

12.1. El motor eléctrico

Las máquinas eléctricas se clasifican en dos grandes grupos en función de si generan o no movimiento. Dentro del grupo de las dinámicas se encuentra el motor eléctrico, siendo una máquina que transforma la energía eléctrica en energía mecánica.

Tabla 12.1. Clases de máquinas eléctricas

Grupo	Tipo	Aplicación
Estáticas	Transformador	Transforma la electricidad
Dinámicas	Generador	Genera electricidad
	Motor	Genera movimiento

A su vez, el motor eléctrico se puede clasificar atendiendo a la Tabla 12.2.

Tabla 12.2. Clasificación general de tipos de motores eléctricos

Motor de corriente alterna	Inducción (asíncronos)	Trifásico	Rotor en cortocircuito
			Rotor bobinado
			Fase partida
		Monofásico	Con condensador
			Espira de sombra
	Síncronos		
Motor de corriente alterna	Excitación independiente		
	Autoexcitación	Excitación serie	
		Excitación <i>shunt</i>	
		Excitación <i>compound</i>	
Motores universales			
Otros motores (paso a paso, lineales, etc.)			

12.1.1. Tipos de motores de corriente alterna

En corriente alterna existen principalmente dos tipos de motores: los motores síncronos y los motores asíncronos.

Los **motores síncronos** giran siempre a la misma velocidad, llamada **velocidad de sincronismo**. Esta velocidad vendrá determinada por las características constructivas de

la máquina y por la frecuencia de la red eléctrica de alimentación del motor, según la expresión:

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

Donde:

n = Velocidad de sincronismo (r. p. m., revoluciones por minuto).

f = Frecuencia de la red eléctrica (Hz, hercios).

p = Número de pares de polos.

Así, una máquina con un par de polos, a una frecuencia de 50 Hz, gira a:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ r. p. m.}$$

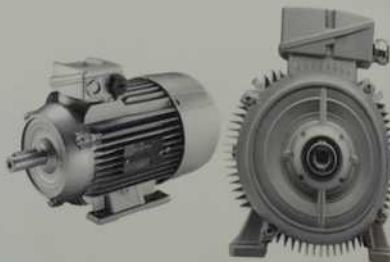


Figura 12.1. Motores de corriente alterna trifásica. (Cortesía de Siemens.)

La principal ventaja del motor síncrono es que posee una velocidad de giro constante, pero su mayor inconveniente es que si la carga aumenta, el motor pierde velocidad, lo que se traduce en una pérdida en la sincronización de giro y, por consecuencia, el motor se para. Estos inconvenientes hacen que el motor síncrono se emplee solo en casos concretos.

Los **motores asíncronos** no poseen una velocidad constante de giro. La velocidad de giro del rotor es diferente a la velocidad de sincronismo.

Esta diferencia de velocidades se denomina **deslizamiento**. Esta magnitud se aplica en tanto por uno, pero se expresa en %.

$$s = \frac{n_{\text{sincronismo}} - n_{\text{rotor}}}{n_{\text{sincronismo}}} = \frac{n - n_1}{n}$$

Donde:

s = Deslizamiento.

n_1 = Velocidad de giro del rotor (revoluciones por minuto).

n = Velocidad de sincronismo (revoluciones por minuto).

Los motores asíncronos son ampliamente utilizados en la industria, principalmente por su robustez, bajo coste, facilidad de mantenimiento y facilidad de uso. Como inconveniente poseen un bajo par de arranque.

Según como esté construido el rotor, se encuentran dos tipos de máquinas:

- **De rotor en cortocircuito o en jaula de ardilla.** El devanado está formado por unas barras unidas entre sí por los extremos por medio de unos anillos.

- **De rotor bobinado o anillos rozantes.** Los extremos de los devanados se conectan al exterior mediante unas escobillas.

12.1.2. Funcionamiento de los motores de corriente alterna

En el **motor síncrono** se hace girar el campo magnético exterior, produciéndose que el imán interior persiga a este campo (Figura 12.2). Ambos girarán a la misma velocidad.

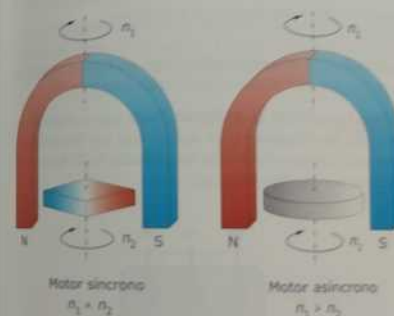


Figura 12.2. Funcionamiento básico de los motores de corriente alterna.

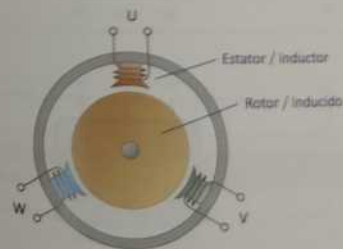


Figura 12.3. Deslizamiento en el bobinado.

El campo magnético interior (del rotor) se consigue mediante electrónica, por ello este rotor es bobinado y para acceder a este bobinado se necesita de unas escobillas.

En el **motor asíncrono o de inducción**, se hace girar el campo magnético alrededor de un disco o masa metálica, produciéndose que el disco gire en el mismo sentido pero a una velocidad ligeramente inferior (Figura 12.2).

Al girar el campo magnético, se inducen unas corrientes eléctricas en el disco que crean un campo magnético que se opone a las variaciones del campo inductor (ley de Lenz), dando como resultado el movimiento del disco.

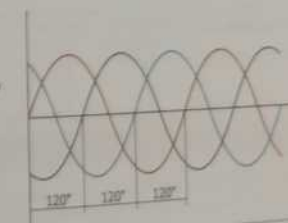
El método para crear el campo magnético generador trifásico, que actúa como inductor, consiste en colocar tres bobinas desplazadas 120° por las que circula una corriente alterna trifásica.

12.1.3. Simbología

La simbología eléctrica que representa a los motores asíncronos de corriente trifásica en la normativa es la Tabla 12.3.

Tabla 12.3. Representación gráfica del motor trifásico asíncrono

Elemento	Simbolo
Motor trifásico asíncrono con rotor en cortocircuito o jaula de ardilla	
Motor trifásico asíncrono con rotor en cortocircuito, con todos sus bornes	
Motor trifásico asíncrono de rotor bobinado	



Y para los motores trifásicos síncronos es la mostrada en la Tabla 12.4.

Tabla 12.4. Representación gráfica del motor trifásico síncrono

Elemento	Símbolo
Motor trifásico síncrono con rotor de excitación independiente	
Motor trifásico síncrono con rotor de imán permanente	

Los motores eléctricos se identifican con la letra M.

12.1.4. La conexión eléctrica de un motor trifásico asíncrono

Un motor eléctrico trifásico asíncrono está constituido internamente por tres devanados, con un total de seis bornes.

Un motor trifásico puede funcionar bajo dos valores de tensión eléctrica. A la hora de configurar este motor trifásico se debe tener en cuenta la tensión de la red eléctrica y de cómo se realizan las conexiones en los bobinados del motor. Las conexiones son **conexión en estrella** y **conexión en triángulo**.

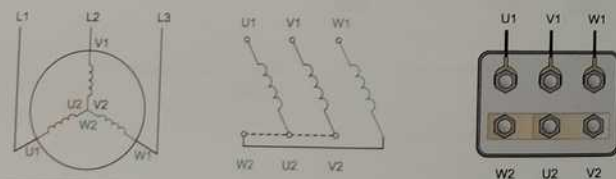


Figura 12.5. Conexión en estrella.

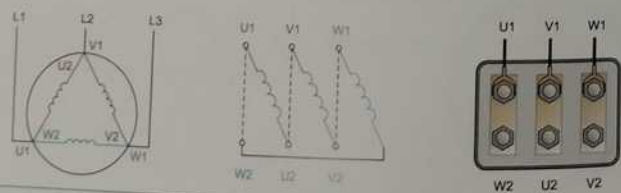


Figura 12.6. Conexión en triángulo.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO



Figura 12.4. Cajas de conexiones de un motor trifásico.

Para la conexión en estrella, todos los bornes se unen en un punto, por ello se conectarán uniéndose entre sí.

Para la conexión en triángulo, basta con cambiar la posición de las plaquitas y se unirán con las líneas de alimentación del motor. Al estar desplazados los bobinados se consigue la conexión correcta.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

12.2. El proceso de arranque de un motor de inducción

El arranque de un motor eléctrico es el intervalo en el cual el motor, partiendo del reposo, se acelera hasta alcanzar la velocidad nominal diseñada para ese motor. Es por tanto la primera fase en el funcionamiento de los motores y es una fase que es temporal. El tiempo de arranque de un motor depende principalmente de la carga arrastrada respecto al motor.

Para que un motor pueda arrancar es necesario que el par motor pueda vencer el par resistente de la carga.

12.2.1. Curva característica de par-velocidad

Hasta que el motor alcanza su régimen permanente, su par y velocidad no son constantes sino que tienen un comportamiento tal y como se muestra en la Figura 12.7.

En el momento inicial de aplicarle alimentación eléctrica para que inicie el arranque, el motor tiene una velocidad de giro nula (lógicamente, puesto que está parado) y tiene

un par de arranque determinado por sus condiciones físicas. A este valor de par se le denomina **par de arranque**.

Conforme empieza a acelerar, su par disminuye hasta alcanzar el punto de **par mínimo**.

Pasado este punto de par mínimo, el motor sigue acelerando, desarrollando cada vez un mayor par, hasta llegar al **par máximo**.

En función del par resistente, el motor se estabilizará en el punto nominal de funcionamiento. En dicho punto el motor desarrollará una velocidad constante (velocidad nominal) y un **par nominal**. Ese será el punto de trabajo de ese motor con esa carga.

En esta gráfica se observan dos zonas: una zona inestable donde las condiciones van variando a lo largo del tiempo y una zona estable donde el motor se estabilizará y se situará el punto nominal o de trabajo.

Para que un motor se estabilice en su punto de trabajo nominal, debe situarse en la zona estable. Este punto de trabajo nominal es fijo mientras no se alteren las condiciones. Pero puede pasar que la carga arrastrada por el motor varíe. Al variar la carga, varía el par resistente. Si el par resistente aumenta, la curva se desplaza hacia arriba, disminuyendo ligeramente la velocidad (de n_1 a n_2). Pasa lo opuesto en el caso contrario.

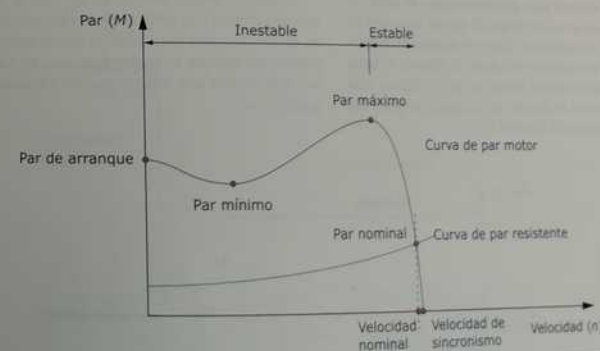


Figura 12.7. Curva de arranque típica de un motor de inducción.

Recuerda:

El par es un término físico que indica una fuerza aplicada de forma rotacional. Esta fuerza se aplica con un sentido de giro y a una cierta distancia. Físicamente, par es fuerza por distancia. Cuando hablamos de par motor nos referimos a quien realiza la fuerza del movimiento. Y cuando hablamos de par resistente nos referimos a quien se opone a ese movimiento.

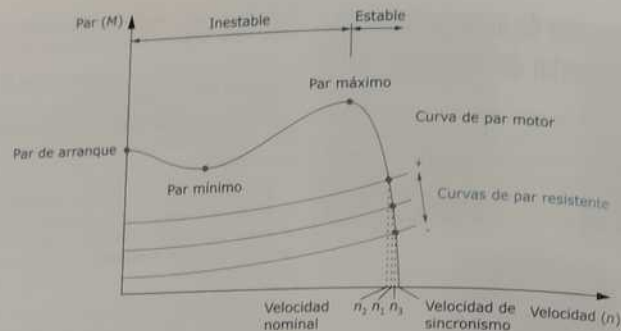


Figura 12.3. Curvas con variación del par resistente.

En el proceso de arranque, pueden ocurrir las siguientes situaciones (Figura 12.9):

- **El motor no arranca.** El par resistente es mayor que el par motor. Es decir que el motor no puede mover la carga conectada. Es la representación de la curva M_1 .
- **El motor arranca pero posteriormente se para.** El motor puede arrancar porque el par de arranque es superior al par resistente. Una vez arrancado, el motor empieza a acelerar pero antes de llegar a la zona estable, el par motor es inferior al par resistente, con lo cual el motor no puede con la carga y se para. Es la representación de la curva M_2 .

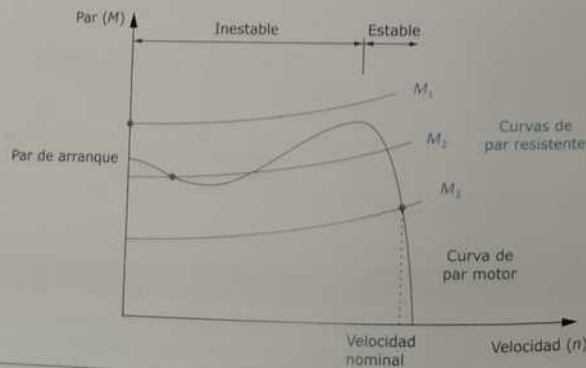


Figura 12.9. Casos de situaciones en el arranque.

12.2.2. Curva característica de corriente-velocidad

También en el proceso de arranque hay una curva característica de la relación de la corriente con la velocidad y el par. En el momento inicial (punto de arranque), la corriente eléctrica es muy elevada. Este valor de intensidad eléctrica disminuyendo conforme la máquina se acelera estabilizándose en el punto nominal.

Esta punta de corriente eléctrica en el momento de arranque es importante, alcanzando varias veces la intensidad nominal.

Este aumento temporal en la corriente eléctrica producida por el arranque del motor genera una serie de problemas en la red eléctrica que son más importantes cuanto mayor sea la potencia del motor. Estas perturbaciones se traducen en variaciones en la red eléctrica con bajadas de tensión, generación de ruido eléctrico, generación de armónicos, etcétera.

Las empresas suministradoras de energía, así como los reglamentos obligan a los usuarios a tomar medidas para disminuir estos efectos.

Los límites de la relación entre la corriente de arranque respecto a la corriente nominal a plena carga están fijados por normativa en los siguientes valores (Tabla 12.5).

► Recuerda:

Los armónicos son múltiplos de la frecuencia de la red eléctrica. Aparte de la onda eléctrica de 50 Hz, se generan otras ondas que son múltiplos de esta, pudiéndose encontrar ondas (armónicos) de 100 Hz, 150 Hz, etcétera. Los armónicos son ondas no deseadas y las consecuencias principales son sobrecargas, calentamientos, disparos no deseados de elementos de protección, distorsión en la forma de la onda eléctrica, etcétera.

Tabla 12.5. Limitaciones según el REBT-ITC-47 para el arranque de motores

Motores de corriente continua		Motores de corriente alterna	
Potencia nominal	K	Potencia nominal	K
De 0,75 a 1,5 kW	2,5	De 0,75 a 1,5 kW	4,5
De 1,5 a 5 kW	2	De 1,5 a 5 kW	3
Más de 5 kW	1,5	De 5 a 50 kW	2
		Más de 50 kW	1,5

K: Constante máxima de la proporcionalidad entre la intensidad de arranque y a plena carga.

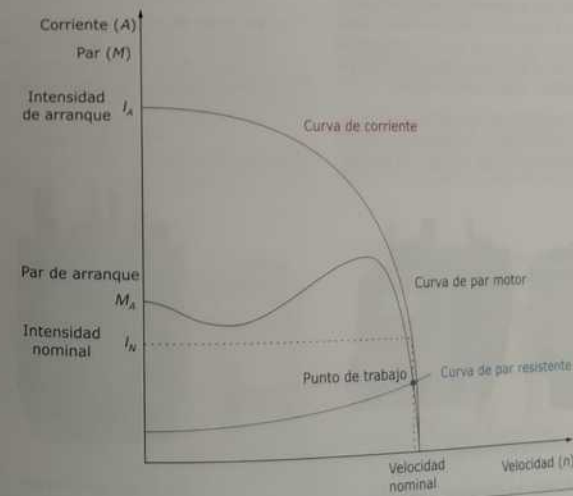


Figura 12.10. Curva característica de corriente y velocidad.

► Recuerda:

El REBT (Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión), en la instrucción TTC-47, fija que a partir de un motor de 0,75 kW, este debe contar con algún sistema para limitar esta relación entre la corriente de arranque respecto a la corriente nominal.

12.3. Protección de motores eléctricos

En la mayoría de aplicaciones industriales, el receptor eléctrico más empleado es el motor eléctrico. Estos motores se deben proteger tanto para sobrecorrientes como para sobrecargas. Existen diversas soluciones para realizar una adecuada protección (relé térmico, disyuntor guardamotor, etc.).

12.3.1. El relé térmico

El relé térmico es uno de los elementos de protección del motor eléctrico. Es un dispositivo de acción lenta que **reacciona por efecto de la temperatura sobre una lámina metálica**. Se emplea para la detección y protección de sobrecargas en el motor eléctrico. Un motor eléctrico puede soportar ligeras sobrecargas de una manera temporal sin que sufra en exceso. Si esa sobrecarga perdura en el tiempo, entonces sí que es dañino, ya que puede averiarlo.

Al ser un sistema de protección no total, se debe combinar con otro sistema con el cual se complementa y ofrezca protección contra cortocircuitos, por ejemplo con fusibles.



Figura 12.11. Relés térmicos. (Cortesía de Schneider.)

Los motivos del disparo del relé térmico están relacionados con las siguientes situaciones:

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- **Sobrecarga del motor por un exceso de trabajo.** El motor intenta llegar a su régimen de trabajo aumentando la corriente y, por consiguiente, calentándose en exceso.
- **Sobrecarga por un defecto del motor.** El motor sufre un fallo, por ejemplo por un deterioro en los rodamientos del eje o por una curvatura del eje.
- **Fallo de una de las fases de alimentación de la red eléctrica.** El motor intenta compensar esta pérdida con un aumento de la intensidad en las demás fases.
- **Disminución de la tensión de alimentación del motor.**
- **Desequilibrio de las fases de alimentación de la red eléctrica.**
- **Excesivo número de arranques y paros en un corto intervalo de tiempo.** Durante el arranque, el motor tiene una pequeña sobrecarga. Si no se le da tiempo a disipar ese exceso de calor temporal se puede ir acumulando y provocar el disparo del relé.

Un relé térmico se compone de las siguientes partes:

- **Bornes de conexión del contactor.** Es la conexión directa con el contactor.
- **Bornes de conexión del motor trifásico.** Son los bornes de salida del relé térmico. Sobre estos, se conectarán las tres fases del motor.
- **Pulsador de stop.** Accionándolo se abre el contacto auxiliar NC. Este contacto se conecta en serie con la bobina del contactor y actuando sobre él, se actúa sobre el contactor, parando el motor.



Figura 12.12. Partes del relé térmico.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- **Selector de rearme.** Permite seleccionar entre un rearme manual o automático.
- **Función de prueba.** Permite probar el correcto funcionamiento provocando un disparo del relé.
- **Contacto auxiliar NC.** Contacto normalmente cerrado. Se utiliza como elemento de paro del contactor.
- **Contacto auxiliar NO.** Contacto normalmente abierto. Se utiliza principalmente como elemento de señalización para indicar el disparo del relé térmico por sobrecarga del motor.
- **Dial de ajuste de corriente asignada.** Dial giratorio para el ajuste de la corriente. Permite la calibración de disparo del relé. Suele tener una tapa transparente que permite tener su precintado como medida de protección contra manipulaciones indebidas.

El principio de funcionamiento del relé térmico se basa en emplear una **lámina compuesta de dos metales de diferente coeficiente de dilatación térmica**. Los metales, al calentarse, se dilatan. El metal de la lámina con mayor capacidad de dilatación va a forzar a que la lámina se curve. Con este movimiento se produce la desconexión del relé.

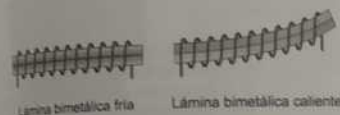


Figura 12.13. Lámina bimetalica y su curvado.

Una vez se produce la desconexión del motor, la lámina metálica del relé deja de calentarse y poco a poco se enfría hasta que vuelve a recuperar su posición inicial.

A este tiempo se le denomina **tiempo de reposición**. Los fabricantes proporcionan tablas en las cuales se refleja

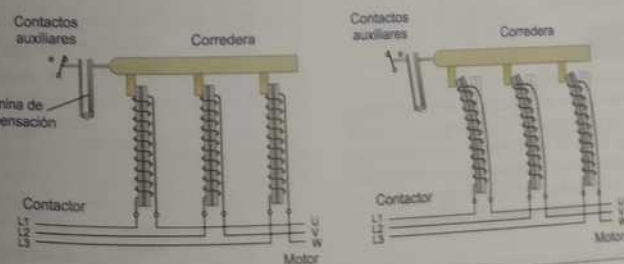


Figura 12.14. Proceso de disparo del relé térmico.

cual es el tiempo de reposición en función de la corriente que produjo el disparo.

Un relé térmico trifásico contará con tres láminas, una para cada fase.

Para que el relé térmico dispare, no es necesario que todas las láminas se curven por calentamiento, basta con una de ellas. Cuando falla una fase, de las tres láminas solo dos (por las que circula la corriente) se calentarán, y por la que no circula corriente permanecerá fría.

La mayoría de los relés actuales cuentan con una lámina de compensación. Esta lámina, que también es bimetalica, tiene por objeto compensar las variaciones de la temperatura ambiente.

Cuando el relé térmico dispara, solo actúa sobre los contactos auxiliares. Por los contactos de potencia el motor eléctrico sigue conectado a la red eléctrica de alimentación. Para provocar el paro del motor se emplea la ayuda de los contactos auxiliares para dar la orden de paro. El relé térmico no tiene capacidad de corte.

► Recuerda:

Una vez que se dispara el relé térmico, no es posible volver a arrancar inmediatamente el motor eléctrico. Se debe enfriar la lámina bimetalica para que recupere su posición inicial y permita la conexión de sus contactos internos.

El reglaje se realizará teniendo en cuenta el motor (potencia, factor de potencia, etc.) y la carga (tipo de carga, etc.).

Si un relé correctamente ajustado se dispara con relativa frecuencia, indica que el motor eléctrico va justo de potencia y que se debería cambiar el motor por uno de mayor potencia o disminuir la carga del motor.

Los motores con una alta tasa de frecuencia de trabajo (varios arranques y paros en un intervalo corto de tiempo) implican una dificultad en su protección, no obstante existen gamas de motores diseñados para tales fines.

Como ya se ha estudiado, durante el arranque de los motores se producen unos picos de corriente que son varias veces la intensidad nominal del motor. El relé térmico debe ignorar estas sobrecargas y permitir que el motor arranque. El tiempo de esta intensidad dependerá del tiempo de arranque y no todas las máquinas arrancan en el mismo intervalo. Para adaptar las condiciones de arranque, los relés térmicos se clasifican según su curva de respuesta en:

- **Relé de clase 10.** Permite el arranque con un tiempo máximo de 10 segundos.
- **Relé de clase 20.** Permite el arranque con un tiempo máximo de 20 segundos.
- **Relé de clase 30.** Permite el arranque con un tiempo máximo de 30 segundos.

Estos valores se han fijado considerando un arranque de 7,2 veces la intensidad nominal del motor.

En la Tabla 12.6 se representan las clases de relés en función de la intensidad de regulación del relé y del tiempo de actuación.

Tabla 12.6. Clases de disparo de relés térmicos según corriente y tiempo

Clase	Tiempo de disparo (en frío)			
	1,05 I	1,2 I	1,5 I	7,2 I
10 A			< 2 min	≤ 10 s
10			< 4 min	≤ 10 s
20	> 2 horas	< 2 horas	< 8 min	≤ 20 s
30			< 12 min	≤ 30 s

Saber más

Existen más clases de disparo (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40). La clase de disparo del relé térmico más empleada es la clase 10, con un tiempo de respuesta de menos de 10 segundos, que es menor que el tiempo de arranque normalmente empleado por la mayoría de las aplicaciones con motores trifásicos. La clase 30 se utiliza muy poco en Europa, pero sí es muy empleada en Estados Unidos.

La simbología eléctrica que representa a los relés térmicos es la mostrada en la Tabla 12.7.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Tabla 12.7. Representación gráfica del relé térmico

Elemento	Símbolo
Relé térmico (fuerza y contactos)	
Relé térmico (fuerza)	
Relé térmico (contacto auxiliar NC y NO)	

El símbolo del relé térmico se identifica con la letra F y se compone de dos partes: contactos de fuerza y contactos auxiliares.

Los contactos de auxiliares emplean la numeración de 9 para la primera cifra y para la segunda cifra los pares 5-6 para el contacto normalmente cerrado y 7-8 para el contacto normalmente abierto.

Como el relé térmico solo proporciona protección contra sobrecargas, necesita del apoyo de algún otro dispositivo que se encargue de la protección contra sobrecorrientes (cortocircuitos). Este dispositivo suele ser el fusible o el interruptor automático electromagnético.

Si se emplea el fusible, el circuito básico para el arranque de un motor trifásico es el mostrado en la Figura 12.15.

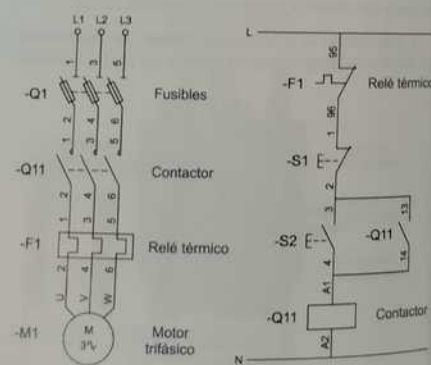


Figura 12.15. Protección mediante fusibles y relé térmico.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

En este esquema se observa que, en condiciones de trabajo normales, el contacto cerrado del relé térmico (contacto de fuerza) permite el arranque del motor una vez se accione el interruptor de marcha (S2). Si hay algún problema y el relé térmico dispara, provoca la apertura de este mismo contacto y se comporta como un paro desactivando la bobina del contactor (Q11) y desconectando, a través de los contactos de fuerza, el motor.

12.3.2. El interruptor automático electromagnético

El interruptor automático electromagnético, también llamado **disyuntor electromagnético**, es un elemento de protección contra los cortocircuitos.



Figura 12.16. Interruptores electromagnéticos. (Cortesía de Siemens.)

Se basa en emplear unos disparadores para abrir el circuito eléctrico mediante el efecto electromagnético. Un disparador por cada fase. El disparador consiste en un núcleo de hierro dentro de un campo magnético. Está calibrado para que cuando circule una corriente muy elevada debido a un cortocircuito, una parte móvil se mueva por efecto de ese campo electromagnético hacia una parte fija. Con este movimiento se provoca el disparo y la apertura del circuito.

Las características principales que definen a un disyuntor electromagnético son las siguientes:

- **Poder de corte.** Es la máxima corriente que el disyuntor magnético puede cortar bajo tensión. Es un valor de kiloamperios.
- **Poder de cierre.** Es el valor máximo de corriente que puede establecer un disyuntor magnético bajo tensión nominal. Se expresa como el número de veces del poder de corte.
- **Tensión asignada de empleo.** Es el valor de la tensión para la cual está diseñado el disyuntor para funcionar correctamente.

- **Corriente nominal.** Es el valor de la corriente para la cual está diseñado para trabajar sin causarle ningún daño. También se denomina calibre.
- **Umbral de funcionamiento de los disparadores electromagnéticos.** Es el valor de la corriente a partir de la cual se produce el disparo electromagnético. Se expresa como el número de veces la corriente nominal del disyuntor.

La simbología eléctrica que representa al disyuntor electromagnético es la mostrada en la Tabla 12.8.

Tabla 12.8. Representación gráfica del disyuntor electromagnético

Elemento	Símbolo
Disyuntor electromagnético (fuerza y contactos auxiliares)	
Disyuntor electromagnético (fuerza)	
Disyuntor electromagnético (contacto auxiliar NO y NC)	

El símbolo del interruptor automático electromagnético se identifica con la letra Q.

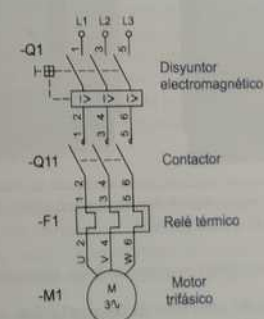


Figura 12.17. Protección mediante interruptor automático electromagnético y relé térmico.

El disyuntor electromagnético se emplea como sustituto de los fusibles y acompañando a los relés térmicos. Respecto a los fusibles, los disyuntores electromagnéticos son más rápidos en su respuesta.

En el esquema del circuito de fuerza, el disyuntor electromagnético se coloca entre el contactor y la red de energía eléctrica. En el esquema del circuito de maniobra se emplea un contacto abierto de este disyuntor.

12.3.3. El disyuntor guardamotor

El disyuntor guardamotor es un sistema de protección para motores eléctricos que combina las ventajas del disyuntor electromagnético con las ventajas del relé térmico. Por tanto, es un sistema de protección completo frente a las sobrecargas y cortocircuitos.



Figura 12.10. Diversos modelos de disyuntores guardamotrices. (Cortesía de Schneider CVM, GV7 y Siemens 3RV)

Un disyuntor motor se compone de las siguientes partes:

- **Bornes de conexión de alimentación eléctrica (entrada).** Son los bornes que se conectan a la red eléctrica. Es el punto de entrada de la corriente al aparato.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- **Bornes de conexión del contactor (salida).** Son los bornes de conexión de salida y ahí se conecta el contactor.



Figura 12.19. Partes del disyuntor guardamotor.

- **Selector de conexión y desconexión.** Es un selector que permite el cierre/apertura del circuito y que así pueda llegarle corriente eléctrica al motor.
- **Dial de ajuste de corriente.** Dial giratorio para el ajuste de la corriente. Permite la calibración de disparo del disyuntor por sobrecarga (térmico).
- **Función de prueba.** Permite probar el correcto funcionamiento provocando un disparo del disyuntor.
- **Contactos auxiliares.** Se utilizan para desconectar el circuito de mando una vez salta el disyuntor y para operaciones de señalización (disparo del disyuntor). Los contactos auxiliares suelen ser un complemento del disyuntor. Pueden ser para un montaje frontal o lateral.
- **Precinto.** Suele tener una tapa transparente con un cierre que permite su precintado como medida de protección contra manipulaciones indebidas.



Figura 12.20. Contactos auxiliares de montaje frontal. (Cortesía de Schneider)

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO



Figura 12.21. Contactos auxiliares de montaje lateral. (Cortesía de Schneider)

La simbología eléctrica que representa al disyuntor guardamotor es la mostrada en la Tabla 12.9.

Tabla 12.9. Representación gráfica del disyuntor guardamotor

Elemento	Símbolo
Disyuntor guardamotor (fuerza y contactos auxiliares)	
Disyuntor guardamotor (fuerza)	
Disyuntor guardamotor (contacto auxiliar NC y NO)	

El símbolo del disyuntor guardamotor se identifica con la letra Q.

El disyuntor guardamotor es un dispositivo que, en condiciones de reposo, sus contactos se encuentran abiertos. Por ello, a la hora de utilizarlo se deben cerrar sus contactos. Al cerrar sus contactos, todos ellos cambian de estado, cerrando los abiertos y abriendo los cerrados. El contacto 13-14 (NO) del disyuntor ahora estará cerrado, permitiendo activar el contactor si se acciona el pulsador de marcha (S2).

Si el disyuntor dispara por un problema eléctrico, los contactos de fuerza se abren parando el motor y por me-

dio del contacto 13-14 del disyuntor (que actuará como un paro) cortará la alimentación eléctrica a la bobina del contactor, desactivándolo.

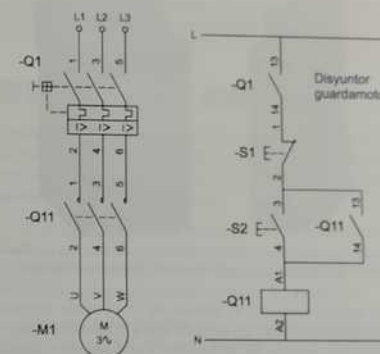


Figura 12.22. Esquema de protección de un motor con un disyuntor guardamotor.

► Recuerda:

El disyuntor guardamotor proporciona una protección al motor completa, tanto contra cortocircuitos como contra sobrecargas.

12.3.4. Las sondas de temperaturas

La protección mediante sondas térmicas es un método que consiste en medir directamente la temperatura en el interior del motor eléctrico. Toda sobrecarga se traduce en un aumento de temperatura, que si el motor no es capaz de disipar, a la larga daña o acorta la vida del motor. Las sondas de temperatura se emplean como método de **protección contra las sobrecargas**.

La sonda de temperatura es también capaz de poder detectar una refrigeración deficiente del motor. Si un motor eléctrico está funcionando correctamente y sin embargo se detecta un exceso de temperatura (descartando la temperatura ambiente) es signo de una mala refrigeración.

Las sondas de temperatura son unas resistencias (PTC o NTC) que varían su resistencia eléctrica en función de la temperatura. Miden la temperatura en el punto de contacto, por ello se deben situar en los puntos críticos del motor (en

al fondo de las ranuras o en las cabezas de las bobinas). Un motor eléctrico puede llevar una o varias sondas.



Figura 12.23. Relés para termistores Schneider (L73) y Siemens (SRN30).

Las sondas térmicas se introducen en el motor durante el botinado del mismo. Es por ello que a la hora de adquirir un motor eléctrico se ha de decidir si se desea que cuente con dichas sondas.

Las sondas realizan la tarea de medición pero es necesario contar con un dispositivo externo que se encargue de leer esos valores y decidir si se ha de cortar la alimentación eléctrica al motor. Este dispositivo es el relé de protección del motor por termistancia.

Existen otra serie de sondas llamadas PT-100, estas sondas son de mayor calidad que las PTC, además de ser más lineales en su respuesta. Las sondas PT-100 se emplean en motores de mayor tamaño.

La protección con sondas térmicas es adecuada en aquellos motores que van a funcionar de una manera intermitente, con arranques y frenados muy repetidos en el tiempo.

Tabla 12.18. Representación gráfica

Elemento	Símbolo
Sonda de temperatura	
Motor trifásico con sonda de temperatura	
Relé de protección por sondas de temperatura	

La simbología eléctrica que se emplean con los relés de protección por sondas de temperatura es la mostrada en la Tabla 12.10.

El símbolo del relé de protección por sondas de temperatura no está normalizado, pero se representa con los terminales de los que consta, y al ser un relé, se identifica por la letra K.

La propia sonda de temperatura es una parte del motor y el motor eléctrico se representa por la letra M. Si se necesita representar una sonda de temperatura del motor, esta se indicará por la letra M (de su motor).

12.3.5. El relé electrónico de protección de motores

El relé electrónico de protección de motores es un dispositivo que analiza una serie de parámetros para realizar la protección del motor.



Figura 12.24. Relé electrónico de protección. (Cortesia de Siemens).

Entre sus funciones se encuentra la protección frente:

- Sobrecargas.
- Caídas de tensión.
- Variaciones de la frecuencia.
- Desequilibrios en la red de alimentación al motor.
- Pérdida de una fase.
- Control de arranque por unidad de tiempo.

Es el sistema más sofisticado de protección, empleando internamente un equipo electrónico con microprocesador que permite recoger datos y almacenarlos para realizar posteriormente su análisis. A pesar de ser un buen sistema de protección, su uso queda relegado para el empleo en aplicaciones críticas por su alto precio en comparación con los otros sistemas de protección.

12.4. Arranque de motores eléctricos

Existen diferentes técnicas para realizar el arranque de un motor. Cada una de ellas tiene sus características, que se deben tener en cuenta para la correcta selección.

12.4.1. Arranque directo

El arranque directo es la manera más simple y económica de arrancar un motor y por ello es el más empleado en motores de pequeña potencia.

Tiene un buen par de arranque consiguiendo llevar el motor en muy poco tiempo al punto de trabajo. Pero su mayor inconveniente es el alto pico de corriente que demanda durante esta maniobra (Apartado 11.1.2).

Consiste en conectar los devanados del motor directamente a la red eléctrica. Este tipo de arranque, al causar una sobrecorriente temporal en los devanados del motor, provoca un cierto estrés térmico.

La maniobra de arranque se ha estudiado anteriormente empleando un pulsador de marcha (S2) y otro de paro (S1), y emplea la técnica de la realimentación utilizando un contacto abierto del contactor (13-14 Q11).

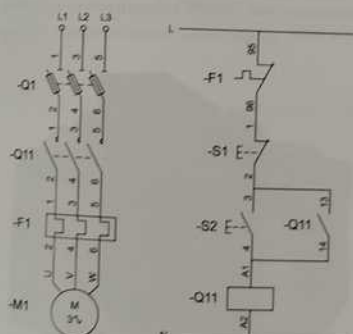


Figura 12.25. Esquema de arranque directo.

Las características de este tipo de arranques son las siguientes:

- La corriente de arranque se sitúa en valores entre 4 y 8 veces la corriente nominal del motor.
- El par de arranque se sitúa entre 0,5 y 1,5 veces el par nominal.

Recuerda:

Según el REBT, para motores de una potencia de más de 750 W no está permitido el arranque directo.

12.4.2. Arranque estrella-triángulo

En la Unidad 5 se estudió las características de la conexión de los receptores en conexión en estrella y en triángulo. Su aplicación práctica se puede emplear para desarrollar un arranque de un motor trifásico.

Consiste en arrancar el motor en configuración de los devanados en estrella y posteriormente pasar a la configuración de triángulo. Por ello, el motor debe poder estar en condiciones de trabajar en régimen permanente en triángulo.

Al arrancar en **estrella**, los devanados del motor se someten a una tensión inferior (de valor $U/\sqrt{3}$). A menor tensión, el campo magnético generado por el estator es más débil y por tanto el **par desarrollado por el motor se reduce a un tercio ($M/3$)**. La corriente que circula por los devanados también se reduce un tercio ($I_d/3$).

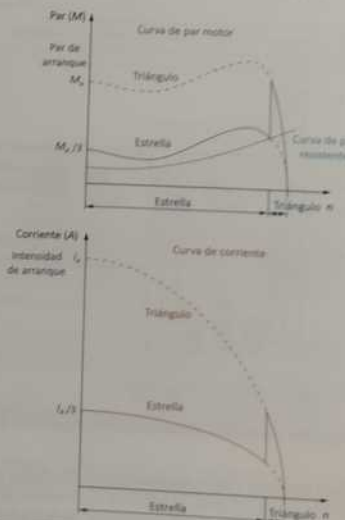


Figura 12.26. Curvas de arranque par-intensidad-velocidad (estrella-triángulo).

Puede ser un tiempo, que suele oscilar entre 3 y 6 segundos, y que depende de la carga, se pasa a la configuración en triángulo, que es la posición final de trabajo del motor.

Para emplear esta técnica con una red trifásica de 400 V, el motor debe ser de una tensión de 400 V/690 V, ya que terminará el arranque en triángulo.

Recuerde:

Para una red trifásica de 400 V, el motor debe ser de 400 V/690 V, para aplicar el arranque estrella-triángulo.

Las principales desventajas de este método residen en la importante reducción del par de arranque y en que no siempre el motor está en disposición de poder trabajar en triángulo.

El esquema de fuerza, aparte de las protecciones, consiste en emplear tres contactores. Un contactor es el encargado de alimentar el motor (contactor de línea, Q11) y los otros dos contactores son los encargados de la configuración: en triángulo (Q15) y en estrella (Q13).

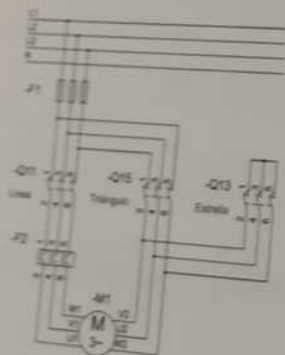


Figura 12.27. Esquema de fuerza estrella-triángulo.

El esquema de mando comprende los siguientes bloques:

- **Marcha-paro con realimentación.** Mediante una botona marcha-paro se controla el contactor de línea (Q11), que es el que conecta el motor a la red eléctrica. Cuenta con su correspondiente realimentación.

- **Temporizador.** Mediante sus contactores, controla de estrella a triángulo. Al activarse Q11 mediante el contacto cerrado del temporizador conecta en estrella (Q13) al motor. Cuando pasa el tiempo establecido (primera fase del arranque), sus contactos cambian de estado, desconectando Q13 y activando Q15 (triángulo).

Estrella (Y) → Activación de: Q11 + Q13

Triángulo (Δ) → Activación de: Q11 + Q15

- **Desconexión del temporizador.** Una vez que el motor ya ha arrancado, el temporizador no se necesita y se desconecta de la red, para ello se emplea un contacto cerrado del contactor de triángulo (Q15).
- **Realimentación de contactor de triángulo.** Para que el motor siga en la configuración de triángulo, necesita que la bobina siga conectada a la red eléctrica, para ello se emplea la realimentación de ese mismo contactor (Q15).
- **Enclavamiento.** Es una medida de seguridad para evitar que el contactor de configuración en estrella (Q13) y el contactor de triángulo (Q15) entren a la vez, ya que provocarían un cortocircuito.

Se puede utilizar un relé temporizador general aunque hay fabricantes que ofrecen temporizadores específicos para esta tarea.



Figura 12.28. Relé temporizador para arranque estrella-triángulo (Cortés de Siemens).

Con el fin de facilitar la instalación de este tipo de arranque, existen conjuntos de contactores y temporizador ya montados y cableados.

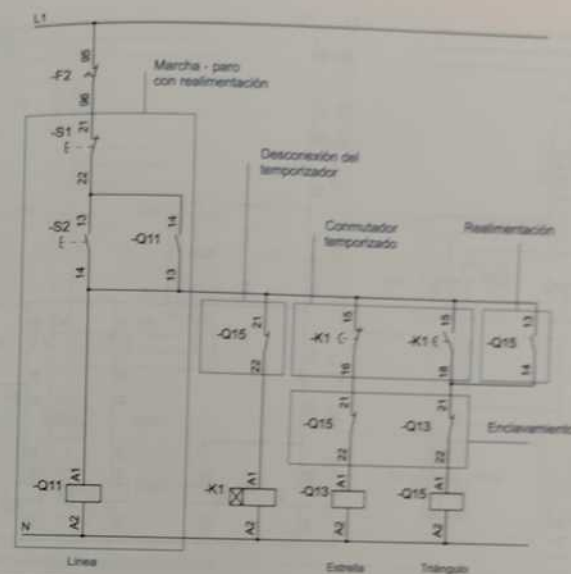


Figura 12.29. Esquema de maniobra (estrella-triángulo).



Figura 12.30. Bloque estrella-triángulo (Cortés de Siemens).

12.4.3. Arranque mediante autotransformador

Este sistema para reducir la corriente de arranque consiste en reducir la tensión de los devanados del motor empleando

un autotransformador. A menor tensión, el campo magnético generado por el estator es más débil y por tanto la corriente de arranque es menor (Figura 12.31).

En la primera fase del arranque se activan los contactores que dan servicio al autotransformador (Q16 y Q17). Transcurrido un tiempo, se desactivan estos contactores y se activa el contactor de línea (Q11), el cual conecta directamente al motor a la línea eléctrica.

La corriente de arranque y el par de arranque quedan reducidos de forma cuadrática:

$$\text{Relación} = \left(\frac{\text{Tensión de la red eléctrica}}{\text{Tensión reducida del autotransformador}} \right)^2$$

Debido a esta relación, este arranque solo se emplea en aplicaciones en las cuales el par de arranque sea muy bajo.

Este tipo de arranque no se suele emplear en la actualidad debido al precio del autotransformador y a la existencia de otros métodos de arranque más eficaces y baratos.

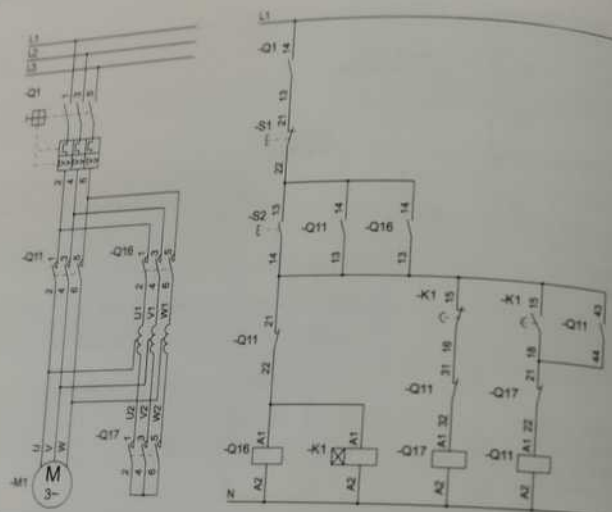


Figura 12.31. Esquema de arranque con autotransformador.



Figura 12.32. Autotransformador para arranque de motores trifásicos. (Cortina de Schindler).

12.4.4. Arranque mediante resistencias estáticas

Este sistema para reducir la corriente de arranque omite en provocar una caída de tensión en los devanados del estator del motor mediante resistencias.

El arranque básico consta de dos contactores: uno de ellos (Q16) estará en serie con el grupo de resistencias y será el primer contactor en entrar en servicio. Pasado un tiempo, que depende de la carga, el motor se estabiliza. A continuación se desconectan estas resistencias, desactivando su contactor y activando el contactor (Q11), el cual conectará el motor directamente a la red eléctrica.

El valor de las resistencias estará en función de la carga, de tal manera que permita el arranque con la mínima corriente.

Es un tipo de arranque que no se emplea mucho debido al bajo par de arranque y solo es interesante en aplicaciones en las cuales el par resistente varía aumentando con la velocidad (por ejemplo, en el caso de ventiladores).

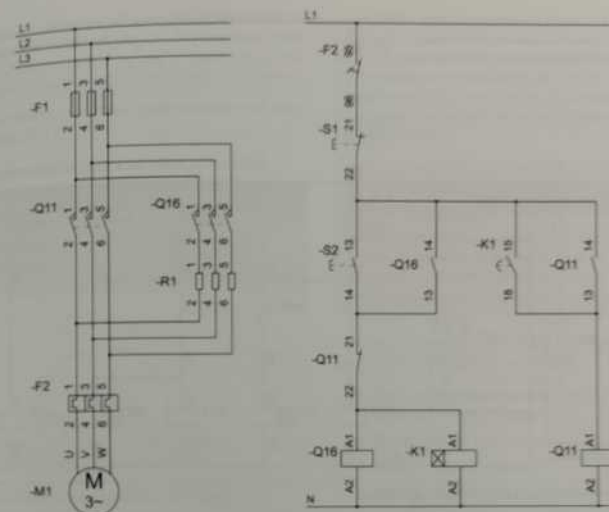


Figura 12.33. Esquema de arranque con resistencias estáticas.

12.4.5. Arranque mediante resistencias rotóricas

El arranque con resistencias rotóricas solo se puede emplear con el motor trifásico de rotor bobinado. Una de sus ventajas es que la punta de corriente en el momento inicial del arranque es la más reducida en comparación con las técnicas de arranque vistas hasta ahora.

Consiste en conectar el devanado del estator directamente a la red eléctrica y mediante unas resistencias conectadas en el devanado del rotor se controla la corriente de arranque y el par.

Se puede colocar varios escalones o grupos de resistencias, los cuales se van retirando paulatinamente conforme avanza el proceso de arranque, finalizando con la eliminación de todas ellas.

En el esquema de la Figura 12.34 se han colocado dos grupos de resistencias, con lo cual, el arranque contará con tres pasos:

- Primer paso → R1 + R2
- Segundo paso → R2
- Tercer paso → Sin resistencias

Por cada grupo de resistencias se coloca en paralelo un contactor, el cual al activarse provoca que no tengan efecto esas resistencias.

Recuerda:

El arranque con resistencias rotóricas solo se puede aplicar al motor de rotor bobinado.

Para el esquema de maniobra, se deben emplear tantos relés temporizadores como grupos de resistencias tenga.

En el primer paso, al activar el contactor de alimentación del motor (Q11) se activa el primer relé temporizador (K1), el cual provoca la eliminación del primer grupo de

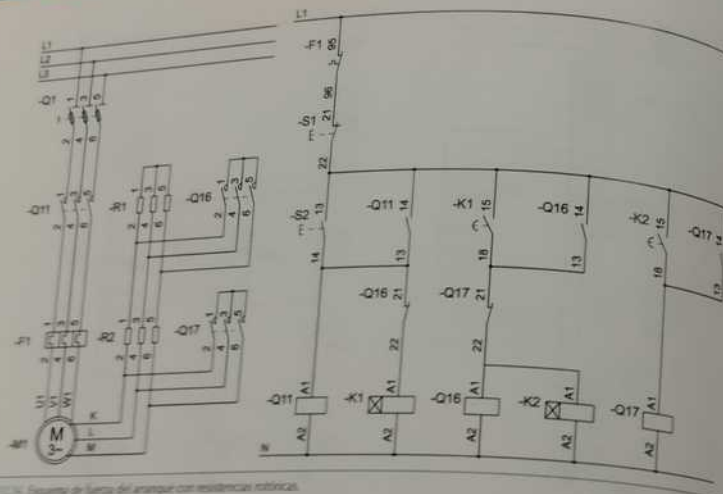


Figura 12.34. Esquema de fuerza del arranque con resistencias robóticas.

resistencia (R1) mediante la activación del contactor Q11. A su vez, activa el siguiente temporizador (K1) ya que es inaccusatorio. Este paso se repite tantas veces como escalones de arranque tenga, finalizando con la activación del último contactor con su realimentación.

Esta técnica se emplea con motores de motor bobinado de cierta potencia, los cuales deben arrancar a plena carga.

12.4.6. Arranque de un motor con devanados separados (part-winding)

El motor de devanados separados, también llamado part-winding, es un motor de inducción cuyo estator consta de dos devanados en paralelo, ambos de iguales características. Es como tener un motor partido en dos partes por la mitad.

La filosofía de este tipo de motor para reducir el pico de corriente es el arranque consiste en encipar el proceso de arranque con solo la mitad de los devanados y posteriormente añadir la otra mitad.

Al arrancar con la mitad de los devanados, el motor desarrolla solo la mitad de la potencia. La corriente que circula por los devanados se reduce a la mitad ($I/2$).

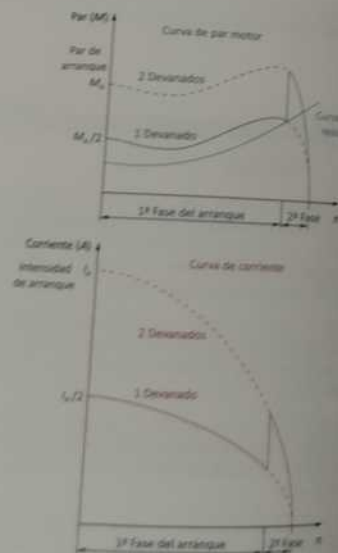


Figura 12.35. Curvas de arranque par-intensidad-velocidad (part-winding).

También ocurre por tanto que el par desarrollado por el motor se reduce a la mitad ($M/2$). No obstante, estas prestaciones son superiores a la que se consigue con el arranque estrella-triángulo, cuya reducción es a un tercio.

El símbolo eléctrico del motor part-winding es el mostrado en la Tabla 12.11.

Tabla 12.11. Representación gráfica del motor part-winding

Elemento	Símbolo
Motor de inducción de devanados separados	$\begin{matrix} 1W & & 2W \\ \diagdown & & / \\ M & & \\ / & & \diagdown \\ 1U & & 2U \end{matrix}$
	$\begin{matrix} 1W & & 2W \\ \diagdown & & / \\ M & & \\ / & & \diagdown \\ 1U & & 2U \end{matrix}$

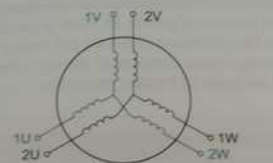


Figura 12.36. Devanados en estrella de un motor part-winding.

El sistema de protección se debe diseñar en función a los elementos empleados. Por ejemplo, si se emplean unos fusibles o algún tipo de disyuntor en cabecera, el calibre a emplear debe estar en función de la corriente consumida por el motor, pero al emplear relés térmicos, como cada uno de ellos protege a un grupo de devanados, se debe calcular para la mitad de su corriente nominal ($I_{relé térmico} = I_{nominal} / 2$).

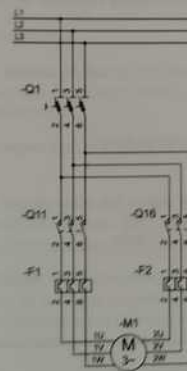


Figura 12.37. Esquema de arranque con motor part-winding.

Recuerda:

Es importante asegurarse que la secuencia de fases para ambos devanados es idéntica, pues de lo contrario los campos magnéticos se anularían y el motor no giraría (rotor bloqueado) con el riesgo de quemarse.

Entre las ventajas de este tipo de motor frente al arranque estrella-triángulo se encuentran:

- Solo se necesitan dos contactores frente a los tres del arranque estrella-triángulo.
- Reducción del espacio necesario para los dispositivos.
- Menor coste económico.
- No hay desconexión momentánea de la alimentación.

Como principal inconveniente está el hecho que el motor debe ser especial y eso lo encarece.

Sabías que...

Este tipo de motor se emplea mucho en equipos de refrigeración (compresores), sobre todo si son de origen americano.

12.4.7 Arranque mediante arrancadores progresivos

Los arrancadores progresivos, también llamados arrancadores electrónicos, basan su funcionamiento en el empleo de la electrónica de potencia para conseguir un arranque suave de motores indus-triales y así limitar la co-mun de arranque a valores admisibles.

No principal ventaja es que consiguen que el motor arranque y frene de una manera suave y sin sacudidas.



Figura 12.35. Arrancadores progresivos.

Actualmente son la mejor solución para el arranque de motores, con lo que se consiguen unas curvas de arranque muy lisas y ajustadas a las necesidades, debido sobre todo a la facilidad del ajuste que incorporan los arrancadores progresivos.



Figura 12.36. Curvas de arranque por velocidad (arrancadores).

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

Los principales campos de aplicación son los relacionados con:

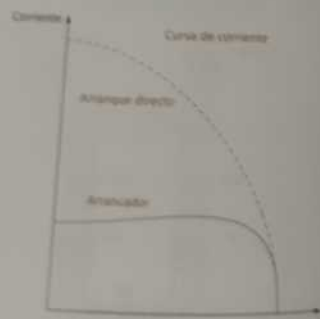
- Transporte, cintas transportadoras. Se evita sacudida y posibles caídas del producto transportado en el arranque y parada.
- Bombas. Se evitan los golpes de ariete y se aumenta la vida útil de las tuberías.
- Máquinas de corte. Se evita el arranque brusco con la posible rotura del elemento de corte.
- Máquinas con gran corriente de arranque, como por ejemplo mezcladores y agitadores.
- Ventilación.

Hay arrancadores electrónicos en los cuales también se controla el proceso de parada. En ellos, la parada del motor puede ser libre (el motor se parará por inercia una vez se deja de proporcionar corriente al motor) o bien se puede controlar mediante un frenado progresivo.

Recuerda:

Con el arrancador progresivo electrónico el proceso de arranque y parada está más controlado y se consigue la mejor manera de arrancar y frenar un motor y, además, de una manera suave, evitando movimientos bruscos.

Al emplear electrónica, los arrancadores necesitan de un intervalo de tiempo entre dos arranques consecutivos para disipar el exceso de temperatura producida durante el trabajo de los tiristores. En caso de necesidad de disminuir este tiempo, en algunos arrancadores es posible incorporar un ventilador.



INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

La configuración de un arrancador electrónico depende de sus parámetros. Los modelos más sencillos cuentan al menos con los siguientes parámetros:

- Tensión de arranque (Initial voltage). Es el valor de la tensión que proporciona el arrancador en el primer instante del arranque. El valor de esta tensión determina el par de arranque.
- Tiempo de arranque (Start time). Es el tiempo que dura el proceso de arranque, desde que se aplica la tensión inicial al motor hasta que llega al valor de tensión de la red eléctrica.
- Tiempo de parada (Stop time). Es el tiempo que transcurre desde que se da la orden de stop hasta que el motor realmente deja de girar.

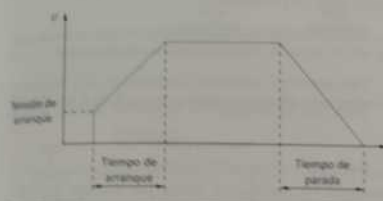


Figura 12.40. Parámetros de configuración básicos.

En los modelos más complejos el nivel de configuración aumenta, pudiendo incorporar el control sobre más parámetros, como por ejemplo:

- Limitación de corriente. Es posible limitar el valor máximo de la corriente que circula por el arrancador en el proceso de arranque.
- Corriente del motor. Al fijar la corriente del motor (indicada en la placa de características) es posible la detección de sobrecargas.
- Clase de arranque. Indica el nivel de dificultad en el arranque.
- Control de la temperatura del motor. Algunos modelos incorporan una entrada para un termistor de protección del motor por exceso de temperatura.
- Función «arranque con sobrepasar». Es una función que proporciona un sobrepasar temporal en el momento inicial del arranque con el objetivo de facilitar y vencer el par resistente de arranque.

Básicamente, las partes físicas de las cuales está compuesto un arrancador son las siguientes:

- Conexión a la red eléctrica. Son los bornes de entrada de la corriente eléctrica de potencia al arrancador. Previamente ha pasado por algún dispositivo de protección y seccionamiento.
- Conexión al motor. Son los bornes de salida de potencia del arrancador y son donde se conecta el motor trifásico.
- Parametrización. Es el conjunto de selectores y diales destinados a la configuración del comportamiento del motor. Entre los más importantes se encuentra el control de tensión de arranque, tiempo de arranque, tiempo de parada y limitación de corriente. Según la marca y el modelo, la cantidad de parámetros de configuración varía.
- Señalizaciones. Es el conjunto de leds que se emplean para indicar el estado del arrancador. Los modelos más básicos cuentan al menos con led de conexión a red eléctrica y led de indicación de estar en el proceso de arranque. Los modelos más completos incorporan indicaciones de sobrecarga, funcionamiento en by-pass, etcétera.
- Contactos de estado. Se activan en función del estado en el cual se encuentre el arrancador.
- Entradas de control. Se emplean para dar las órdenes de arranque y paro.



Figura 12.41. Partes de un arrancador progresivo.

Si el arrancador cuenta con sistemas avanzados de protección y detección de fallos, puede incorporar los siguientes elementos:

- Contactos de fallo. Es un contacto (generalmente de tipo常开) que se emplea para indicar que el arrancador ha parado por detección de algún tipo de fallo.

- **Reset.** Una vez detectado un fallo se debe pulsar sobre el botón Reset para inicializar el dispositivo.
- **Bornes de conexión de termistor.** Se emplea para la conexión de los termistores que incorporan algunos motores como elemento de detección de sobrecargas por exceso de temperatura.

Un arrancador progresivo se simboliza de manera indicada en la Tabla 12.12.

Tabla 12.12. Representación gráfica del arrancador progresivo

Elemento	Símbolo
Arrancador electrónico progresivo	

El símbolo del arrancador se identifica con la letra T. En aquellos esquemas en los cuales es necesario representar más entradas, debido a la complejidad del arrancador, se añaden estas al símbolo.

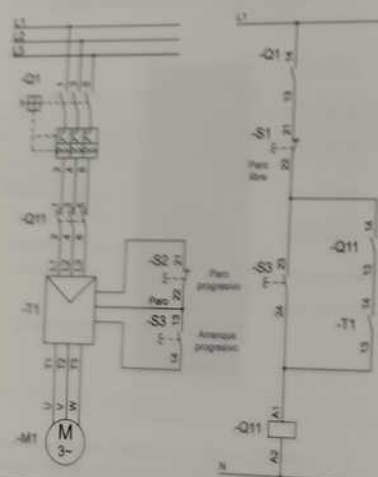


Figura 12.42. Esquema con marcha y paro.

Es posible realizar varios esquemas en función de cómo se desea realizar el arranque y el paro. En la Figura 12.42 se muestra un proceso con funcionalidad completa con

arranque progresivo (S3), paro progresivo (S2) y paro libre (S1) sin freno, en el cual el motor parará por inercia. En el esquema de mando se incorpora un contacto (13-14 T3) de tal manera que si el arrancador detecta algún problema pueda provocar la desconexión del mismo mediante la desactivación de la bobina del contactor (Q11).

12.4.8. Arranque de un motor monofásico

El motor monofásico es una simplificación del motor trifásico para que este pueda funcionar en redes eléctricas monofásicas. Al utilizar solo una fase, el motor no puede arrancar por sí solo y se necesita de alguna técnica para provocar una perturbación en el campo magnético y que de esta manera pueda arrancar. Una vez arrancado, el motor puede girar sin problemas.

El elemento que se encarga de provocar el arranque puede ser un devanado auxiliar con o sin condensador.

Para estudiar el caso más completo, se va a considerar el motor monofásico con devanado auxiliar y condensador.

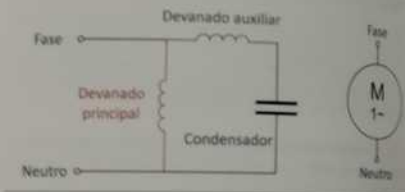


Figura 12.43. Representación de un motor monofásico: partes y símbolos.

Tal y como está dispuesto, el motor monofásico gira en sentido directo. Da igual si se intercambia la fase por el neutro, el motor siempre girará en el mismo sentido.

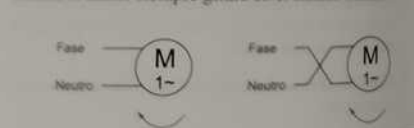


Figura 12.44. Giro de un motor monofásico.

Como cualquier motor eléctrico, este debe de contar con las protecciones pertinentes respecto a sobrecargas y sobreintensidades. El problema es que las protecciones de potencia están pensadas para motores trifásicos y por ello se deben adaptar para poder utilizarlas.

Para emplear algún elemento de protección, en el cual su sistema de detección se base en el paso de corriente a

través de él (por ejemplo, disyuntor motor, disyuntor electromagnético, relé térmico, etc.), se debe realizar un lazo de tal manera que los conductores eléctricos atraviesen todos los circuitos del elemento de protección, tal y como aparece reflejado en la Figura 12.45.

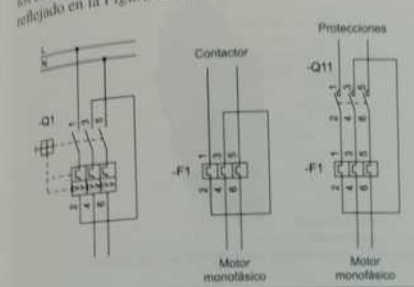


Figura 12.45. Protección de un motor monofásico.

12.4.9. Arranque de motores de corriente continua

En los motores de corriente continua, el método más empleado consiste en reducir la corriente del devanado

inducido mediante una o varias resistencias aunque frecuentemente se conecta un reostato. Actualmente se emplea el variador de velocidad para motores de corriente continua.



Figura 12.46. Variador de velocidad para motores de corriente continua. (Cortesía de Siemens).

12.4.10. Resumen de los tipos de arranques de motores trifásicos

En la Tabla 12.13 se presenta un resumen o comparativa de los diferentes tipos de arranques en motores trifásicos.

Tabla 12.13. Tabla comparativa de los diferentes tipos de arranques

	Directo	Estrella-triángulo	Resistencias estáticas	Resistencias rotóricas	Autotransformador	Part-winding	Arrancador progresivo
Corriente de arranque	4 a 8 I_n (100 %)	1,3 a 2,6 I_n (33 %)	4,5 I_n (50 %)	< 2,5 I_n (70 %)	1,7 a 4 I_n (65-80 %)	2 a I_n	Ajustable (25-75 %)
Par de arranque	0,5 a 1,5 M_n (100 %)	0,2 a 0,5 M_n (33 %)	0,6 a 0,85 M_n (50 %)	< 2,5 M_n	0,4 a 0,85 M_n (40-80 %)	0,3 a 0,75 M_n (50 %)	Ajustable (10-70 %)
Duración	2 a 3 s	3 a 6 s	7 a 12 s	2,5 a 5 s	7 a 12 s	3 a 6 s	Ajustable
Ventajas	• Barato. • Sencillo. • Buen par de arranque.	• Barato. • Buena relación par y corriente.	• Buen ajuste. • Sin corte de alimentación.	• Buen par y corriente. • Buen ajuste. • Sin corte de alimentación.	• Buen par y corriente. • Buen ajuste. • Sin corte de alimentación.	• Sencillo. • Buen par y corriente. • Sin corte de alimentación.	• Regulación. • Reducidas dimensiones.
Inconvenientes	Alta corriente de arranque.	• Bajo par de arranque. • Genera perturbación eléctrica.	Bajo par de arranque.	Motor caro.	• Sistema caro. • Genera perturbación eléctrica.	Motor especial.	Genera perturbación eléctrica.
Aplicaciones	Pequeños motores.	Arranques en vacío o poca carga (ventiladores y bombas).	Máquinas de gran inercia.	Solo en motores de rotor bobinado.	Máquinas de gran potencia e inercia.	Arranques en vacío o poca carga (compresores).	Compresores, bombas, ventilación, transporte.

12.5. Inversión de giro de motores eléctricos

En muchas aplicaciones es necesario contar con la posibilidad de que el motor pueda girar en los dos sentidos de giro.

Cuando un motor conecta sus devanados en el mismo orden que las fases de alimentación, el motor gira en sentido de las agujas del reloj, llamado sentido horario o sentido directo. La inversión de giro de motores trifásicos se logra cambiando el orden de alimentación al motor, de dos cualesquiera de las fases. Entonces el motor girará en sentido contrario a las agujas del reloj, llamado sentido antihorario o sentido inverso.

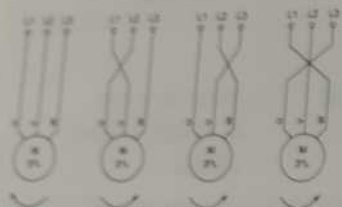


Figura 12.47. Sentido de giro de un motor trifásico.

De esta manera se invierte el sentido de giro del campo giratorio y por consiguiente el del rotor.

12.5.1. Inversión de giro con paro previo

Para realizar esta inversión se necesitan dos contactores (Q11 y Q12) que serán los encargados de conectar el motor a la red eléctrica.

Como medida de seguridad, emplea una técnica llamada **enclavamiento**, que consiste en impedir que los dos contactores entren en activación a la vez, ya que esta situación provoca un cortocircuito.

Existen dos métodos de enclavamiento:

- **Enclavamiento mecánico.** Consiste de una pieza que se acopla entre dos contactores y que evita la activación de ambos.
- **Enclavamiento eléctrico.** Se emplea un contacto cerrado de un contactor en serie con la bobina para evitar el accionamiento del otro contactor. Al estar activado un contactor, el contacto que normalmente está cerrado pasa a abrirse y de esta manera evita la activación de la otra bobina del contactor.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

En los circuitos en los que intervienen varios contactores que no deben activarse a la vez, se debe incorporar la técnica de seguridad por enclavamiento. De esta manera evitamos posibles cortocircuitos.



Figura 12.48. Enclavamiento mecánico. (Cortés de Siemens.)

Recuerda:

Ambas técnicas de enclavamiento no son excluyentes y se pueden combinar ambas seguridades.

12.5.2. Inversión de giro sin paro previo

Existe otra técnica para realizar la inversión de giro, pero esta vez sin pasar por paro. Es decir que si estando girando se acciona el pulsador para el otro sentido, el motor realiza previamente el paro y acto seguido invierte el giro, todo ello de manera automática.

Para ello, y partiendo del esquema del inversor de giro, se le añade a cada pulsador de marcha una cámara de contactos normalmente cerrada, la cual se encargará de realizar la tarea de paro del motor. Y la cámara de contactos normalmente abierta seguirá encargándose de realizar la tarea de activación de la bobina. Ambas cámaras se activan a la vez que se acciona el pulsador.



Figura 12.49. Dos cámaras de contactos sobre un mismo base.



Figura 12.50. Pulsador.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

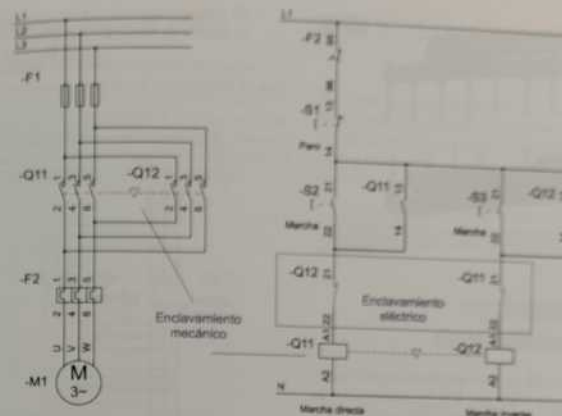


Figura 12.51. Enclavamientos para inversión de giro con paro previo de un motor trifásico.

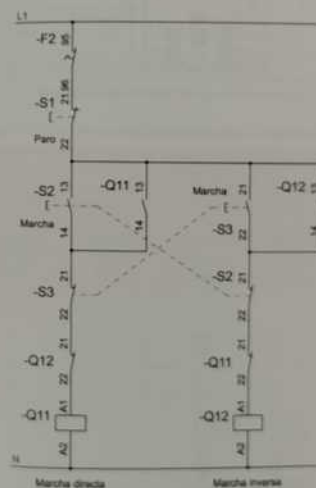


Figura 12.52. Esquema de maniobra para inversión de giro sin paro previo.

Para realizar esta maniobra, que es muy brusca y estresante para el motor, este debe estar preparado para ello y no

abusar de ella. Hay que tener en cuenta que esa subintensidad del motor al arrancar se traduce en calentamiento que el motor debe asimilar y disipar, necesitando un tiempo de recuperación.

Los fabricantes de contactores tienen en sus catálogos comerciales asociaciones de contactores para conseguir montar el esquema de una manera rápida (Figura 12.53).



Figura 12.53. Bloque inversor de giro. (Cortés de Siemens.)

Estos montajes ya incorporan el cableado, conectado mediante cables o barras de unión (Figura 12.54).



Figura 12.54. Barras de unión para bloque inversor. (Cortesía de Siemens.)

12.5.3. Inversión de giro en estrella-triángulo

El arranque con inversión de giro estrella-triángulo incorpora dos contactores de línea que son los encargados de conmutar dos de las fases para generar la inversión de giro, más otros dos contactores: uno para la configuración en estrella y el otro para triángulo.

Partiendo del esquema del arranque estrella-triángulo, se modifican los siguientes aspectos:

- Al tener una inversión de giro, debe incorporarse la seguridad del enclavamiento, en este caso se ha empleado enclavamiento eléctrico formado por los contactos 21-22 de Q11 y Q12.

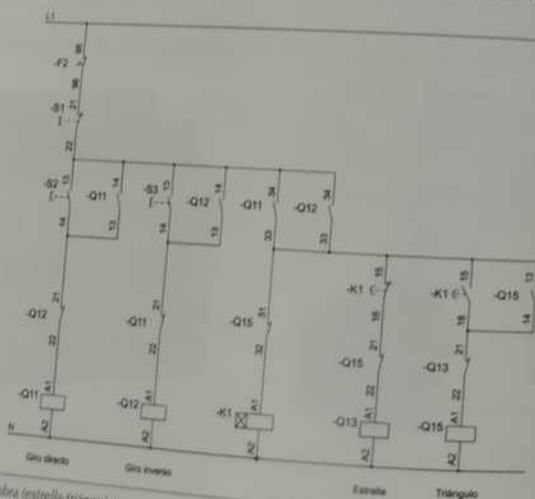


Figura 12.55. Esquema de maniobra (estrella-triángulo).

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

- El temporizador se podrá activar si se activa algún contactor de línea (Q11 o Q12).

La parte de la conmutación del temporizador y finalización en triángulo es la misma y no sufre modificación.

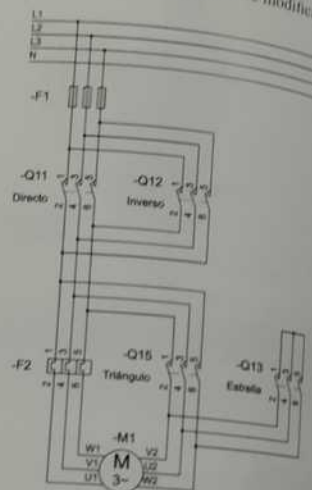


Figura 12.55. Esquema de fuerza del inversor estrella-triángulo.

INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

12.5.4. Inversión de giro en motores monofásicos

Como el motor monofásico está compuesto de dos devanados (principal y auxiliar), para invertir el giro basta con invertir el sentido de alimentación de un devanado respecto al otro. A nivel práctico, lo normal es invertir el sentido del devanado auxiliar dejando fijo el devanado principal.

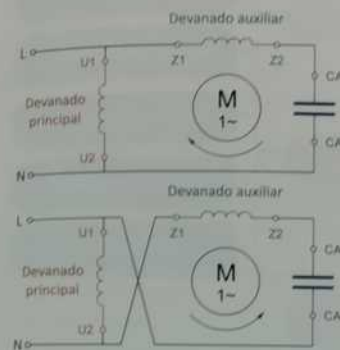


Figura 12.57. Inversión de giro de un motor monofásico.

12.5.5. Inversión de giro en motores de corriente continua

Para invertir el giro en un motor de corriente continua basta con invertir la polaridad de la corriente que circula por uno de sus devanados (inductor o inducido). Si se invierte en ambos devanados, el motor continúa girando en el mismo sentido.

A nivel práctico, el devanado sobre el cual se realiza esta maniobra de inversión de la polaridad es el devanado inducido.

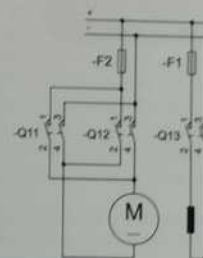


Figura 12.58. Inversión de giro en un motor de corriente continua de excitación independiente.

Tabla 12.14. Combinaciones de contactores. Código de dos cifras: aparato y función. Recomendación de uso según EN 81346

Motor normal Polos conmutables x3		Polos conmutables x2/x4				Contactores de escalón		
Una velocidad		Velocidad lenta		Velocidad rápida		Estrella	Triángulo	Escalón de arranque
Derecha Adelante Subir	Derecha Adelante Subir	Derecha Adelante Subir	Izquierda Atrás Bajar	Derecha Adelante Subir Elevación	Izquierda Atrás Bajar			
Q11	—	—	—	—	—	—	—	—
Q11	Q12	—	—	—	—	—	—	—
Q11	—	—	—	—	—	Q13	Q15	—
Q11	Q12	—	—	—	—	Q13	Q15	—
—	—	Q17	—	Q21	—	Q23	—	—
—	—	Q17	Q18	Q21	Q22	Q23	—	—
—	—	Q17	—	Q21	—	Q23	Q19	—
Q11	—	Q17	—	Q21	—	Q23	—	—
—	—	Q17	—	Q21	—	—	—	—
Q11	—	—	—	—	—	Q13	—	—
Q11	—	—	—	—	—	—	—	Q16 a Qn