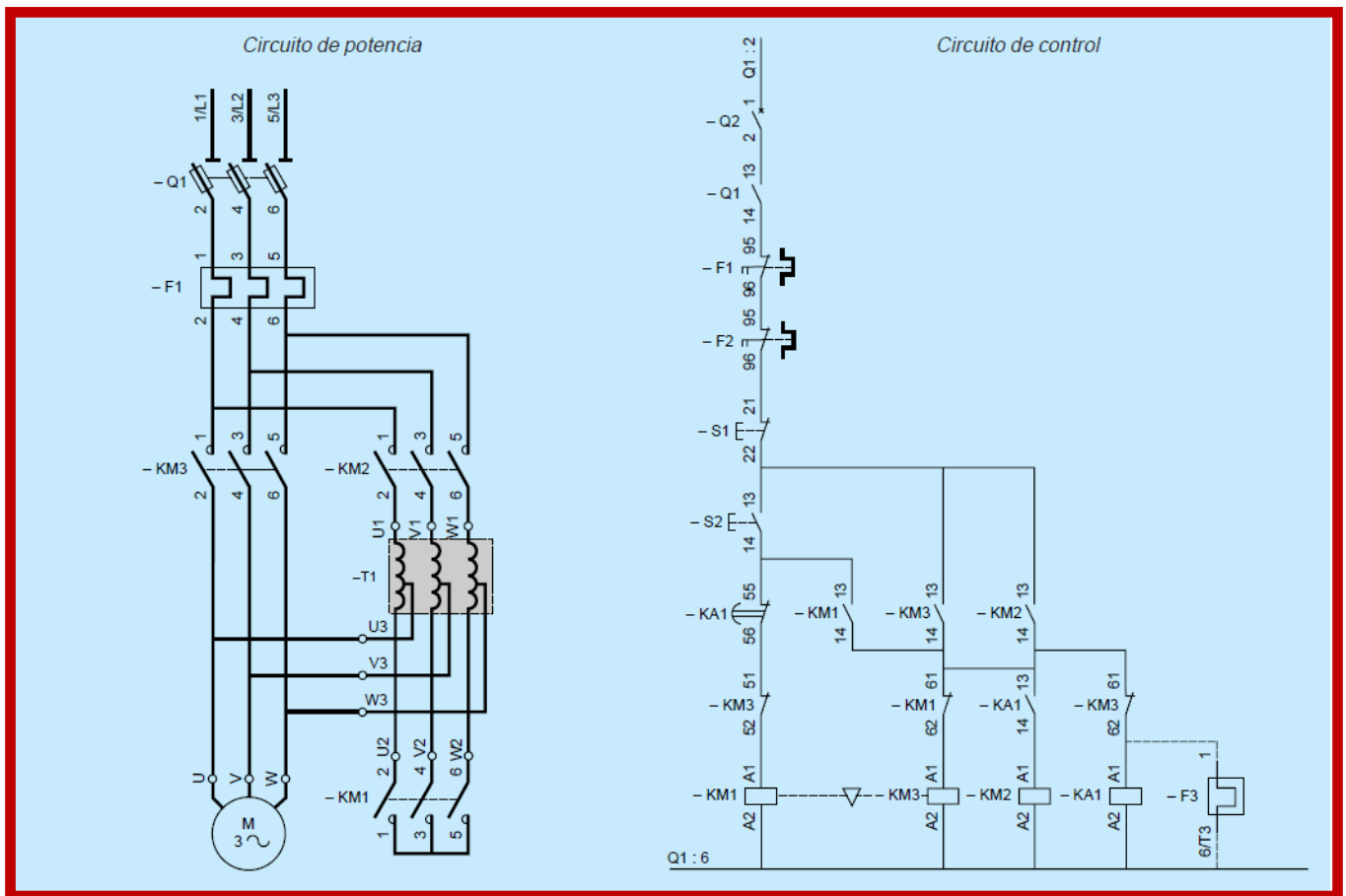
No obstante, este tipo de motor, no se emplea mucho debido a la posibilidad de avería y producción de arcos voltaicos y chispas en los anillos rozantes.

6.4. ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO POR AUTOTRANSFORMADOR.

Es un tipo de arranque poco frecuente puesto que suele emplearse en motores muy grandes $P > 100 \text{ kW}$. Consiste en alimentar a tensión reducida al motor durante el proceso de arranque a través de un autotransformador hasta adquirir la velocidad nominal en que se desconecta el autotransformador del circuito.

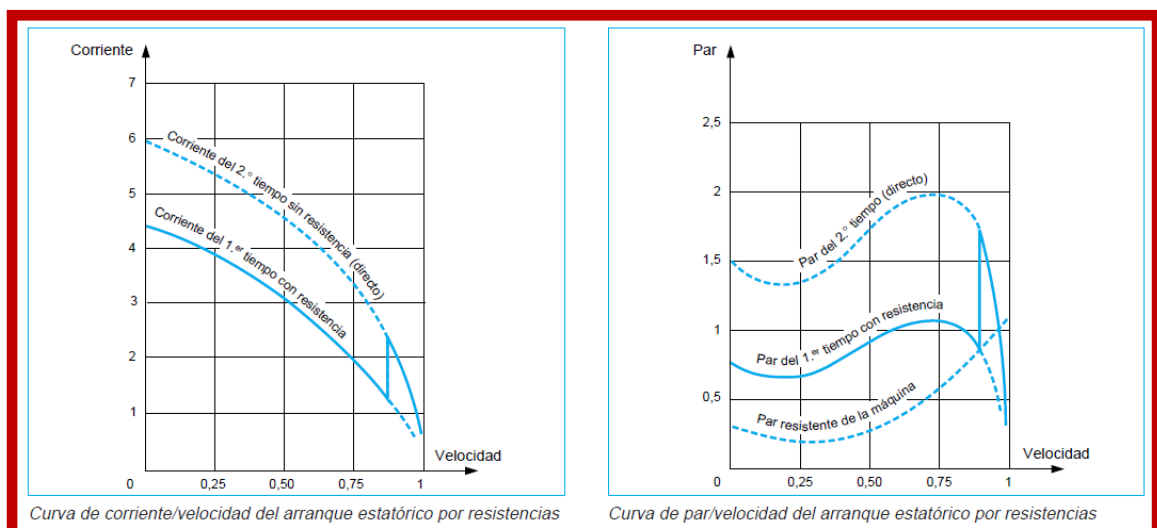


Se indican seguidamente los esquemas de fuerza y maniobra del arranque de un motor trifásico por autotransformador, donde F3/F2 representan un relé térmico temporizado de protección del autotransformador.

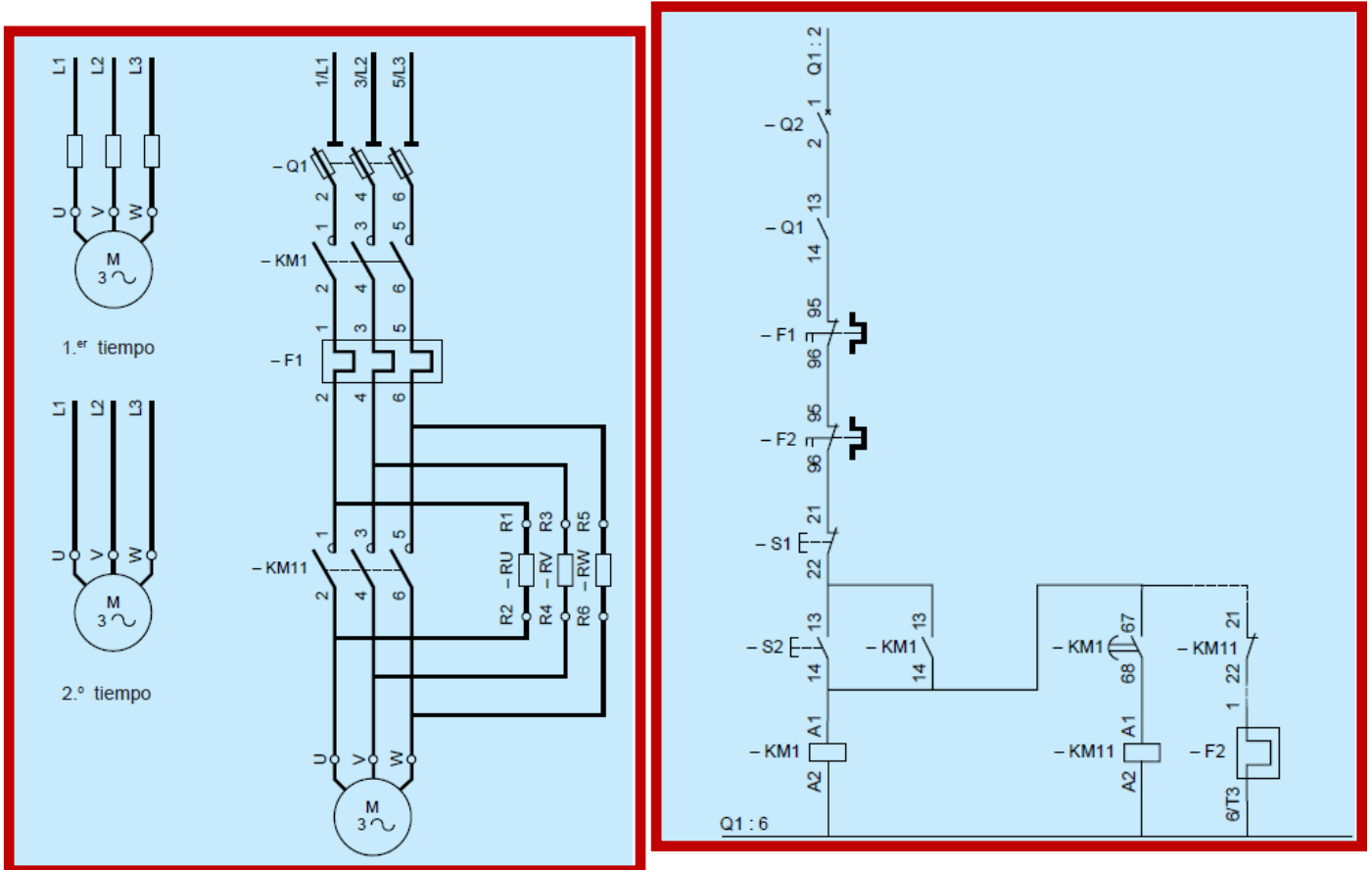


6.5. ARRANQUE DE UN MOTOR TRIFÁSICO POR RESISTENCIAS ESTATÓRICAS.

El principio consiste en arrancar el motor a una tensión reducida mediante la inserción en serie con las bobinas del estator unas resistencias. Una vez estabilizada la velocidad, se eliminan las resistencias y el motor se acopla directamente a la red de alimentación.



Dado que el par desarrollado por el motor es proporcional al cuadrado de la tensión, como la corriente durante el proceso de arranque disminuye el par se eleva también se eleva muy rápidamente y más deprisa de cómo lo hace en el sistema estrella-triángulo (donde la tensión permanece constante en el proceso de arranque). Este tipo de arranque es apropiado para las máquinas cuyo par crece con la velocidad, como por ejemplo los ventiladores.



7. CONTROL DE VELOCIDAD EN LOS MOTORES ASÍNCRONOS.

Uno de los grandes problemas de los motores de inducción, frente a los de corriente continua, es su mala regulación de velocidad, aunque en la actualidad este problema ha sido resuelto gracias a los variadores electrónicos de velocidad.

Como sabemos la velocidad de rotor de un motor asíncrono se puede expresar:

$$s\% = \frac{n_1 - n_r}{n_1} ; n_r = (1 - s\%) * n_1 = (1 - s\%) * \frac{60 * f}{p}$$

n_1 =Velocidad de sincronismo r.p.m. ; n_r =velocidad de rotor r.p.m ; $s\%$ deslizamiento en %
 p =Nº de pares de polos de la máquina; f =frecuencia de la red eléctrica en Hz

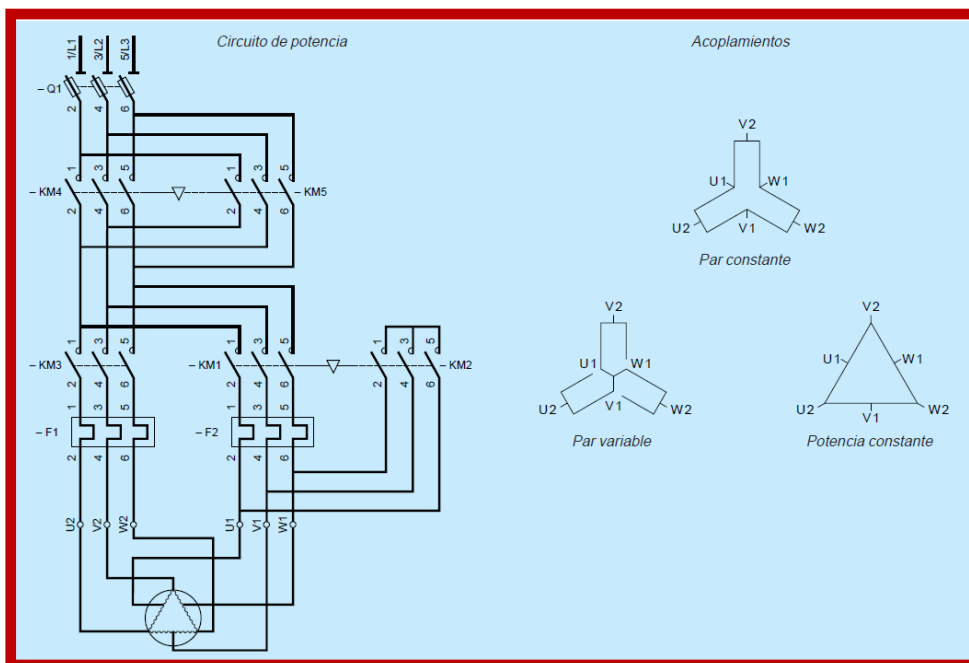
Lo que significa que se puede regular la velocidad de un motor asíncrono de inducción variando:

- El numero de polos de la máquina
- La frecuencia de la red eléctrica de alimentación
- El deslizamiento

7.1. CONTROL DE VELOCIDAD MEDIANTE EL CAMBIO DEL NÚMERO DE POLOS DE LA MÁQUINA.

Observando la fórmula anterior se puede apreciar que variando en número de pares de polos del motor es posible variar la velocidad de sincronismo. En la práctica para variar el número de polos del motor se suele disponer distintos bobinados en el estator del motor y conectando uno u otro conseguiremos variar la velocidad. Existe, no obstante, un tipo de conexión especial denominada conexión Dahlander que mediante un único bobinado se consiguen dos velocidades de relación 1:2 mediante el cambio de conexiones del bobinado.

Este tipo de control sólo se suele emplear en los motores de rotor de jaula de ardilla dado que el cambio de polos del estator ha de llevar unido el cambio de polos del rotor, por lo que en los motores de rotor bobinado complicaría llevarlo a la práctica en condiciones económicamente rentables.



7.2.

CONTROL DE VELOCIDAD POR CAMBIO DE FRECUENCIA

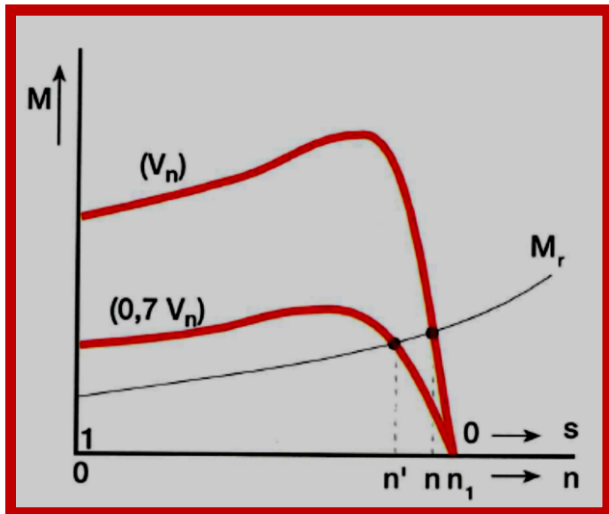
En la actualidad el empleo de sistemas de arranque mediante el control por contactores está quedando en desuso a favor de los arrancadores-variadores de velocidad electrónicos (convertidores de frecuencia).

Este tipo de dispositivos suministran una tensión alterna cuyo valor es regulable, al tiempo que también es posible regular la frecuencia de alimentación al motor, de este modo es posible conseguir un control de velocidad muy efectivo, que permite incluso llevar un motor a una velocidad de sincronismo superior a la nominal o asignada (práctica no recomendable). La razón de variar a la vez frecuencia y tensión radica en el hecho de conseguir un par constante en todo el régimen de velocidades del motor.

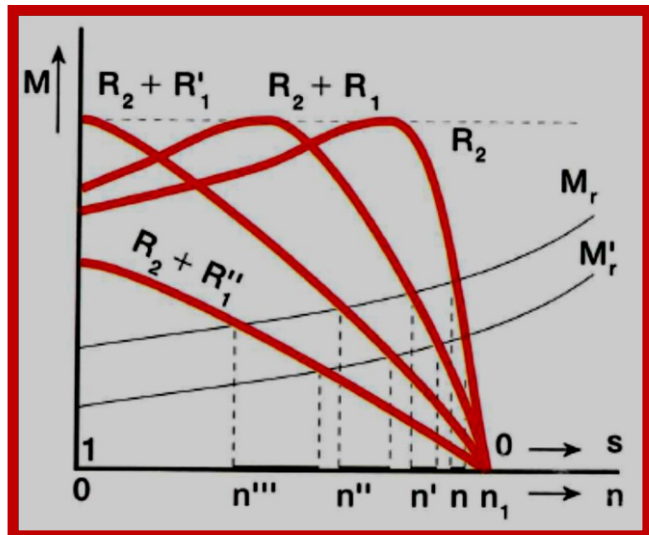
7.3. CONTROL DE VELOCIDAD POR MODIFICACIÓN DEL DESLIZAMIENTO

EL deslizamiento de un motor se puede variar modificando la tensión de alimentación. Si la tensión disminuye, la velocidad de giro del rotor disminuye, y por tanto aumenta el deslizamiento.

En la figura de la derecha, se puede apreciar la característica mecánica $M=f(n)$ de un motor asíncrono cuando se alimenta a tensión nominal V_n o al 70% de su valor $0,7V_n$, donde M_r representa el par resistente.



Como ya se comentó en apartados anteriores, es posible controlar en parte la velocidad (± 25) de un motor con rotor bobinado de anillos rozantes intercalando resistencias en el rotor. En la gráfica se puede apreciar como varía el par en función de la velocidad para este tipo de motores en función de la resistencia conectada.



8. BALANCE DE POTENCIAS EN UN MOTOR ASÍNCRONO

La potencia de una carga polifásica es la suma de las potencias de cada una de sus fases. En una red con tres fases (R,S,T) la potencia de una carga trifásica será

$$P_T = P_R + P_S + P_T$$

$$Q_T = Q_R + Q_S + Q_T$$

En una carga equilibrada, como es el caso de un motor trifásico, podemos poner:

$$P_T = \sqrt{3} * U * I * \cos \varphi$$

$$Q_T = \sqrt{3} * U * I * \sin \varphi$$

donde:

U = Tensión de línea en [V]

I = Intensidad de línea en [A]

φ = Angulo de desfase [$\varphi_u - \varphi_i$]

De la parte de la potencia activa absorbida por la red parte se pierde en la resistencia del bobinado estatórico, es lo que se conoce como pérdidas en el cobre en el estator:

$$P_{Cu1} = 3 R_f * I^2$$

Donde R_f es la parte de la resistencia de cada fase en ohmios, I es la corriente de fase en amperios y P_{Cu1} son las pérdidas totales en el cobre en el estator de un motor trifásico.

La diferencia entre la potencia absorbida por la red y las pérdidas en el cobre del estator, es la potencia que queda para crear el campo magnético:

$$P_C = P_T - P_{Cu1}$$

No toda la potencia entregada para crear el campo magnético se convierte en líneas de inducción, puesto que en el circuito magnético se producen las denominadas pérdidas en el hierro P_{Fe} que no es otra cosa que la suma de las pérdidas por histéresis magnética y corrientes parásitas de Foucault. Si llamamos **P_a** a la potencia que realmente atraviesa el entrehierro del motor, tendremos:

$$P_a = P_C - P_{Fe}$$

Como es sabido el rotor está constituido por un bobinado cerrado sobre si mismo que al cortar el flujo se induce una f.e.m. en él y por el que circula una corriente. Para el caso de un motor trifásico la pérdidas en el cobre del rotor vienen dadas por la expresión:

$$P_{Cu2} = 3 * I_2^2 * R_2$$

Donde I_2 representa la corriente que circula por cada una de las fases y R_2 la resistencia de cada una de las fases del bobinado rotórico

De este modo la potencia mecánica entregada al rotor es:

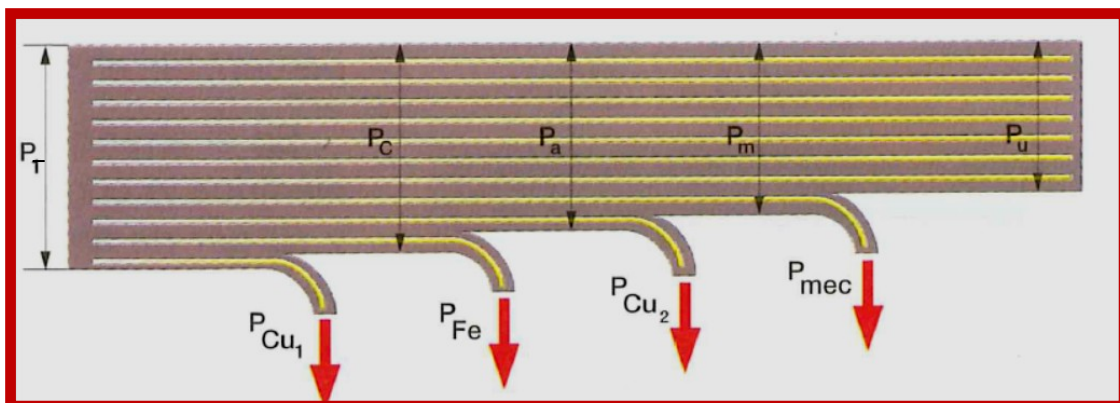
$$P_m = 3P_a - P_{Cu2}$$

Finalmente existirán una pérdidas mecánicas por rozamientos, de modo que la potencia realmente útil en el eje del rotor es:

$$P_u = P_m - P_{mec}$$

El rendimiento de un motor asíncrono viene dado por la expresión ya conocida:

$$\eta = \frac{P_u}{P_T}$$

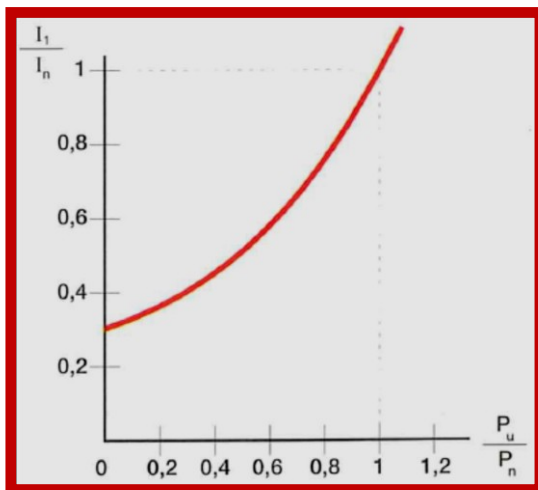
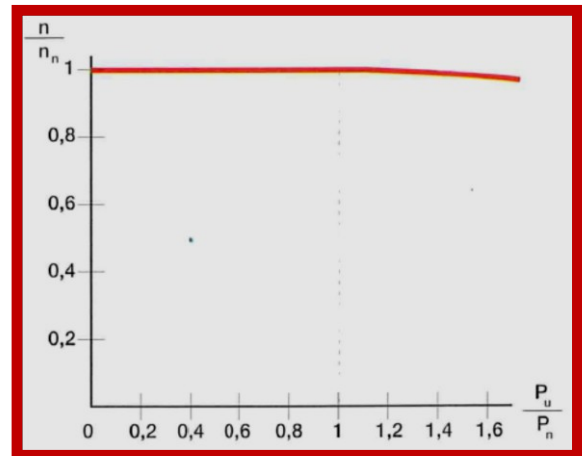


9. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR ASÍNCRONO.

Aunque ya se han visto a lo largo del tema varias de las curvas características que determinan el funcionamiento de un motor asíncrono, a continuación se relacionan las más comúnmente utilizadas:

Curva característica de velocidad [$n=f(P_u)$]

Indica como varía la velocidad en función de la potencia útil manteniendo constantes la tensión y la frecuencia.



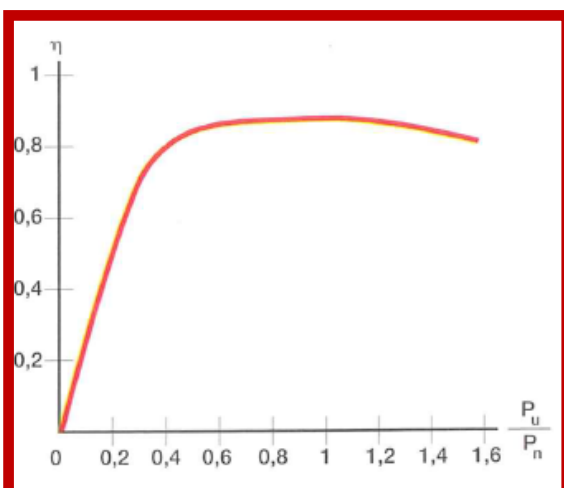
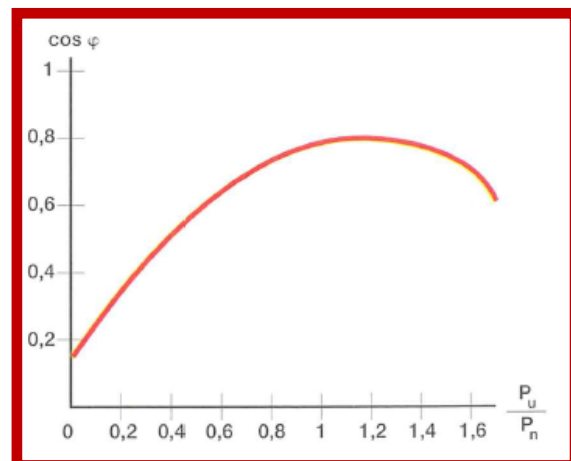
Curva característica de consumo.

$$[I_1=f(P_u)]$$

Con tensión y frecuencia constantes, relaciona la corriente absorbida en función de la potencia útil. Cuando el motor gira en vacío ($P_u=0$) la corriente suele estar comprendida entre 0,25 y 0,5 veces la corriente nominal de funcionamiento.

Curva característica de factor de potencia [$\cos \varphi=f(P_u)$]

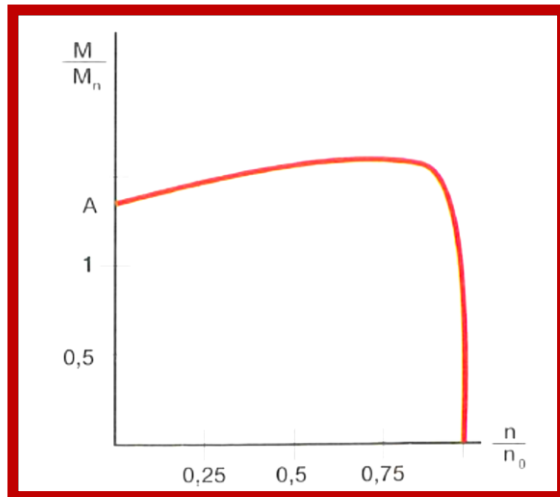
Con tensión y frecuencia constantes, relaciona el f.d.p. con la P_u . EL f.d.p. de un motor es máximo cuando trabaja a régimen nominal.



Curva característica de rendimiento

$$[\eta=f(p_u)]$$

A tensión y frecuencia constantes relaciona el rendimiento con P_u



Curva característica mecánica [$M=f(n)$]

A tensión y frecuencia constantes relaciona el par motor con la velocidad de giro del motor. Es la curva más importante a efectos de elección de la máquina

10.MOTOR MONOFÁSICO DE FASE PARTIDA

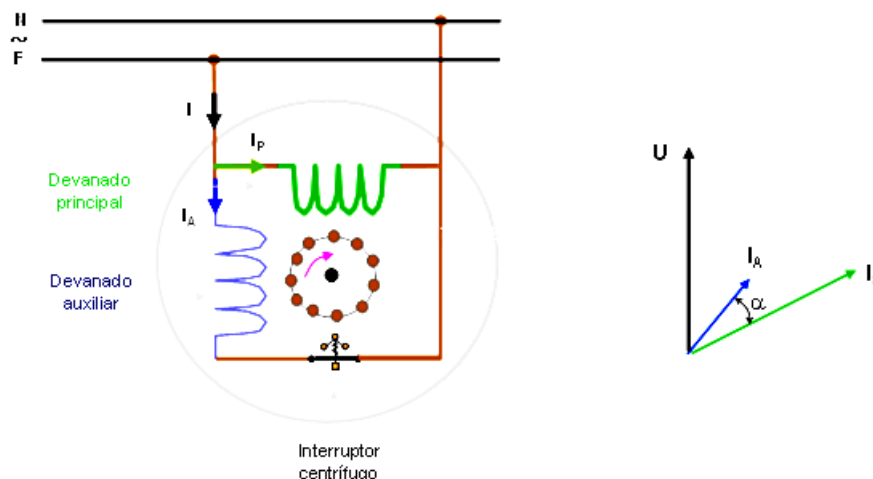
Un motor monofásico de fase partida es un motor monofásico de corriente alterna, cuya potencia generalmente no excede de 1CV. Se emplea para accionar pequeños electrodomésticos como lavadoras, pequeñas bombas de presión, quemadores de aceites pesados, etc..

En este tipo de motor se distinguen 4 partes principales:

1. La parte giratoria: el rotor
2. La parte fija que crea el campo magnético inductor: el estator
3. Dos placas o escudos terminales, sujetos a la carcasa del estator mediante tornillos o pernos.
4. Un interruptor centrífugo

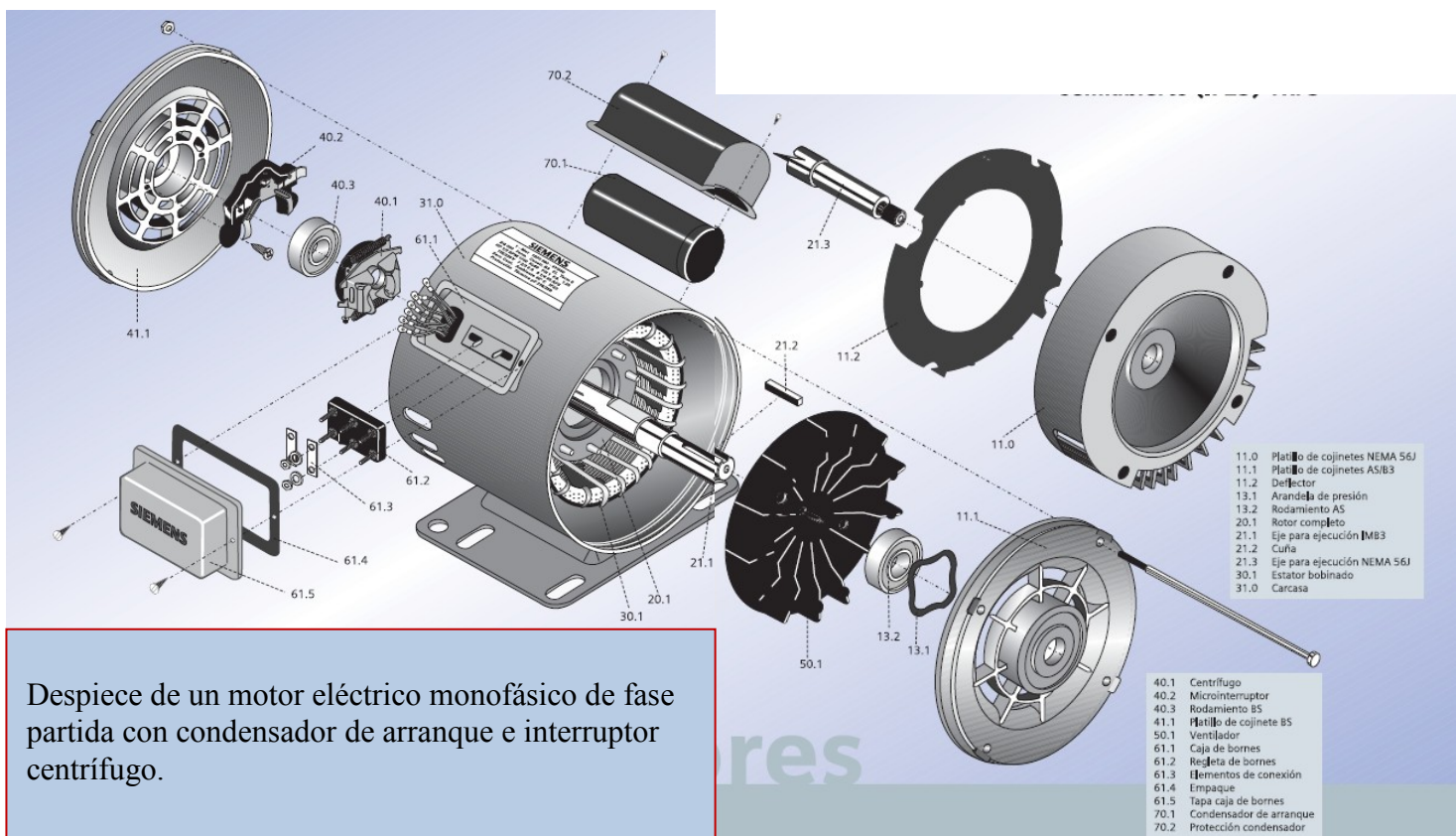
Este tipo de motores se define como: "Motor de inducción monofásico provisto de un arrollamiento auxiliar o de arranque desplazado magnéticamente respecto al arrollamiento principal o de trabajo y conectados en paralelo entre sí".

El objeto del arrollamiento auxiliar es conseguir el arranque del motor, para ello, es preciso que los flujos magnéticos engendrados por los dos arrollamientos del motor estén desplazados en el espacio y en el tiempo. La primera condición se cumple disponiendo geométricamente cada arrollamiento en posición adecuada respecto al otro.



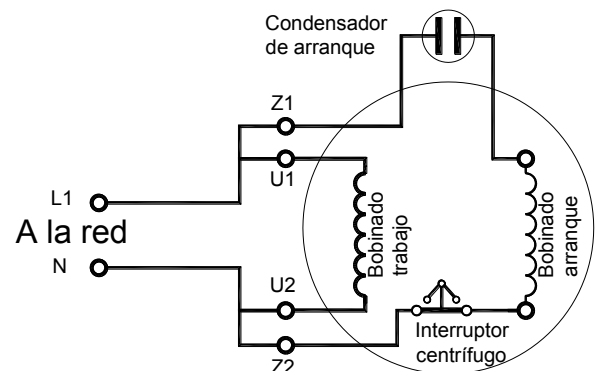
La segunda se logra variando la resistencia y la reactancia del arrollamiento auxiliar.

De las cuatro partes principales que constituyen este tipo de motor, podemos indicar que el rotor, es un rotor de jaula de ardilla como los que se han descrito en los apartados anteriores. En cuanto al estator, se compone, al igual que los trifásicos, de una carcasa dentro de la cual se dispone el núcleo magnético a base de chapas de acero al silicio para reducir las pérdidas magnéticas. En el núcleo magnético del estator se disponen los bobinados de arranque y trabajo indicados anteriormente. El interruptor centrífugo, es un interruptor especial que se monta en el interior del motor cuya función es desconectar el bobinado de arranque cuando el motor ha alcanzado una velocidad cercana a la nominal ($0,8 \cdot n$). Este interruptor está cerrado a motor parado y cuando el rotor alcanza la velocidad predeterminada se desplaza, por la acción de la fuerza centrífuga, desconectando el bobinado de arranque. Cuando el motor se para o disminuye su velocidad por debajo de la preestablecida el interruptor se vuelve a cerrar.



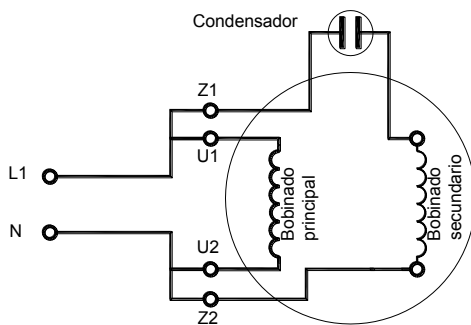
La inversión de un motor monofásico de fase partida se consigue conmutando las conexiones del bobinado de arranque respecto del de trabajo.

A fin de conseguir un mejor par motor y variar la reactancia en el arranque a los motores monofásicos de fase partida se les suele incorporar un condensador en serie con el devanado de arranque. Este condensador puede utilizarse únicamente para el proceso de arranque o

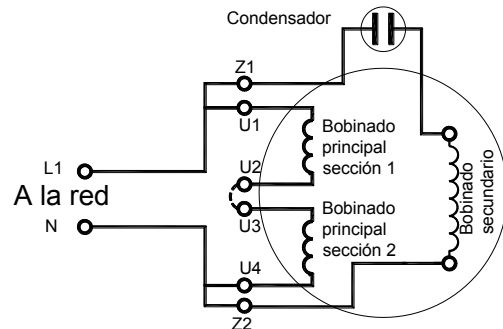


Esquema de un motor monofásico de fase partida con condensador de arranque e interruptor centrífugo

bien permanecer conectado permanentemente en cuyo caso ya no se suele incorporar el interruptor centrífugo que actualmente está en desuso.



Esquema de un motor monofásico con condensador permanente



Esquema de un motor monofásico con condensador para dos tensiones de servicio.
Tensión alta = Conex. Bob. Principales en serie
Tensión baja = Conex. Bob. Principales en paralelo

Los siguientes esquemas corresponden a las conexiones de un motor monofásico de una lavadora automática de los que se utilizan en la actualidad.

