

Motores eléctricos



La gran mayoría de las instalaciones eléctricas de automatismos industriales tienen como finalidad suministrar energía y poder gestionar el control de máquinas rotativas. Asimismo, existen muchas otras instalaciones en las que los motores eléctricos juegan un papel fundamental, ya que, por ejemplo, cualquier edificio actual dispone de ascensores, montacargas, grupos de bombeo, grupos de presión, puertas eléctricas y otros receptores eléctricos que basan su funcionamiento en un motor. Incluso en las instalaciones domésticas estos dispositivos se encuentran presentes, ya sea una lavadora, nevera, etc.

Dado que los motores eléctricos son posiblemente los receptores más comunes y más importantes de las instalaciones eléctricas, especialmente en el caso de los automatismos industriales, en esta unidad se analizarán sus características fundamentales, así como los métodos de conexión y configuración.

6

Contenidos

- 6.1. Introducción a las máquinas eléctricas
- 6.2. Motores trifásicos
- 6.3. Motores de corriente alterna
- 6.4. Motores de corriente continua
- 6.5. Dimensionado de instalaciones eléctricas con motores

Objetivos

- Definir el concepto de máquina eléctrica.
- Clasificar los tipos de máquinas eléctricas rotativas.
- Analizar los parámetros técnicos asociados a los motores eléctricos.
- Dar a conocer las características y métodos de conexión de los motores de corriente alterna monofásicos y trifásicos.
- Definir las características y métodos de conexión de los motores de corriente continua.
- Aprender a realizar el dimensionado de instalaciones eléctricas con motores.

6.1. Introducción a las máquinas eléctricas

Una máquina es un componente que transforma una determinada energía en otra del mismo o distinto tipo. Las máquinas eléctricas son convertidores electromecánicos capaces de transformar energía desde un sistema eléctrico a un sistema mecánico, o viceversa, basando su funcionamiento en la inducción electromagnética.

Dentro del campo de las máquinas eléctricas pueden distinguirse básicamente dos grandes tipos: las estáticas y las rotativas.

- Las máquinas eléctricas denominadas **estáticas** son todas aquellas en las que no existe movimiento mecánico, al no disponer de partes móviles. Dentro de las máquinas eléctricas estáticas se incluyen, por ejemplo, los transformadores, convertidores, reguladores, inversores, etc.

La máquina estática por excelencia es el transformador de potencia, cuyo cometido es el de convertir energía eléctrica de entrada en energía eléctrica de salida, variando la tensión entre las inductancias del primario y del secundario a potencia constante.

- Las máquinas eléctricas **rotativas**, o **dinámicas**, están provistas de partes mecánicas giratorias, como es el caso de las dinamos, los alternadores y los motores. Dentro de este grupo existe una doble clasificación, ya que los motores consumen energía eléctrica y la convierten en energía mecánica de rotación, mientras que las dinamos y los alternadores (generadores) aprovechan la energía mecánica de rotación para producir energía eléctrica.



Figura 6.1. Clasificación de las máquinas eléctricas.

6.1.1. Máquinas eléctricas rotativas

Las máquinas eléctricas rotativas están constituidas por la combinación de circuitos eléctricos y magnéticos que les permite convertir energía entre un sistema mecánico y un sistema eléctrico. Se trata de componentes extremadamente importantes, ya que, por un lado, los equipos que generan energía eléctrica en grandes cantidades son máquinas eléctricas rotativas, y por otro lado, la mayoría de los receptores eléctricos están basados también en este tipo de equipos.

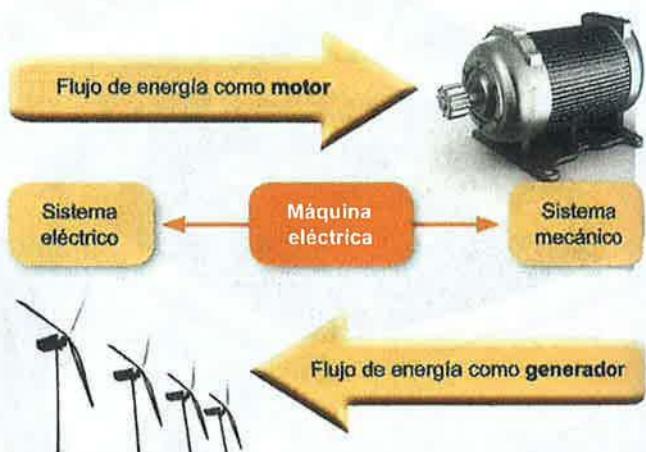


Figura 6.2. Diagrama funcional de clasificación de las máquinas eléctricas rotativas.

Dada la constitución interna y el principio de funcionamiento de las máquinas eléctricas rotativas, bajo determinadas circunstancias un motor podría funcionar como generador y un generador podría funcionar como motor.



SABÍAS QUE

Si un motor de CC funciona como generador, se le conoce como **dinamo**.

Si un motor de CA funciona como generador, se le conoce como **alternador**.

La **clase de servicio** a la que pueden estar sometidas las máquinas eléctricas es de cuatro tipos:

- Servicio continuo:** la carga es constante durante un tiempo suficientemente largo como para que la temperatura llegue a estabilizarse.
- Servicio continuo variable:** la máquina trabaja constantemente pero la carga es variable.
- Servicio intermitente:** los tiempos de trabajo están separados por tiempos de reposo.

- Servicio unihorario:** la máquina está una hora en marcha a un régimen constante superior al continuo, pero no se llega a alcanzar una temperatura que ponga en peligro los materiales aislantes.

Si una máquina eléctrica funciona a la potencia nominal, es decir, a su potencia normal de funcionamiento, se dice que funciona a **plena carga**. Los motores y generadores eléctricos pueden trabajar a media carga, a $\frac{3}{4}$ de la carga o incluso por encima de la potencia nominal, en sobrecarga.

6.1.2. Clasificación y composición de los motores eléctricos

Dentro del amplio campo que abarca el estudio de las máquinas eléctricas rotativas, a continuación el desarrollo de la unidad se centrará en los motores eléctricos, puesto que en los entornos industriales son el receptor por excelencia, ya que este tipo de instalaciones son puntos de gran consumo.

La **clasificación** de los motores eléctricos depende de varios factores, tal como puede apreciarse en los siguientes diagramas:

Motores de corriente alterna CA

De inducción (asíncronos)

Trifásicos

- De rotor bobinado
- De jaula de ardilla

Monofásicos

- De condensador
- De fase partida
- De espira de sombra

Universales

Síncronos

Monofásicos

- De histéresis
- De reluctancia

Trifásicos

Motores de corriente continua CC

• De excitación shunt

• De excitación serie

• De excitación compound

• De excitación independiente

Figura 6.3. Clasificación de los motores eléctricos.

A los motores de corriente alterna monofásica se les conoce comúnmente como **motores de corriente alterna**. A los motores de corriente alterna trifásica se les conoce comúnmente como **motores trifásicos**.

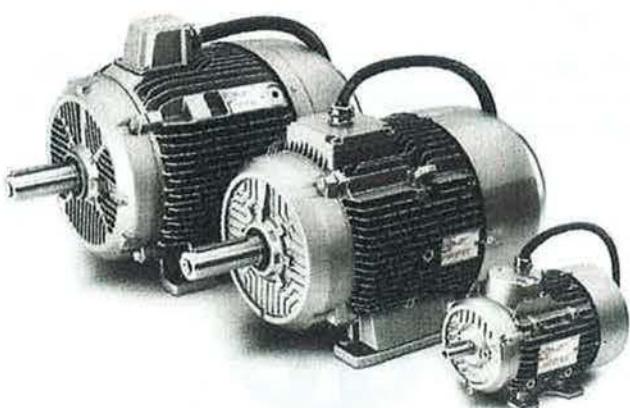


Figura 6.4. Motores trifásicos. (Cortesía de Siemens.)



Figura 6.5. Motor de corriente continua de alta potencia (1.610 kW). (Cortesía de Siemens.)

En toda máquina eléctrica se pueden distinguir cuatro tipos de materiales constructivos: materiales activos magnéticos (hierro, acero) y materiales activos eléctricos (cobre, aluminio), materiales aislantes y materiales para la lubricación, ventilación y transmisión mecánica. Particularmente, los motores eléctricos están compuestos por partes fijas y partes móviles, así como por circuitos eléctricos y magnéticos.

De cara al funcionamiento, básicamente se pueden distinguir las siguientes partes fundamentales:

- Estator (y caja de bornes).
- Rotor.
- Entrehierro.
- Otros componentes mecánicos.

Estator, bobinado primario o inductor

Es la parte fija del motor. En él se alojan los devanados a los cuales se conectarán la red eléctrica. Es el elemento que recibe la energía eléctrica y crea el campo magnético.



Figura 6.6. Sección en alzado de un estator.

Rotor, bobinado secundario o inducido

Es la parte móvil que gira dentro del estator. Sus devanados reciben la energía magnética del estator y la trasforman en mecánica, al inducirse en ellos una fuerza magnetomotriz que genera un par (fuerza giratoria).



Figura 6.7. Rotor.

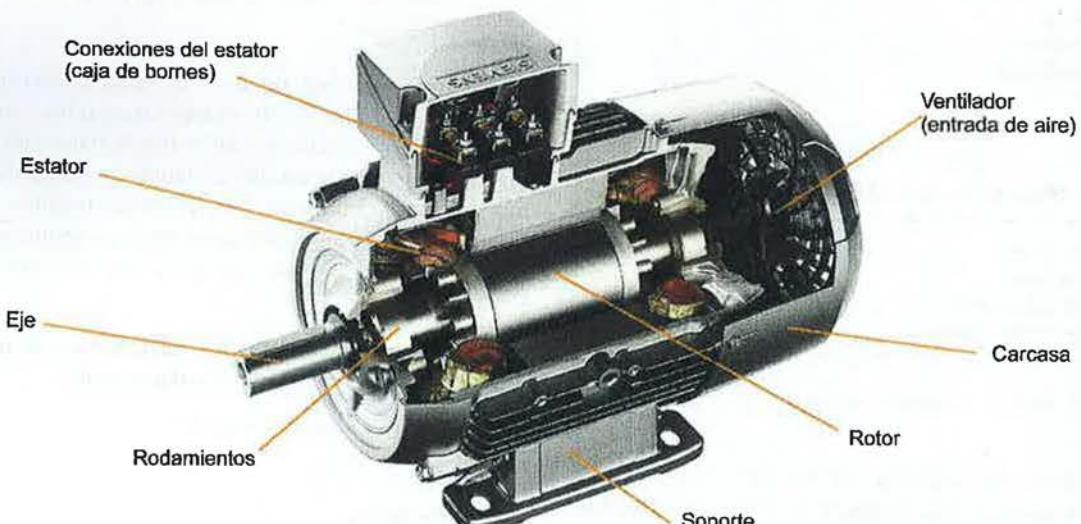


Figura 6.8. Elementos básicos que constituyen un motor.

Entrehierro

Es el espacio de aire que separa el estator del rotor y que permite que pueda existir movimiento. Debe ser lo más reducido posible.

Caja de bornes

Es el lugar donde se realizan las conexiones eléctricas para alimentar a los devanados del estator. Los bornes disponibles dependerán del tipo de motor, de su configuración y de las características de funcionamiento de la máquina. En cualquier caso siempre debe disponer de un borne para la conexión a tierra de las masas metálicas.

Otros componentes mecánicos

En este grupo se incluyen fundamentalmente:

- El eje (y sus posibles acoplamientos).
- Rodamientos.
- Cojinetes.
- Soportes.
- Carcasa externa, platillos y caperuza.
- Ventilador.



SABÍAS QUE

En la actualidad, numerosas industrias cuentan también con generadores eléctricos, cuya energía consumen o venden al mercado eléctrico. Normalmente, utilizan la energía calorífica sobrante de sus procesos productivos (por ejemplo, el calor que desprende un horno de secado) para generar electricidad por medio de un sistema denominado *cogeneración*.

6.2. Motores trifásicos

Los elementos constitutivos más importantes que definen al motor trifásico son el estator y el rotor. El **estator** está formado por devanados trifásicos distribuidos en ranuras colocadas a 120°. El desfase entre los tres devanados dependerá del número de polos magnéticos de la máquina.



Figura 6.9. Estator de un motor trifásico.

Respecto al **rotor**, existen dos posibles configuraciones:

- **Rotor bobinado:** es accesible desde conexiones exteriores. Los extremos de los devanados se encuentran conectados a anillos colectores montados sobre el propio eje del motor. La conexión eléctrica a través del ensamblaje rotativo se realiza mediante un **colector de anillos y escobillas**.

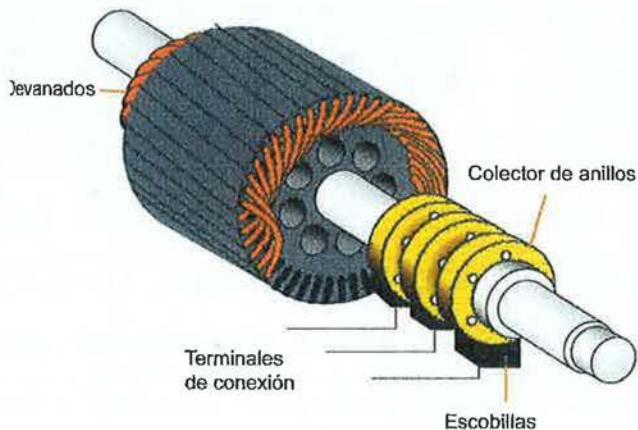
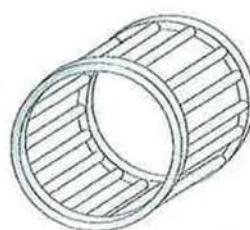


Figura 6.10. Rotor bobinado.

- **Rotor cortocircuitado:** los conductores que forman el rotor se ubican en el interior de una jaula compuesta por barras longitudinales de aluminio o cobre, denominada *jaula de ardilla*, y sus extremos se encuentran cortocircuitados de manera que no resulta posible realizar conexiones eléctricas exteriores sobre el rotor.

Jaula de ardilla



Rotor completo

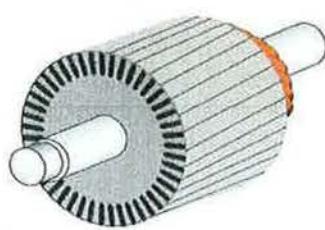


Figura 6.11. Rotor cortocircuitado.

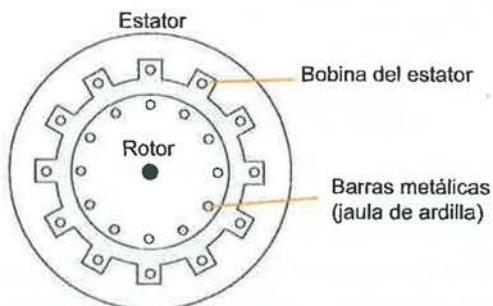


Figura 6.12. Sección transversal del motor trifásico con rotor en cortocircuito.

El **principio de funcionamiento** del motor eléctrico trifásico es fácil de comprender una vez analizada su constitución interna. Al alimentar el estator del motor mediante las tres líneas del sistema trifásico se generan campos magnéticos giratorios desfasados 120°.

Por otro lado, en el rotor, que puede estar alimentado externamente (rotor bobinado) o generar corriente inducida por los campos magnéticos del estator al atravesar sus bobinas (rotor en cortocírculo), se genera otro campo magnético giratorio en sentido contrario; de modo que al chocar ambas fuerzas de magnetismo comienza el movimiento de desplazamiento giratorio en la parte móvil de la máquina.



SABÍAS QUE

Si el eje del motor no se encuentra conectado a ninguna carga, se dice que el motor está girando **en vacío**.

Como ocurre con todos los receptores trifásicos, los motores pueden ser conectados de dos formas distintas, que dependerán de la configuración de los devanados internos del estator: la conexión en estrella y la conexión en triángulo.

Conexión en triángulo (Δ)

Se caracteriza porque la tensión de fase de la red eléctrica es la que alimenta directamente a los devanados internos del motor.

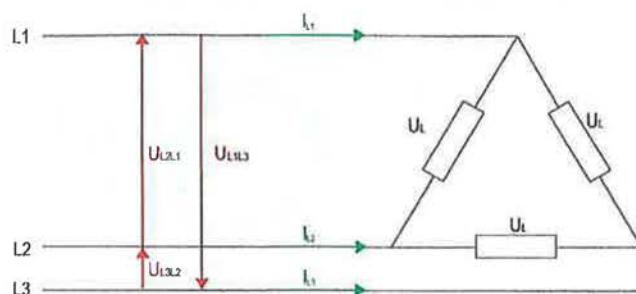


Figura 6.13. Conexión en triángulo.

Conexión en estrella (Y)

Se caracteriza porque a los devanados internos del motor se les suministra la tensión de fase de la red eléctrica dividida entre el coeficiente $\sqrt{3}$.

En la conexión del motor trifásico en estrella, a pesar de existir un punto neutro, este no se debe utilizar. No obstante, en algunos países como Italia sí está permitido utilizar el punto neutro del motor para conectar pequeñas cargas monofásicas de maniobra o protección interna. El peligro que representa esta práctica es evidente: la fase a la que son conectadas las cargas monofásicas desequilibra la carga interna del motor y a la larga puede provocar serios daños a la máquina. Es por este motivo que **ese punto neutro no debe utilizarse**, y las cargas monofásicas se alimentarán directamente desde el cuadro eléctrico.

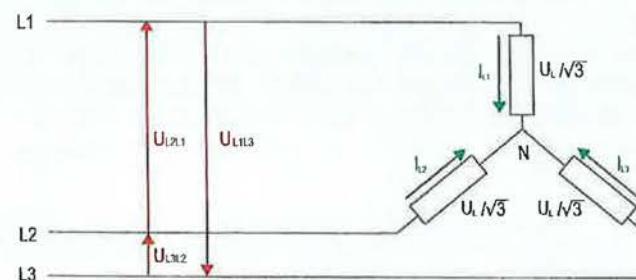


Figura 6.14. Conexión en estrella.

6.2.1. Clasificación de los motores trifásicos

Los motores eléctricos trifásicos pueden ser clasificados en función de dos parámetros fundamentales: el principio de funcionamiento y sus características constructivas.

Según el principio de funcionamiento por el cual se genera el movimiento rotatorio del eje, los motores de corriente alterna se dividen en:

- Motores síncronos.
- Motores asíncronos, o de inducción.

Los motores síncronos se caracterizan por girar a la velocidad de sincronismo, es decir, la velocidad máxima teórica a la que puede girar el motor para una frecuencia determinada. Esto se debe a que **se alimenta** con energía eléctrica y de manera independiente, tanto el estator como el rotor.

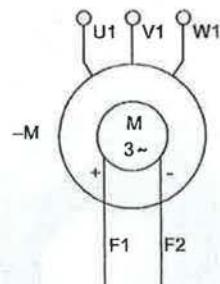


Figura 6.15. Símbolo genérico del motor síncrono.

Este tipo de motores no son muy utilizados en las instalaciones industriales, debido al alto coste tanto de la máquina como de su mantenimiento posterior, ya que al tener que alimentar eléctricamente el rotor el desgaste mecánico es muy elevado. De hecho, la utilización de máquinas síncronas es más frecuente en el campo de la generación eléctrica.

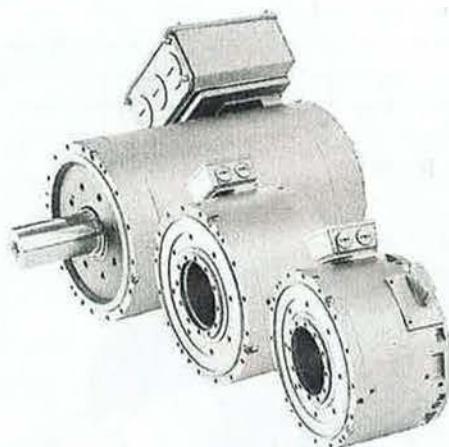


Figura 6.16. Motores síncronos. (Cortesía de Siemens.)

Los motores asíncronos, conocidos también como **motores de inducción**, se caracterizan por girar a una velocidad ligeramente inferior a la de sincronismo. En estos motores el rotor está cortocircuitado, de manera que no recibe corriente eléctrica directa, sino que esta es inducida mediante los campos magnéticos generados por el estator en los devanados del rotor.

Los motores asíncronos son los más generalizados y utilizados en las instalaciones industriales, debido fundamentalmente a su simplicidad, su facilidad de mantenimiento (en comparación con los síncronos) y la alta eficiencia que ofrecen.



Figura 6.17. Motor trifásico asincrónico de alta velocidad. (Cortesía de Siemens.)

Dado que los motores asincrónicos son los de uso más frecuente en las instalaciones de automatismos industriales, resulta necesario realizar una clasificación más exhaustiva de los más comunes en función de sus características constructivas particulares:

- **Motor asincrónico trifásico con rotor en cortocircuito (o jaula de ardilla) de conexión directa.** El rotor no es accesible y el estator solo tiene tres bornes de conexión.

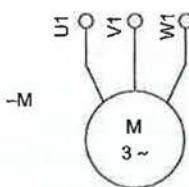


Figura 6.18. Símbolo de motor asincrónico con rotor en cortocircuito.

- **Motor asincrónico trifásico con rotor en cortocircuito (o jaula de ardilla) de conexión estrella-tríangulo.** El rotor no es accesible, el estator dispone de seis bornes de conexión para realizar conexión en estrella o triángulo según proceda.

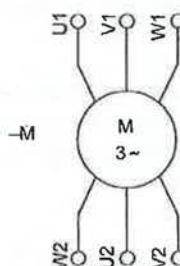


Figura 6.19. Símbolo de motor asincrónico con rotor en cortocircuito de conexión Y-Δ.

- **Motor asincrónico trifásico con rotor en doble jaula.** Es similar a los anteriores, pero el rotor se encuentra en el interior de dos jaulas concéntricas.

- **Motor asincrónico trifásico con rotor de anillos (o rotor bobinado).** Los devanados del rotor se encuentran abiertos, por lo que dispone de tres bornes para conectar este elemento en cortocircuito o a través de resistencias. El estator puede disponer de tres o seis bornes, dependiendo de si existe la posibilidad de conexión Y-Δ o no.

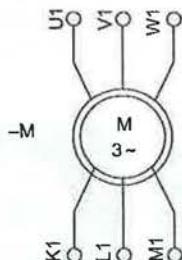


Figura 6.20. Símbolo de motor asincrónico con rotor bobinado.

RECUERDA

El rotor de los motores asincrónicos o de inducción no se conecta a ninguna fuente de tensión porque sus corrientes son inducidas por el campo giratorio del estator.

- **Motor asincrónico trifásico de dos velocidades con bobinados independientes.** Dispone de dos grupos independientes de bobinas, en el que cada uno equivale a una velocidad.
- **Motor asincrónico trifásico de dos velocidades tipo Dahlander.** Es un tipo de motor en el que con un solo grupo de bobinas se pueden obtener dos velocidades (una el doble que la otra) a partir de una serie de conexiones específicas.

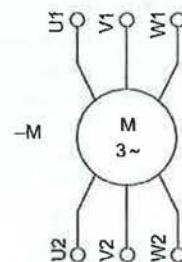


Figura 6.21. Símbolo de motor asincrónico de dos velocidades.

6.2.2. Conexión y caja de bornes del motor trifásico de inducción

En los motores trifásicos se conectan los tres conductores de fase (L_1 , L_2 y L_3) y el conductor de puesta a tierra (PE). Nunca se conecta el conductor neutro.

La tensión nominal de los devanados del motor debe coincidir con la tensión de línea de la red eléctrica.

La conexión de las fases dependerá del tipo de motor. Cada motor tiene una caja de bornes bien diferenciada, en la que cada borne se identifica con una letra. Es muy importante identificar adecuadamente la nomenclatura de estas conexiones para no cometer errores a la hora de alimentar el motor, ya que podría provocar daños irreversibles en la máquina.

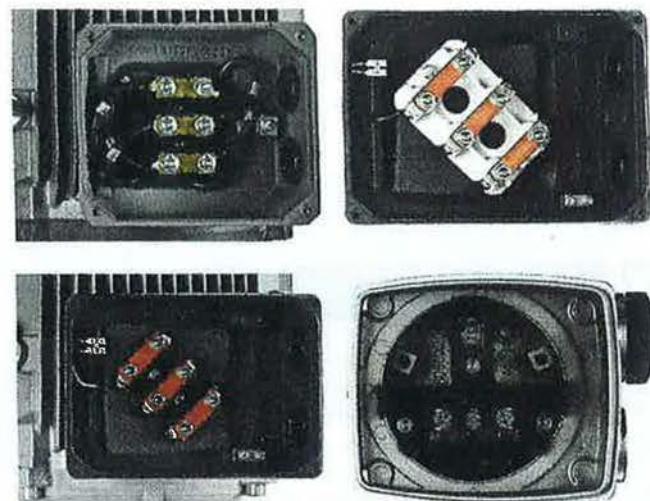


Figura 6.22. Diferentes modelos de cajas de bornes. (Cortesía de Siemens.)

A continuación se muestran y detallan los bornes de conexión de los diferentes tipos de motores trifásicos:

■■■ Motor de conexión directa

En este tipo de motores, el fabricante fija la conexión interna de los devanados en forma de estrella o triángulo, no pudiendo variarse dicha configuración posteriormente. La tensión indicada de funcionamiento del motor debe coincidir con la tensión de línea de la instalación eléctrica.

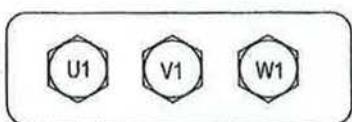


Figura 6.23. Denominación de la caja de bornes de un motor trifásico de conexión directa.



RECUERDA

Es muy importante identificar las letras de los bornes en un motor trifásico para realizar adecuadamente las conexiones.



Figura 6.24. Caja de bornes de un motor de conexión directa. Se pueden apreciar los tres bornes de conexión de los conductores de fase, así como el borne de puesta a tierra. (Cortesía de Siemens.)

■■■ Motor de conexión estrella-tríangulo

Dado que los devanados del motor pueden ser conectados en estrella o triángulo, lo más habitual es que los fabricantes de motores dejen esa opción de conexión abierta, es decir, que el usuario pueda elegir la conexión del motor. De esta manera **un único motor podrá ser conectado a dos tensiones distintas**, ampliando su funcionalidad.

En los motores en los que es posible elegir entre la conexión en estrella o la conexión en triángulo, la denominación de la caja de bornes es la siguiente:

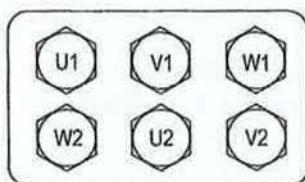


Figura 6.25. Denominación actual de la caja de bornes de un motor trifásico para la conexión estrella o triángulo.

No obstante, en la práctica es posible encontrar algunos motores que todavía siguen utilizando la antigua denominación de bornes, por lo que también resulta muy útil conocerla:

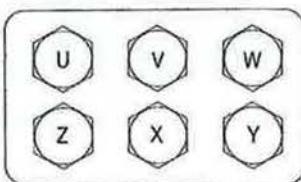


Figura 6.26. Denominación obsoleta de la caja de bornes de un motor trifásico.

El motivo de esta denominación tan particular se basa en la disposición de los devanados internos del motor, que como ya se ha comentado, vienen de fábrica sin conexión definida.

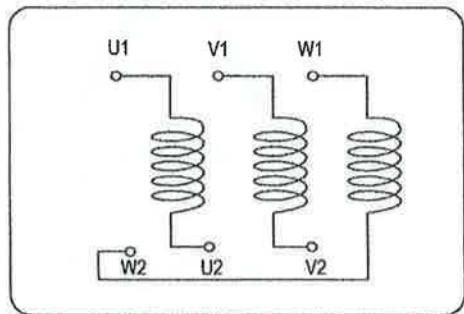


Figura 6.27. Disposición interna de los devanados del motor trifásico para la conexión estrella o triángulo.

Actividad propuesta 6.1

A continuación vamos a verificar la disposición de los devanados internos de un motor trifásico de conexión estrella-tríangulo. Con la ayuda de un polímetro, en posición de medida de resistencia, anota los valores que obtengas al realizar mediciones entre los bornes del motor indicados a continuación:

U1-W2	U1-U2	V1-U2	V1-V2
V1-W1	W1-W2	W2-V2	W2-U2

Razona y justifica los resultados obtenidos.

Aunque esta disposición de los devanados parezca algo compleja, tiene una explicación: las conexiones exteriores que el usuario del motor debe realizar van a resultar mucho más intuitivas y sencillas de realizar, tal como se muestra a continuación:

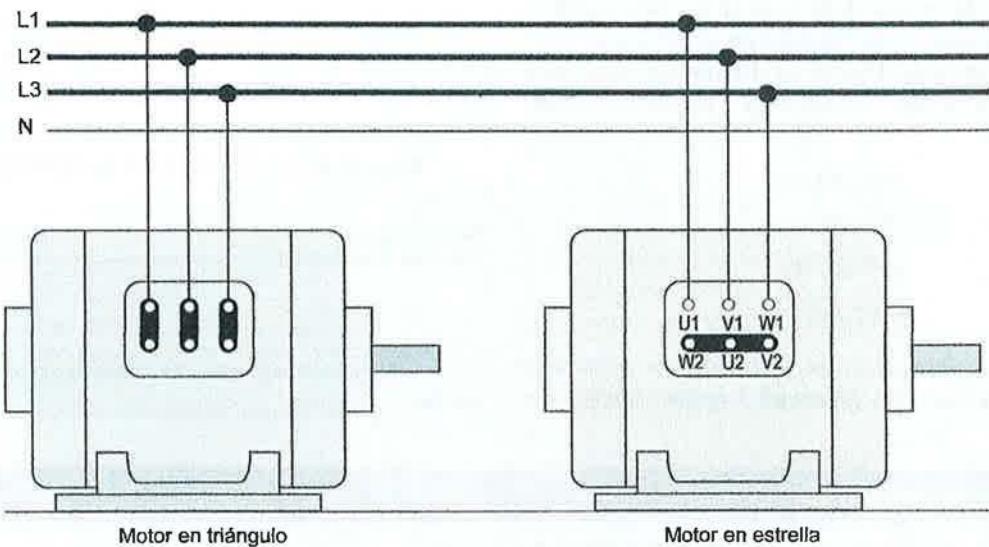
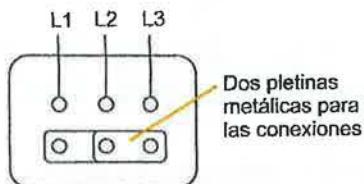
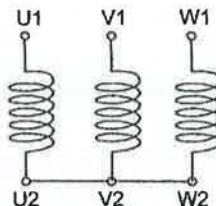


Figura 6.28. Conexión del motor eléctrico trifásico en estrella o en triángulo.

Conexión real de la caja de bornes



Configuración interna equivalente de la conexión



Círcuito equivalente

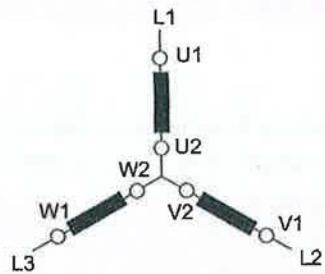
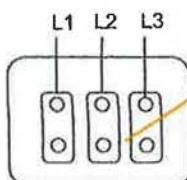


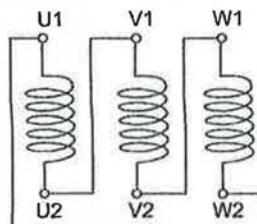
Figura 6.29. Detalle de la conexión en estrella (Y).

Conexión real de la caja de bornes

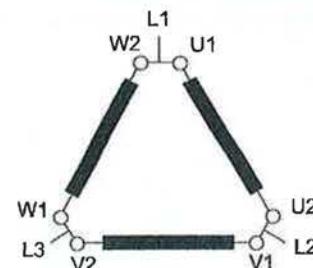


Tres pletinas metálicas para las conexiones

Configuración interna equivalente de la conexión



Círcuito equivalente

Figura 6.30. Detalle de la conexión en triángulo (Δ).

Gracias a la posibilidad de conexión de un motor eléctrico trifásico en estrella o triángulo, la máquina dispondrá de dos tensiones de funcionamiento. De hecho, la **conexión de la caja de bornes dependerá exclusivamente de la tensión de línea de la instalación eléctrica**.

El fabricante del motor debe indicar las dos posibles tensiones de funcionamiento, que deben guardar una relación matemática en base al factor $\sqrt{3}$. En nuestro país, para motores trifásicos en baja tensión dichas tensiones podrán ser las siguientes:

- 133/230 V
- 230/400 V
- 400/690 V
- 690/1.200 V

De las dos tensiones ofrecidas, la menor hace referencia a la máxima diferencia de potencial a la que pueden ser

sometidos los devanados del motor trifásico. Por tanto, y en base a esto:

- Si la tensión de la instalación eléctrica a la que va a ser conectado el motor es la menor de las dos, la conexión que debe realizarse será triángulo.
- Si la tensión de la instalación eléctrica a la que va a ser conectado el motor es la mayor de las dos, la conexión que debe realizarse será estrella.
- Si la tensión de la instalación eléctrica no coincide con ninguna de las dos, el motor no podrá ser conectado.

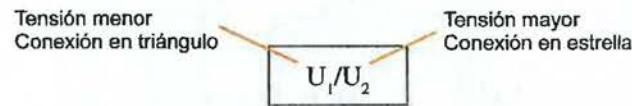


Figura 6.31. Tensiones del motor trifásico para la conexión estrella o triángulo.

Actividad propuesta 6.2

Se dispone de un motor trifásico de tensión 230/400 V.

Determina el tipo de conexión del motor y la tensión existente entre sus bornes si este fuese conectado en una instalación eléctrica trifásica de 230 V_{CA} de tensión de línea. El orden de llegada a la placa de bornes es L1, L2 y L3.

Tipo de conexión del motor (Y o Δ)	Tensión (V)						
	W2 – W1	U2 – V2	V2 – W1	W2 – V2	V1 – W2	W1 – U2	U1 – V1

Realiza la misma actividad suponiendo que el motor fuese conectado a una instalación eléctrica de 230 V_{CA} entre cualquier conductor de la línea y el conductor neutro.

Tipo de conexión del motor (Y o Δ)	Tensión (V)						
	W2 – W1	U2 – V2	V2 – W1	W2 – V2	V1 – W2	W1 – U2	U1 – V1

■■■ Motor de dos velocidades

En los motores de dos velocidades, ya sean de devanados independientes o tipo Dahlander, la caja de bornes debe contener las tres conexiones propias de cada una de las dos velocidades.

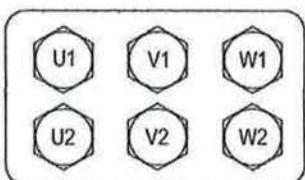


Figura 6.32. Denominación de la caja de bornes de un motor trifásico de dos velocidades.

Las tres fases de alimentación eléctrica se conectarán a un único grupo de bornes del estator (U1V1W1 o U2V2W2) en función de la velocidad que se desee escoger para el eje del motor. Bajo ningún concepto podrán alimentarse ambos grupos de manera simultánea, dado que esto podría ocasionar daños irreversibles en el interior del motor.



RECUERDA

El marcado de la caja de bornes de los motores de dos velocidades y de los motores de conexión estrella-tríangulo es muy parecido, y un error en las conexiones podría causar grandes daños en la máquina.

En los motores de dos velocidades solo se conectan la mitad de los bornes, mientras que en los motores estrella-tríangulo deben conectarse todos.

■■■ Motor de inducción de rotor accesible

En la caja de bornes de los motores de inducción de rotor accesible debe existir un grupo especial de tres conexiones para maniobrar sobre los devanados del rotor, como por ejemplo, si fuese necesario conectar una batería de resistencias de arranque.

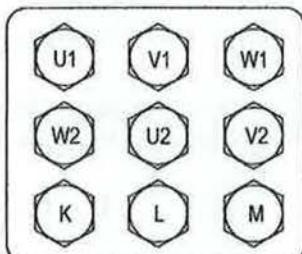


Figura 6.33. Denominación de las cajas de bornes asociadas al motor de inducción de rotor accesible.

Si no fuese necesario realizar maniobras sobre el rotor, los bornes correspondientes K-L-M deberán ser **cortocircuitados**. En caso de no realizar esta maniobra el circuito del rotor quedaría abierto, lo que produciría que en el eje del motor no se obtuviese movimiento giratorio, dado que el estator no podría inducir las corrientes en los devanados del rotor.

■■■ 6.2.3. Fundamentos técnicos del motor trifásico de inducción

Los parámetros técnicos asociados al funcionamiento de los motores trifásicos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 6.1. Parámetros característicos de los motores eléctricos trifásicos.

Tensión nominal	Intensidad nominal	Intensidad de arranque	Frecuencia	Factor de potencia
Pares de polos	Potencias	Par motor	Velocidad y deslizamiento	Rendimiento

■■■ Tensión nominal (U_n)

Es la diferencia de potencial, expresada en voltios (V), a la que trabaja el motor en condiciones normales. Como ya se ha estudiado, dependiendo del tipo de motor, este podrá disponer de una o varias tensiones de funcionamiento.

■■■ Intensidad nominal (I_n)

Es la intensidad de trabajo, aquella para la que el estator del motor está diseñado para funcionar en condiciones normales. Se expresa en amperios (A).

La intensidad nominal de los motores influye directamente en el calibre de los dispositivos de protección, la sección de conductores y canalizaciones, las caídas de tensión, etc.

■■■ Intensidad de arranque (I_a)

La intensidad de arranque es la que demanda el motor en el momento en el que es conectado a la red eléctrica. Como será analizado en apartados posteriores, esta intensidad es más elevada que la nominal, por lo que en la mayoría de los casos deberá ser limitada.

La intensidad de arranque puede expresarse en amperios (A) o como un factor de relación con respecto a la intensidad nominal:

$$I_a = n \times I_n$$

■■■ Frecuencia (f)

Los motores eléctricos están diseñados para ser utilizados a una o varias frecuencias de funcionamiento, expresadas en hertzios (Hz). Si, por ejemplo, un motor es conectado a una red eléctrica de frecuencia superior a la que marca el fabricante, su velocidad se verá incrementada y la fuerza que ofrece en el eje se verá reducida. Esto podría ocasionar daños en el equipo, especialmente en motores de gran potencia.

■■■ Factor de potencia ($\cos \varphi$)

Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente del motor, expresándose siempre mediante un valor numérico comprendido entre 0 y 1. En motores asincrónicos el factor de potencia suele estar comprendido entre 0,7 y 0,85, siendo algo más elevado en motores síncronos.

■■■ Pares de polos (P)

Los puntos de máxima fuerza de atracción magnética del interior del motor se denominan polos. Puesto que un imán o un electroimán siempre van a tener dos polos (norte y sur), estos se contabilizan mediante números pares para simplificar. El número de pares de polos de los que constará un motor dependerá del fabricante.

$$P = \frac{p}{2}$$

Donde:

P = pares de polos

p = polos

■■■ Potencias

Genéricamente, la potencia puede definirse como la energía desarrollada por unidad de tiempo. En un motor eléctrico se puede distinguir entre dos tipos de potencia:

- **Potencia eléctrica activa (P):** es la que el motor absorbe de la red eléctrica a través del estator. Generalmente se expresa en kW. Esta potencia también puede ser denominada como potencia nominal, potencia absorbida, potencia de entrada o potencia de red.
- **Potencia eléctrica reactiva (Q):** es la que el motor utiliza para generar los campos magnéticos giratorios que dan el movimiento al rotor. Se mide en kVAr.
- **Potencia mecánica (P_{Mec}):** es la que el motor cede a la carga a través del movimiento de su eje. Generalmente se expresa en caballos de vapor (CV), y en algunas ocasiones en caballos de potencia (HP). La potencia mecánica de un motor puede ser también de-

nominada potencia útil, potencia en el eje, potencia entregada o potencia de salida.

En ocasiones resulta necesario realizar conversiones entre las diferentes unidades de potencia asociadas al motor. Para realizar dicha tarea, es necesario conocer las equivalencias entre las mismas, que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6.2. Conversión entre unidades de potencia asociadas a los motores.

1 CV = 0,735 kW
1 HP = 0,746 kW
1 HP = 1,01387 CV

Actividad propuesta 6.3

Para familiarizarte con las diferentes unidades de medida de potencia asociadas a los motores eléctricos, completa la siguiente tabla:

	CV	HP	kW	W
a)			1,5	
b)		75		
c)	8			
d)			33	
e)				25.200
f)		4,5		
g)	24			

La potencia eléctrica activa demandada por un motor eléctrico trifásico debe venir siempre indicada por el fabricante. No obstante, si se desconoce dicho valor, será posible obtenerlo a partir de la siguiente fórmula:

$$P_{M3} = \sqrt{3} \times U_L \times I_L \times \cos \varphi = 3 \times U_F \times I_F \times \cos \varphi$$

En lo que respecta a la potencia reactiva, puede obtenerse mediante una ecuación independiente:

$$Q_{M3} = \sqrt{3} \times U_L \times I_L \times \sin \varphi = 3 \times U_F \times I_F \times \sin \varphi$$

O a partir del valor de la potencia activa:

$$Q = P \times \operatorname{tg} \varphi$$

Donde:

P_{M3} = potencia activa del motor trifásico (W)

Q_{M3} = potencia reactiva del motor trifásico (VA)

U_L = tensión de línea (V)

U_F = tensión de fase (V)

I_L = intensidad de línea (A)

I_F = intensidad de fase (A)

$\cos \varphi$ = factor de potencia

Este factor, expresado en valor porcentual, suele oscilar entre el 2 % y el 4 % de la velocidad de sincronismo cuando el motor se encuentra sin carga.

Cuando se aplica carga a un motor, puesto que el par se incrementa y la velocidad del rotor disminuye, el deslizamiento puede alcanzar valores de hasta el 12 %.

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} \times 100 \quad [\text{Valor porcentual}]$$

Velocidad y deslizamiento

La velocidad del motor, al basarse en un movimiento giratorio, se expresa en revoluciones por minuto. La velocidad máxima teórica a la que podría girar el motor eléctrico es la velocidad de su campo magnético giratorio. Esta velocidad, denominada **velocidad de sincronismo**, depende de la frecuencia a que se alimenta el estator y del número de polos del motor. Se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$n_s = \frac{60 \times f}{P}$$

Siendo:

n_s = velocidad de sincronismo (rpm o min^{-1})

f = frecuencia de la red eléctrica (Hz)

P = número de pares de polos

La velocidad que puede llegar a alcanzar el rotor de un **motor síncrono** será igual a la **velocidad de sincronismo** ya definida. Sin embargo, en los **motores asíncronos**, la velocidad del rotor será **ligeramente inferior** a la de sincronismo, en función de un parámetro denominado **deslizamiento**.

La velocidad nominal de rotor en los motores asíncronos puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$n_n = \frac{60 \times f}{P} \times (1 - s)$$

Siendo:

n_n = velocidad nominal del motor (rpm o min^{-1})

f = frecuencia de la red eléctrica (Hz)

P = número de pares de polos

s = deslizamiento

El deslizamiento, por tanto, puede ser definido como la diferencia entre la velocidad del rotor y la velocidad del campo magnético rotativo.

$$s = n_s - n_n$$

Actividad resuelta 6.1

Calcula la velocidad de sincronismo (en revoluciones por minuto) que tendría un motor de 2 polos funcionando en una red eléctrica de 50 Hz de frecuencia.

Realiza el mismo cálculo si el motor tuviese 4, 6, 8 y 12 polos.

Realiza la misma actividad si el mismo motor funcionase en una red eléctrica de 60 Hz de frecuencia.

Solución:

Número de polos	2	4	6	8	12
Pares de polos	1	2	3	4	6
n_s (rpm) a 50 Hz	3.000	1.500	1.000	750	500
n_s (rpm) a 60 Hz	3.600	1.800	1.200	900	600

Par motor (M)

El par motor, también denominado *torque*, puede definirse de una manera sencilla como la fuerza que el motor es capaz de ejercer sobre su eje. Se expresa en Nm (newtons × metro).

La potencia desarrollada por el par motor es proporcional a la velocidad angular del eje de transmisión, tal como se indica en la siguiente expresión:

$$P = M \times \omega$$

Siendo:

P = potencia en el eje del motor (W)

M = par motor (Nm)

ω = velocidad angular del eje (rad/s)

Dado que la velocidad que puede alcanzar el motor no suele expresarse en rad/s, sino en revoluciones por minuto (rpm), existe otra fórmula equivalente derivada de la anterior mucho más utilizada para hallar el par transmitido por

el eje del motor, teniendo en cuenta que 1 rad/s equivale a 9,5493 rpm:

$$M = \frac{9,5493 \times P}{n}$$

Donde:

$$M = \text{par motor (Nm)}$$

P = potencia en el eje del motor (W)

n = velocidad del motor (rpm)

Rendimiento (n)

La energía eléctrica que el motor absorbe de la red de alimentación no llega íntegramente al eje de rotación, puesto que durante la conversión de esta energía en energía mecánica se producen una serie de pérdidas.

Esta diferencia entre la potencia entrante y la potencia entregada se debe fundamentalmente a los siguientes factores: el calentamiento de los conductores de cobre (efecto Joule), las pérdidas magnéticas en hierro y entrehierro (histeresis, corrientes parásitas, flujo disperso) y las pérdidas mecánicas asociadas a la ventilación y rozamiento.

Si se multiplica el resultado de la ecuación por 100 se obtiene este parámetro en valor porcentual.

El rendimiento típico de un motor trifásico suele situarse entre 0,75 y 0,92, dependiendo del fabricante, del tamaño del motor y del número de pares de polos.



RECUERDA

La potencia de entrada al motor también se denomina potencia eléctrica, potencia absorbida o potencia de red. La potencia de salida en el eje también se denomina potencia entregada, potencia útil o potencia mecánica.

■ 6.2.4. Placa de características

La placa de características es una pequeña chapa metálica que se coloca sobre la carcasa externa del motor en un lugar visible. Contiene el conjunto de las condiciones de servicio de funcionamiento normal y los datos técnicos más importantes establecidos por el fabricante.

La placa de características de un motor trifásico suele contener la siguiente información mínima:

- Fabricante y modelo.
 - Tipo de motor.
 - Tensión/tensiones de alimentación.
 - Intensidad/intensidades nominales.
 - Potencia activa nominal (absorbida).
 - Factor de potencia.
 - Velocidad.
 - Rendimiento.
 - Frecuencia/frecuencias de funcionamiento.
 - Fecha de fabricación.
 - Norma de construcción y marcado CE.
 - Grado de protección IP.
 - Peso (en kg).
 - Clase de motor (A, B, C, D o F).

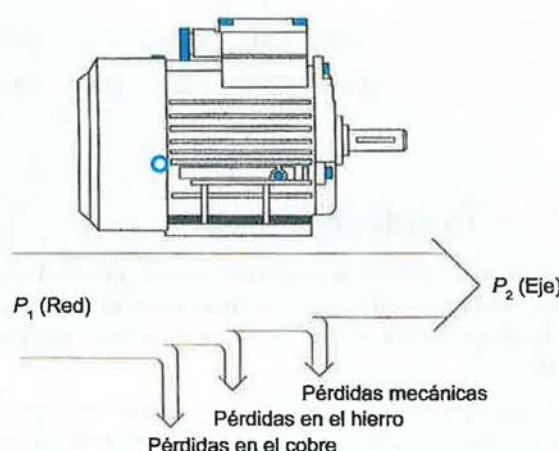


Figura 6.34. Balance de potencias en el motor eléctrico.

La relación entre la potencia de salida y la de entrada es lo que se conoce como rendimiento.

$$\eta = \frac{P_{\text{salida}}}{P_{\text{entrada}}} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{\text{nájedas}}}$$

Donde:

$n \equiv$ Rendimiento

P_e = Potencia eléctrica de entrada al estator (W)

P = Potencia mecánica de salida en el eje (W)

ABB Motors

3-Phase	380 V	50 Hz	1400 rpm		
3-Phase	380 V	50 Hz	1400 rpm		
V	Hz	min/r	NM	A	Coef.
380/420	50	420	33	0.5	0.79
220/240	50	240	16	0.1	0.78
400/440	60	440	174	0.3	0.79
250/280	50	280	175	0.1	0.79
IM3000					
S2 380/420					
S3 220/240					
S4 400/440					
S5 250/280					

Figura 6.35. Ejemplo de placa de características de dos motores de distintos fabricantes.

6.2.5. Curva característica de par-velocidad de un motor de inducción

La gráfica más característica asociada a un motor es aquella en la que se muestra la denominada curva par-velocidad, que relaciona las variaciones de fuerza (par) que el motor ofrece en su eje en función de la velocidad de rotación y del par resistente, que es la oposición que el propio sistema ejerce al movimiento del mismo, fundamentalmente debido al rozamiento.

Al comenzar el funcionamiento del motor (para lo cual es necesario que el par de arranque sea mayor que el par resistente), el sistema se desplaza hasta un punto de equilibrio entre el par motor y el par resistente. En ese punto, se dice que el motor se encuentra en condiciones de funcionamiento nominales.

La velocidad de funcionamiento del motor, por tanto, viene fijada por el punto para el cual el par que el motor puede suministrar es igual al par que la carga precisa para funcionar.

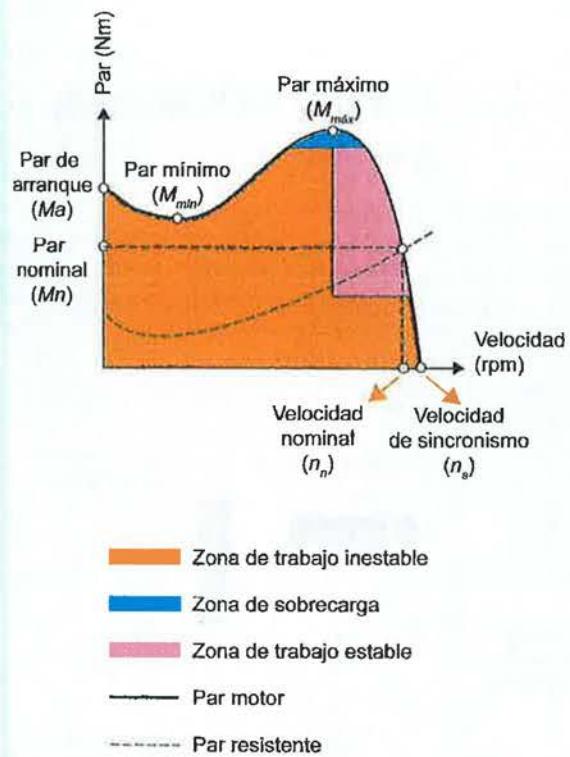
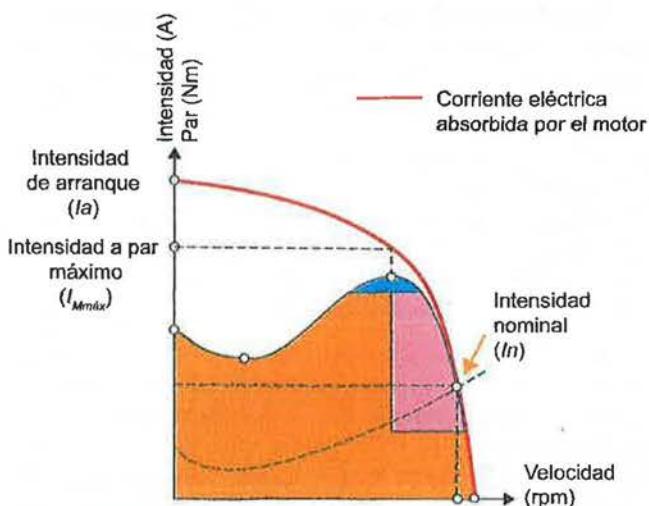


Figura 6.36. Curva característica par-velocidad de un motor.

También resulta posible relacionar esta curva característica del motor con la intensidad de corriente que los devanados del rotor demandan de la red eléctrica, quedando tal como se muestra en la siguiente figura:



Analizando las curvas características del motor, puede establecerse que durante el funcionamiento de la máquina existen varias fases diferenciadas:

- **Régimen nominal:** el motor funciona en condiciones de intensidad nominal, par nominal y velocidad nominal, manteniendo dicha velocidad constante.
- **Aceleración del motor:** es el tiempo que transcurre desde que la máquina comienza su movimiento hasta que alcanza el punto de trabajo nominal.
- **Zona de sobrecarga:** es la zona de trabajo donde el motor puede aportar el máximo par posible (M_{\max}), es decir, donde el motor tiene más fuerza. En estas condiciones el motor se encuentra sobrecargado, de manera que si permanece en este estado demasiado tiempo se acabarán quemando los devanados.

Al conectar una carga en el eje de un motor que se encuentre girando en vacío, la velocidad del motor disminuirá, lo que produce que aumente la demanda de corriente eléctrica (sobrecarga) para intentar llevar al motor a su velocidad de funcionamiento nominal. Si la carga es muy pesada y el motor no puede llegar a alcanzar su velocidad normal, permanecerá en estado de sobrecarga.

- **Punto de arranque:** es el momento en el que el motor es conectado a la red eléctrica. En ese instante los devanados deben crear un campo magnético suficientemente grande como para que el eje del motor pueda vencer las fuerzas de rozamiento y de inercia. Por este motivo, es el momento en el que se demanda una mayor cantidad de intensidad. En condiciones normales, puede establecerse por tanto que la intensidad en el arranque del motor es la intensidad máxima demandada por el mismo.

Durante la fase de arranque un motor eléctrico puede llegar a demandar, durante unos pocos segundos, una intensidad entre 2 y 10 veces superior a la intensidad nominal, dependiendo de las características internas y la potencia del mismo.

Esta circunstancia de funcionamiento, conocida como **arranque directo**, supone un gran inconveniente para las instalaciones eléctricas, ya que ese pico de corriente inicial puede producir disparos intempestivos de los dispositivos de conexión, perturbaciones en la red eléctrica, daños en otros equipos y componentes, etc.

De hecho, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece que únicamente podrán ser conectados a la red eléctrica en arranque directo los motores de potencia nominal igual o inferior a 750 W. Para potencias de funcionamiento superiores será necesario y obligatorio que los motores estén provistos de dispositivos o sistemas que limiten la intensidad de arranque. Estos **métodos de arranque** podrán ser:

- Arranques realizados mediante lógica cableada:
 - Arranque estrella-tríangulo ($Y-\Delta$).
 - Arranque mediante resistencias estatóricas.
 - Arranque mediante resistencias rotóricas.
 - Arranque por autotransformador.
- Arranques realizados mediante dispositivos electrónicos.

Dada la importancia de los posibles métodos de arranque de los motores eléctricos, estos serán estudiados en detalle en la Unidad 8 del libro, describiendo las características, técnicas y automatismos necesarios para su ejecución.

SABÍAS QUE

Si se produce alguna variación en las condiciones nominales de funcionamiento de una máquina eléctrica, esta puede actuar autocompensándose, se dice entonces que la máquina es **estable**, o alejándose cada vez más del régimen de funcionamiento normal, en cuyo caso se tratará de una máquina **inestable**.

6.3. Motores de corriente alterna

Los motores de corriente alterna monofásica son muy utilizados en mecanismos, aplicaciones y procesos que requieren muy poca potencia para su funcionamiento. La constitución y características de estos motores es muy similar a la de los trifásicos de inducción, con la salvedad de que al no tener un triple campo rotatorio desfasado 120 grados, en su arranque el eje del motor no es capaz de girar por sí mismo simplemente con alimentar los devanados del estator.

Los motores monofásicos, en consecuencia, precisan de un mecanismo o dispositivo auxiliar para lograr producir un par en el eje que haga que este comience el movimiento giratorio. Los sistemas más empleados en este sentido, mediante los cuales se puede realizar la clasificación de estas máquinas eléctricas, son los siguientes:

- Motor de CA de inducción con bobina auxiliar de arranque, o de fase partida.
- Motor de CA de inducción de arranque por condensador.
- Motor de CA de inducción de arranque por espira de sombra.

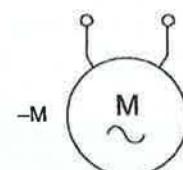


Figura 6.38. Símbolo genérico del motor de CA monofásico. Los bornes pueden nombrarse como U-V o F-N.

6.3.1. Motor de CA con bobina auxiliar de arranque

En el estator de la máquina se disponen dos devanados con un decalado de 90 grados. Al conectar el motor una corriente elevada atraviesa la bobina principal y una corriente de menor magnitud se deriva hacia la bobina auxiliar. De esta

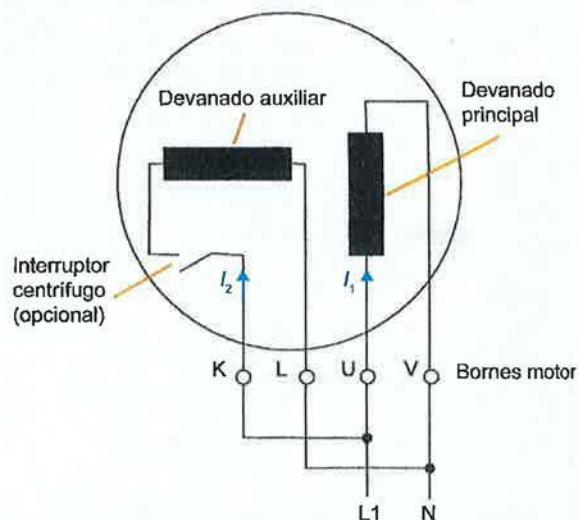


Figura 6.39. Representación interna del motor de CA con bobina auxiliar de arranque.

manera se generan dos campos magnéticos independientes desfasados entre sí, y será este desfase el responsable de generar un par suficiente que comience a mover el eje del motor, siempre que se encuentre conectado en vacío. También resulta posible conectar una resistencia u otra inductancia en serie con el devanado auxiliar para aumentar la impedancia y desfase entre las corrientes.

Una vez el motor se encuentra en funcionamiento, resulta posible mantener conectado el bobinado auxiliar, o desconectar el mismo mediante un interruptor centrífugo que actúa cuando la máquina ha alcanzado el 80 % de su velocidad nominal.

6.3.2. Motor de CA de arranque por condensador

Este es el sistema **más utilizado** en las instalaciones eléctricas que utilizan motores monofásicos. El principio de funcionamiento es similar al del arranque por bobina auxiliar, pero en este caso se conecta también un condensador fijo en el circuito auxiliar.

La diferencia de fase entre el condensador y la inductancia genera un campo magnético giratorio suficiente para mover el eje del motor, con la gran ventaja de que el **par de arranque es muy elevado**. Cuando la máquina ha alcanzado la velocidad suficiente es posible desconectar el circuito auxiliar mediante un interruptor centrífugo, aunque dependiendo de las características y uso del motor puede resultar necesario dejar el condensador conectado. En estos casos suele ser frecuente utilizar dos condensadores en paralelo para el arranque y desconectar uno de ellos durante el funcionamiento permanente del motor.

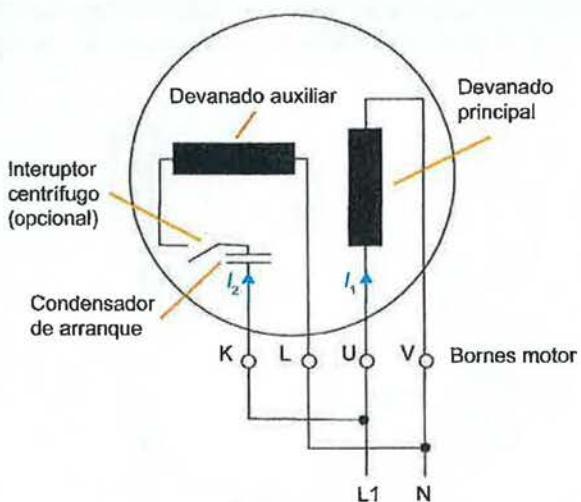


Figura 6.40. Representación interna del motor de CA con condensador de arranque.

SABÍAS QUE

La capacidad del condensador de arranque para un motor de 200 W debe ser aproximadamente de 8 μF .

6.3.3. Motor de CA de arranque por espira de sombra

Para generar el desfase de campo magnético necesario para el arranque, en estos motores se utiliza la denominada bobina o *espira de sombra*, similar a la utilizada en los contactores. La espira de sombra se ubica en una hendidura de los polos del estator y crea un flujo magnético auxiliar desfasado con respecto al principal que produce el movimiento giratorio del eje en el arranque.

Este sistema solo es aplicable en motores monofásicos de potencia no superior a 1 kW, dado su bajo rendimiento.

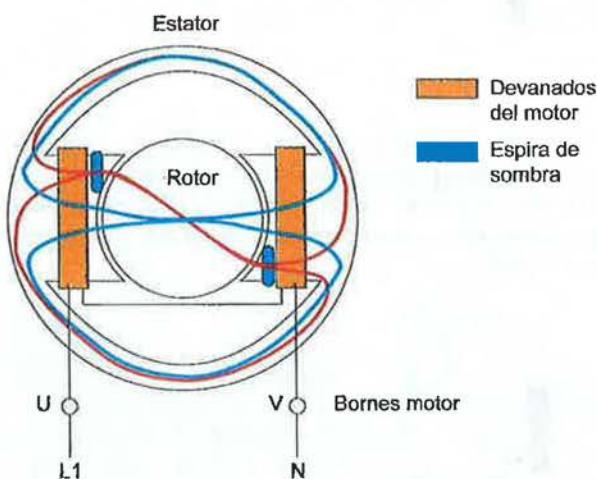


Figura 6.41. Representación interna del motor de CA con espira de sombra.

6.3.4. Motores universales

El motor monofásico universal es un tipo de motor eléctrico capaz de funcionar tanto en redes de corriente continua como de corriente alterna.

El uso de los motores universales para aplicaciones en corriente alterna está muy extendido por las múltiples ventajas que se obtienen con respecto a los motores de CA convencionales:

- Bajo coste.
- Elevado par de arranque.
- Elevada velocidad de rotación.
- Pequeño tamaño.

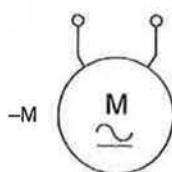


Figura 6.42. Símbolo del motor universal.

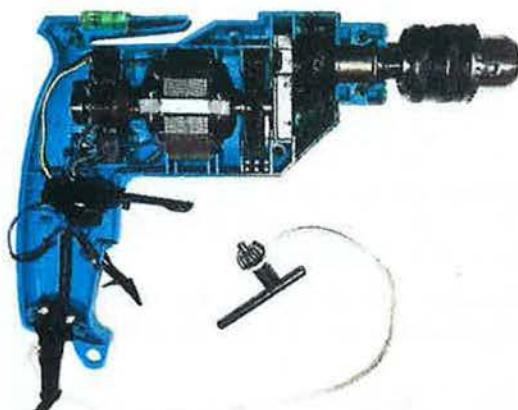


Figura 6.43. Motor universal.

Estos motores son los más utilizados en máquinas y herramientas portátiles y pequeños electrodomésticos. Pueden funcionar para una o dos tensiones y disponer de varias velocidades, comutando las espiras del devanado principal del estator.

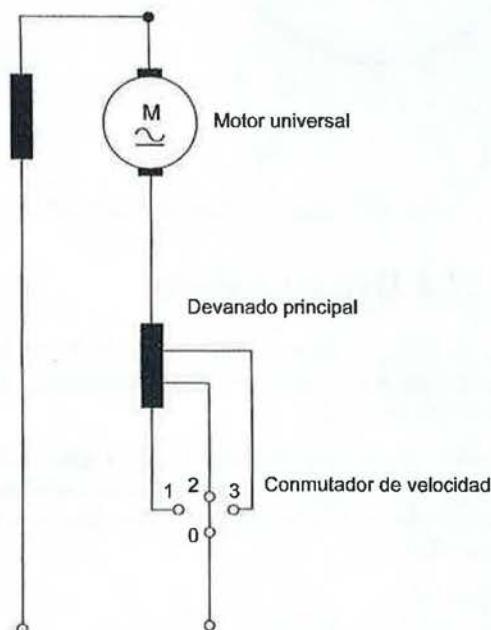


Figura 6.44. Representación gráfica de un motor universal de varias velocidades.

6.4. Motores de corriente continua

Los motores de corriente continua son ideales para su uso en máquinas y mecanismos de baja potencia y tensión. Presentan un fácil control y flexibilidad tanto de la velocidad como del par, y tienen una elevada capacidad de sobrecarga, por lo que hasta la aparición de la electrónica de potencia, eran los más utilizados en aplicaciones que requerían un amplio margen de velocidades.

Además, son muy fáciles de miniaturizar, por lo que uno de sus usos más generalizados se encuentra actualmente en la robótica.



Figura 6.45. Motores de CC de baja potencia.

La velocidad nominal de este tipo de motores **no depende de la frecuencia**, al contrario de lo que ocurre con los motores de corriente alterna, por lo que su principal ventaja radica en que permiten un control óptimo de la velocidad y un ajuste muy preciso del par. El par de arranque es, además, muy elevado.

Sin embargo, este tipo de motores son mucho menos robustos que los de corriente alterna, sus componentes son más caros y el mantenimiento es mucho más complejo y costoso.

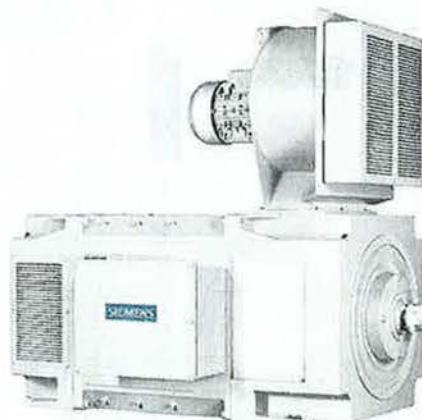


Figura 6.46. Motor de corriente continua de alta potencia. (Cortesía de Siemens.)

RECUERDA

Si un motor de corriente continua funciona como generador, se le conoce como **dinamo**.

6.4.1. Constitución del motor de corriente continua

Un motor de corriente continua está formado básicamente por los mismos componentes que un motor de corriente alterna de rotor bobinado, salvo por algunas particularidades:

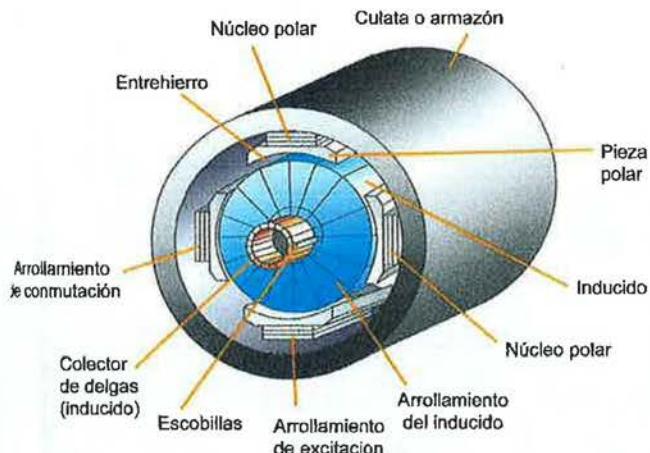


Figura 6.47. Constitución del motor de CC.

Estátor o inductor: al igual que en los motores de CA, el estátor es la parte fija del circuito magnético, cuyas bobinas son las encargadas de generar el campo magnético. No obstante, es frecuente que las bobinas sean sustituidas por imanes permanentes en motores de CC de baja potencia.

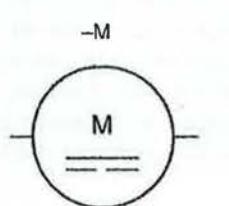


Figura 6.48. Símbolo general del motor de CC.

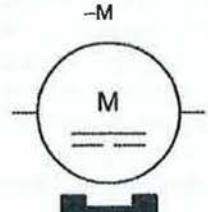


Figura 6.49. Símbolo del motor de CC de imán permanente.

Este tipo de motores pueden disponer, además, de un bobinado inductor auxiliar, formado por las bobinas colocadas en los **polos de conmutación**, cuya función es la de mejorar las condiciones de funcionamiento y solucionar los

problemas debidos a la reacción del inducido. Los devanados de compensación suelen utilizarse en motores de CC de grandes dimensiones y alta velocidad.

Rotor o armadura: se trata de un cilindro móvil metálico, compuesto por chapas magnéticas aisladas entre sí y situadas de manera perpendicular al eje de rotación.

Colector de delgas: es el elemento encargado de hacer la conexión eléctrica a través del ensamblaje rotativo, permitiendo la transferencia de la energía en corriente continua.

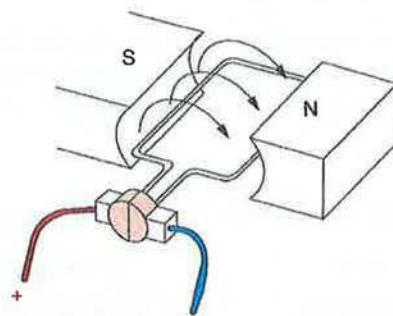


Figura 6.50. Representación del colector de delgas.

Actividad propuesta 6.4

¿Recuerdas lo que era un colector de anillos? ¿A qué tipo de máquinas eléctricas lo asociarías?

Enumera las semejanzas y las diferencias existentes entre los colectores de delgas y los colectores de anillos presentes en los motores trifásicos.

Escobillas: son componentes inmóviles que, situados frente al colector, establecen la conexión eléctrica entre la parte fija y la parte rotatoria del motor, haciendo presión sobre las delgas. El número total de escobillas de un motor de corriente continua ha de ser igual a su número de polos.

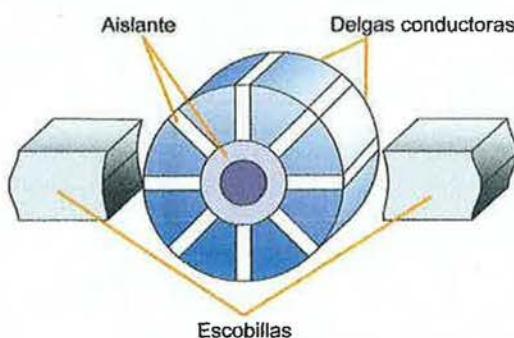


Figura 6.51. Detalle de la unión entre el colector de delgas y las escobillas.

El hecho de que este tipo de motores dispongan de escobillas implica, como ya se ha comentado, un mantenimiento mucho más complejo y costoso debido al desgaste mecánico al que se ven sometidos estos elementos, al contrario de lo que ocurre, por ejemplo, en los motores trifásicos asincrónicos de rotor en cortocircuito.

■■■ 6.4.2. Tipos de motores de corriente continua

Se distinguen cuatro tipos de motores de corriente continua, además del motor con imanes permanentes, caracterizados según la excitación del bobinado inductor con respecto al inducido.

Tabla 6.3. Tipos de motores de CC.

Serie	Shunt o derivación
Independiente	Compound o compuesto

■■■ Motor de CC de excitación en serie

Los devanados del inductor son recorridos por la misma corriente generada por el inducido y absorbida por la carga. Las bobinas estarán compuestas por pocas espiras y de una sección elevada, con el objetivo de disminuir la caída de tensión lo máximo posible.

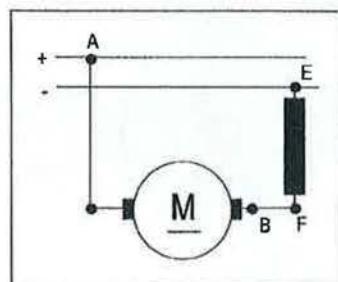
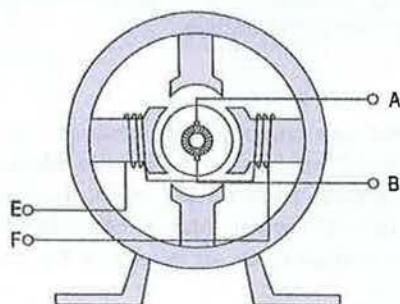


Figura 6.52. Motor de CC de excitación serie.

SABÍAS QUE

Los motores universales de corriente alterna monofásica son muy similares en cuanto a su forma constructiva a los motores de excitación serie de corriente continua.

■■■ Motor de CC de excitación independiente

Los devanados del inductor son recorridos por la corriente suministrada por una fuente de **alimentación externa**. La sección y el número de espiras de los devanados dependerán de la fuente de alimentación.

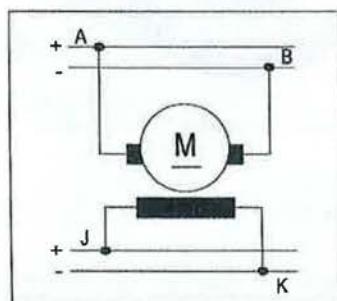
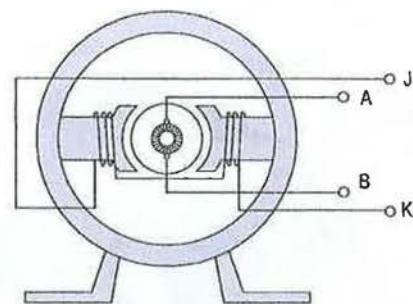


Figura 6.53. Motor de CC de excitación independiente.

La corriente de excitación puede ser regulada por un reostato o por la propia fuente de alimentación, lo que hace que los motores de corriente continua de excitación independiente sean todavía muy utilizados para aplicaciones que requieren una velocidad variable. No obstante, cada vez es más común el uso de motores de corriente alterna asincrónicos equipados con convertidor de frecuencias para este tipo de aplicaciones.

■■■ Motor de CC de excitación en derivación o shunt

El circuito inductor está conectado en **paralelo** (derivación) con el circuito inducido y con la carga, quedando la intensidad total repartida entre ellos. Las bobinas están formadas por un número muy elevado de espiras de pequeña sección.

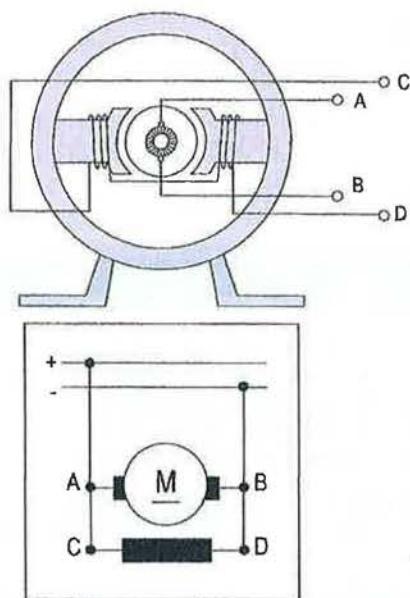


Figura 6.54. Motor de CC de excitación shunt.

6.4.3. Caja de bornes del motor de CC

La configuración de las cajas de bornes de los motores de corriente continua dependerá del tipo de excitación, quedando definidas por el marcado alfabético de las conexiones indicado anteriormente. La mayoría de estos motores disponen de 4 bornes de conexión, excepto el motor de excitación compuesta que dispone de 6.

Existe también la posibilidad de encontrar otros dos bornes adicionales, marcados con las letras G y H, que se corresponden con los devanados de conmutación. La conexión de este elemento se realiza en serie opuesta con el inducido.

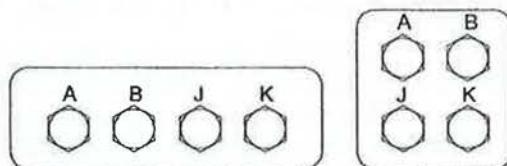


Figura 6.56. Placas de bornes de un motor de CC de excitación independiente.

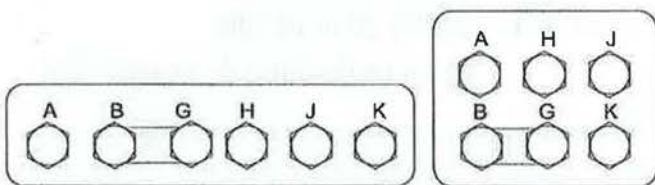


Figura 6.57. Placas de bornes de un motor de CC de excitación independiente con polos de conmutación.

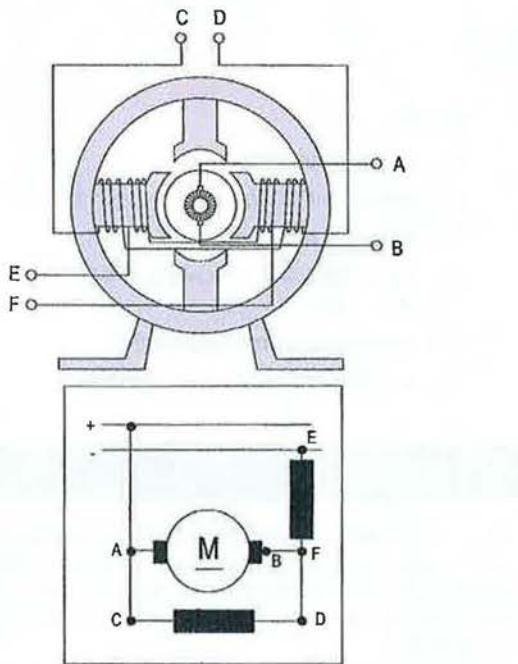


Figura 6.55. Motor de CC de excitación compound.

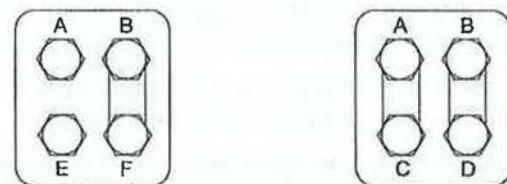


Figura 6.58. Placa de bornes de un motor de CC de excitación serie.

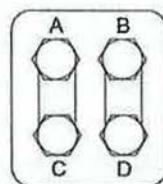


Figura 6.59. Placa de bornes de un motor de CC de excitación shunt.

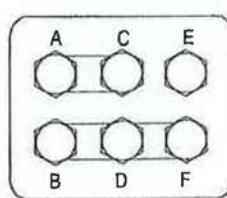


Figura 6.60. Placa de bornes de un motor de CC de excitación compound.

6.5. Dimensionado de instalaciones eléctricas con motores

La gran mayoría de las instalaciones eléctricas de automatismos industriales tienen como finalidad suministrar energía y poder gestionar el control de máquinas rotativas. Asimismo, existen muchas otras instalaciones en las que los motores eléctricos juegan un papel fundamental, ya que, por ejemplo, cualquier edificio actual dispone de ascensores, montacargas, grupos de bombeo, grupos de presión, puertas eléctricas y otros receptores eléctricos que basan su funcionamiento en un motor. Incluso en las instalaciones domésticas estos dispositivos se encuentran presentes, ya sea una lavadora, una nevera, el aire acondicionado, etc.

Dado que los motores eléctricos son posiblemente los receptores más comunes, o como mínimo los más importantes de las instalaciones eléctricas, especialmente en el caso de los automatismos industriales, resulta fundamental conocer los criterios de diseño y dimensionado necesarios para la instalación de los mismos, teniendo siempre en cuenta las disposiciones legales vigentes en el sector.

6.5.1. Cálculo de la sección de los conductores de alimentación

El método para calcular la sección del conductor de alimentación de un determinado circuito eléctrico se basa en dos criterios: que el conductor sea capaz de soportar la intensidad máxima que circulará por el circuito, y que la caída de tensión no sea superior a un determinado valor marcado por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, asegurando de esta manera que todos los receptores reciben un nivel de tensión mínima que les permita permanecer en estado normal de funcionamiento.

Por tanto, el cálculo genérico de la sección de un conductor se realiza mediante las siguientes ecuaciones:

- Cálculo de la intensidad nominal:** la intensidad nominal de un circuito depende de la potencia de los receptores conectados, de su factor de potencia y de la tensión de alimentación, tal como se muestra en las siguientes fórmulas de aplicación:

Para circuitos trifásicos:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi}$$

Para circuitos monofásicos:

$$I = \frac{P}{U \times \cos \varphi}$$

Donde:

I = intensidad nominal (A)

P = potencia (W)

U = tensión de alimentación (V)

$\cos \varphi$ = factor de potencia



RECUERDA

Es imprescindible verificar que la intensidad nominal de un determinado circuito sea inferior a la intensidad máxima admisible del conductor de alimentación (para evitar sobrecalentamientos) e inferior también al calibre del dispositivo de protección (para evitar disparos por exceso de potencia).

$$I_{\text{NOMINAL DEL CIRCUITO}} < I_{\text{DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN}} < I_{\text{MÁXIMA ADMISIBLE DEL CONDUCTOR}}$$

- Cálculo de la caída de tensión:** se calculará considerando alimentados todos los aparatos de utilización susceptibles de funcionar simultáneamente. Las fórmulas aplicables para obtener dicho parámetro son las siguientes:

Para circuitos trifásicos:

$$e = \frac{P \times L}{\gamma \times U \times S}$$

Para circuitos monofásicos:

$$e = \frac{2 \times P \times L}{\gamma \times U \times S}$$

Donde:

e = caída de tensión (V)

P = potencia (W)

L = longitud del circuito (m)

γ = conductividad del conductor ($\text{m}/\Omega \times \text{mm}^2$)
(Cu = 56, Al = 35)

U = tensión de alimentación (V)

S = sección del conductor (mm^2)



RECUERDA

Es imprescindible verificar que la caída de tensión obtenida en cada uno de los circuitos no supera los límites establecidos. El resultado final del cálculo puede expresarse en *valor de tensión (V)* o en *valor porcentual (%)* con respecto a la tensión de alimentación.

En los **circuitos de maniobra**, la sección utilizada será generalmente de **1,5 mm²**, ya que las cargas que alimentan presentan un consumo muy bajo.

Para la alimentación de **motores**, nunca deben utilizarse secciones de cableado inferiores a **2,5 mm²**, ya que dichos equipos están diseñados en muchos casos para trabajar en sobrecarga y, como ya se ha detallado, presentan unas sobreintensidades en el arranque que deben ser tenidas en cuenta. Es por este motivo, que el REBT 2002, en la ITC-BT-47, establece los criterios técnicos a tener en cuenta para la instalación y dimensionado de los motores eléctricos, los cuales se especifican a continuación:

Circuitos con un único motor

Los conductores de conexión que alimentan a un solo motor deben estar dimensionados para una intensidad del 125 % de la intensidad a plena carga del motor. En los motores de rotor devanado, los conductores que conectan el rotor con el dispositivo de arranque (conductores secundarios) deberán también estar dimensionados para el 125 % de la intensidad a plena carga del rotor.

Por tanto, la sección del conductor de alimentación de un motor trifásico puede obtenerse a partir de la siguiente fórmula:

$$S_{MOTOR} = \frac{1,25 \times L \times P}{U \times e \times \gamma}$$

Y en el caso de motores monofásicos:

$$S_{MOTOR} = \frac{1,25 \times 2 \times L \times P}{U \times e \times \gamma}$$

Donde:

S = sección del conductor (mm^2)

L = longitud del conductor (m)

P = potencia absorbida por el motor (W)

U = tensión nominal de alimentación (V)

e = caída de tensión máxima (V)

γ = conductividad del material conductor ($\text{mm}^2/\Omega \times \text{m}$)

La **caída de tensión máxima** entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización debe ser **menor del 5 %** de la tensión nominal de alimentación para los circuitos de fuerza, pudiendo compensarse este valor con el de las derivaciones individuales.

Para instalaciones industriales que se alimenten directamente en alta tensión mediante un transformador de distribución propio, la caída de tensión máxima admisible para los circuitos de fuerza será del **6,5 %**.



SABÍAS QUE

Si el motor es para servicio intermitente, los conductores secundarios pueden ser de menor sección según el tiempo de funcionamiento continuado, pero en ningún caso tendrán una sección inferior a la que corresponde al 85 % de la intensidad a plena carga en el rotor.

Circuitos con varios motores

Los conductores de conexión que alimentan a varios motores deben estar dimensionados para una intensidad no inferior a la suma del 125 % de la intensidad a plena carga del motor de mayor potencia, más la intensidad a plena carga de todos los demás.

Es decir, la sección del cableado que alimenta independientemente a cada motor se obtendrá a partir de las fórmulas anteriores, pero la sección del cableado común a todos los motores deberá hallarse a partir del siguiente valor de potencia:

$$P_{TOTAL} = 1,25 \times P_{MOTOR\ MAYOR} + P_{RESTO\ DE\ MOTORES}$$

Carga combinada

Los conductores de conexión que alimentan simultáneamente a motores y otros receptores deben estar previstos para la intensidad total requerida por los receptores, más la requerida por los motores, calculada tal como se ha indicado anteriormente.

Motores de elevación y transporte

En los motores de ascensores, grúas y aparatos de elevación en general, tanto de corriente continua como de corriente alterna, se computará como intensidad normal a plena carga la necesaria para elevar las cargas fijadas como normales a la velocidad de régimen una vez pasado el período de arranque, **multiplicada por el coeficiente 1,3**.

Para este tipo de máquinas eléctricas deben tenerse también en cuenta las prescripciones de la ITC-BT-32 del REBT, donde se indica que las canalizaciones que vayan desde el dispositivo general de protección al equipo de elevación o de accionamiento deberán estar dimensionadas de manera que el arranque del motor no provoque una caída de tensión superior al 5 %.

Por tanto, la sección del conductor de alimentación del motor trifásico de un aparato de elevación puede obtenerse a partir de la siguiente fórmula:

$$S_{MOTOR\ ELEVACIÓN} = \frac{1,3 \times L \times P}{U \times e \times \gamma}$$

Y en el caso de motores monofásicos:

$$S_{MOTOR} = \frac{1,3 \times 2 \times L \times P}{U \times e \times \gamma}$$

Donde:

S = sección del conductor (mm^2)

L = longitud del conductor (m)

P = potencia absorbida por el motor (W)

U = tensión nominal de alimentación (V)

e = caída de tensión máxima (V). Corresponde al 5 % de la tensión de alimentación.

γ = conductividad del material conductor ($\text{mm}^2/\Omega \times \text{m}$)

6.5.2. Compensación del factor de potencia

La mayoría de las máquinas eléctricas de corriente alterna, incluidos los motores, requieren para su funcionamiento de dos tipos de energía: la energía activa, la cual convierten en trabajo útil, y la energía reactiva, necesaria para la creación de los campos magnéticos. Por tanto, todas las instalaciones eléctricas en las que existan dispositivos electromagnéticos, o devanados acoplados magnéticamente, precisan de corriente reactiva para generar y mantener los campos magnéticos.

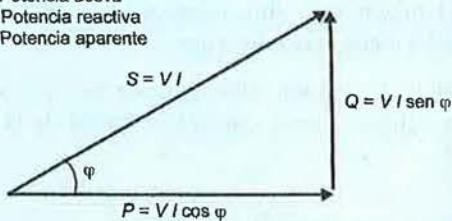


RECUERDA

La potencia activa (P) se expresa generalmente en W o kW, la potencia reactiva (Q) en VAr o kVAr y la potencia nominal o aparente (S) en VA o kVA.

La relación entre estos tres tipos de potencia forma lo que se denomina el **triángulo de potencias**.

P = Potencia activa
 Q = Potencia reactiva
 S = Potencia aparente



Los equipos eléctricos de las instalaciones industriales que más energía reactiva requieren para su funcionamiento son los transformadores, los motores y las lámparas de descarga. Concretamente, los motores **asíncronos** pueden llegar a demandar hasta un 75 % de potencia reactiva con

Actividad propuesta 6.5

Determina la caída de tensión real (en valor porcentual) asociada a las líneas de alimentación de dos motores trifásicos, suponiendo que sus características técnicas son las siguientes:

Denominación	Potencia del motor	Tensión	Longitud	Conductores
Línea motor 1	50 kW	400/230 V	18 metros	4 x 70 mm ² + TT x 50 mm ² (Al)
Línea motor 2	50 CV	400/230 V	7 metros	4 x 35 mm ² + TT x 50 mm ² (Cu)

- a) ¿Se encuentran las caídas de tensión calculadas dentro de los límites establecidos por el Reglamento de Baja Tensión para instalaciones industriales?
- b) Consideras que la instalación de estos dos motores se encuentra bien dimensionada? ¿Por qué?

Nota: los motores **no** son de elevación. La conductividad del cobre tómala como $56 \text{ mm}^2/\Omega \times \text{m}$ y la del aluminio como $35 \text{ mm}^2/\Omega \times \text{m}$.

respecto a su potencia activa nominal, lo que hace que su factor de potencia ($\cos \varphi$) sea muy bajo. Los valores del factor de potencia medios para las cargas más comunes en las instalaciones de automatismos industriales son los que se muestran a continuación:

Tabla 6.4. Factores de potencia ($\cos \varphi$) de los equipos eléctricos más comunes en instalaciones industriales.

Motor asincrónico al 0 % de carga	0,17
Motor asincrónico al 50 % de carga	0,73
Motor asincrónico al 100 % de carga	0,85
Centros estáticos monofásicos de soldadura por arco	0,5
Grupos rotativos de soldadura	0,7 - 0,9
Rectificadores de soldadura por arco	0,7 - 0,8
Máquinas de soldar de tipo resistencia	0,8 - 0,9
Lámparas incandescentes	1,0
Lámparas de fluorescencia	0,5
Lámparas de descarga	0,4 - 0,6
Hornos de resistencia	1,0
Hornos de calefacción dieléctrica	0,85
Hornos de arco	0,8
Hornos de inducción	0,85

La compensación de la energía reactiva (mejora del factor de potencia) en una instalación eléctrica conlleva numerosas ventajas técnicas y económicas como:

- Reducción de los costes económicos en electricidad.
- Reducción de las pérdidas (efecto Joule) en cables.
- Reducción de las caídas de tensión.
- Aumento de la potencia total disponible.



Figura 6.61. Cuadro eléctrico industrial destinado a la compensación del factor de potencia.

En las instalaciones de baja tensión, la mejora del factor de potencia se consigue mediante la instalación de condensadores o baterías de condensadores. Las baterías de condensadores pueden ser de dos tipos, **fijas** o **automáticas**, y su conexión al sistema se realiza mediante interruptor de corte en carga o interruptor automático, a través de automatismos basados en contactores o directamente en bornes del receptor a compensar.

Actividad propuesta 6.6

Identifica cada uno de los componentes que aparecen en la Figura 6.61, explicando brevemente su función.

Cabe destacar que la ITC-BT-43 del REBT especifica que se podrá realizar la compensación fija para uno o varios receptores siempre que funcionen simultáneamente y que para compensar la totalidad de la instalación se deberá instalar un equipo automático.

En cualquier caso, la compensación de la energía reactiva debe garantizar que en ningún momento la energía absorbida por la red sea capacitativa.

En las instalaciones industriales, generalmente se realiza la compensación fija en los motores de gran potencia y se utiliza una batería de condensadores automática para la compensación global en la cabecera de la instalación.

6.5.3. Instalación de condensadores y baterías de condensadores

Al dimensionar el montaje e instalación de una determinada batería de condensadores, debe tenerse en cuenta que los efectos positivos derivados solo tienen efecto aguas arriba de su ubicación.

Para escoger entre el sistema de compensación fijo o automático, la norma de aplicación más habitual especifica que para demandas de energía reactiva inferiores al 15 % de la potencia nominal de la instalación, es recomendable la utilización de condensadores fijos. Para demandas superiores al 15 % es recomendable, por tanto, la instalación de baterías de condensadores automáticas.

Respecto a la ubicación de los dispositivos de compensación dentro de la instalación eléctrica, se diferencian tres posibilidades:

- Compensación global.
- Compensación por grupos o parcial.
- Compensación individual.

Compensación global

La batería de condensadores debe ser obligatoriamente automática, y se instala en el embarrado del cuadro general de distribución de baja tensión, en paralelo con el resto de la instalación eléctrica. Este es el sistema de compensación más económico y efectivo, pero presenta una desventaja: desde el cuadro general hasta los receptores la corriente reactiva está totalmente presente en las líneas y las pérdidas por efecto Joule en las líneas no se reducen.

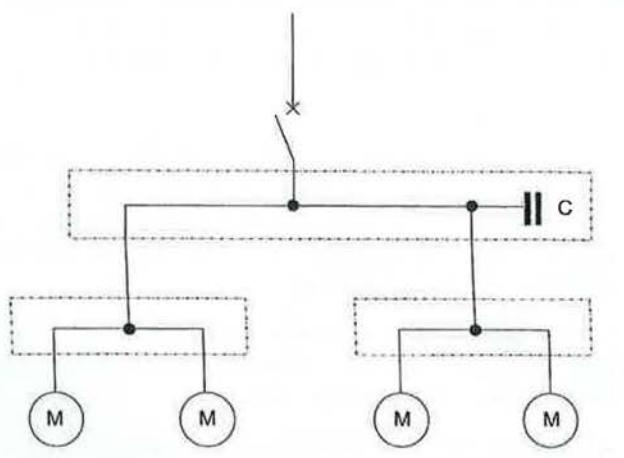


Figura 6.62. Ejemplo de compensación global.

Compensación por grupos

Las baterías de condensadores se instalan en el embarrado de cada uno de los cuadros de distribución que necesitan compensación. Este método encarece la instalación, pero reduce la intensidad y las pérdidas por efecto Joule en los cables de alimentación del CGBT y optimiza una gran parte de la instalación.

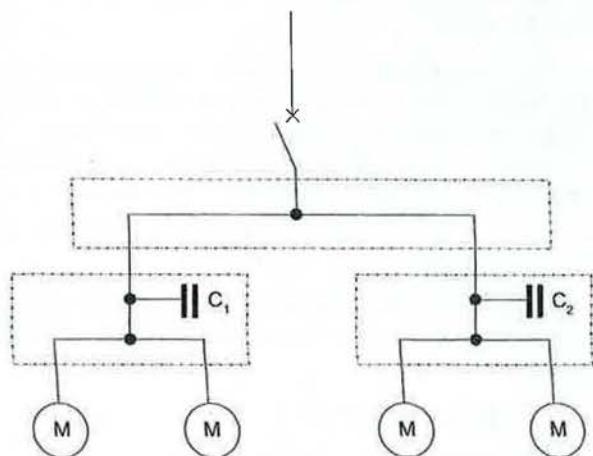


Figura 6.63. Ejemplo de compensación por grupos.

Es recomendable utilizar la compensación por grupos cuando la instalación es grande o cuando los patrones de uso de las máquinas eléctricas son muy distintos. En este sentido, hay que prestar especial atención en el dimensionamiento para evitar que puedan producirse sobrecompensaciones si hay grandes variaciones de carga.

Compensación individual

En el método individual los condensadores se conectan directamente en bornes de los receptores que se desean compensar.

Mediante este sistema se elimina completamente la energía reactiva demandada por el equipo compensado y se reduce la intensidad y las pérdidas por efecto Joule en los cables de alimentación hasta el receptor.

Si todos los equipos dispusiesen de compensación individual se optimizaría por completo la instalación eléctrica, pero resultaría un método muy costoso. Es recomendable, por tanto, utilizar la compensación individual cuando la potencia nominal del equipo a compensar (generalmente un motor asincrónico) es relativamente grande en comparación con la potencia total de la instalación.

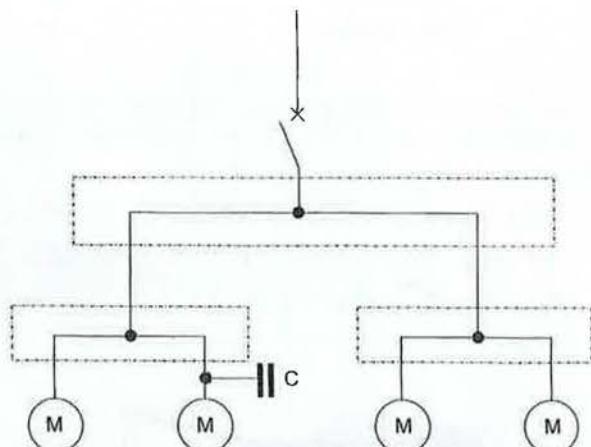


Figura 6.64. Ejemplo de compensación individual de un único motor.

Cabe destacar que no es recomendable compensar de forma individual los motores que dispongan de arrancadores escalonados, inversión de giro, varias velocidades y otros motores de características especiales.



RECUERDA

Existe también la posibilidad de encontrar condensadores conectados en bornes de motores de corriente alterna monofásica, cuyo objetivo no es el de compensar la potencia reactiva, sino facilitar el arranque de los mismos.

Al realizar la compensación individual en bornes de un motor, debe tenerse en cuenta que la intensidad eficaz de la línea de alimentación se va a reducir considerablemente, por lo que resultará necesario realizar una nueva regulación de los dispositivos de protección.

El cálculo para obtener la energía reactiva capacitativa que resulta necesaria a la hora de efectuar la compensación de una determinada instalación, grupo o equipo eléctrico, se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$Q_c = P \times (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)$$

Siendo:

Q_c = potencia reactiva del condensador o de la batería (VAr)

P = potencia activa del receptor a compensar (W)

φ_1 = ángulo de desfase antes de la compensación

φ_2 = ángulo de desfase deseado (después de la compensación)



RECUERDA

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA). Cuanto más próximo esté el factor de potencia al valor de 1, mayor será el beneficio para la instalación eléctrica.

En la práctica, sin embargo, cuando se desea llevar a cabo la compensación individual de un único motor eléctrico, en lugar de realizar el cálculo matemático de la batería de condensadores necesaria en cada caso, lo más común es consultar las tablas proporcionadas por el fabricante del equipo de compensación, donde se ofrece una relación entre las características propias del motor y la potencia reactiva de compensación aconsejada que se debería instalar.

A continuación se muestra una tabla en la que se indican las potencias reactivas máximas recomendadas para la compensación fija de motores de diversa potencia y velocidad, así como el factor de reducción asociado para las protecciones de máxima intensidad después de la compensación:

Tabla 6.5. Baterías de condensadores y factores de reducción recomendados para motores de 22 a 450 kW. (Cortesía de Schneider Electric.)

KW	CV	kVar que se deben instalar			
		3.000	1.500	1.000	750
22	30	6	8	9	10
30	40	7,5	10	11	12,5
37	50	9	11	12,5	16
45	60	11	13	14	17
55	75	13	17	18	21
75	100	17	22	25	28
90	125	20	25	27	30
110	150	24	29	33	37
132	180	31	36	38	43
160	218	35	41	44	52
200	274	43	47	53	61
250	340	52	57	63	71
280	380	57	63	70	79
355	482	67	76	86	98
400	544	78	82	97	106
450	610	87	93	107	117
Factor de reducción de las protecciones		0,93	0,91	0,90	0,88

Actividades de comprobación

- 6.1.** ¿A cuántos kilovatios equivale un caballo de vapor?
- 0,746 kW.
 - 1,01387 kW.
 - 0,735 kW.
- 6.2.** En el arranque directo de un motor trifásico con rotor de jaula de ardilla, cuyas características nominales de tensión son: 690 V / 1.200 V, podremos conectarlo en estrella:
- A una red trifásica de 690 V de tensión de línea.
 - A una red trifásica de 1.200 V de tensión de línea.
 - A una red trifásica de 1.200 V o 690 V, según hagamos la conexión.
- 6.3.** En el arranque directo de un motor trifásico con rotor de jaula de ardilla, cuyas características nominales de tensión son: 230 V/400 V, podremos conectarlo en estrella:
- A una red trifásica de 690 V, siempre que el motor sea de tipo síncrono.
 - A una red trifásica de 230 V de tensión de fase.
 - Ninguna opción es correcta.
- 6.4.** ¿Cómo se denomina a una máquina rotativa de corriente alterna que funciona como generador?
- Dinamo.
 - Alternador.
 - Transformador.
- 6.5.** En una máquina eléctrica rotativa, el rotor es considerado como:
- El inducido.
 - El inductor.
 - El entrehierro.
- 6.6.** El término "colector de delgas" hace referencia a:
- Una máquina eléctrica rotativa de corriente continua.
 - Una máquina eléctrica rotativa de corriente alterna.
 - Una máquina eléctrica rotativa trifásica.
- 6.7.** ¿Qué tipo de motores poseen un factor de potencia más elevado por defecto, es decir, siempre que no exista compensación?
- Motor de inducción.
 - Motor síncrono.
 - Motor asíncrono.
- 6.8.** ¿Qué tipo de motor es capaz de alcanzar la denominada "velocidad de sincronismo"?
- Motor de inducción.
 - Motor síncrono.
 - Motor asíncrono.
- 6.9.** ¿Cuál de los siguientes tipos de motores tiene en su caja de bornes 6 bornes de conexión?
- Motor asíncrono trifásico con rotor en cortocircuito (o jaula de ardilla) de conexión estrella-triángulo.
 - Motor asíncrono trifásico de dos velocidades tipo Dahlander.
 - Ambas opciones son correctas.
- 6.10.** Mediante qué tipo de conexión en un motor trifásico es posible conseguir que a los devanados internos les llegue una tensión 1,73 veces menor que la tensión de línea de la red eléctrica:
- Conexión en estrella.
 - Conexión en triángulo.
 - Ninguna opción es correcta. Esta relación de tensiones no existe.
- 6.11.** ¿Cuándo resulta más elevada la demanda de intensidad por parte de un motor eléctrico en arranque directo?
- Cuando alcanza la velocidad nominal.
 - Cuando arranca.
 - Cuando trabaja en sobrecarga.
- 6.12.** ¿Cuál de los siguientes tipos de motores no puede ser considerado como de corriente alterna?
- Motor de arranque por condensador.
 - Motor de arranque por conexión compound.
 - Motor de arranque por espira de sombra.
- 6.13.** Un motor de corriente continua en el que los devanados del inductor son recorridos por la misma corriente generada por el inducido y absorbida por la carga, y las bobinas están compuestas por pocas espiras y de una sección elevada, es de tipo:
- Excitación en serie.
 - Excitación independiente.
 - Excitación shunt.

- 6.14. ¿Qué otro nombre recibe el motor trifásico asincrónico con rotor en jaula de ardilla?
- Motor de rotor bobinado.
 - Motor de rotor cortocircuitado.
 - Motor de rotor accesible.

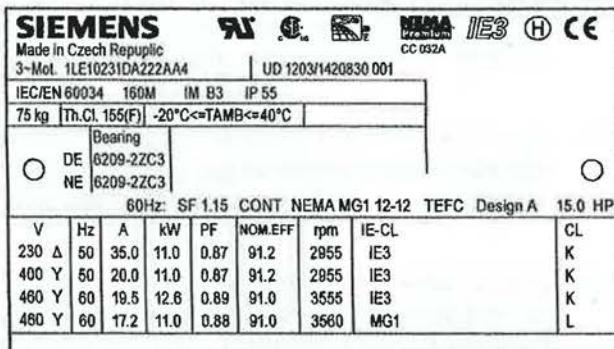
- 6.15. ¿Resulta posible compensar el factor de potencia de un único motor?
- No, la compensación debe realizarse de manera global desde el cuadro eléctrico general.
 - Sí, pero solo en motores síncronos.
 - Sí, mediante compensación individual.

Actividades de aplicación

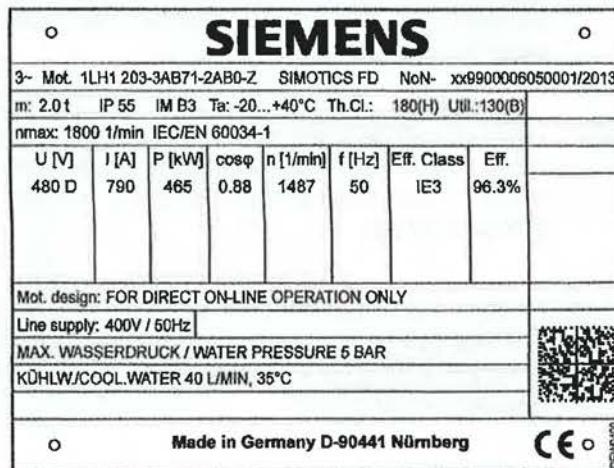
- 6.1. ¿Qué sección de cableado utilizarías en un circuito de maniobra para el control de un automatismo industrial? ¿Podrías utilizar el mismo tipo de cable para alimentar a un motor perteneciente al circuito de fuerza? Razona tus respuestas.
- 6.2. ¿Cuál es la función de las bobinas estatóricas de un motor trifásico?
- 6.3. Enumera las ventajas e inconvenientes de los motores trifásicos con respecto a los motores de corriente alterna monofásicos.
- 6.4. Enumera las ventajas e inconvenientes de los motores de corriente alterna con respecto a los motores trifásicos.
- 6.5. Explica brevemente la diferencia fundamental en el principio de funcionamiento de un motor de corriente alterna monofásico y un motor de corriente alterna trifásico.
- 6.6. Explica la diferencia entre el condensador de arranque de un motor de corriente alterna monofásico y el condensador de compensación del factor de potencia.
- 6.7. Razona si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas, justificando en cada caso la respuesta:
- Un motor eléctrico conectado en una red de 400 V consumirá más intensidad de corriente que el mismo motor conectado en una red de 230 V.
 - A mayor número de pares de polos, mayor será la velocidad de un motor trifásico.
 - Mediante la compensación global de energía reactiva no es posible reducir la sección de los conductores del interior de la instalación, ya que la intensidad aguas abajo de la conexión de la batería de condensadores no se ve afectada.
 - En los motores de corriente continua la velocidad de giro no depende de la frecuencia.
- 6.8. ¿Qué ocurriría si se conecta un motor trifásico de 50 Hz de frecuencia a una red de 60 Hz?
- 6.9. En un motor trifásico conectado en triángulo, ¿qué relación existe entre la intensidad que circula por la línea de alimentación y la que recorre cada bobina del motor?
- 6.10. En un motor trifásico conectado en estrella, ¿qué relación existe entre la intensidad que circula por la línea de alimentación y la que recorre cada bobina del motor?
- 6.11. ¿Cómo habrá que conectar un motor de 133/230 V a una red de 230 V de tensión de línea, en estrella o en triángulo? Razona tu respuesta.
- 6.12. ¿De qué tensiones tendrá que ser un motor para poder ser arrancado en Y-Δ en una red de 400 V de tensión de línea? Razona tu respuesta.
- 6.13. ¿Qué número de pares de polos debe poseer el devanado estatórico de un motor asincrónico trifásico de inducción para conseguir una velocidad síncrona de 750 rpm a 50 Hz?
- 6.14. ¿Cuál será el deslizamiento de un motor asincrónico trifásico de rotor en cortocircuito de dos pares de polos a 50 Hz y a plena carga si se mide con un tacómetro una velocidad de 1.455 rpm?
- 6.15. Cita cuatro datos de los que aparecen en la placa de características de un motor trifásico.
- 6.16. ¿Cuál será la velocidad de sincronismo (en rpm) de un motor trifásico de 6 polos?
- 6.17. Cita los cuatro tipos más importantes de motores de corriente continua, según su tipo de excitación.

Casos prácticos

- 6.1.** Explica de manera detallada en qué consisten la conexión en estrella y en triángulo de un motor trifásico. Realiza un esquema de ambas conexiones. A continuación, lleva el esquema y las conexiones a la práctica con el motor correspondiente de tu aula de trabajo.
- 6.2.** A continuación se muestran las placas de características correspondientes a dos motores trifásicos. Analiza los datos expuestos en las mismas y responde a las siguientes preguntas.



Placa de características del motor A



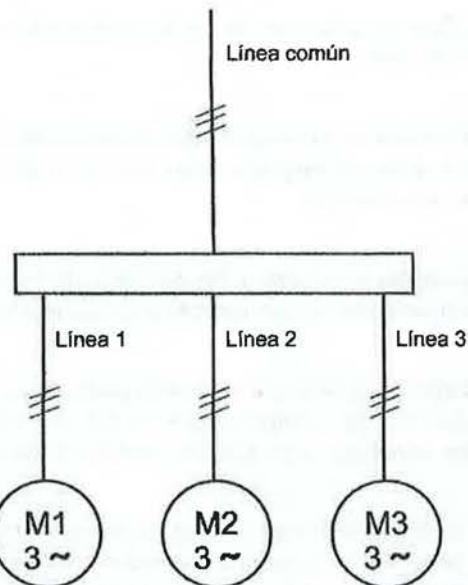
Placa de características del motor B

- Define con qué tipo de motor se puede corresponder cada una de las placas de características.
- ¿Cuál de los dos motores demanda mayor potencia eléctrica?
- ¿Qué motor puede alcanzar mayor velocidad?
- ¿Qué motor tiene un mayor rendimiento?

- ¿A qué niveles de tensión puede ser conectado cada motor?
- ¿Cuál de los dos motores necesitará cableado de alimentación de mayor sección?
- ¿Qué motor posee un factor de potencia más desfavorable?

Razona y justifica todas las respuestas.

- 6.3.** A continuación se representa el esquema unifilar simplificado de una instalación eléctrica que consta de tres circuitos independientes para motores.



Motor 1

- $P = 15 \text{ kW}$
- $\text{Cos } \varphi = 0,82$

Motor 2

- $P = 22 \text{ CV}$
- $\text{Cos } \varphi = 0,79$

Motor 3

- $P = 19 \text{ HP}$
- $\text{Cos } \varphi = 0,84$

Línea 1 = 16 metros

Línea 2 = 4 metros

Línea 3 = 7 metros

Línea común = 12 metros

Sabiendo que los motores no son destinados a aparatos de elevación, y que están conectados a una tensión de línea de 400 V, responde a las siguientes cuestiones:

- Realiza el cálculo de previsión de potencia para cada una de las tres líneas que alimentan a los motores.
- Calcula la intensidad demandada por cada motor.
- Realiza el cálculo de previsión de potencia para la línea común.
- Calcula la sección teórica mínima de cada una de las tres líneas que alimentan a los motores, suponiendo los conductores de cobre.
- Calcula la sección teórica mínima para la línea común.

6.4. Se dispone de un motor trifásico con la siguiente placa de características:

$P_{\text{eje}} = 45.000 \text{ W}$	$I_d/I_n = 2,5$
$\eta = 85 \%$	$n = 1.500 \text{ rpm}$
$U = 400/230 \text{ V}$	$\cos \varphi \approx 0,75$ Inductivo

Se desea conectar el motor a una red trifásica de 400 V de tensión de línea. Responde a las siguientes cuestiones:

- Razona cómo se debería conectar el motor (estrella o triángulo) y dibuja un esquema de la placa de conexiones.
- ¿Qué potencia demanda el motor de la red (P_{ABS})? Determina las potencias reactiva y aparente asociadas.
- ¿Qué potencia llega al eje del motor?
- Determina la intensidad que circula por cada línea del sistema que alimenta al motor (I_L), y la intensidad de arranque del mismo (I_a).
- Calcula el par que puede ofrecer el eje del motor.
- Se desea aumentar el factor de potencia. Razona de qué forma puede realizarse esta acción sin utilizar baterías de condensadores.

6.5. Completa la siguiente tabla:

Tensión motor	Tensión de línea	Conexión	Tensión bobina
133/230	133		
230	133		
400/690		Estrella	
230/400			400
400	400		
690/1.200		Estrella	
		Triángulo	230
400/690		Triángulo	
133/400	400		
		Estrella	230
230/400			230
690/1.200	690		

Anexo técnico - Marcado de motores

Todos los motores eléctricos, al igual que la mayoría de los componentes, equipos y dispositivos pertenecientes a las instalaciones de automatismos industriales, constan de uno o varios símbolos geométricos y alfanuméricos que certifican o informan de sus características de uso y requisitos de fabricación. A continuación se exponen y definen los más importantes:

Marcado Europeo CE

El marcado CE es un requisito indispensable para comercializar un producto en cualquier país de la Unión Europea. Con este código el fabricante o el importador se responsabiliza de garantizar que el producto fabricado cumple los requisitos exigidos por las Directivas Comunitarias de aplicación, y el consumidor tiene constancia de que ha superado los controles de calidad. Junto a las letras CE también debe constar un número, correspondiente al organismo que otorga el certificado del producto. Si un motor no posee este marcado y la información asociada, queda prohibido su uso.



Figura 6.65. Interpretación del marcado CE.

Otras certificaciones de calidad

Existen otros tipos de certificados que garantizan la calidad de los materiales y el cumplimiento de los requisitos exigidos, pero en un ámbito nacional. Algunos ejemplos de distintivos que se pueden encontrar en los motores eléctricos son los siguientes:



Tabla 6.6. Características de los motores de inducción de jaula de ardilla en función de su clase.

Clase de motor	Par de arranque (M _s / M ₀)	Intensidad de arranque (I _s / I ₀)	Regulación de velocidad (%)	Características del motor
A	1,5 - 1,75	5 - 8	2 - 4	De jaula sencilla y baja resistencia
B	1,4 - 1,6	4,5 - 6	3,5	De propósito general
C	2 - 2,5	3,5 - 5	4 - 5	De doble jaula y alto par
D	2,5 - 3	3 - 8	5 - 13	De jaula sencilla, alto par y alta resistencia
F	1,25	2 - 4	> 5	De doble jaula, bajo par y baja intensidad de arranque

Marcado ATEX

El marcado ATEX, aplicable en todos los países miembros de la Unión Europea, describe qué tipo de componente o equipamiento puede ser utilizado en ambientes o atmósferas potencialmente explosivas, así como las características que debe tener dicho ambiente. Se basa en los requerimientos especificados en la Directiva 94/9/EC.



Figura 6.66. Interpretación del marcado ATEX.

Grado de protección IP

El sistema de codificación IP establece el nivel de protección que ofrece la envoltura del motor frente al acceso a las partes peligrosas, contra la penetración de cuerpos sólidos extraños, contra la penetración de agua y para suministrar una información adicional unida a la referida protección. La codificación del valor IP y su significado es idéntica a la estudiada para cuadros y armarios eléctricos.

Clase de motor según la clasificación NEMA

Dada la gran variedad de motores de **inducción de jaula de ardilla** presentes actualmente en el mercado, la *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA) ha creado un código identificativo basado en cinco letras (A, B, C, D o F) que permite conocer las propiedades constructivas y de funcionamiento eléctrico y mecánico del rotor en estos motores. Dichas propiedades quedan reflejadas en la siguiente tabla:

Automatización industrial mediante lógica cableada

7

Contenidos

- 7.1. Interpretación de los circuitos de automatismos
- 7.2. Dispositivos de control manual
- 7.3. Maniobras en los circuitos de automatismos
- 7.4. Dispositivos de control automático
- 7.5. Temporizadoras y circuitos temporizados
- 7.6. Automatismos domésticos
- 7.7. Representación y marcado de componentes

Objetivos

- Aprender a interpretar los esquemas de fuerza y maniobra de los automatismos eléctricos.
- Conocer los dispositivos de control manual que intervienen en los circuitos.
- Definir las posibles maniobras asociadas a los circuitos automáticos.
- Conocer los dispositivos de control automático que intervienen en los circuitos.
- Dar a conocer los dispositivos de temporización y los automatismos domésticos.
- Dominar y comprender la representación y marcado de componentes en los circuitos de automatismos industriales.

La correcta interpretación de los circuitos de automatismos eléctricos pasa por identificar todos los componentes que pueden intervenir en los mismos, conocer las funciones que desarrollan y saber interpretar sus esquemas asociados.

En esta unidad aprenderemos a realizar y desarrollar circuitos de automatismos industriales en lógica cableada, analizando todos los componentes y peculiaridades asociados a los mismos.



7.1. Interpretación de los circuitos de automatismos

Tal como se ha mencionado en unidades anteriores, los automatismos eléctricos están formados por dos tipos de circuitos. El circuito de **fuerza o potencia**, mediante el cual se suministra energía a los receptores finales a través de las respectivas protecciones (generalmente motores eléctricos), y el circuito de **mando o maniobra**, cuya función principal es la de gobernar y gestionar el comportamiento del propio circuito de fuerza (generalmente a través de la alimentación de electroimanes).

Los automatismos basados en lógica cableada siempre van a requerir la intervención de uno o más operarios sobre el circuito de maniobra, como mínimo para poner el sistema en marcha y generalmente también para detenerlo. El fundamento principal que define a un automatismo industrial, por tanto, es que no requiere la intervención directa de ninguna persona sobre los circuitos de fuerza para que el sistema funcione con total normalidad.



SABÍAS QUE

La comutación manual sobre un circuito de potencia puede realizarse a través de interruptores o commutadores de fuerza de dos o tres posiciones, pero en estos casos no se trata de instalaciones automatizadas propiamente dichas.

7.1.1. Representación gráfica de los circuitos de automatismos

Todos los circuitos relacionados con el entorno de los automatismos eléctricos se representan gráficamente en estado de **reposo**. En esta situación, es posible encontrar dos tipos de contactos:

- **Normalmente abiertos (NO).** Se encuentran abiertos en estado de reposo, por lo que no permiten el paso de la corriente eléctrica.
- **Normalmente cerrados (NC).** Se encuentran cerrados en estado de reposo, permitiendo el paso de la corriente eléctrica.

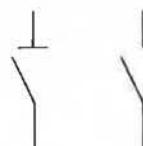


Figura 7.1. Ejemplos de representación de contactos NO.

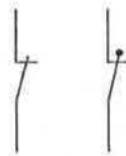


Figura 7.2. Ejemplos de representación de contactos NC.

Puesto que un determinado dispositivo puede tener asociados varios contactos diferentes, tanto en la parte de fuerza como en la parte de maniobra, existen dos métodos para mostrar que componentes y contactos están vinculados:

- **Mediante líneas discontinuas:** solo aplicable en circuitos pequeños o en elementos que se encuentren muy próximos, dado que de lo contrario su uso podría resultar confuso. A continuación se muestran dos ejemplos:

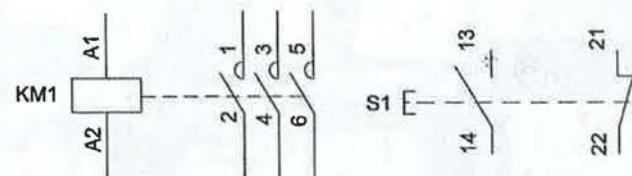


Figura 7.3. Líneas discontinuas de vinculación de elementos.

- **Mediante código alfanumérico:** los contactos o elementos que están asociados o que pertenecen a un mismo dispositivo físico, comparten idéntico código identificativo:



Figura 7.4. Vinculación de elementos mediante código alfanumérico.

7.1.2. El contactor en los esquemas de automatismos

Dado que las operaciones de marcha y paro, así como otras auxiliares, se realizan sobre los circuitos de maniobra, es necesario contar con un dispositivo o componente que sirva de enlace con los circuitos de fuerza: *el contactor*.

Tal como se ha estudiado en la Unidad 2, el contactor está compuesto básicamente por un electroimán, un grupo de contactos principales y un grupo de contactos auxiliares. Los **contactos principales** están abiertos en estado de reposo (es decir, serán de tipo *normalmente abierto* "NO") e irán conectados en el circuito de fuerza. Los **contactos**

auxiliares, que irán asociados al circuito de maniobra, podrán ser de tipo *normalmente abierto* "NO", o *normalmente cerrado* "NC". La mayoría de los contactores traen por defecto un contacto auxiliar de tipo NC y otro contacto auxiliar de tipo NO.

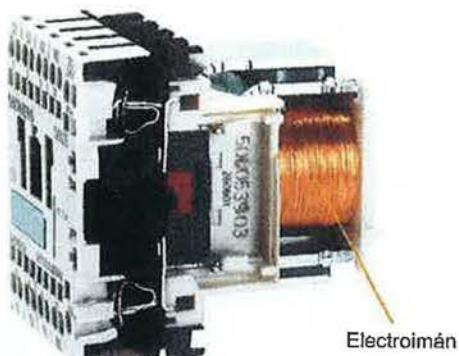


Figura 7.5. Detalle del electroimán de un contactor trifásico.

En estado de reposo, un contactor común podría ser representado de la siguiente forma:

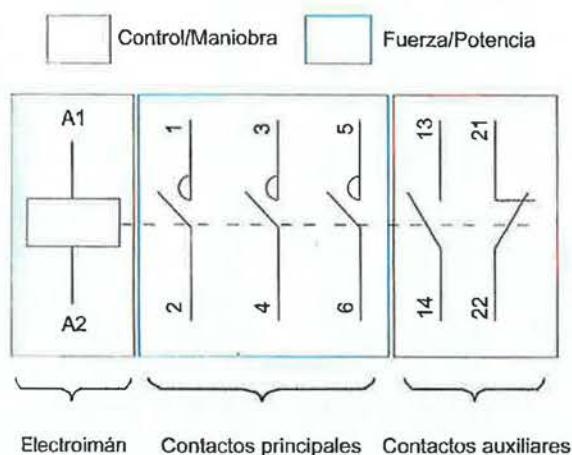


Figura 7.6. Representación gráfica de un contactor en estado de reposo.

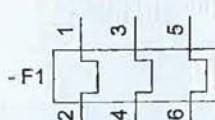
Cuando se alimenta el electroimán del contactor y es recorrido por una corriente eléctrica, se dice entonces que el contactor **está activado** y, como consecuencia, los contactos que en estado de reposo estaban cerrados se abrirán, y los que estaban abiertos se cerrarán.



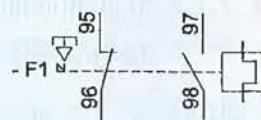
Figura 7.7. Representación gráfica del contactor activado.

Actividad propuesta 7.1

Como recordarás, existen otros dispositivos relacionados con las instalaciones de automatismos industriales que intervienen tanto en el circuito de fuerza como en el circuito de mando. A continuación se muestra el detalle de un circuito automático en el que interviene uno de estos dispositivos, analízalo y responde a las preguntas:



Circuito de fuerza.



Circuito de maniobra.

- ¿De qué componente se trata?
- ¿Qué función cumple este elemento? ¿Cómo o por qué se activa?
- Indica qué ocurre con cada uno de los contactos mostrados, indicando cómo actúan en estado de reposo y cuándo se activa el dispositivo.

Como se ha comentado, la mayoría de los contactores traen por defecto un contacto auxiliar de tipo NC y otro contacto auxiliar de tipo NO. No obstante, en ocasiones resulta necesario disponer de más contactos auxiliares asociados a un mismo contactor, por lo que los fabricantes de estos dispositivos facilitan bloques de contactos auxiliares, los cuales en la mayoría de los casos se ensamblan en la parte frontal del contactor.

Lo más usual es que dichos bloques dispongan de dos contactos NO y otros dos contactos NC.



Figura 7.8. Bloques de contactos auxiliares en contactores.

**SABÍAS QUE**

En función de la fuente de energía que obliga al contactor a mantener la posición de trabajo, se distinguen tres tipos de contactores: electromagnéticos, neumáticos y electroneumáticos.

7.1.3. Alimentación de los circuitos de potencia y maniobra

Puesto que los circuitos de potencia y maniobra suministran energía eléctrica a receptores distintos, su alimentación tampoco tiene por qué estar relacionada.

Los circuitos de **potencia** se alimentan siempre de manera directa desde la red eléctrica principal, es decir:

- Polo positivo y polo negativo para receptores de corriente continua.
- Fase y neutro para receptores de corriente alterna monofásica.
- Tres fases para receptores trifásicos.

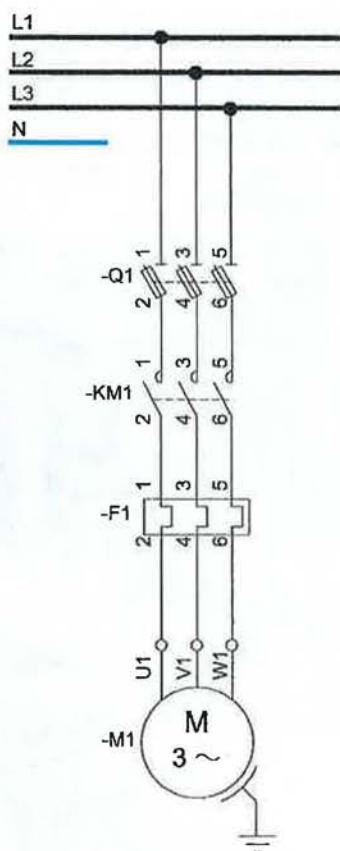


Figura 7.9. Ejemplo de alimentación de un circuito de fuerza con receptor trifásico.

Respecto a los circuitos de **maniobra**, la alimentación puede obtenerse de varias formas, dependiendo del tipo de dispositivos utilizados:

- En corriente alterna monofásica, directamente desde la red eléctrica.
- En corriente alterna monofásica, reduciendo la tensión mediante un transformador.
- En corriente continua.

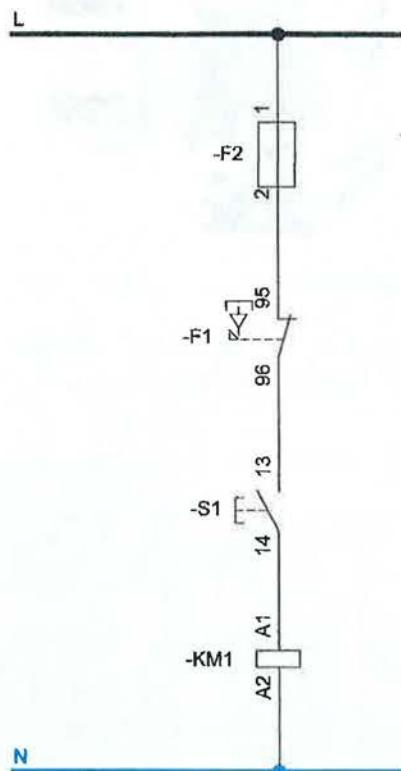


Figura 7.10. Ejemplo de alimentación de un circuito de maniobra directamente desde la red eléctrica.

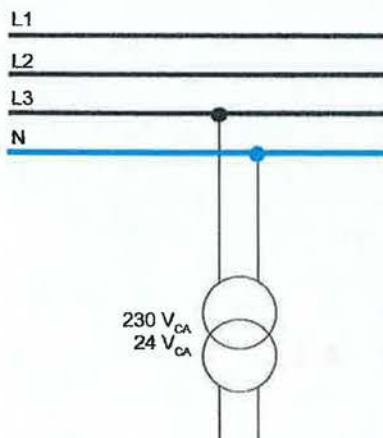


Figura 7.11. Alimentación a través de un transformador.

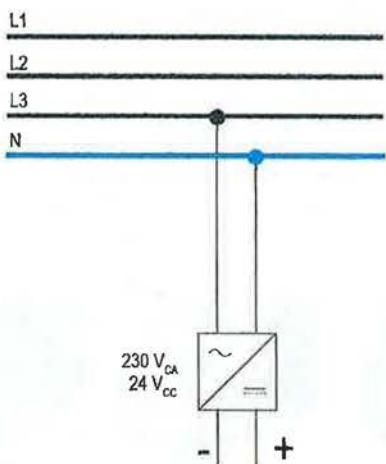


Figura 7.12. Alimentación en corriente continua.

**SABÍAS QUE**

La protección magnetotérmica de los circuitos de maniobra se realiza generalmente por medio de interruptores automáticos de bipolares (2x6A o 2x10A) o fusibles de pequeño calibre.

En lo que respecta al control y gestión de los circuitos de automatismos industriales, se realiza desde el circuito de maniobra mediante dispositivos de control manual (interruptores o pulsadores) o automático (sensores y detectores). A continuación serán analizadas todas las posibilidades.

7.2. Dispositivos de control manual

De entre todos los dispositivos de maniobra manual presentes en el mercado y diseñados para ser integrados en circuitos de maniobra, los de mayor uso en instalaciones de automatismos industriales son los interruptores y los pulsadores.

7.2.1. Interruptores

Se caracterizan porque una vez activados, se mantienen permanentemente en ese estado hasta que se vuelve a maniobrar sobre ellos. Los más utilizados en los circuitos de mando de las instalaciones de automatismos industriales son los siguientes:

- **Interruptor simple de dos posiciones:** permite la comutación del circuito entre los estados de abierto o cerrado. Existen de tipo basculante, rotativo y de palanca.

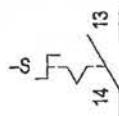


Figura 7.13. Símbolo genérico del interruptor.



Figura 7.14. Interruptor de dos posiciones basculante.



Figura 7.15. Interruptor de dos posiciones de palanca.

- **Interruptor comutador de dos posiciones:** permite la comutación del circuito entre dos estados de marcha distintos.

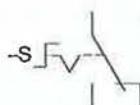


Figura 7.16. Símbolo del comutador de dos posiciones.

- **Interruptor comutador de tres o más posiciones:** permite la comutación del circuito entre dos estados de marcha distintos (como mínimo) y un estado de paro. Los interruptores de tres posiciones pueden ser de tipo basculante y de palanca, pero los más frecuentes en instalaciones de automatismos son los de tipo rotativo. Los de cuatro o más posiciones son casi siempre rotativos.

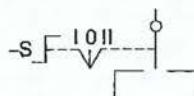


Figura 7.17. Símbolo del comutador de tres posiciones.

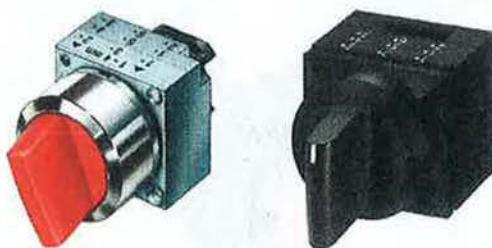


Figura 7.18. Interruptor comutador rotativo de tres posiciones. (Cortesía de Siemens.)

- **Interruptores de llave:** solo pueden ser accionados mediante el giro de una llave

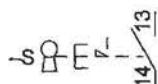


Figura 7.19. Símbolo del interruptor de llave.



Figura 7.20. Interruptor de llave. (Cortesía de Siemens.)

La mayoría de los interruptores generalmente suelen tener un único contacto asociado, pero también resulta posible encontrar en el mercado los denominados **interruptores de doble cámara de contactos**, los cuales poseen dos contactos auxiliares asociados, por regla general uno normalmente cerrado (NC) y otro normalmente abierto (NO).

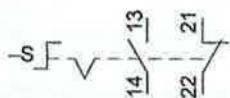


Figura 7.21. Símbolo del interruptor de doble cámara de contactos.

7.2.2. Pulsadores

Se caracterizan porque una vez activados, únicamente se mantienen en este estado mientras dure la presión sobre su superficie. En el momento que se deja de presionar un pulsador, este vuelve a su estado de reposo. Son, sin lugar a duda, los dispositivos de maniobra más utilizados en los circuitos de mando de las instalaciones de automatismos industriales.

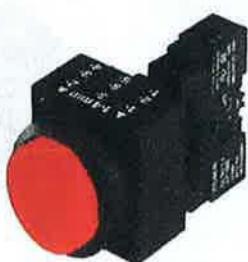


Figura 7.22. Pulsador. (Cortesía de Siemens.)

Generalmente, se codifican bajo un código de colores, siendo:

- De color **verde**, el pulsador de **marcha**. Tendrá asociado un contacto normalmente abierto (NO).
- De color **rojo**, el pulsador de **paro**. Tendrá asociado un contacto normalmente cerrado (NC).

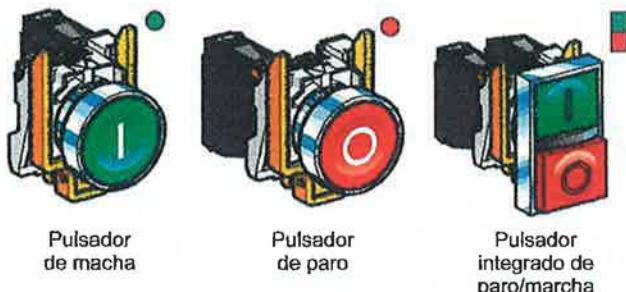


Figura 7.23. Representación de pulsadores. (Cortesía de Siemens.)

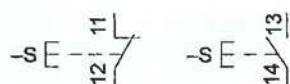


Figura 7.24. Símbología asociada a los pulsadores de paro (con contacto NC) y marcha (con contacto NO).

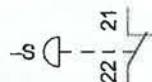
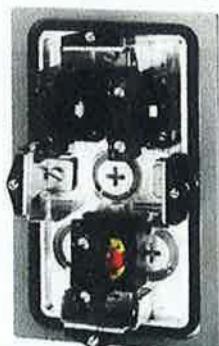


Figura 7.25. Símbolo del pulsador de paro de emergencia.



Vista frontal



Vista interior

Figura 7.26. Detalle de los bornes de conexión de una botonera de paro-marcha. (Cortesía de Siemens.)

También resulta posible encontrar pulsadores especiales, como los pulsadores de pedal (que son activados con el pie del operario) o los pulsadores de palanca.



Figura 7.27. Pulsador de palanca. (Cortesía de Siemens.)

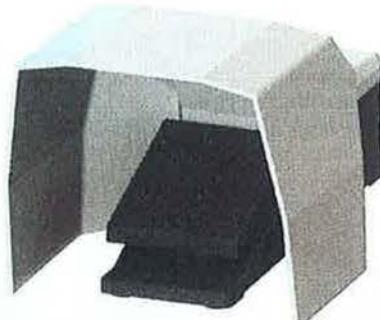


Figura 7.28. Pulsador de pedal. (Cortesía de Siemens.)

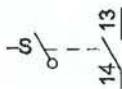


Figura 7.29. Símbolo del pulsador de palanca.

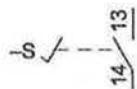


Figura 7.30. Símbolo del pulsador de pedal.

Al igual que en el caso de los interruptores, la mayoría de los pulsadores suelen disponer de un único contacto asociado, pero también resulta posible encontrar en el mercado los denominados **pulsadores de doble cámara de contactos**, los cuales poseen dos contactos auxiliares asociados.

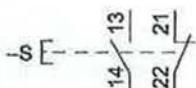


Figura 7.31. Símbolo del pulsador de doble cámara de contactos.

Actividad propuesta 7.2

¿Qué caracteriza a un interruptor o pulsador con doble cámara de disparo?

Propón una situación que se te ocurra dentro de un proceso industrial en el que sea necesario utilizar un interruptor o pulsador con doble cámara de disparo.

7.2.3. Instalaciones con varios puestos de mando

Determinados circuitos de potencia deben ser controlados desde varios lugares de una misma instalación, por ejemplo, es muy común encontrar receptores que disponen de circuitos de mando duplicados, uno en la cabina de control general y otro a pie de máquina.

En estos casos únicamente es posible interactuar con el circuito de maniobra mediante pulsadores, ya que un interruptor solo podría ser activado y desactivado desde un único lugar.

En estos casos es necesario tener muy en cuenta la correcta conexión de los pulsadores para no cometer errores que desencadenen fallos de funcionamiento. Dicha conexión debe ser:

- En **paralelo** los pulsadores de **marcha**, de manera que accionando cualquiera de los dos el circuito entre en funcionamiento.
- En **serie** los pulsadores de **paro**, de manera que el circuito se detenga con accionar cualquiera de los dos pulsadores.

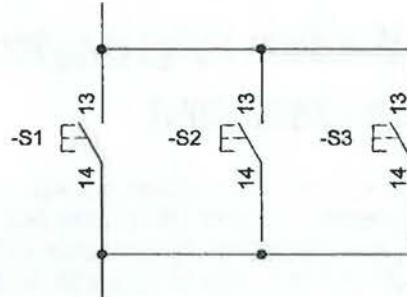


Figura 7.32. Ejemplo de conexionado de tres pulsadores de marcha.

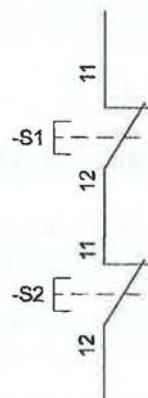


Figura 7.33. Ejemplo de conexionado de dos pulsadores de paro.

Actividad resuelta 7.1

¿Qué ocurriría si se conectasen dos pulsadores de paro en paralelo? ¿Y si se conectasen dos pulsadores de marcha en serie? ¿Para qué aplicaciones podrían resultar útiles estas conexiones?

Solución:

Si se conectan en serie dos pulsadores de marcha, al tener asociados contactos normalmente abiertos, el circuito solo podría entrar en funcionamiento si ambos son accionados a la vez. Por el contrario, si se conectan en paralelo dos pulsadores de paro, al tener asociados contactos normalmente cerrados, el circuito solo podría detenerse si ambos son accionados a la vez, ya que de lo contrario siempre circularía corriente por uno de los dos.

Este tipo de conexiones, no obstante, pueden ser utilizadas para aumentar la seguridad de los circuitos, ya que el hecho de que deban accionarse dos pulsadores de manera simultánea evita en gran medida las maniobras accidentales.

7.3. Maniobras en los circuitos de automatismos

En los circuitos de automatismos que funcionan mediante el uso de interruptores, cada una de las maniobras (marcha I, marcha II, paro, etc.) vienen determinadas por la posición fija del propio interruptor. Sin embargo, en la práctica, la mayoría de las instalaciones industriales cuentan con pulsadores para gobernar los circuitos de mando. En estos casos existen dos posibles modos de funcionamiento dadas las características intrínsecas del pulsador: a través de pulsos o de manera permanente mediante un contacto de realimentación.

7.3.1. Funcionamiento por pulsos

Puesto que un pulsador vuelve a su posición original cuando se deja de ejercer presión sobre su superficie, en condiciones normales de funcionamiento los circuitos de mando gobernados mediante pulsadores únicamente pueden ser activados de manera intermitente, es decir "a saltos o pulsos".

En estas situaciones no es necesario disponer de un pulsador de paro, puesto que el propio pulsador de marcha es el que detiene el circuito cuando deja de ser accionado.

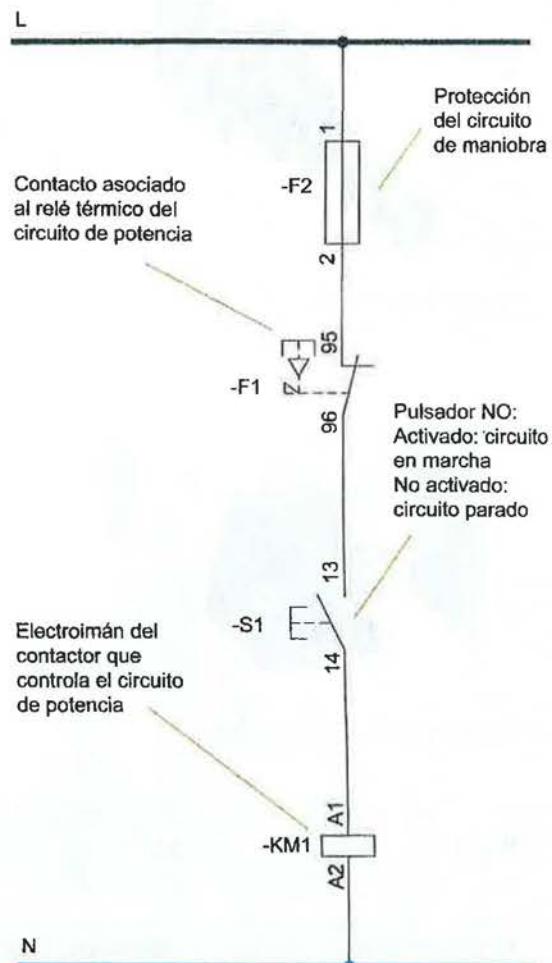


Figura 7.34. Circuito de maniobra gobernado mediante pulsos.

7.3.2. Funcionamiento continuo: la realimentación

Tal como se ha explicado, en condiciones normales el pulsador solo permite el funcionamiento de un circuito de potencia "a saltos", y dado que este dispositivo es el más utilizado en los circuitos de maniobra de las instalaciones de automatismos industriales, resulta imprescindible aplicar un método de conexionado mediante el cual un circuito de maniobra pueda seguir recibiendo corriente eléctrica aunque el operario haya dejado de oprimir el pulsador. Esto se consigue mediante la denominada **realimentación**.

La realimentación consiste en cortocircuitar el pulsador de marcha de un circuito de maniobra, colocando en paralelo a este un contacto auxiliar normalmente abierto perteneciente al contactor que deba permanecer activo durante el tiempo que dure el proceso. De esta manera, mientras la

bobina del electroimán reciba corriente, el contacto auxiliar del contactor permanecerá cerrado, permitiendo el paso de la corriente.

En estas circunstancias de funcionamiento la única forma de detener el circuito será mediante el accionamiento de un pulsador de paro.

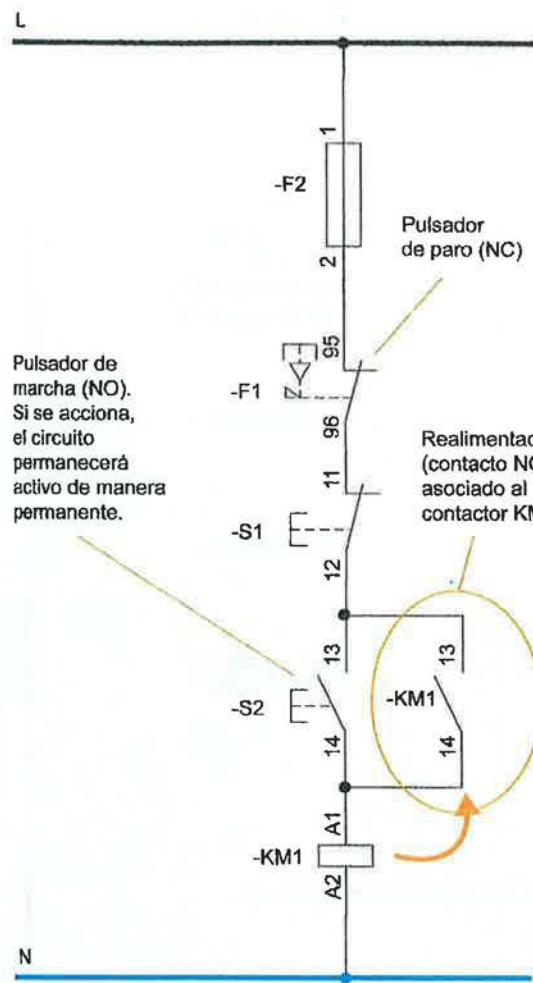


Figura 7.35. Circuito de maniobra con realimentación.

SABÍAS QUE

Este método de trabajo se denomina realimentación porque es el propio contactor (mediante un contacto NO) el que permite el paso de la corriente eléctrica hasta su propio electroimán.

El electroimán mantiene cerrado el contacto auxiliar y el contacto auxiliar alimenta al electroimán, de manera que se retroalimentan y el circuito se mantiene en marcha permanente hasta que se interrumpe la alimentación accionando el pulsador de paro.

7.3.3. Pilotos de señalización de marcha y paro

Cuando un contactor está activado, en la mayoría de los casos implica que uno o varios receptores se encuentran en estado de funcionamiento. Si los circuitos de maniobra son controlados mediante un pulsador y un sistema de realimentación, a los operarios les puede resultar complicado saber si el circuito está en marcha, dado que el contactor vuelve al estado de reposo al dejar de ser pulsado.

En estos casos resulta muy frecuente utilizar pilotos de señalización asociados en paralelo a las bobinas de los contactores principales, para indicar el estado activo del mismo.

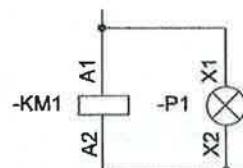


Figura 7.36. Representación del electroimán de un contactor con piloto de marcha asociado.



Figura 7.37. Detalle de los bornes de conexión de un piloto de señalización.



Figura 7.38. Piloto de señalización para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)

Otro dispositivo que suele tener asociado un piloto indicador es el relé térmico. Alimentado a través de un contacto normalmente abierto, se activa cuando el relé entra en marcha por exceso de corriente en el circuito de potencia. El piloto asociado al relé térmico tiene asignado el color rojo, de manera que cualquier operario puede conocer el motivo por el cual se ha detenido el proceso al verlo iluminado.



RECUERDA

Los pilotos de señalización se identifican por la letra P, las lámparas, sin embargo, se identifican por la letra H.

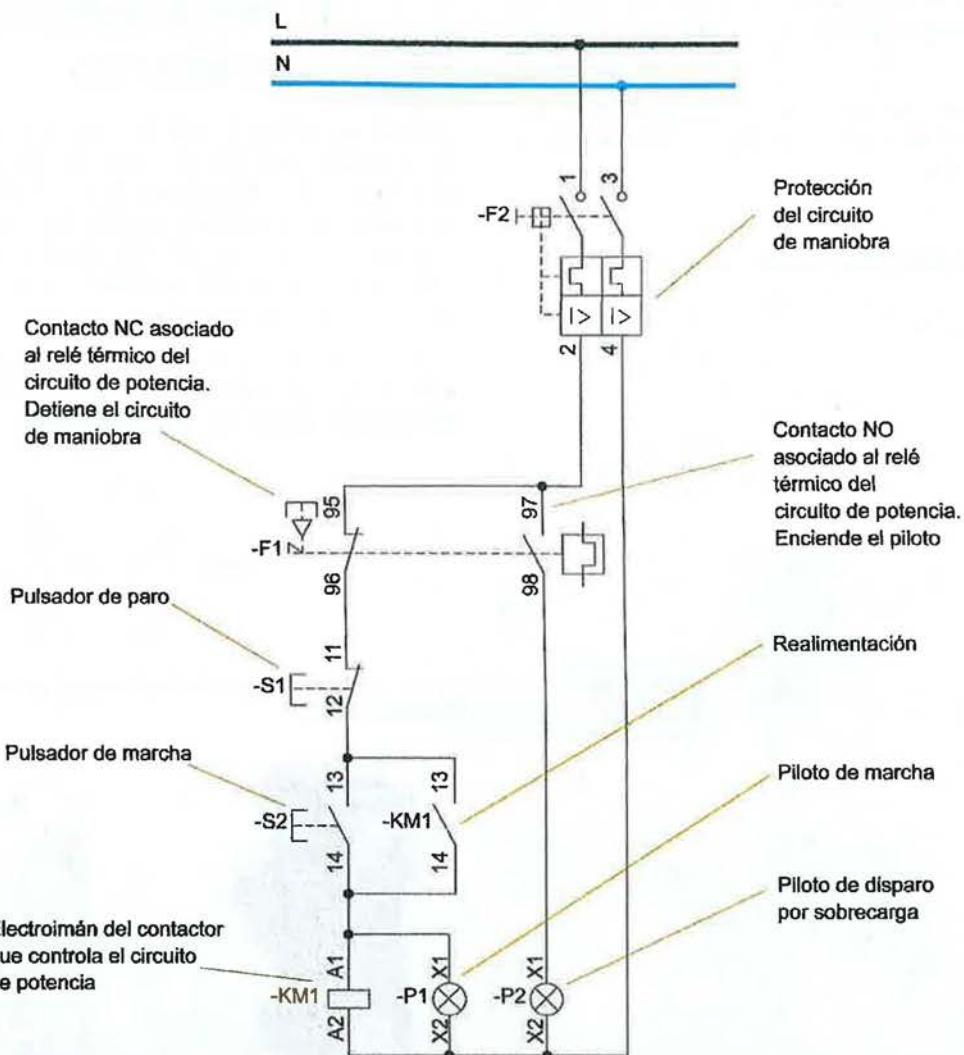


Figura 7.39. Esquema de maniobra completo, con realimentación y pilotos señalizadores de marcha y disparo por sobrecarga.

7.3.4. El enclavamiento

En ocasiones puede resultar necesario bloquear la puesta en marcha de un determinado contactor temporalmente, durante el funcionamiento de un circuito, dado que su activación accidental junto a otro podría desencadenar problemas como cortocircuitos entre las fases o daños directos al receptor conectado.

En estos casos se realiza el denominado **enclavamiento de maniobras**, que impedirá que los contactos de un contactor puedan cerrarse mientras otro dispositivo, generalmente otro contactor, se encuentre activado.

Existen básicamente dos tipos de enclavamiento:

- **Enclavamiento mecánico**, mediante elementos físicos de bloqueo de los propios dispositivos.



Figura 7.40. Elemento de enclavamiento mecánico. (Cortesía de Siemens).

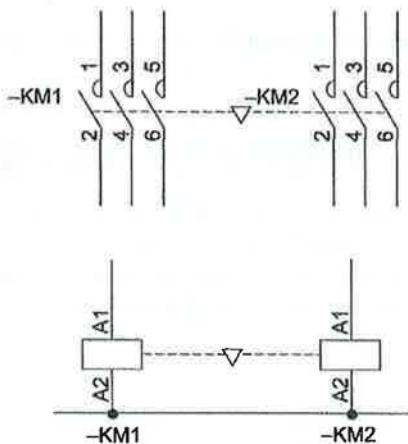


Figura 7.41. Representación gráfica de enclavamiento mecánico entre contactores (potencia y maniobra).

- **Enclavamiento eléctrico**, mediante el diseño y uso sobre el circuito de maniobra de contactos auxiliares normalmente cerrados (NC) de un contactor en serie con el dispositivo a bloquear, de tal forma que cuando se encuentre activado aísle el otro circuito.

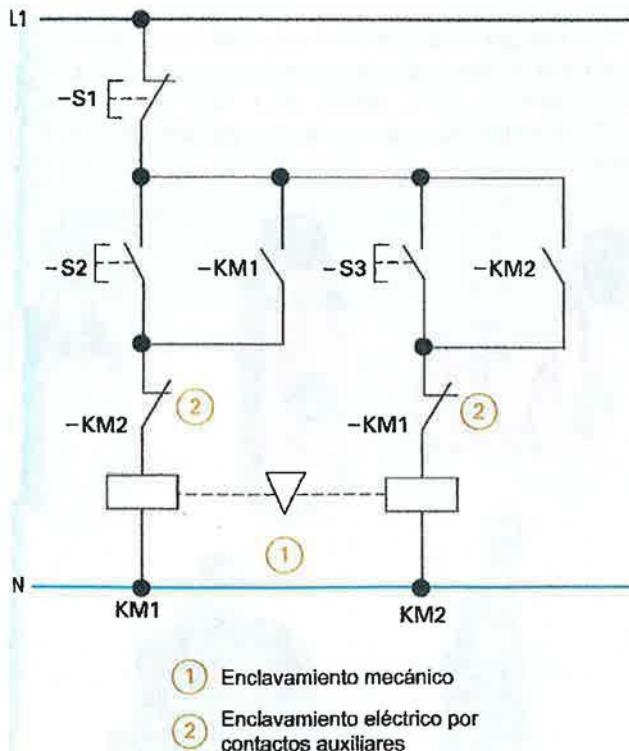


Figura 7.42. Representación de enclavamientos mecánicos y eléctricos entre contactores, en circuitos de maniobra.



Figura 7.43. Contactores asociados con enclavamiento mecánico y eléctrico. (Cortesía de Siemens.)

RECUERDA

Los contactores siempre traen disponibles por defecto, y como mínimo, un contacto normalmente cerrado (NC) y un contacto normalmente abierto (NO). De esta manera el fabricante posibilita tanto la realimentación como la posibilidad de enclavamiento eléctrico.

7.4. Dispositivos de control automático

En el entorno de los automatismos industriales, los circuitos de maniobra también pueden ser gobernados por dispositivos cuyo control es totalmente automático: los detectores y sensores.

Estos componentes se encargan de medir variables externas (como temperatura, presión, movimiento y similares) y a continuación realizan alguna de estas dos funciones:

- En circuitos de lógica digital, envían la información captada en forma de señales eléctricas hacia el sistema. Estas señales generalmente serán recogidas y procesadas por ordenadores o autómatas programables.
- En circuitos de lógica cableada, abrirán o cerrarán los contactos auxiliares que tengan asociados.

En la actualidad, existen numerosos tipos de dispositivos de control y maniobra automáticos, que se clasifican en función del tipo de variable que son capaces de medir o ante la que reaccionan. Hay que tener muy en cuenta, además, que esta es un área de aplicación en constante desarrollo y evolución.

En la siguiente tabla se muestran los componentes de control automático más destacables:

Tabla 7.1. Dispositivos de control automático.

Dispositivos de control de posición	Finales de carrera mecánicos	
	Sensores de proximidad	Inductivos Capacitivos Por ultrasonidos
	Sensores ópticos	
	Sensores de campo magnético	
	Sensores magnetoresistivos	
	Detectores de gran distancia, de corta distancia o de pequeño desplazamiento	Inductivos
		Capacitivos
		Resistivos
		De infrarrojos
	Detectores de ángulo	
	Sensores de variación de nivel por flotador	
	Sensores de inclinación	
	Tacómetro	
	Medidor de impulsos	
	Detectores ópticos	
	Mecánicos	
	Electromecánicos	
	Electrónicos	
	Termorresistencias	
	Termistores	
	Termopares	
	Pirómetros de radiación	
	Resistencias LDR	
	Fotodiodos	
	Detectores de luminiscencia	
	Sensores fotoeléctricos	
	Sensores de color	
	Potenciómetros	
	Ópticos	

De entre todos los dispositivos mostrados en la tabla anterior, aquellos que suelen ser más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales se exponen y definen a continuación:

7.4.1. Detectores y sensores mecánicos

También denominados como **interruptores de posición** o **interruptores final de carrera**, se caracterizan porque reaccionan ante una fuerza o presión externa sobre un cabezal, generalmente producida por un elemento mecánico del proceso industrial.

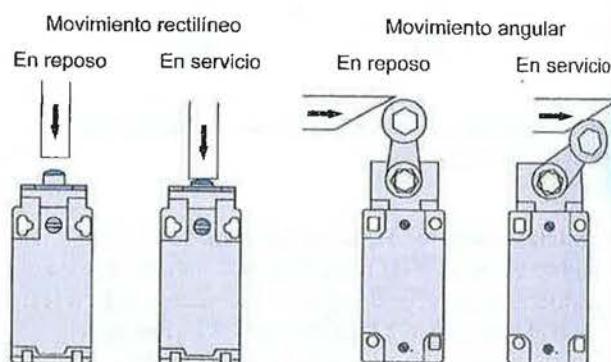


Figura 7.44. Principio de funcionamiento de los interruptores de posición.

Para este tipo de dispositivos es posible encontrar numerosos tipos de cabezales de accionamiento, como palanca, émbolo, cilindro, leva, varilla, etc.). Algunos fabricantes facilitan incluso que dichos cabezales puedan ser intercambiables.



Figura 7.45. Interruptores de posición. (Cortesía de Siemens.)

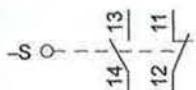


Figura 7.46. Símbolo genérico de un contacto accionado.

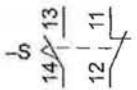


Figura 7.47. Símbolo de un interruptor de posición.

7.4.2. Detectores y sensores de proximidad

Los detectores y sensores de proximidad son posiblemente los más utilizados en las instalaciones de automatismos industriales, junto con los interruptores final de carrera. Se caracterizan porque son capaces de detectar la posición de un objeto o su desplazamiento sin que exista contacto.

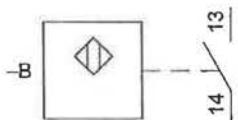


Figura 7.48. Símbolo genérico del detector de proximidad.

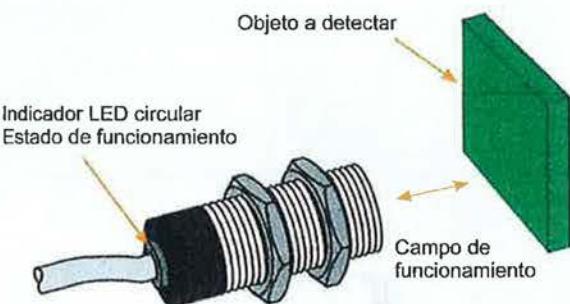


Figura 7.49. Rango de funcionamiento o alcance de los detectores de proximidad.

Los detectores de proximidad pueden clasificarse en varios subgrupos, dependiendo de la técnica utilizada en la detección. Los más comunes se definen a continuación:

- **Detectores inductivos:** son utilizados para la detección de materiales metálicos ferrosos mediante campos magnéticos. Su rango de alcance es muy reducido y preciso, pudiendo ser la distancia máxima hasta el objeto de fracciones de milímetro hasta 40 mm de promedio. Existe una gran variedad de formatos de sensores inductivos como: cilíndricos, chatos, rectangulares, etc., siendo los de tipo cilíndrico los más usuales en las aplicaciones industriales.



Figura 7.50. Detectores inductivos. (Cortesía de Balluff.)

- **Detectores capacitivos:** son muy similares a los inductivos en lo que respecta a la forma y rango de alcance, pero se caracterizan porque permiten la detección de todo tipo de materiales, sean metálicos o no lo sean.



Figura 7.51. Detectores capacitivos. (Cortesía de Balluff.)

Sistema capacitivo para la detección de líquidos

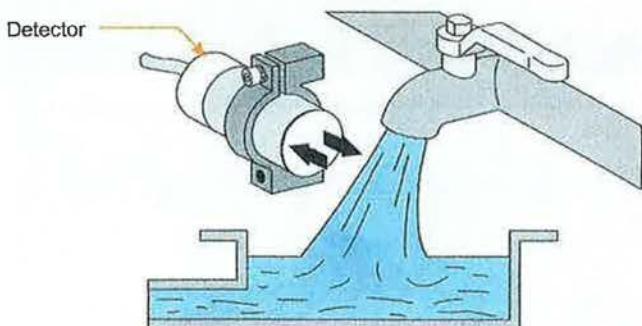


Figura 7.52. Principio de funcionamiento de un detector capacitivo.

- Detectores fotoeléctricos:** utilizan un rayo o un haz de luz, que puede ser visible o de infrarrojos, como medio de detección. La distancia que son capaces de supervisar depende de la propia tecnología del detector, existiendo detectores fotoeléctricos de barrera (que pueden llegar a abarcar distancias de decenas de metros), detectores fotoeléctricos réflex (diseñados para la detección en rangos de varios metros) y detectores fotoeléctricos de alta precisión (diseñados para la detección de milímetros o centímetros).



Figura 7.53. Detectores fotoeléctricos. (Cortesía de Balluff.)

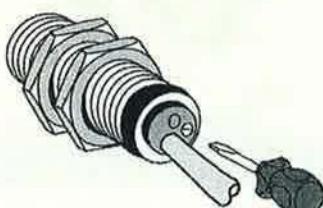
- Detectores por ultrasonidos:** los detectores por ultrasonidos, o detectores ultrasónicos, detectan objetos y materiales con diferentes formas, colores y superficies, emitiendo ondas sonoras que rebotan en la pieza a detectar y regresan al emisor. Su rango de alcance oscila entre decenas de centímetros hasta 8 o 10 metros.



Figura 7.54. Detector por ultrasonidos. (Cortesía de Balluff.)

SABÍAS QUE

La mayoría de los detectores de proximidad pueden ser regulados.



Conexión de los detectores de proximidad

Los detectores y sensores de proximidad pueden tener asociados contactos NO o NC y su conexión se podrá realizar a **dos hilos** (en serie con la carga) o a **tres hilos**.

Para la conexión a tres hilos es necesario tener en cuenta si la salida del sensor es de tipo **PNP** o **NPN**, dado que la carga se conecta de manera inversa en cada uno de ellos. Los NPN tienen salida positiva y los PNP salida negativa, tal como se muestra en la Figura 7.55. Cabe destacar que dentro de un mismo sensor es posible disponer de contactos NO/NC de tipo PNP y otros de tipo NPN.

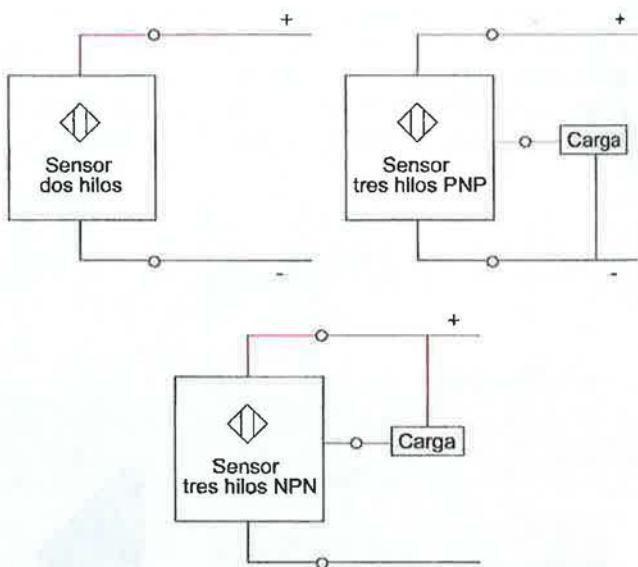
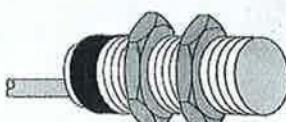
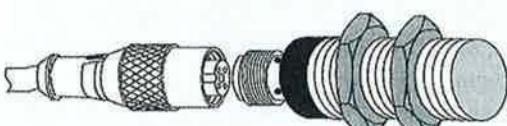


Figura 7.55. Detalle de las posibles conexiones de los sensores de proximidad.



Conexión con cable incorporado



Conexión con conector



Conexión con bornes

Figura 7.56. Ejemplos de ensamblaje de un detector capacitivo.

En lo que respecta al tipo de ensamblaje de los detectores, tal como se aprecia en la Figura 7.56 puede ser básicamente de tres tipos:

- Conexión con cable incorporado.
- Conexión con conector.
- Conexión sobre bornes.

7.4.3. Detectores y sensores de variables físicas externas

En este grupo se enmarcan aquellos dispositivos capaces de medir y actuar en función de variables físicas externas como la temperatura, la luminosidad, la presión, etc.

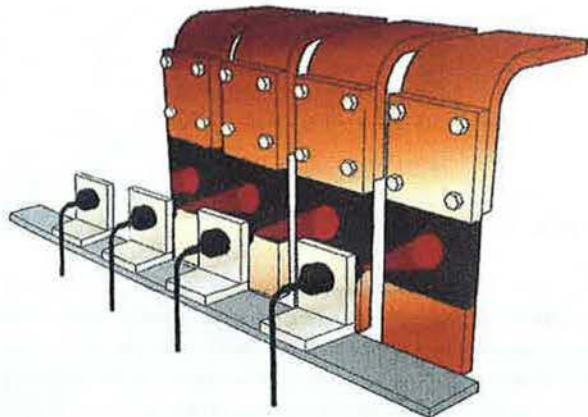


Figura 7.57. Detector de temperatura de embarrados. (Cortesía de Siemens.)



Figura 7.58. Detector de luminiscencia.

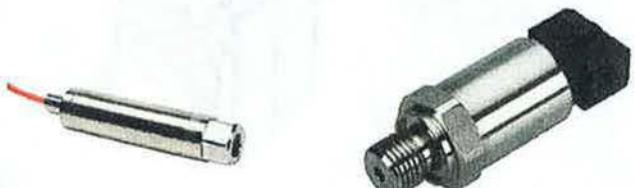


Figura 7.59. Sensores de presión.

Tabla 7.2. Símbología asociada a los detectores de variables físicas externas.

Variable a medir	Símbolo asociado
Temperatura	-B
Presión	-B
Velocidad (tacómetro)	-B
Luminosidad (fotodiodo)	-B
Frecuencia	-B
Nivel de un fluido	-B
Presencia de un caudal	-B
Número de sucesos	-B

7.5. Temporizadores y circuitos temporizados

Los temporizadores, también conocidos como relés temporizados, son dispositivos asociados a los circuitos de mando que permiten regular el tiempo que tardarán en actuar sus contactos asociados una vez han recibido o dejado de recibir corriente eléctrica. Están formados básicamente por un electroimán y varios contactos auxiliares NO y NC.

Ese tiempo de actuación predeterminado se ajusta sobre el propio dispositivo, y según el modelo y fabricante un temporizador será capaz de regular acciones de tiempo desde milisegundos hasta horas.

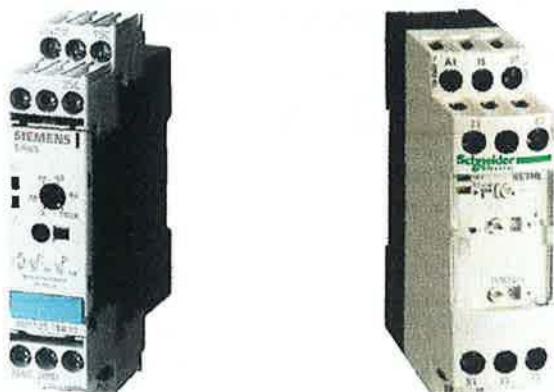


Figura 7.60. Temporizadores para carril DIN. (Cortesía de Siemens y Schneider Electric.)

Según su **funcionamiento**, los diferentes tipos de temporizadores se pueden clasificar en:

- **Temporizadores instantáneos:** actúan de manera inmediata cuando el electroimán recibe corriente eléctrica. Se representan igual que la bobina de un contactor, pero cambia el código identificador asociado.

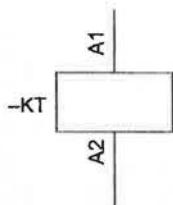


Figura 7.61. Símbolo del temporizador instantáneo.

- **Temporizadores a la conexión:** realizan la apertura o cierre de sus contactos asociados un tiempo **después de que el electroimán haya sido alimentado**. Cuando el temporizador deja de ser alimentado, los contactos vuelven a su estado de reposo de manera inmediata.

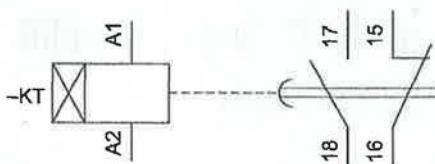


Figura 7.62. Símbolo del temporizador a la conexión y contactos auxiliares asociados.

- **Temporizadores a la desconexión:** realizan la apertura o cierre de sus contactos de manera instantánea cuando el electroimán es alimentado. Sin embargo, **una vez que la bobina deja de recibir tensión, los contactos no volverán a su estado de reposo hasta pasado el tiempo predefinido**.

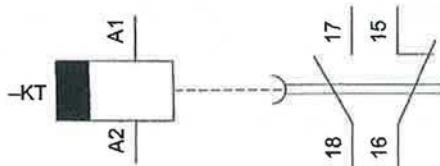


Figura 7.63. Símbolo del temporizador a la desconexión y contactos auxiliares asociados.

- **Temporizadores a la conexión-desconexión:** cumplen las dos condiciones anteriormente expuestas, es decir, demoran la apertura o cierre de los contactos tanto a conexión (en el momento en que el electroimán recibe tensión) como a la desconexión (en el momento en que el electroimán deja de recibir tensión).

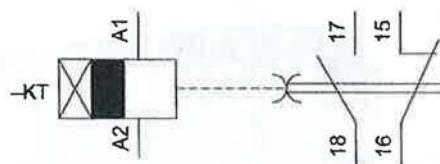


Figura 7.64. Símbolo del temporizador a la conexión-desconexión y contactos auxiliares asociados.

Según su **tipología**, los temporizadores pueden ser de dos tipos: **dispositivos independientes** o **asociados a un contactor**. Estos últimos consisten en un bloque que se acopla a la parte frontal de los contactores, y temporizan la entrada en funcionamiento de sus contactos auxiliares una vez el electroimán del contactor ha comenzado a recibir corriente.

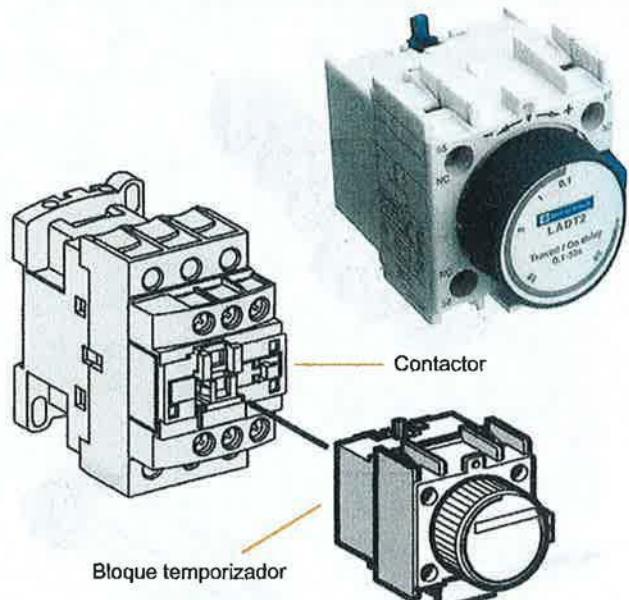


Figura 7.65. Temporizadores de cámara de contactor. (Cortesía de Schneider Electric.)

En estos casos debe tenerse en cuenta que los contactos auxiliares pertenecen al propio contactor, de manera que la forma de designarlos no se ve afectada (se designan como KM en lugar de KT).

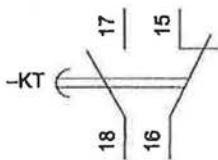


Figura 7.66. Símbolo y designación de un contacto temporizado por cámara de contactor.



SABÍAS QUE

Existen temporizadores que permiten ejercer funciones de maniobra por **pulsos de tiempo**, es decir, de manera intermitente. Se identifican con el siguiente símbolo, que se ubica delante del electroimán:



7.5.1. Diagramas secuenciales

Los diagramas secuenciales representan el comportamiento de un determinado receptor o contacto eléctrico mediante un gráfico en el que quedan representados dos estados: abierto/cerrado, activo/no activo, etc.

Estos esquemas están más asociados a la automatización mediante lógica digital, pero en el caso de los temporizadores son muy útiles para entender su funcionamiento. A continuación se presentan los diagramas secuenciales asociados a los distintos tipos de temporizadores, donde t_d representa el tiempo de demora o retardo asignado al temporizador.

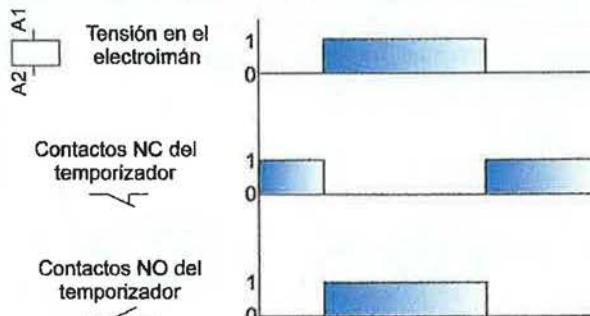


Figura 7.67. Diagrama secuencial de un temporizador instantáneo.

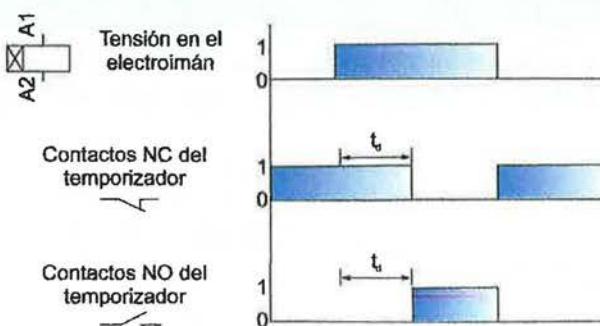


Figura 7.68. Diagrama secuencial de un temporizador a la conexión.

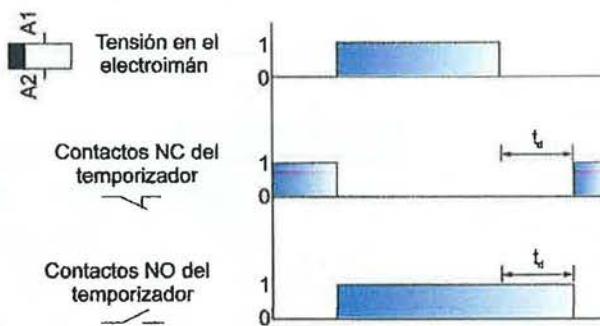


Figura 7.69. Diagrama secuencial de un temporizador a la desconexión.

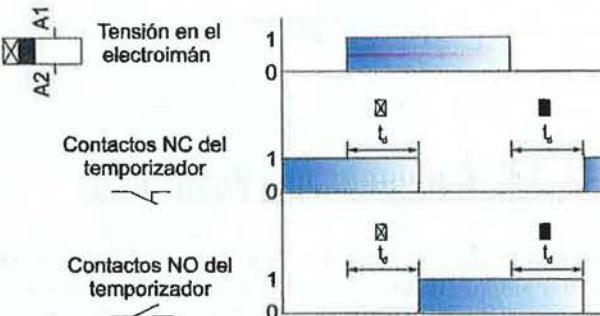


Figura 7.70. Diagrama secuencial de un temporizador a la conexión/desconexión.

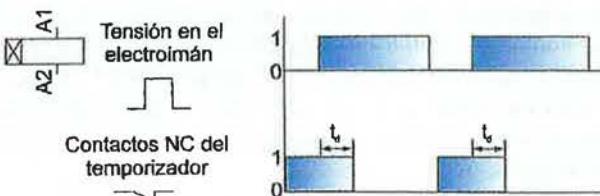
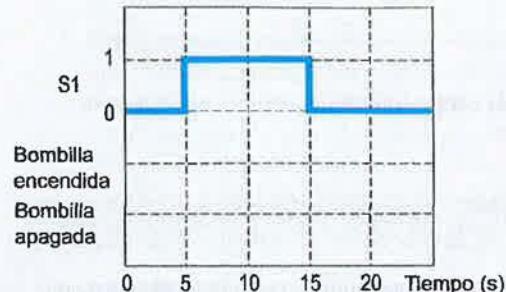
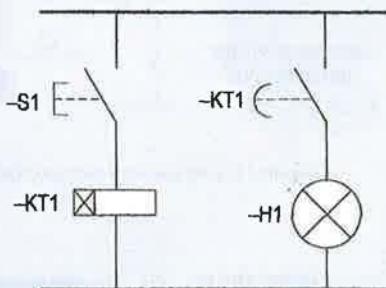


Figura 7.71. Ejemplo de diagrama por pulsos temporizado a la conexión.

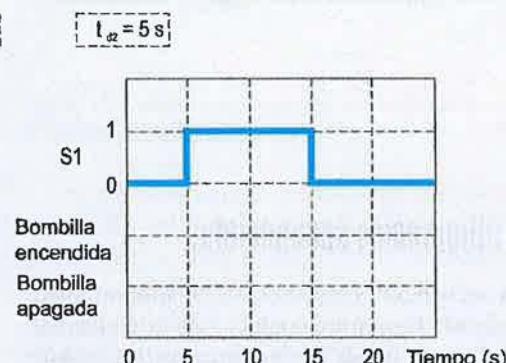
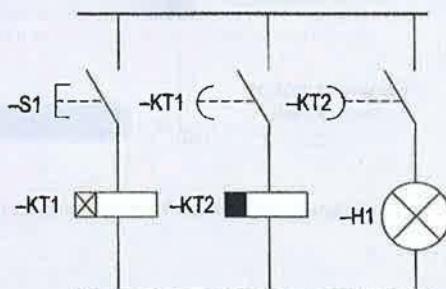
Actividad propuesta 7.3

Completa los diagramas de tiempos secuenciales siguientes, indicando los instantes en los que se encienden y se apagan las lámparas en función del tiempo de ajuste de los relés temporizados.

Maniobra temporizada I.
Tiempo de ajuste del electroimán: $t_d = 5\text{ s}$



Maniobra temporizada II.
Tiempo de ajuste del electroimán: $t_{d1} = 2,5\text{ s}$ $t_{d2} = 5\text{ s}$



7.6. Automatismos domésticos

El objetivo fundamental de este libro trata sobre el estudio de los automatismos asociados a las instalaciones industriales y terciarias; sin embargo, debe ser tenido en cuenta que también resulta posible encontrar circuitos basados en automatismos industriales en entornos domésticos y edificios no industriales.

En los edificios de viviendas y oficinas, por ejemplo, las aplicaciones que requieren del uso de automatismos son tan comunes como los ascensores, montacargas, grupos de presión, sistemas de bombeo, instalaciones de protección contra incendios, sistemas de control de alumbrado, puertas eléctricas, sistemas de extracción forzada (en garajes) y un largo etcétera.

A continuación se detallan los automatismos domésticos de mayor importancia, y que en ocasiones también son utilizados en los entornos industriales. En estas circunstan-

cias de uso, no obstante, también pueden ser considerados como dispositivos de control automático o temporizado.

7.6.1. El interruptor horario

El interruptor horario es un dispositivo denominado *de minutería* que permite conectar y desconectar cargas eléctricas en diferentes franjas horarias. Pueden ser de tipo electromecánico o digital:

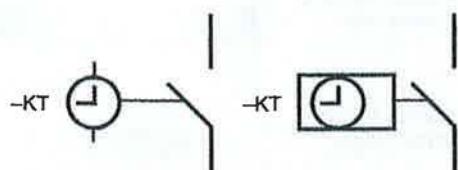


Figura 7.72. Símbolos asociados al interruptor horario.

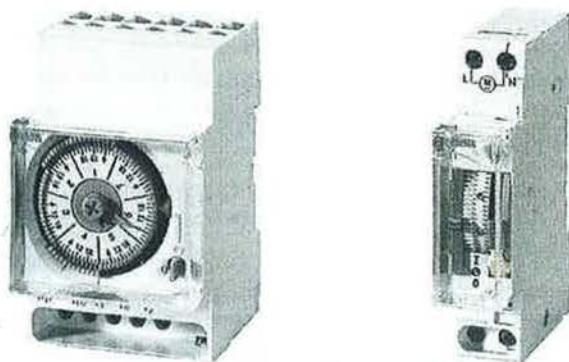


Figura 7.73. Interruptores horarios electromecánicos para carril DIN. (Cortesía de Siemens.)

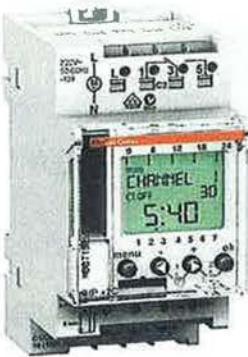
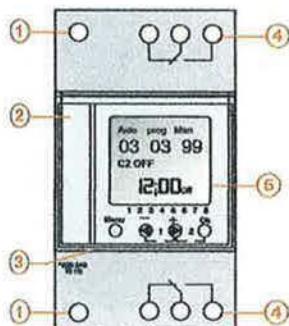


Figura 7.74. Interruptor horario digital para carril DIN. (Cortesía de Schneider Electric.)

Existen interruptores horarios para carril DIN, de pared y de tipo enchufe. Su programación puede realizarse, dependiendo del modelo, en horas, días, semanas e incluso años.

El modo de selección del programa horario por parte del usuario depende del modelo:

- **Interruptores horarios digitales:** se programan a través del teclado del dispositivo, siguiendo las instrucciones del fabricante.



1. Alimentación 230 V - 50 Hz.
2. Alojamiento con instrucciones.
3. Tapa giratoria empotrable.
4. Contacto de salida.
5. Pantalla retroiluminada.

Figura 7.75. Representación de un interruptor horario digital. (Cortesía de Schneider Electric.)

- **Interruptores horarios electromecánicos:** se programan presionando o moviendo manualmente una serie de pequeñas levas.

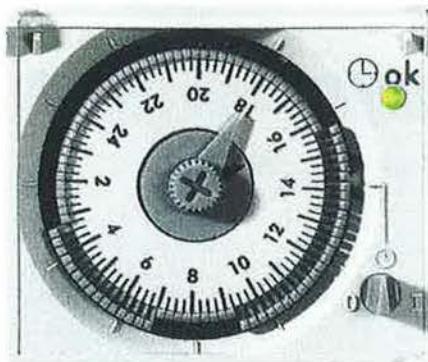


Figura 7.76. Detalle de programación de un interruptor horario electromecánico. Las levas presionadas indican que entrará en funcionamiento de 07:00 a 09:00 y de 16:00 a 03:00.

La precisión de los interruptores horarios varía en función del fabricante y el modelo, pero generalmente los digitales pueden programarse en segundos y los electromecánicos en espacios de tiempo de 15 o 30 minutos.

SABÍAS QUE

El interruptor horario también es conocido como *reloj eléctrico*. Es muy útil, por ejemplo, para conectar cargas en horarios de tarifa reducida.

7.6.2. El automático de escalera

El automático de escalera es un mecanismo eléctrico que se utiliza para controlar de manera temporizada el alumbrado de un edificio de varias plantas o de gran superficie.

Este dispositivo se conecta a uno o varios pulsadores, que al ser presionados envían una señal a la bobina (electroimán) interna del dispositivo y enciende las lámparas correspondientes. Pasado un tiempo predefinido por el usuario, la iluminación se desconecta de manera automática.

El tiempo de desconexión se selecciona sobre la ruleta selectora del propio dispositivo y varía según el fabricante, pero suele oscilar entre 0,5 segundos y 15 minutos.

SABÍAS QUE

El funcionamiento de un automático de escalera es muy similar al de un temporizador a la desconexión.



Figura 7.77. Automático de escalera. (Cortesía de Siemens.)

La conexión de un automático de escalera puede realizarse a tres o cuatro hilos, y dispone de tres modos de funcionamiento:

- **Conexión automática.** Las cargas permanecen encendidas de manera temporizada.
- **Conexión permanente.** Las cargas permanecen encendidas indefinidamente.
- **Desconexión permanente.** Las cargas permanecen apagadas indefinidamente.

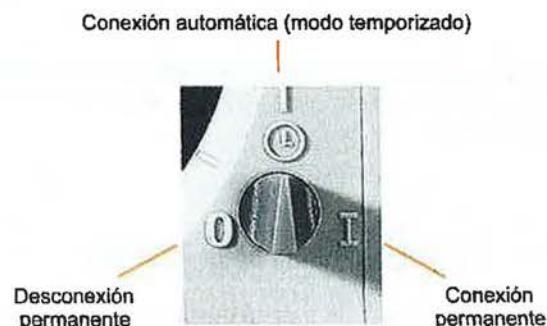


Figura 7.78. Ruleta selectora del modo de funcionamiento.

7.6.3. El relé y el telerruptor

Los relés y telerruptores son mecanismos eléctricos que basan su funcionamiento en una bobina interna o electroimán, que al igual que en el caso de los contactores, es controlada a distancia a través de un impulso eléctrico.

Este electroimán actúa sobre uno o varios contactos que abrirán o cerrarán el circuito eléctrico al que estén conectados.

El relé

Estos dispositivos cumplen la misma función que los contactores, pero están diseñados para el control de circuitos

eléctricos de baja potencia o baja tensión. Son muy utilizados en circuitos de control de calefacción, aire acondicionado, iluminación, etc. También es frecuente su uso asociado a autómatas programables, tal como será estudiado en unidades posteriores.

Actualmente se fabrican múltiples tipos de relés con diferentes funciones como relés temporizados, relés de control, relés interfase, etc.



Figura 7.79. Relés de control industrial.

El telerruptor

El telerruptor es un mecanismo eléctrico, similar a un relé, pero utilizado generalmente para controlar puntos de luz.

Se emplea para realizar commutaciones en circuitos de iluminación desde varios lugares a través de pulsadores, que envían impulsos de tensión a la bobina del telerruptor al ser accionados. Es muy común utilizar telerruptores para el control de lámparas de descarga, puesto que resisten mejor los picos de corriente en el arranque que un interruptor convencional.

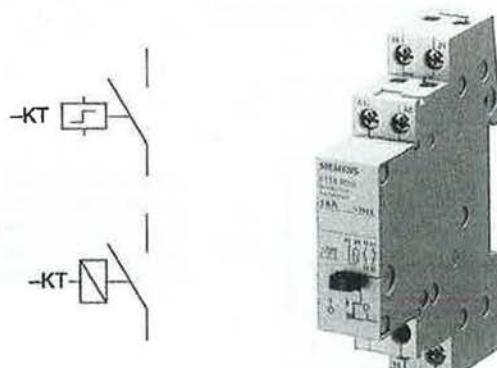


Figura 7.80. Símbolos asociados al telerruptor.



Figura 7.81. Telerruptor diseñado para utilizar en circuitos de hasta 16 A. (Cortesía de Siemens.)

7.7. Representación y marcado de componentes

Tal como ha quedado reflejado a lo largo de las unidades previas, todo componente de una instalación eléctrica, ya sea un mecanismo, un elemento de maniobra, medida o protección, un receptor, un conductor o incluso un simple dispositivo de conexión, debe poder ser representado gráficamente en un plano o esquema eléctrico de manera que cualquier profesional que lo utilice, independientemente de su país de origen, sea capaz de interpretarlo de manera adecuada.

Es por este motivo que los símbolos gráficos y las referencias identificativas se encuentran estandarizadas de conformidad con normas internacionales, europeas o nacionales. El uso de estos estándares elimina todo riesgo de confusión, simplifica la representación y el estudio de las instalaciones electrotécnicas y facilita las operaciones de montaje, cableado y mantenimiento.

7.7.1. Simbología electromecánica normalizada

La serie de normas internacionales CEI 60617 definen los símbolos gráficos para esquemas eléctricos. Esta publicación ha sido traspuesta y adoptada a nivel europeo bajo la norma EN 60617 y posteriormente ha sido publicada en España como la norma UNE-EN 60617.

Los símbolos gráficos más utilizados para la realización de los esquemas y planos asociados a las instalaciones de automatismos industriales, en conformidad con las publicaciones más recientes UNE-EN, se han ido ofreciendo a lo largo de cada unidad junto a cada tipo de componente. No obstante, en el **Anexo I** de este libro, se presenta un listado completo con el objetivo de facilitar al lector la consulta de la simbología eléctrica normalizada.

7.7.2. Marcado de componentes

Existen varias normas que definen y fomentan determinadas reglas de aplicación específicas que deben ser utilizadas para marcar e identificar los bornes, terminales, conductores, aparatos y equipos eléctricos en un plano o esquema. Destacan para esta función las normas internacionales IEC 61346, IEC 1082 e IEC 60445 y sus diversas transposiciones a nivel nacional o europeo.

El referenciado de los planos y esquemas conforme a estas normas tiene un uso más generalizado en el entorno de los automatismos industriales y esquemas de maniobra, pero

también debería utilizarse en los esquemas eléctricos convencionales. Este marcado se realiza dentro de un **sistema alfanumérico** que pretende facilitar la comprensión del funcionamiento de los equipos, ejecutar su cableado y facilitar las tareas de mantenimiento y resolución de averías.

RECUERDA

Un esquema eléctrico es una representación gráfica de una instalación eléctrica o parte de ella en la que quedan definidos cada uno de los componentes de la instalación. La información que aportan estos esquemas depende del tipo de esquema representado; mientras unos dan información del trazado de tubos, otros muestran el conexionado de los aparatos que intervienen en el circuito simbolizado.

Para representar correctamente un determinado equipo o material, se utilizan una o dos letras que definen:

- La primera letra: el tipo de elemento o mecanismo.
- La segunda letra, solo cuando proceda, la función que cumple dentro del esquema.

Las letras, además, van acompañadas de un número que permite diferenciar los dispositivos cuya función es similar. A continuación se muestra un ejemplo:

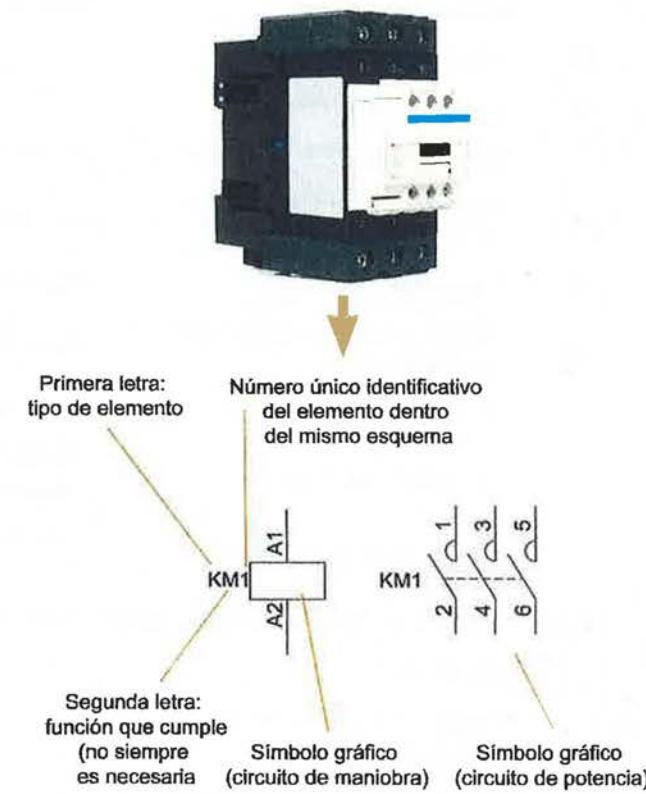


Figura 7.82. Significado del marcado de un contactor.

Significado específico del marcado dependiendo del tipo de equipo o material (primera letra):

Tabla 7.3. Marcado por tipo de equipo o material.

Referencia	Ejemplos de materiales
A Conjuntos, subconjuntos funcionales	Amplificador magnético, regulador de velocidad, autómata programable
B Transductores de una magnitud eléctrica en una magnitud eléctrica	Par termoeléctrico, detector termoeléctrico, detector fotoeléctrico, dinamómetro eléctrico, presostato, termostato, detector de proximidad
C Condensadores	
D Operadores binarios, dispositivos de temporización, de puesta en memoria	Operador combinatorio, línea de retardo, báscula biestable, báscula monoestable, grabador, memoria magnética
E Materiales varios	Alumbrado, calefacción, elementos no incluidos en esta tabla
F Dispositivos de protección	Cortocircuito fusible, limitador de sobre tensión, pararrayos, relé de protección de máxima de corriente, de umbral del tensión
G Dispositivos de alimentación	Generador, alternador, convertidor rotativo de frecuencia, batería oscilador, oscilador de cuarzo
H Dispositivos de señalización	Piloto luminoso, avisador acústico
K Relés de automatismo y contactores	KA y KM en los equipos importantes
KA Relés y contactores auxiliares	Contactor auxiliar temporizado, todo tipo de relés de automatismo
KM Contactores de potencia	
L Inductancias	Bobina de inducción, bobina de bloqueo
M Motores	
N Subconjuntos (no de serie)	
P Instrumentos de medida y de prueba	Aparato indicador, aparato grabador, contador, conmutador horario
Q Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de potencia	Disyuntor, seccionador
R Resistencias	Resistencia regulable, potenciómetro, reóstato, shunt, termistancia
S Aparatos mecánicos de conexión para circuitos de control	Auxiliar manual de control, pulsador, interruptor de posición, conmutador
T Transformadores	Transformador de tensión, transformador de corriente
U Moduladores, convertidores	Discriminador, demodulador, convertidor de frecuencia, codificador, convertidor-rectificador, ondulador autónomo
V Tubos electrónicos, semiconductores	Tubo de vacío, tubo de gas, tubo de descarga, lámpara de descarga, diodo, transistor, tiristor, rectificador
W Vías de transmisión, guías de ondas, antenas	Tirante (conductor de reenvío), cable, juego de barras
X Bornas, clavijas, zócalos	Clavija y toma de conexión, clips, clavija de prueba, tabilla de bornas, salida de soldadura
Y Aparatos mecánicos accionados eléctricamente	Freno, embrague, electroválvula neumática, electroimán
Z Cargas correctivas, transformadores diferenciales, filtros correctores, limitadores	Equilibrador, corrector, filtro

Significado específico del marcado dependiendo de la función (segunda letra):

Tabla 7.4. Marcado indicativo de función.

Letra	Tipo de función	Letra	Tipo de función	Letra	Tipo de función
A	Función auxiliar	J	Integración	S	Memorizar, registrar, grabar
B	Dirección de movimiento	K	Servicio pulsante	T	Medida de tiempo, retardar
C	Contar	L	Designación de conductores	V	Velocidad (acelerar, frenar)
D	Diferenciar	M	Función principal	W	Sumar
E	Función "conectar"	N	Medida	X	Multiplicar
F	Protección	P	Proporcional	Y	Analógica
G	Prueba	Q	Estado (marcha, parada, imitación)	Z	Digital
H	Señalización	R	Reposición, borrar		

Marcado específico para lámparas dependiendo de su color y el tipo de tecnología utilizada en la iluminación:

Tabla 7.5. Marcado de lámparas y pilotos luminosos.

Por color	
Rojo	RD o C2
Naranja	OG o C3
Amarillo	YE o C4
Verde	GN o C5
Azul	BU o C6
Blanco	WH o C9
Por tipo	
Neón	Ne
Vapor de sodio	Na
Mercurio	Hg
Yodo	I
Electroluminescente	EL
Fluorescente	FL
Infrarrojo	IR
Ultravioleta	UV

Significado de los colores de pulsadores y pilotos de señalización:

Tabla 7.6. Colores para botones pulsadores.

Color	Servicio	Utilización
Rojo	Parada	Parada general del ciclo o maniobra. Parada de emergencia. Desconexión por exceso de temperatura. Desenclavamiento de relés protectores.
Verde o Negro	Marcha	Arranque de un ciclo o maniobra.
Amarillo	Vuelta atrás	Retroceso de la maniobra. Anulación de la maniobra anteriormente seleccionada.
Blanco o Azul claro	Para funciones que no se comprenden en los otros colores	

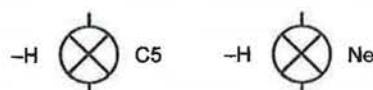


Figura 7.83. Ejemplo de marcado de lámparas por color y tipo.

Tabla 7.7. Color de pulsadores luminosos.

Color	Servicio
Rojo	No utilizar.
Amarillo	Atención o precaución.
Verde	Permiso de arranque por centelleo del pulsador.
Blanco	Confirmación de que el circuito se encuentra en tensión y de que ha sido seleccionada o preseleccionada una función o movimiento.
Azul	Indica otras funciones que no se comprenden en los otros colores.

Tabla 7.8. Color de lámparas de señalización.

Color	Servicio	Utilización
Rojo	En reposo	Señala que la máquina se ha parado por anomalía eléctrica, o bien evita que al automatismo se le dé la orden de paro.
Amarillo (ámbar)	Atención o precaución	Señal para ciclo automático. Próximo al valor límite admisible.
Verde	Máquina preparada para entrar en servicio	Todos los componentes dispuestos para iniciar el arranque o maniobra.
Blanco	Circuitos eléctricos bajo tensión normal de servicio	Máquina dispuesta para entrar en servicio.
Azul	Para funciones que no se comprenden en los otros colores	

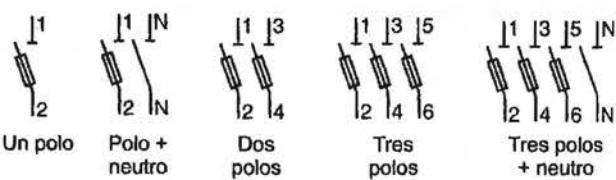


Figura 7.84. Ejemplos de marcado de contactos principales para un conjunto seccionador-fusible.

- Los **contactos auxiliares** se designan con dos cifras, dependiendo de su estado en reposo y de la función que cumplen, siendo los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 7.9. Marcado de bornes en contactos auxiliares.

Tipo de contacto	Estado en reposo	Designación	
		Primera cifra	Segunda cifra
Instantáneo	NC	Número correlativo (de 1 a 8) que indica el orden del contacto en el dispositivo al que estén asociados	1-2
	NO		3-4
Temporizado	NC	Número correlativo (de 1 a 8) que indica el orden del contacto en el dispositivo al que estén asociados	5-6
	NO		7-8
Perteneciente a un relé térmico	NC	9	5-6
	NO		7-8

- Los **bornes propios de los componentes estáticos del circuito de maniobra** se designan de manera independiente atendiendo a su función. Los más utilizados son A1-A2 para electroimanes o bobinas.

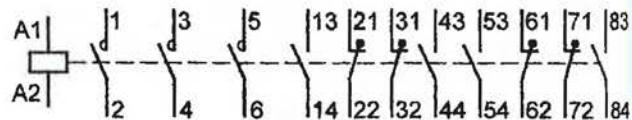


Figura 7.85. Ejemplo de marcado de bornes pertenecientes a un mismo contactor.

- Los **bornes propios de los motores** se marcan según la letra asociada al mismo en función de su configuración interna, tal como fueron indicados en la Unidad 6.
- Los **bornes correspondientes a los regleteros y borneros de entrada y salida del cuadro**, cuando proceda, se marcarán con la letra X acompañada de un número identificativo. Pueden agruparse en un mismo código de regletero los bornes que cumplan una misma función (alumbrado, fuerza), los bornes correspondientes a las entradas o salidas, etcétera.

7.7.3. Referenciado de bornes y terminales

El referenciado alfanumérico de los **bornes de conexión y terminales** de los diferentes dispositivos eléctricos se realiza en base a la función que cumple el elemento (principal o auxiliar) o de su posición en estado de reposo:

- Los **contactos principales** se designan con una sola cifra, de 1 hasta 10 de manera alternativa en función del número de polos. Cuando sea preciso, el número correspondiente podrá ser sustituido por la letra N (conductor neutro).

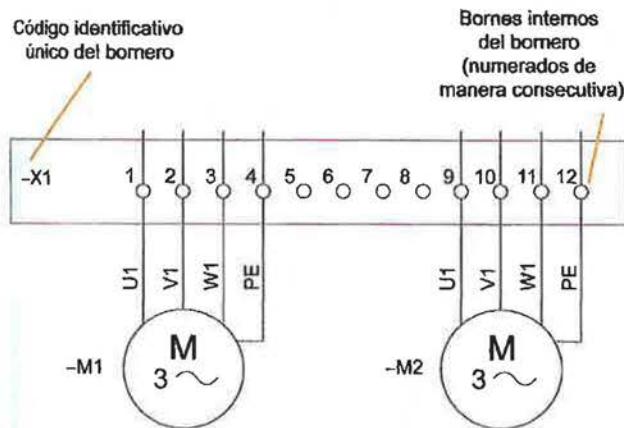


Figura 7.86. Ejemplo de designación de un regletero.

Respecto al método de representación, cabe destacar que la escritura y referenciado debe poder ser leída desde los bordes inferior y/o derecho del esquema correspondiente, con dos orientaciones separadas por un ángulo de 90°, tal como se muestra en los siguientes ejemplos:

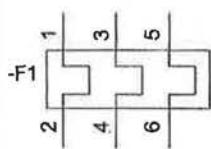


Figura 7.87. Representación vertical de un relé térmico.

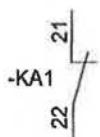


Figura 7.88. Representación vertical de un contacto auxiliar.

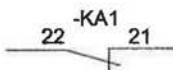


Figura 7.89. Representación horizontal de un contacto auxiliar.

7.7.4. Referenciado de conductores y mangüeras

En ocasiones resulta necesario que todos los conductores de un esquema de automatismos queden debidamente identificados mediante un **código numérico**.

Esta práctica suele estar asociada a los proyectos más complejos cuyos circuitos se representan en varias páginas con planos muy extensos.

En la actualidad existen dos métodos distintos para llevar a cabo esta tarea:

- **Referenciado de conductores por potencial:** todos los conductores que se localizan en un mismo punto de conexión (mismo potencial) se identifican con el mismo número.

- **Referenciado único de conductores:** cada uno de los conductores se identifica con un número único. Dicha numeración se realiza de manera consecutiva empezando desde la parte superior izquierda del esquema.

Este es un método de marcado más complejo que el anterior, puesto que en los conductores que se encuentran al mismo potencial unidos mediante un nodo se escriben todos los números de los conductores que se unen, separados por comas.

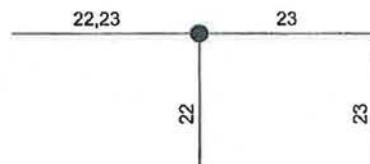


Figura 7.90. Ejemplo de referenciado único de conductores.

En los esquemas de instalaciones de automatismos industriales de varias páginas es recomendable, además de realizar el referenciado de los conductores, indicar en qué número de plano o página se encuentran. Este segundo número se ubica delante de la referencia identificativa del propio conductor, separando ambos números por un punto.

RECUERDA

Los cables de alimentación de la red eléctrica siempre se identifican como L1, L2, L3, N y PE respectivamente.

En lo que respecta a las **mangüeras eléctricas**, aunque no es una práctica muy habitual, pueden también ser identificadas en los esquemas de automatismos mediante una línea oblicua representada sobre los conductores que se encuentran en ella. Dicha línea se marcará con la letra W.

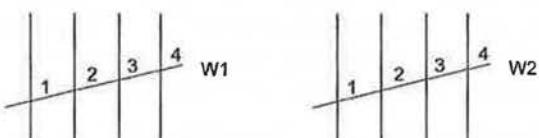


Figura 7.91. Ejemplo de referenciado de mangüeras.

7.7.4. Representación avanzada de esquemas de automatismos

En los grandes proyectos electrotécnicos de automatismos industriales en los que se hace necesario representar las instalaciones en varios esquemas incluidos en diferentes planos, resulta imprescindible añadir una serie de codificaciones numéricas asociadas a determinados dispositivos con el objetivo de que a la persona que debe interpretar el plano le resulte fácil su comprensión y pueda localizar todos los elementos de manera rápida y eficaz.

En estos casos, es frecuente que los esquemas de fuerza y maniobra asociados hayan sido representados en distintos planos, o que un mismo contactor o temporizador tenga sus contactos auxiliares distribuidos por varios planos.

Bajo estas circunstancias, existen varios métodos de marcado avanzado de componentes, que se resumen a continuación:

Identificador auxiliar del número de plano o página

Consiste en añadir un segundo número delante del elemento representado, que hace referencia al número de plano o página donde se encuentra su dispositivo asociado. La omisión de este número identificador es frecuente representarla mediante un guion (-), para evitar confusiones. A continuación, en las Figuras 7.92, 7.93 y 7.94 se muestran varios ejemplos:



Figura 7.92. El contactor asociado al electroimán se representa en la página o plano número 7.

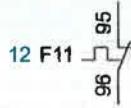


Figura 7.93. El relé térmico asociado al contacto NC se encuentra en la página o plano número 12.

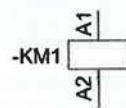


Figura 7.94. Omisión de identificador auxiliar, por no resultar necesario.

Referencias cruzadas

Consiste en distribuir cada uno de los planos en varias columnas y filas, facilitando la localización de los componentes incluidos en ellas. Además, pueden aprovecharse las columnas para indicar la función que cumple cada rama del esquema.

En estas circunstancias es posible indicar con precisión la posición de distintos elementos del esquema, utilizando dos métodos:

- **Referencias cruzadas directas:** están asociadas a un electroimán (generalmente del contactor o de un temporizador), siendo ubicadas debajo de este. Indican la posición de los contactos auxiliares (NO y NC) asociados a este por número de página o plano y columna/fila, siguiendo el esquema **plano.columna.filas** o **plano.filas.columna**

Pueden expresarse en forma de tabla o de manera gráfica. En algunos casos también pueden indicar la posición de los contactos de potencia del contactor.

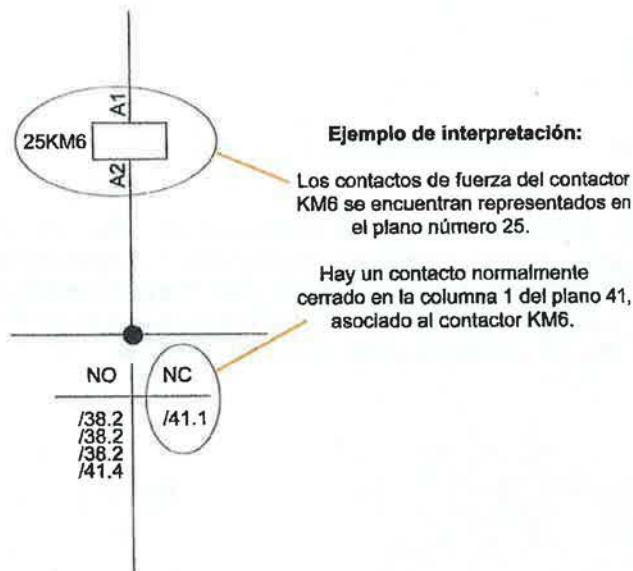


Figura 7.95. Ejemplo de referencias cruzadas directas en formato tabla, por plano y columna.

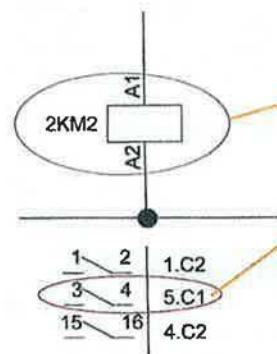


Figura 7.96. Ejemplo de referencias cruzadas directas en formato gráfico, por plano, columna y fila.

- **Referencias cruzadas inversas:** las referencias cruzadas inversas permiten la localización del componente (generalmente un electroimán) que hace accionarse a un determinado contacto, y en consecuencia, a su tabla de referencias cruzadas directas.

Su interpretación y representación es similar a las referencias cruzadas directas, pero en este caso el código se ubica junto al propio contacto.

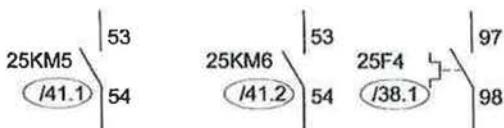


Figura 7.97. Ejemplo de referencias cruzadas inversas.

Las referencias cruzadas directas o inversas, así como la división del plano del esquema por columnas y filas, son métodos necesarios para la interpretación y localización de los elementos presentes en los esquemas más complejos, sirviendo de gran ayuda para el instalador o mantenedor de las instalaciones.

A continuación se muestra el esquema correspondiente a una parte del proyecto de una instalación de automatismos industriales de gran envergadura, donde pueden apreciarse los identificadores y referencias de los diversos elementos, así como la distribución del plano en forma de columnas.

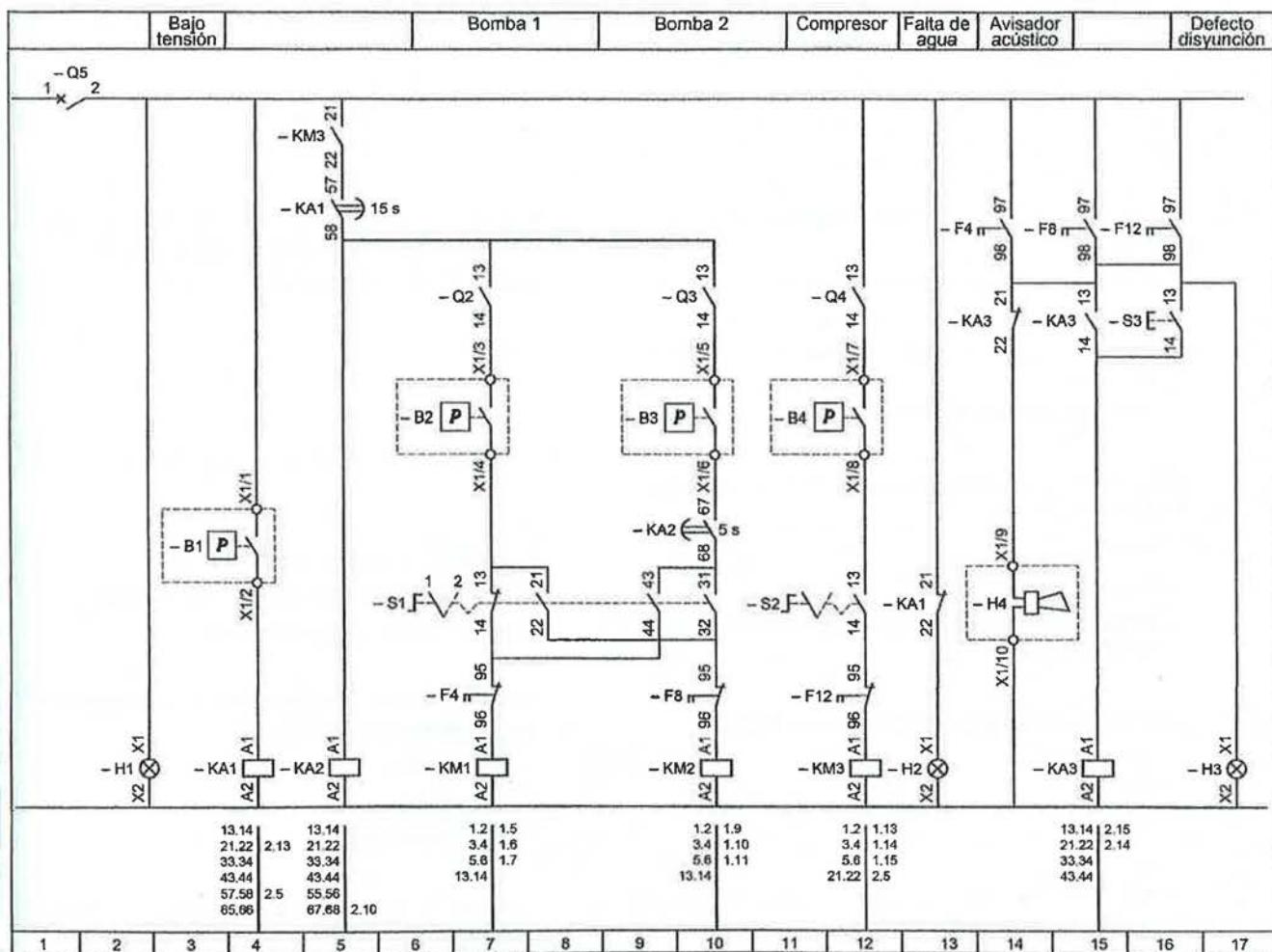


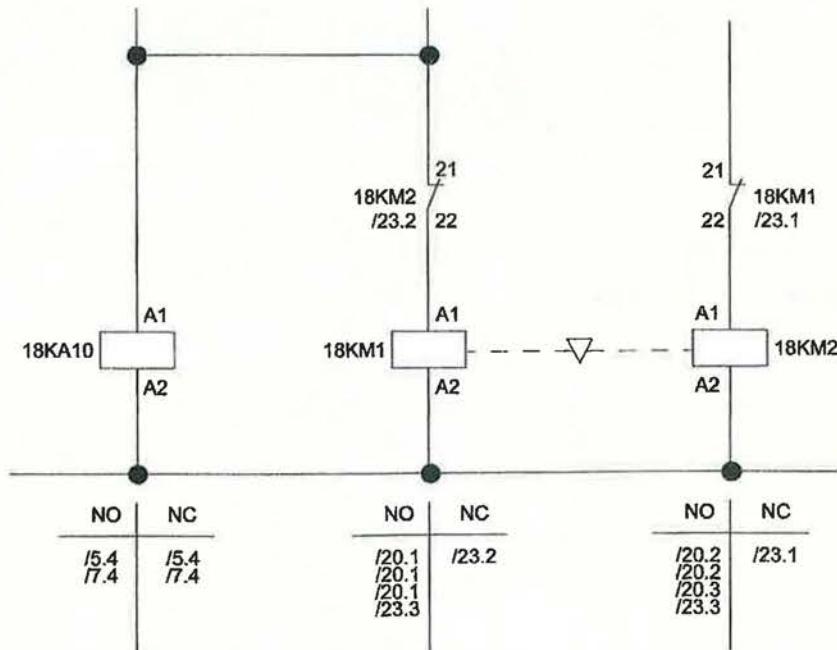
Figura 7.98. Esquema de maniobra completo de una instalación de automatismos industriales.

Actividades de comprobación

- 7.1. ¿Qué parte de un contactor tiene la función de comunicar los circuitos de fuerza?
- El electroimán.
 - Los contactos principales.
 - Los contactos auxiliares.
- 7.2. En lo que respecta al marcado de contactos auxiliares en esquemas eléctricos, ¿cómo se refieren los contactos instantáneos normalmente abiertos?
- x1 y x2.
 - x3 y x4.
 - x5 y x6.
- 7.3. Un relé temporizado a la conexión hace commutar sus contactos:
- Un tiempo después de conectarse su elemento de mando.
 - Un tiempo después de desconectarse su elemento de mando.
 - Depende de cómo sea programado.
- 7.4. ¿Qué cifras deben utilizarse para designar a un contacto NC?
- n1 y n2.
 - n3 y n4.
 - Depende si es temporizado, instantáneo o pertenece a un relé térmico.
- 7.5. ¿Mediante qué letra se identifica a un pulsador?
- P.
 - F.
 - S.
- 7.6. ¿Qué ocurre si en un circuito de maniobra se utiliza la denominada realimentación?
- El circuito únicamente podrá ejecutar sus funciones mediante pulsos.
 - Se anula el pulsador de marcha una vez ha sido accionado.
 - Los enclavamientos eléctricos del circuito quedan anulados.
- 7.7. Si tenemos un circuito de maniobra con dos puestos de mando, ¿cómo deben colocarse los pulsadores de parada?
- En paralelo.
 - En serie.
 - Es indiferente.
- 7.8. Los dispositivos de control automático que se caracterizan porque reaccionan ante una fuerza o presión externa sobre un cabezal se denominan:
- Detectores de cabezal.
 - Detectores capacitivos.
 - Interruptores final de carrera.
- 7.9. Si en un detector de proximidad la carga se conecta a tres hilos entre el elemento sensor y un conductor con polaridad negativa, la salida será de tipo:
- NPN.
 - PNP.
 - PNN.
- 7.10. ¿Qué significado genérico tiene el símbolo de la figura?
- 
- Protección térmica o relé térmico.
 - Funcionamiento por pulsos o intermitente.
 - Ninguna respuesta es correcta.
- 7.11. Un componente marcado con una segunda letra M, implica que cumple una función:
- De medida.
 - Principal.
 - De protección.
- 7.12. ¿Dónde se ubican las referencias cruzadas inversas de un contacto auxiliar?
- En el esquema de maniobra debajo del electroimán del contactor.
 - En el esquema de maniobra debajo del propio contacto auxiliar.
 - En el esquema de maniobra dentro del electroimán del contactor.

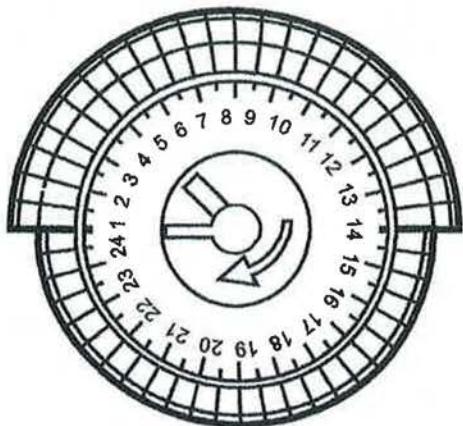
Actividades de aplicación

- 7.1. ¿Qué ocurre si en un circuito con realimentación se acciona de manera accidental el pulsador de marcha dos veces?
- 7.2. Explica de manera detallada en qué consiste un temporizador con demora a la conexión-desconexión.
- 7.3. ¿Qué diferencias existen entre un interruptor y un commutador de dos posiciones? ¿Y entre un interruptor y un pulsador?
- 7.4. Detalla y representa gráficamente cómo deben colocarse los pulsadores de paro y los pulsadores de marcha de un circuito de maniobra en instalaciones con varios puestos de mando.
- 7.5. ¿En qué consiste el enclavamiento eléctrico? ¿Cómo se consigue? Piensa dos ejemplos de aplicaciones industriales en las que pueda ser necesario utilizar dicho método de enclavamiento.
- 7.6. Enumera tres sensores de proximidad que conozcas, definiendo brevemente sus principales características.
- 7.7. Explica brevemente en qué consisten las referencias cruzadas y las referencias cruzadas inversas.
- 7.8. Explica las diferencias de conexionado entre las salidas PNP y NPN de los detectores a tres hilos.
- 7.9. Durante la conexión automática de un automático de escalera, las cargas permanecen encendidas de manera temporizada. Conociendo este modo de funcionamiento, relaciona este dispositivo con un tipo de temporizador de los estudiados en la unidad, justificando detalladamente la respuesta.
- 7.10. Selecciona para un proceso industrial, un sensor de temperatura y otro de presión de tal manera que cumplan los siguientes requisitos:
- La industria es del sector de la alimentación.
 - La temperatura oscila en condiciones normales entre 5 y 100 °C.
 - La presión máxima es de 10 bar.
 - Se desea que ambos sensores tengan salidas digitales y analógicas (4-20 mA).
- Apóyate en catálogos o en la web de fabricantes de sensores.
- 7.11. Dado el siguiente extracto de un plano correspondiente al circuito de maniobra del proyecto de un automatismo industrial, identifica cada uno de los elementos representados y especifica brevemente el significado de los códigos alfanuméricos presentes en el mismo:

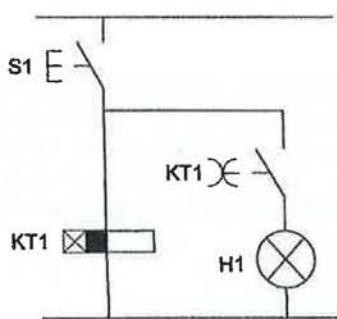


Casos prácticos

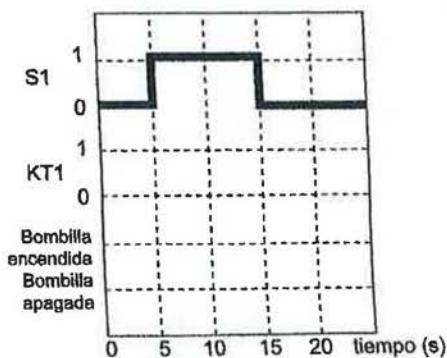
- 7.1. Observa la siguiente figura e indica el horario para el que ha sido programado el funcionamiento del dispositivo.



- 7.2. Completa el siguiente diagrama de tiempos secuenciales.

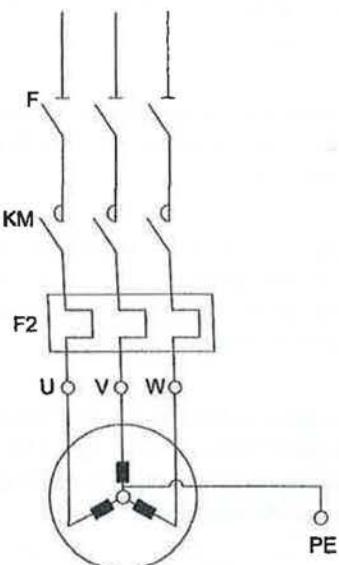


Tiempo de ajuste del electroimán: [KT1 = 5 s]

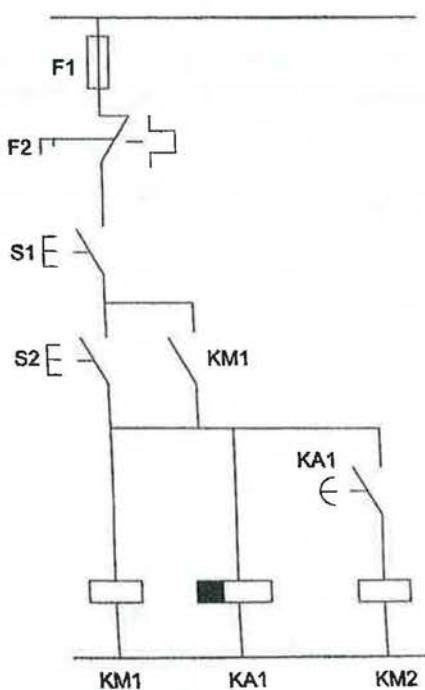


- 7.3. Detecta los posibles errores gráficos, de marcado o de funcionamiento en cada uno de los siguientes esquemas de potencia y maniobra. (Nota: Los esquemas no guardan relación entre sí.)

a)



b)



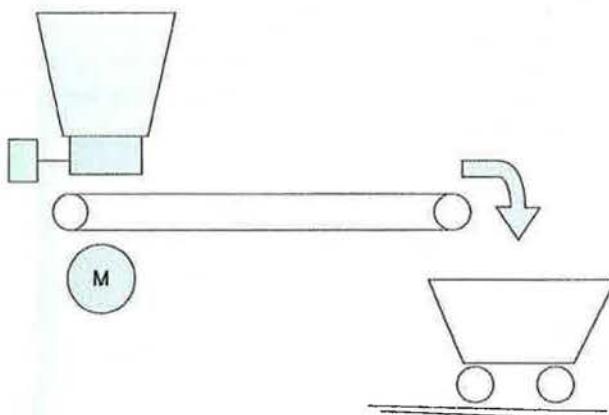
- 7.4. Realiza el esquema de potencia y maniobra que controla el automatismo eléctrico de la depuradora de agua de una piscina. Dicha depuradora funciona mediante un motor trifásico en jaula de ardilla de conexión directa, y el circuito de mando estará gobernado por un interruptor conmutador de tres posiciones configurado de la siguiente manera:

I – Marcha manual

0 – Paro/desconexión

II – Marcha automática, a través de un interruptor horario

- 7.5. Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al movimiento de la cinta transportadora que se representa en la siguiente figura:



Explicación del funcionamiento:

El sistema cuenta con un único pulsador de marcha y con un pulsador de paro de emergencia.

Al activar el pulsador de marcha, se activará el motor monofásico que mueve la cinta transportadora, por la cual discurre el material que pasa a través de la tolva, llegando hasta la carretilla. La cinta transportadora continuará su movimiento de manera permanente hasta que se vuelva a accionar el pulsador de marcha. Es decir, al realizar el automatismo hay que tener en cuenta que solo se utilizarán dos pulsadores de control manual:

S1 – Pulsador de marcha. Con cada nueva pulsación activa y desactiva el movimiento del motor.

S2 – Pulsador de paro de emergencia, solo será accionado en caso de que suceda algún imprevisto.

- 7.6. Realiza el esquema de potencia y maniobra para un equipo móvil que se pone en marcha cuando se acciona un pulsador (S2) y al llegar al final de su recorrido es detectado por un final de carrera (S4) el cual invierte su

sentido de movimiento hasta llegar al principio, parando por medio de otro final de carrera (S3).

El proceso debe poder pararse en cualquier momento mediante un pulsador de paro (S1).

Se debe señalizar el sentido de giro del motor (H1 y H2) y cuando se detenga automáticamente por avería (H3).

Nota: para conocer el método de inversión de giro de un motor puedes consultar la Unidad 8 de este libro.

- 7.7. Al sistema de ejercicio anterior, realiza las modificaciones necesarias para que al llegar al final del recorrido realice una pausa de 30 segundos antes de invertir el movimiento.

- 7.8. Una máquina (M1 trifásico) se mueve entre dos posiciones de manera indefinida. Su funcionamiento es el siguiente:

- Al activar la marcha (S2) se mueve hasta que llega al final de la posición 2, donde es detectada mediante un sensor inductivo (B2).
- En ese momento, realiza una pausa de 5 segundos e invierte el giro de manera automática hasta que llega al principio (posición 1) siendo detectado por otro sensor (B1).
- Tras esto vuelve a realizar otra pausa de 5 segundos y vuelve a invertir el giro repitiendo el proceso.
- Así permanece hasta que se pulsa paro (S1).

Realiza el esquema de potencia y el esquema de maniobra asociado a la máquina descrita. Los sensores son de proximidad inductivos a 3 hilos PNP. El circuito de mando se alimenta a 24 V_{cc}.

Nota: para conocer el método de inversión de giro de un motor puedes consultar la Unidad 8 de este libro.

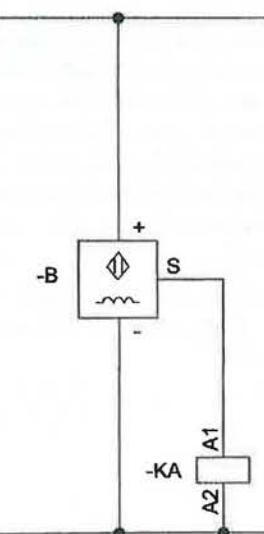


Figura 7.99. Detalle de conexión del sensor inductivo PNP.

- 7.9. Un depósito de líquido se abastece a través de una bomba (M1 trifásico) de manera automática cuando el nivel llega al mínimo (B1) y se llena hasta alcanzar el máximo fijado (B2). Los sensores empleados son de tipo capacitivo con conexión a 3 hilos PNP. El equipo cuenta con señalización de bomba en marcha. El circuito de mando se alimenta a 24 V_{cc}.

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al sistema, teniendo en cuenta que los sensores estarán activados cuando detectan el líquido.

- 7.10. Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado a una escalera mecánica (M1 trifásico), que cuenta con dos barreras fotoeléctricas a ambos extremos. Cuando detecta la entrada de una persona (B1) la pone en marcha y al salir (B2) transcurridos 5 segundos, el automatismo la para como medida de ahorro energético. El circuito cuenta con un paro de emergencia (S1).

- 7.11. Un automatismo industrial está compuesto por dos cintas transportadoras (M1 y M2, motores trifásicos). El funcionamiento del sistema es el siguiente:

- La primera cinta se pondrá en funcionamiento cuando se pulse marcha (S2) y un sensor inductivo (B1) detecte la pieza.
- Cuando dicha pieza llega al final de la cinta es detectada por otro sensor (B2), que activa la segunda cinta (M2) y para la primera.
- Al llegar al final de la segunda cinta es detectada por otro sensor (B3) que para la segunda cinta.

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al sistema. Los sensores son de tipo óptico de conexión a 3 hilos PNP.

- 7.12. Una máquina de procesado se alimenta de materia prima mediante una cinta transportadora (M1 trifásico) de manera continua. La cinta se pone en marcha de manera manual (S1 paro y S2 marcha). A los 5 segundos de ponerse en marcha, un sensor de ultrasonidos (B1) chequea que la cinta contenga material. Si no hay material sobre la cinta, esta se para y proporciona un aviso luminoso (H1).

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado a la máquina. Añade, además, señalización del estado del sensor (H2).

- 7.13. La salida de vehículos de un garaje está automatizada de tal manera que cuando un sensor de infrarrojos (B1) detecta un vehículo activa la apertura de una puerta (motor trifásico). La puerta tiene dos finales de carrera en ambos extremos (S2, se activará cuando la puerta esté abierta y S3 cuando esté cerrada). Una vez la puerta esté abierta, permanecerá así durante 30 segundos y luego se cerrará. Además, tiene otro sensor de infrarrojos (B2) a la altura de la puerta que si se detecta algún objeto procede a abrir la puerta.

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al automatismo descrito, añadiendo un pulsador de paro de emergencia (S1).

Nota: para conocer el método de inversión de giro de un motor puedes consultar la Unidad 8 de este libro.

- 7.14. En un proceso industrial, la presión está controlada por un presostato (B1) el cual activa una bomba trifásica. También se puede activar la bomba desde un pulsador (S2). El paro se realiza siempre de modo manual mediante un pulsador (S1).

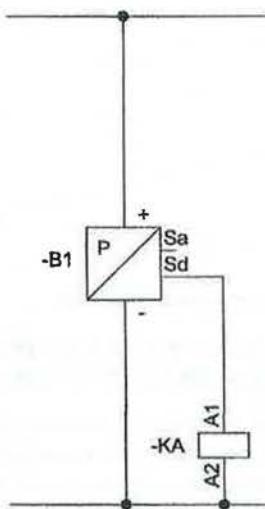
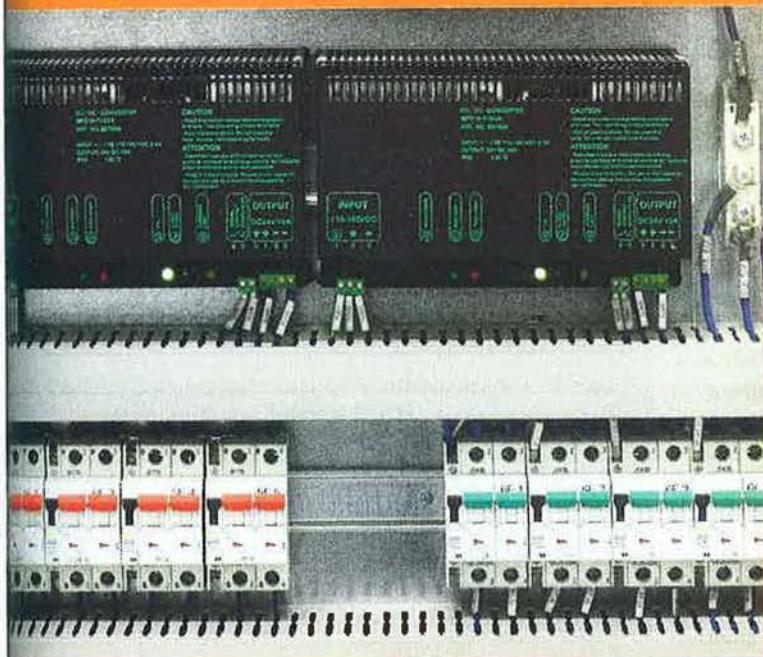


Figura 7.100. Detalle de conexión del presostato.

Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al proceso, teniendo en cuenta que el circuito eléctrico debe contar con señalización del estado de la bomba y de sobrecarga.

Automatismos para el arranque, control y protección de motores



Los criterios técnicos para la instalación de motores eléctricos pasan por conocer y saber conectar y configurar los equipos, componentes y sistemas que, tanto en lógica cableada como mediante dispositivos electrónicos, permitirán proteger, arrancar, controlar, invertir el giro, variar la velocidad y realizar el frenado de estas máquinas rotativas.

En esta unidad serán analizados los diferentes automatismos cableados y electrónicos relacionados con los motores eléctricos, al tratarse de los receptores por excelencia de las instalaciones industriales.

8

Contenidos

- 8.1. Protección de motores eléctricos
- 8.2. Arranque de motores eléctricos
- 8.3. Inversión de giro en motores eléctricos
- 8.4. Sistemas de variación de velocidad en motores de corriente alterna
- 8.5. Frenado de motores eléctricos
- 8.6. Compensación automática del factor de potencia

Objetivos

- Dar a conocer los sistemas específicos para la protección de motores.
- Interpretar y analizar los automatismos para el arranque de motores.
- Identificar los métodos para la inversión de giro.
- Introducir al alumno en los sistemas de variación y regulación de velocidad en motores.
- Definir los tipos de frenado de máquinas eléctricas rotativas.

8.1. Protección de motores eléctricos

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece, en la ITC-BT-47, las condiciones generales de instalación y protecciones mínimas que deben acompañar a los motores eléctricos durante su funcionamiento. Estas son:

- Protección contra sobreintensidades.
- Protección contra la falta de tensión.
- Limitación de las corrientes de arranque.

■■■ Protección contra sobreintensidades

Los motores deben estar protegidos contra **cortocircuitos** y contra **sobrecargas** en todas sus fases, debiendo esta última protección ser de tal naturaleza que cubra, en los motores trifásicos, el riesgo de la **falta de tensión** en una de sus fases.

En el caso de motores con arrancador estrella-tríángulo, se asegurará la protección, tanto para la conexión en estrella como en triángulo. Las características de los dispositivos de protección deben estar de acuerdo con las de los motores a proteger y con las condiciones de servicio previstas para estos, debiendo seguirse las indicaciones dadas por el fabricante de los mismos.

■■■ Protección contra la falta de tensión

Los motores deben estar protegidos contra la falta de tensión por un dispositivo de corte automático de la alimentación, cuando el **arranque espontáneo del motor**, como consecuencia del restablecimiento de la tensión, pueda provocar accidentes o perjudicar el propio motor.

Dicho dispositivo puede formar parte del de protección contra las sobrecargas o del de arranque, y puede proteger a más de un motor si se da una de las circunstancias siguientes:

- Los motores a proteger están instalados en un mismo local y la suma de potencias absorbidas no es superior a 10 kW.
- Los motores a proteger están instalados en un mismo local y cada uno de ellos queda automáticamente en el estado inicial de arranque después de una falta de tensión.

Cuando el motor arranque automáticamente en condiciones preestablecidas, no se exigirá el dispositivo de protección contra la falta de tensión, pero debe quedar excluida la posibilidad de un accidente en caso de arranque espontáneo.

Si el motor tuviera que llevar dispositivos limitadores de la potencia absorbida en el arranque, es obligatorio, para quedar incluidos en la anterior excepción, que los dispositi-

tivos de arranque vuelvan automáticamente a la posición inicial al originarse una falta de tensión y parada del motor.

■■■ Limitación de las corrientes de arranque

Los motores deben tener limitada la intensidad absorbida en el arranque, cuando se pudieran producir efectos que perjudicasen a la instalación u ocasionasen perturbaciones inaceptables al funcionamiento de otros receptores o instalaciones.

Cuando los motores vayan a ser alimentados por una red de distribución pública, se necesitará la conformidad de la empresa distribuidora respecto a la utilización de los mismos, cuando se trate de:

- Motores de gran inercia.
- Motores de arranque lento en carga.
- Motores de arranque o aumentos de carga repetida o frecuente.
- Motores para frenado.
- Motores con inversión de marcha.

En general, los motores de potencia superior a 0,75 kW deben estar provistos de **dispositivos que limiten la intensidad absorbida** durante el arranque.

Actividad propuesta 8.1

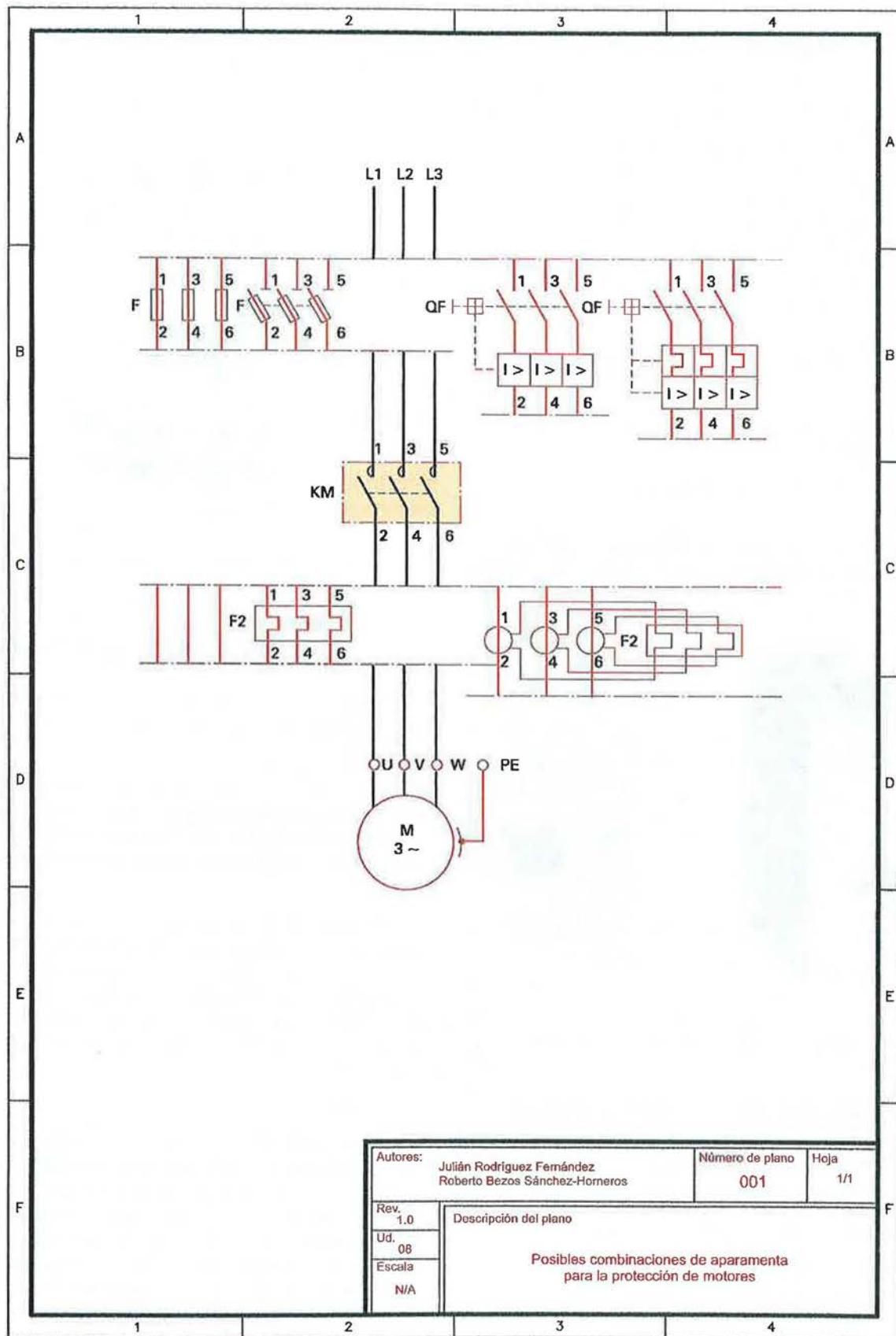
Enumera los dispositivos eléctricos que conoces para proteger a un motor eléctrico frente a sobreintensidades de tipo:

- a) Térmico (sobrecargas).
- b) Magnético (cortocircuitos).

¿Dónde deben instalarse cada una de estas protecciones dentro del circuito?

En la Unidad 2 fueron analizados los principales dispositivos y equipos de protección asociados a las instalaciones eléctricas industriales. De entre todos estos dispositivos deben seleccionarse los que por sí mismos, o en combinación con otros, son capaces de proporcionar el nivel de protección exigido por el reglamento para la alimentación a motores. Las posibles combinaciones de elementos de protección en los esquemas de fuerza de automatismos industriales se muestran en el Plano 001.

Cabe destacar que existen sistemas y mecanismos para la protección específica de los motores eléctricos, que conviene que sean estudiados con mayor detalle, como por ejemplo, las sondas de temperatura interna, guardamotores o relés de protección integral.



8.1.1. El guardamotor

El guardamotor es un dispositivo de protección específicamente diseñado para la protección de motores eléctricos.

Su funcionamiento es similar al de un interruptor automático magnetotérmico, de hecho el símbolo gráfico que identifica a ambos es el mismo, pero presenta una serie de ventajas con respecto a este que lo convierten en el equipo por excelencia para la protección de motores trifásicos:

- Es mucho más robusto frente a las sobreintensidades transitorias producidas durante la fase de arranque del motor.
- La zona de disparo térmico está regulada a mayor tiempo e intensidad.
- Dispone de una ruleta selectora para regular el reglaje del disparo térmico.
- Proporciona protección frente a la falta de tensión en una fase.
- Dispone de acoplamientos mecánicos específicamente diseñados para la conexión de bloques de contactos auxiliares NO y NC.



Figura 8.1. Dos modelos diferentes de guardamotores. (Cortesía de Siemens y ABB.)

Las características técnicas que definen el guardamotor son prácticamente las mismas que definen a los interruptores automáticos:

- Intensidad nominal o de disparo (A).
- Tensión nominal (V).
- Poder de corte (kA).
- Curva de disparo (generalmente es la D o la K).
- Temperatura de trabajo.

- Endurancia mecánica.
- Endurancia eléctrica.

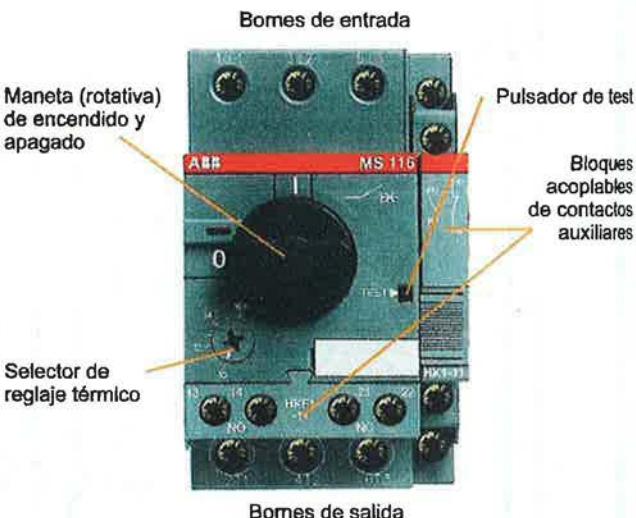


Figura 8.2. Parámetros característicos de un guardamotor.

8.1.2. Sondas térmicas para motores

Las sondas térmicas son un tipo de sensor de temperatura específico para la protección de los bobinados internos de un motor.

Los aumentos internos de temperatura en los motores pueden ser debidos a múltiples causas, como por ejemplo, una frecuencia de maniobra elevada, pérdida de una fase, refrigeración inadecuada o temperaturas ambiente excesivas.

El uso de sondas térmicas permite que, cuando los devanados del motor superan un determinado valor de temperatura, el motor se pare automáticamente al desconectarse el circuito de maniobra que lo controla. La máquina permanecerá fuera de servicio hasta que la temperatura descienda a unos niveles preestablecidos que aseguren su funcionamiento óptimo.

Existen dos tipos de sondas térmicas:

- **Sondas PTC:** son termistores insertados de serie en los devanados del motor, por parte del fabricante. Se basan en el principio de la variación de resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura, de manera que **si la temperatura aumenta la sonda aumenta su resistencia**. La anomalía se produce cuando el valor resistivo supera los $750\ \Omega$ y la desconexión del circuito de maniobra se hará efectiva cuando alcance el valor predefinido.

Los motores que incorporan sondas PTC de serie, las incorporan en cada fase del devanado, en el lado opuesto al ventilador.

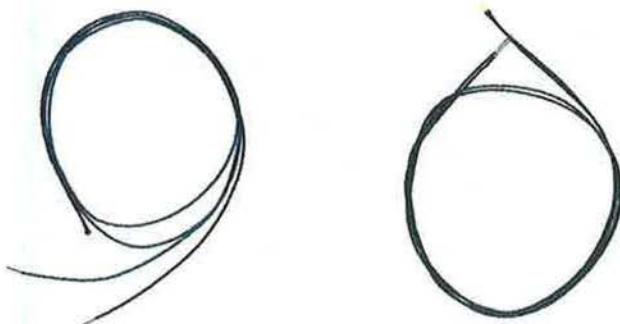


Figura 8.3. Sondas PTC.

- **Sondas NTC:** son similares a las sondas PTC en uso y características, pero el principio de funcionamiento es justo el contrario, ya que **disminuyen su valor resistivo a medida que la temperatura interna del motor aumenta.**

Las sondas NTC están diseñadas para ser acopladas al motor tras la fabricación, ya que no son introducidas de serie.

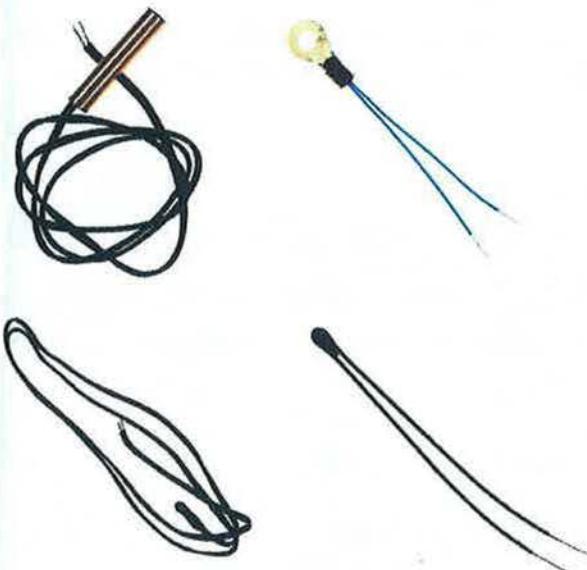


Figura 8.4. Sondas NTC.

El envío de las señales desde las sondas del motor hasta el circuito de maniobra puede realizarse a través de un amplificador electrónico o directamente hacia un relé específico de protección, que se activará tanto por aumento de la temperatura por encima del valor límite, como por el corte de línea o de cortocircuito de las sondas.



Figura 8.5. Relé de control de hasta 6 termistores. (Cortesía de Siemens.)

8.1.3. Relés electrónicos de protección integral

Los relés de protección integral son dispositivos electrónicos más sofisticados que los relés térmicos convencionales, cuya función es la protección de los motores frente a:

- Sobrecargas.
- Caídas de tensión.
- Variación de la frecuencia.
- Pérdida de una fase.
- Desequilibrios de corrientes e intensidades.
- Exceso número de arranques sucesivos por hora.

Están constituidos por microcontroladores electrónicos que supervisan constantemente los parámetros del circuito al que han sido conectados. Disponen de una memoria interna en la que se almacenan todas las anomalías detectadas, lo que facilita enormemente las tareas de mantenimiento; y permiten ajustar todas las características de funcionamiento del motor, así como los tiempos de actuación de las protecciones.

Al tratarse de dispositivos electrónicos, pierden muy poca precisión en las medidas con el paso del tiempo, al contrario de lo que ocurre con los relés convencionales. A pesar de sus múltiples ventajas, al tratarse de equipos muy caros en comparación con la aparamenta de protección convencional, su uso está limitado a instalaciones cuyos motores tienen un alto valor económico o participan en procesos productivos muy críticos.



Figura 8.6. Relés de protección integral de motores. (Cortesía de Siemens y SEL.)

8.2. Arranque de motores eléctricos

Todos los motores eléctricos, tal como se ha estudiado en unidades anteriores, presentan puntas de intensidad durante su fase de arranque, debido a la gran cantidad de energía necesaria para generar los campos magnéticos con la fuerza suficiente como para producir un movimiento giratorio en el eje del motor. De hecho, en condiciones normales, el mayor valor de intensidad de corriente consumido por un motor se produce en el momento inicial del arranque, es lo que se ha denominado como intensidad máxima ($I_{máx}$) o intensidad de arranque (I_a).

8.2.1. Arranque de motores trifásicos

Los posibles métodos de arranque de motores eléctricos trifásicos son los siguientes:

- Arranques realizados mediante lógica cableada:
 - Arranque directo.
 - Arranque estrella-tríángulo (Y-Δ).
 - Arranque mediante resistencias estatóricas.
 - Arranque mediante resistencias rotóricas.
 - Arranque por autotransformador.
 - Arranque *part-winding*.

- Arranques realizados mediante dispositivos electrónicos:
 - Arrancadores progresivos.

En todos ellos, el objetivo buscado es reducir la intensidad en el arranque hasta unos límites admisibles que, por un lado, se encuentren dentro de los límites legales establecidos por el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, y por otro lado, no supongan un peligro para la integridad de los componentes de las instalaciones. Reduciendo la punta en el arranque de los motores también se consigue evitar el disparo intempestivo de los dispositivos de protección del circuito de fuerza.

Tabla 8.1. Límite admisible de intensidad en el arranque para motores de corriente alterna.

Potencia del motor	I_a/I_n
$P \leq 0,75 \text{ kW}$	No aplica
$0,75 \text{ kW} < P \leq 1,5 \text{ kW}$	4,5
$1,5 \text{ kW} < P \leq 5,0 \text{ kW}$	3,0
$5,0 \text{ kW} < P \leq 15 \text{ kW}$	2,0
$P > 15 \text{ kW}$	1,5

Las características de los diferentes métodos de arranque de motores se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 8.2. Características de los métodos de arranque de motores trifásicos.

	Directo	Estrella triángulo	Resistencias estatóricas	Resistencias rotóricas	Autotransformador	Part winding	Convertidor frecuencia
Motor	Estándar	Estándar	Estándar	Específico	Estándar	6 devanados	Estándar
Coste	+	++	+++	+++	+++	++	++++
Corriente arranque motor	5 a 10 I_n	2 a 3 I_n	Aprox. 4,5 I_n	Aprox. 2 I_n	1,7 a 4 I_n	2 I_n	I_n
Caída de tensión	Alta	Alta en el cambio de conexión	Baja	Baja	Baja: precaución al conectar en directo	Baja	Baja
Armónicos de tensión y corriente	Alto	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado	Moderado	Alto
Factor de potencia	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado	Bajo	Moderado	Alto
Número de arranq. disponibles	Restringido	2-3 veces más que directo	3-4 veces más que directo	2-3 veces más que directo	3-4 veces más que directo	3-4 veces más que directo	Elevado

	Directo	Estrella triángulo	Resistencias estatóricas	Resistencias rotóricas	Autotransformador	Part winding	Convertidor frecuencia
Par disponible	Aprox. 2,5 Mn	0,2 a 0,5 Mn	Mn	Aprox. 2 Mn	Aprox. 0,5 Mn	2 Mn	1,5 a 2 Mn
Solicitud térmica	Muy alta	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Baja
Solicitud mecánica	Muy alta	Moderada	Moderada	Baja	Moderada	Moderada	Baja
Tipo de carga recomendado	Cualquiera	Sin carga	Bombas y vent.	Cualquiera	Bombas y vent.	Par creciente	Cualquiera
Carga gran inercia	Sí	No	No	Sí	No	No	Sí

8.2.2. Arranque directo de un motor

Se trata del método de arranque más sencillo y económico, mediante el cual se suministra corriente al estator del motor sin ningún paso intermedio. En estas condiciones el motor puede llegar a demandar hasta 10 veces su intensidad nominal, o incluso un valor mayor si el arranque se hace con carga.

Las principales ventajas que presenta el arranque directo, aparte de la sencillez y bajo precio del montaje, es el bajo tiempo empleado en alcanzar las condiciones nominales de funcionamiento (entre 2 y 3 segundos) y el elevado par de arranque que ofrece el motor, por lo que se suele utilizar en la mayoría de los motores de pequeña y mediana potencia.



RECUERDA

En motores de potencia superior a 750 W, no está permitido realizar un arranque directo.

En la práctica, solo resulta posible realizar el arranque directo a un motor eléctrico en los siguientes casos:

- La potencia del motor es baja con respecto a la totalidad de la instalación, para limitar las perturbaciones electromagnéticas que provoca el pico de intensidad de corriente.
- La aplicación del motor no requiere un aumento lento o progresivo de su velocidad
- El motor dispone de un dispositivo mecánico que impide el arranque brusco.
- La instalación debe ser capaz de soportar la demanda térmica y mecánica del arranque.

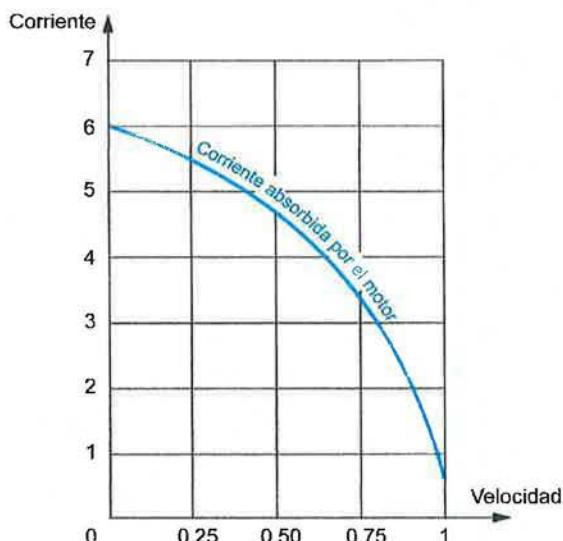


Figura 8.7. Curva corriente/velocidad en arranque directo.

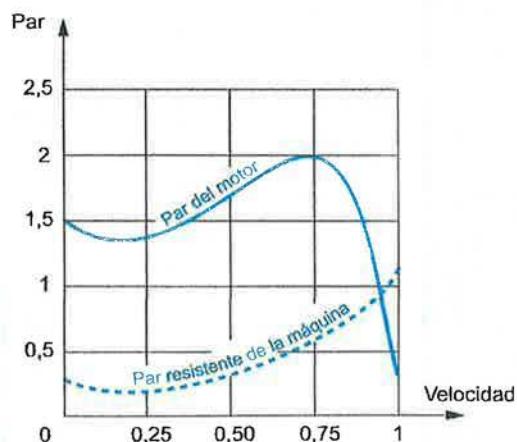
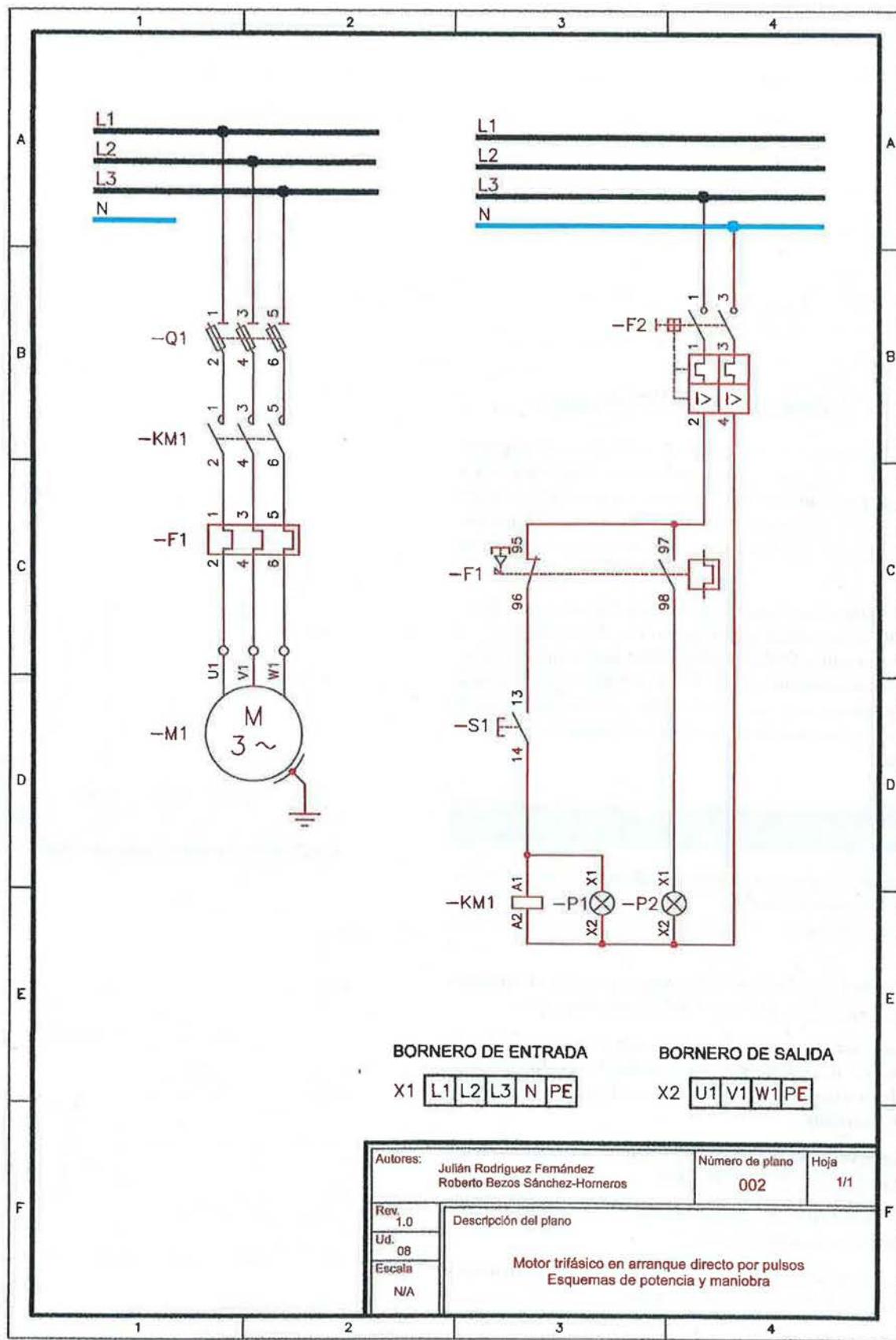
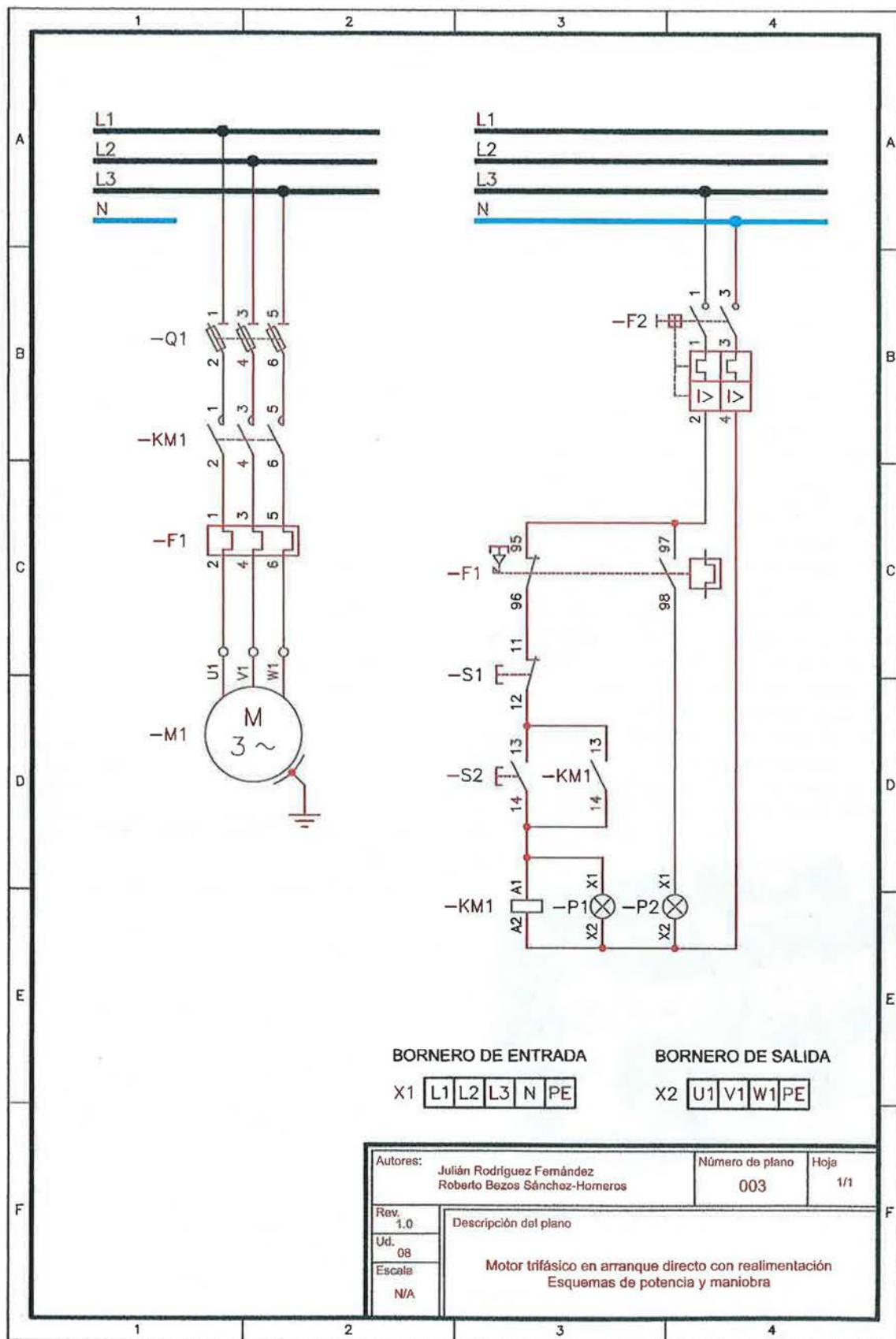


Figura 8.8. Curva par/velocidad en arranque directo.





8.2.3. Arranque estrella-triángulo ($\text{Y}-\Delta$)

Este tipo de arranque únicamente puede ser utilizado en motores trifásicos en los que existe la posibilidad de ser conectados tanto en estrella como en triángulo, cuando la tensión de la red eléctrica es tal, que el motor deba funcionar en triángulo en régimen permanente.



RECUERDA

De las dos tensiones ofrecidas para un motor de conexión $\text{Y}-\Delta$, la tensión menor corresponde a la que habría que utilizar para la conexión en triángulo.

El método de arranque consiste en realizar una conexión en estrella en los momentos iniciales de la conexión del motor. De esta manera, a los devanados internos les llegará la tensión de la red dividida por el coeficiente $\sqrt{3}$.

Al recibir menos tensión de la que el estator requiere para su funcionamiento, la intensidad absorbida durante el arranque también se verá reducida, en aproximadamente $2/3$ de la intensidad que el motor tendría en arranque directo (I_{AD}). Es decir, con el arranque estrella-triángulo se logra reducir la I_{AD} hasta el 33 % de su valor. Pasados unos segundos desde el arranque, cuando los campos magnéticos ya se han establecido y el eje del motor ha comenzado a girar, se realiza una commutación por medio de tres contactores, pasando de la conexión en estrella a la conexión en triángulo. En estas condiciones el motor alcanza el régimen de funcionamiento nominal conectado adecuadamente en triángulo.

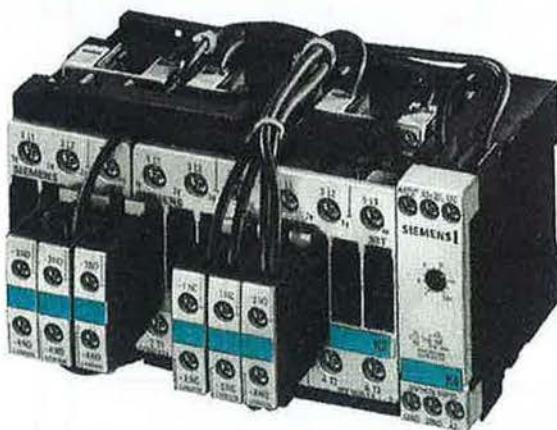


Figura 8.9. Grupo de tres contactores precableados para el arranque $\text{Y}-\Delta$.

Mediante el arranque $\text{Y}-\Delta$, se aumenta el tiempo que el motor tarda en alcanzar el régimen de trabajo nominal, siendo generalmente de entre 3 a 12 segundos dependiendo de las necesidades, ya que este tiempo es regulable.

Es un sistema de arranque muy económico y fiable utilizado fundamentalmente en máquinas que arrancan en vacío, ventiladores, bombas de baja potencia y equipos similares. Las desventajas que presenta son las siguientes:

- El par de arranque es muy débil (se reduce hasta el 33 % del valor que alcanaría en arranque directo).
- La única posibilidad de ajuste del arranque es el tiempo que tardará en hacer la commutación.
- Durante la commutación de estrella a triángulo, se produce un corte de alimentación que genera fenómenos y perturbaciones transitorias, por lo que los motores en los que se aplica este arranque no pueden ser de potencia muy elevada.

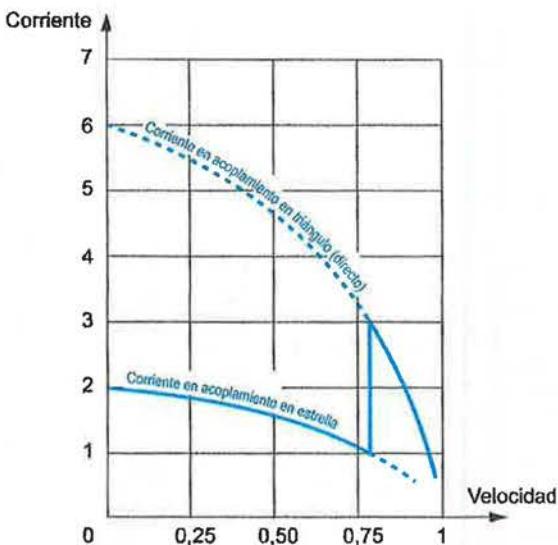


Figura 8.10. Curva corriente/velocidad en arranque $\text{Y}-\Delta$.

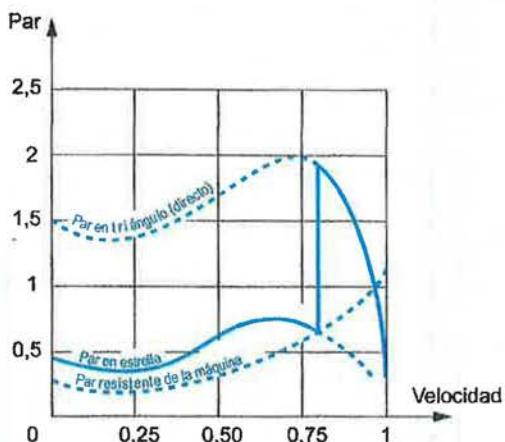
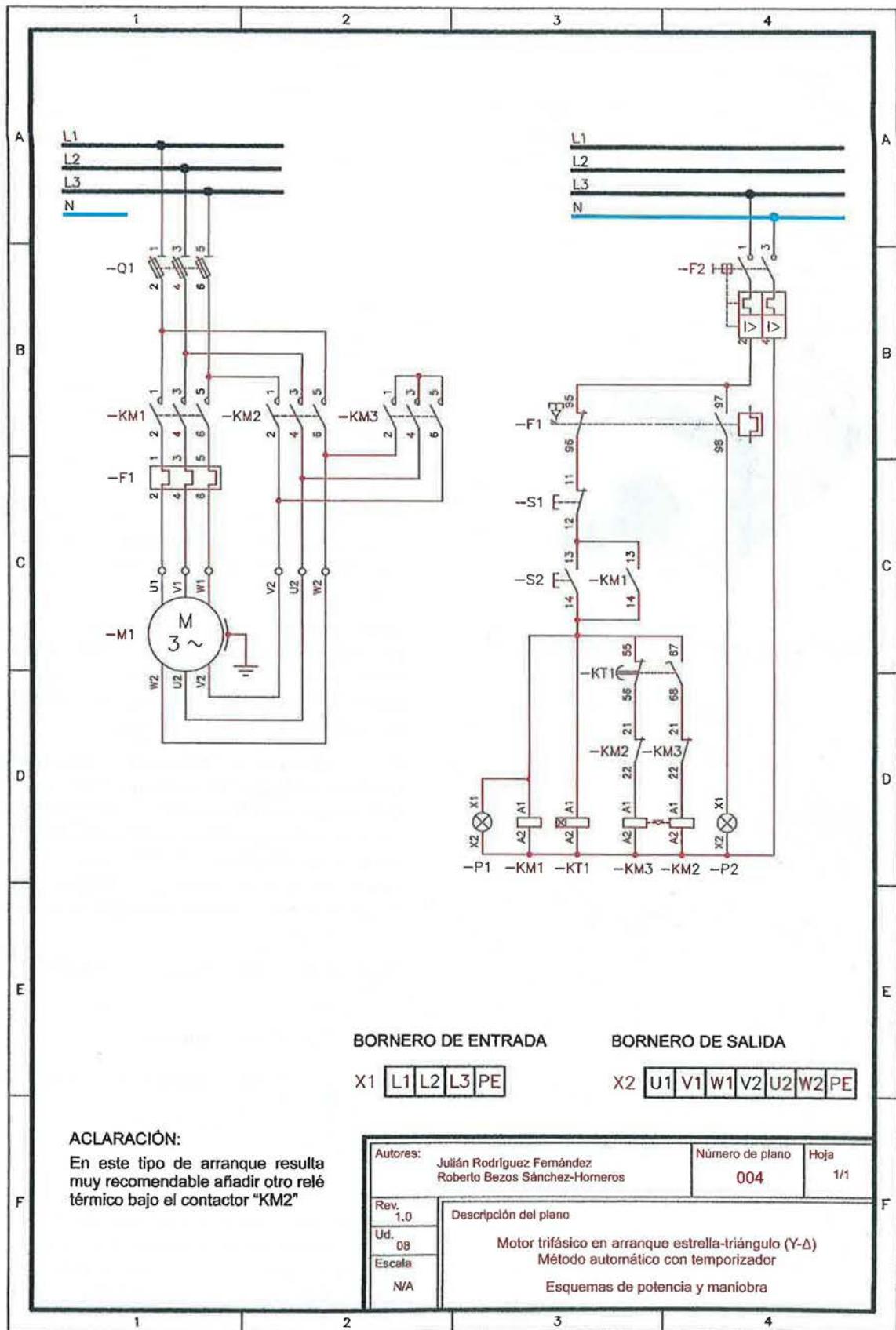


Figura 8.11. Curva par/velocidad en arranque $\text{Y}-\Delta$.



■■■ Arranque estrella-triángulo mediante métodos manuales

En el Plano 004 se muestra un arranque Y-Δ controlado de manera automática por un temporizador. Este es, sin duda, el método más utilizado para llevar a cabo este arranque, pero cabe destacar que también puede ser realizado de manera manual de dos formas alternativas:

- A través de un interruptor conmutador de tres posiciones ubicado en el circuito de fuerza, solo recomendable para motores que no superen los 10 kW.



Figura 8.12. Conmutador de tres posiciones para el arranque Y-Δ.

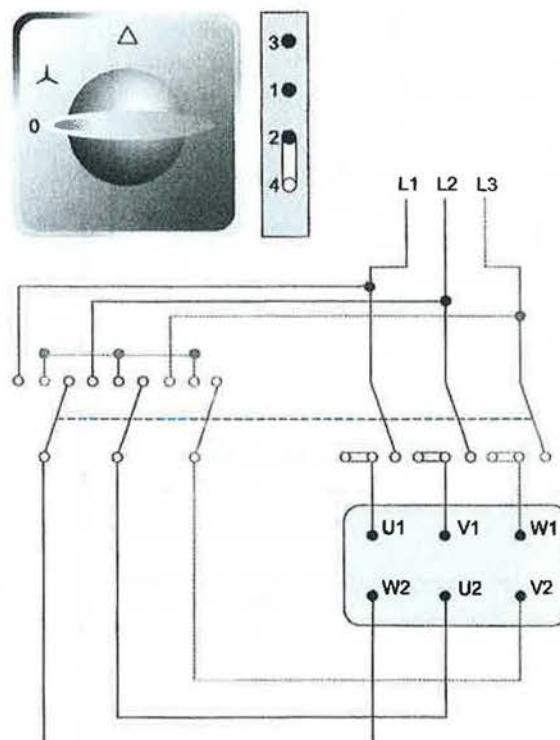


Figura 8.13. Detalle de conexiones internas del conmutador de tres posiciones para el arranque Y-Δ.

- Mediante dos pulsadores manuales situados en el circuito de maniobra. Estas prácticas de arranque manuales están cada vez más en desuso, dado que presentan un claro inconveniente: la conmutación de estrella a triángulo depende de la destreza del operario para calcular el tiempo que el motor permanece con la conexión en estrella, y de no realizarse correctamente, la máquina podría resultar dañada.

Actividad resuelta 8.1

Realiza el esquema de potencia y maniobra correspondiente al arranque de un motor trifásico de pequeña potencia mediante el método estrella-triángulo, realizando manualmente la conmutación de conexión en estrella a conexión en triángulo mediante dos pulsadores manuales.

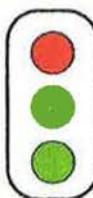
Solución:

El esquema de potencia no se ve alterado con respecto al arranque automático con temporizador. En el circuito de maniobra, sin embargo, es necesario hacer algunas modificaciones, representadas en el Plano 005.

En este caso, al accionar el pulsador de marcha S2, se activa en primer lugar el contactor KM3 (se cierra la conexión V2-U2-W2) y a continuación se cierra KM1, de manera que le empieza a llegar corriente al motor, el cual se encuentra conectado en estrella.

Este estado permanecerá activo hasta que el operario accione el pulsador S3, mediante el cual se desconecta KM3 y activa KM2, pasando el motor a estar conectado de manera permanente en triángulo, hasta que se accione el pulsador de paro S1. Una vez en este estado no influye que se vuelva a pulsar S3, dado que las conexiones entre contactores están protegidas por enclavamientos eléctricos.

El puesto de mando, por tanto, sería similar a este:

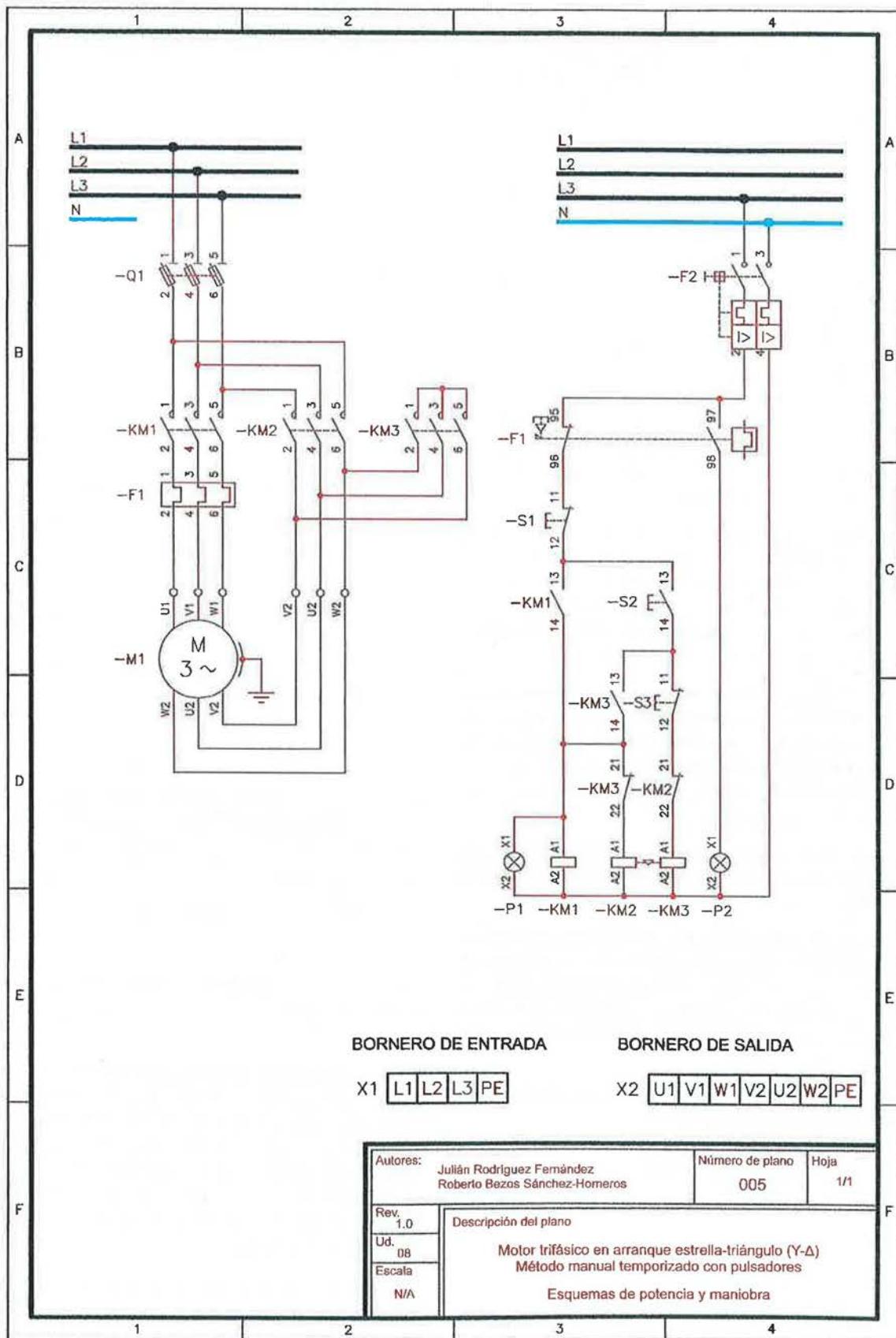


S1 - Pulsador de paro

S2 - Pulsador de arranque en estrella

S3 - Pulsador de paso a triángulo

Al llevar a la práctica este tipo de esquemas, hay que prestar especial atención en el arranque del motor, puesto que de no realizarse la conmutación de estrella a triángulo en el tiempo adecuado el motor podría sufrir daños internos, dado que se está alimentando a los devanados por debajo de su tensión nominal.



8.2.4. Arranque mediante resistencias estatóricas

Otra técnica para reducir la tensión que llega al estator en el momento de la conexión a la red del motor, y de esta forma reducir también la intensidad en el arranque, consiste en colocar elementos eléctricos en serie con los devanados del estator, de manera que se obtenga una caída de tensión controlada.

Los elementos que se encarguen de esta función deben ser de tipo resistivo, para evitar el consumo de energía reactiva y para que la caída de tensión provocada pueda ser disipada en forma de calor por efecto Joule. En consecuencia, la técnica de arranque mediante resistencias estatóricas consiste en intercalar en el circuito de fuerza que alimenta al motor, bloques de resistencias o reóstatos que recibirán tensión durante la fase de arranque del motor y serán anulados (cortocircuitados) en el momento que el motor alcance unas condiciones de trabajo estableas.

Este arranque generalmente se realiza mediante un único bloque de resistencias. Su valor óhmico se calcula en base a la punta de corriente que no debe ser superada durante el arranque (véase Tabla 8.1), o al valor mínimo del par de arranque necesario para mover el eje del motor en el momento del arranque, en función de su uso.

Durante el arranque por resistencias estatóricas se reduce la intensidad que el motor tendría en arranque directo (I_{AD}) en un 30 % aproximadamente, y el par se ve reducido a la mitad. Hay que tener en cuenta que estos valores son orientativos, ya que dependen del propio bloque de resistencias conectadas.

El tiempo de arranque también depende del propio ajuste del temporizador aunque puede establecerse entre 7 y 12 segundos.

Al realizar el cálculo de las resistencias necesarias para el arranque, se tendrá en cuenta tanto el número de arranques por hora previsto, como el tiempo deseado de arranque. Como valor por defecto, se calcula la resistencia estatoria para 5 arranques por hora y 8 segundos de tiempo de arranque.

El valor óhmico del bloque de resistencias puede hallarse mediante la siguiente fórmula:

$$R = 0,055 \cdot \frac{U_N}{I_N}$$

Donde:

R = resistencia por fase (Ω)

U_N = tensión de alimentación (V)

I_N = intensidad nominal del motor (A)

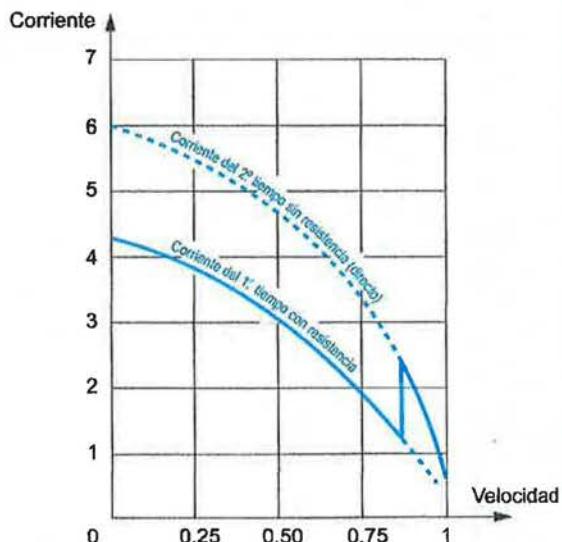


Figura 8.14. Curva corriente/velocidad en arranque mediante un grupo de resistencias estatóricas.

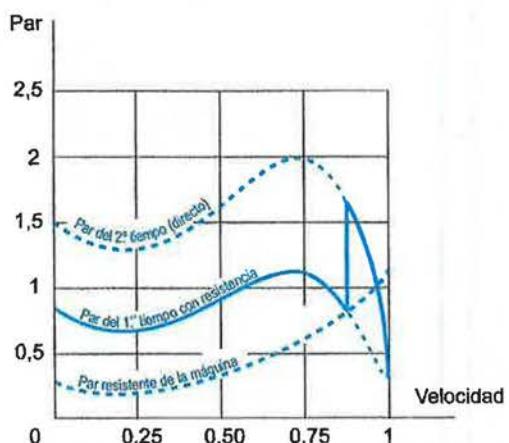
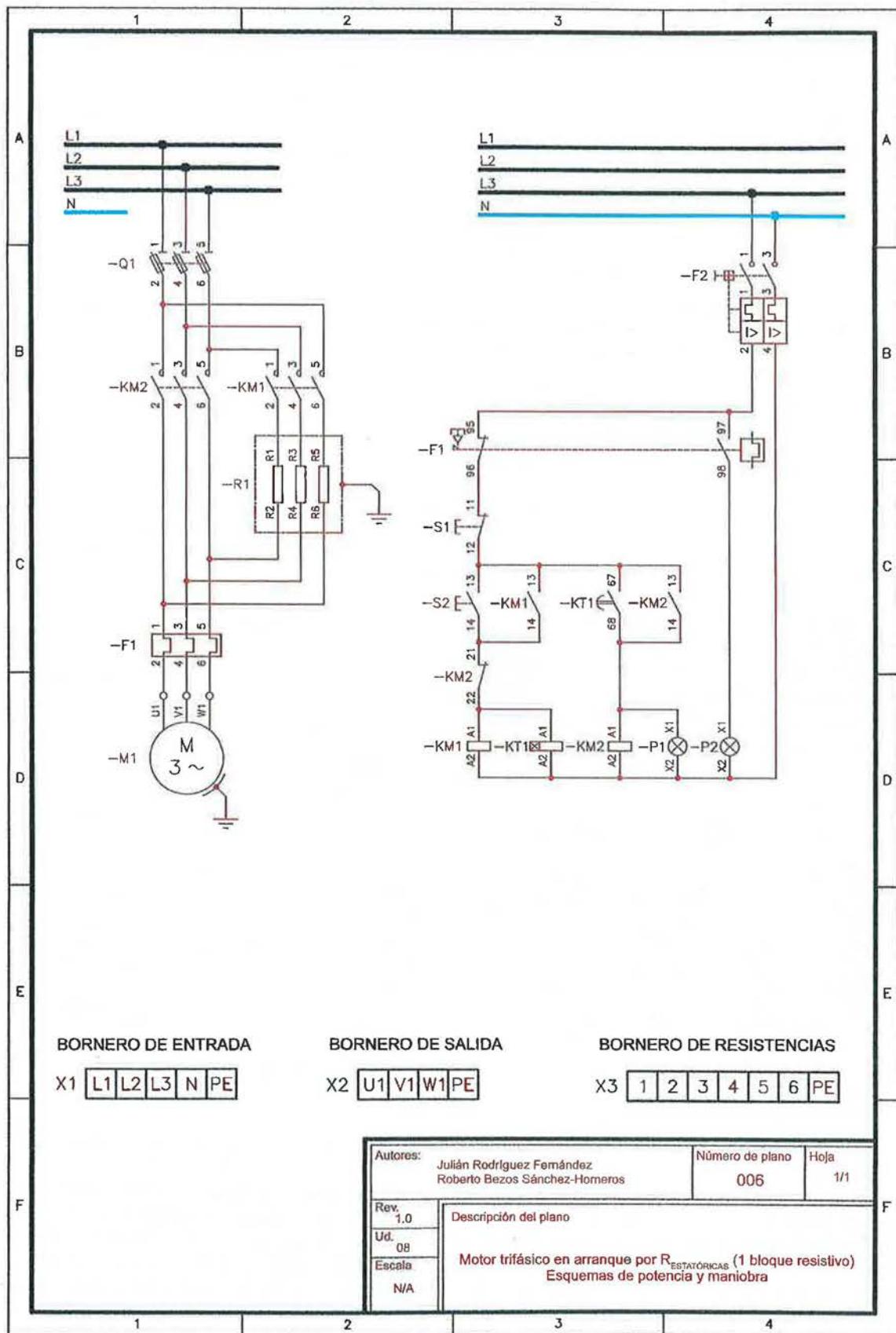


Figura 8.15. Curva par/velocidad en arranque mediante un grupo de resistencias estatóricas.

El arranque por resistencias estatóricas presenta la ventaja de que permite la posibilidad de ajuste de los valores en el arranque, además de reducir notablemente los picos generados por las corrientes transitorias. Sin embargo, presenta la gran desventaja de requerir bloques de resistencias de grandes dimensiones que emiten mucho calor y pueden llegar a ser una fuente potencial de incendios si no se refieren adecuadamente.

El uso de las resistencias estatóricas está indicado para máquinas eléctricas de gran inercia que no precisen un par de arranque elevado.



8.2.5. Arranque mediante resistencias rotóricas

El arranque mediante resistencias rotóricas se basa en el mismo principio de funcionamiento que el arranque mediante resistencias estáticas, solo que en este caso los bloques resistivos se conectan en serie con los devanados de inducido.

Este método, por tanto, únicamente es aplicable en motores que tienen el rotor accesible. De hecho, en estos motores resulta siempre necesario aplicar un método de reducción de la intensidad de arranque, dado que las puntas de corriente generadas son excesivamente altas.



RECUERDA

Los bornes del rotor accesible (rotor bobinado o rotor de anillos) se identifican con las letras K-L-M.

El arranque por resistencias rotóricas se realiza generalmente mediante uno, dos, tres, cuatro o cinco bloques de resistencias, que se irán desconectando (cortocircuitando) del circuito de manera escalonada y progresiva. El número de bloques de resistencias y su valor óhmico se determina en función de la curva par/velocidad que se desee obtener, dado que, para un par determinado, la velocidad será menor a medida que la resistencia aumente.

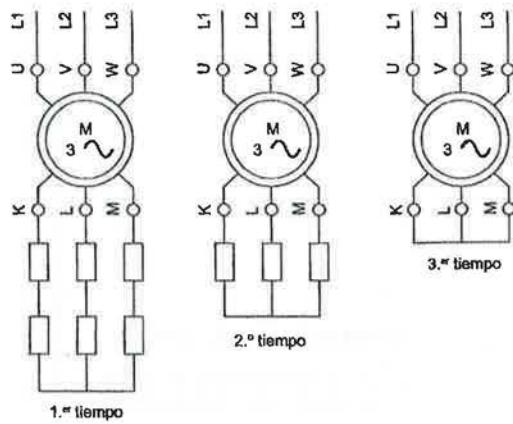


Figura 8.16. Ejemplo de representación de los tiempos de arranque con dos bloques resitivos.

Durante el arranque por resistencias estáticas se reduce la intensidad que el motor tendría en arranque directo (I_{AD}) en un 30 % aproximadamente, aunque esto depende de la carga óhmica conectada. El par de arranque obtenido suele ser proporcional a la intensidad de arranque, es decir, si por ejemplo se obtiene una con un deter-

minado bloque de resistencias, una intensidad de arranque 2,5 veces superior a la nominal, el par de arranque también será 2,5 superior al par nominal.

El tiempo que el motor tarda en alcanzar el régimen de funcionamiento nominal también depende del propio ajuste de los temporizadores, aunque puede establecerse entre 7 y 15 segundos, dependiendo del número de escalones.

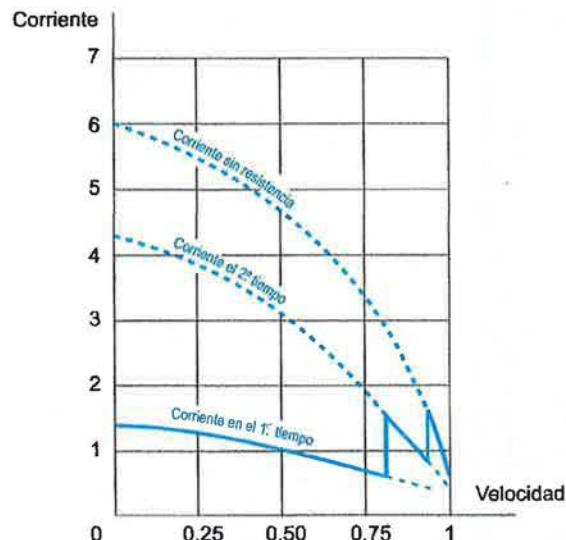


Figura 8.17. Curva corriente/velocidad en arranque mediante dos bloques de $R_{rotóricas}$.

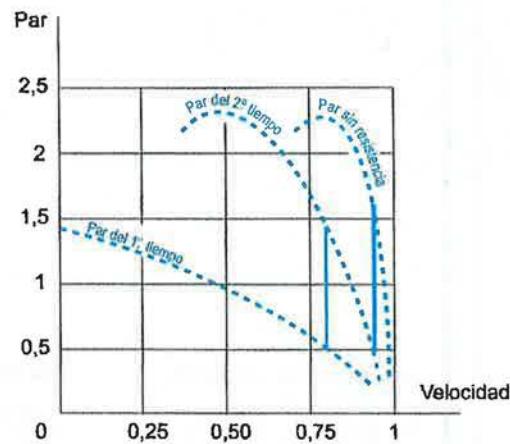
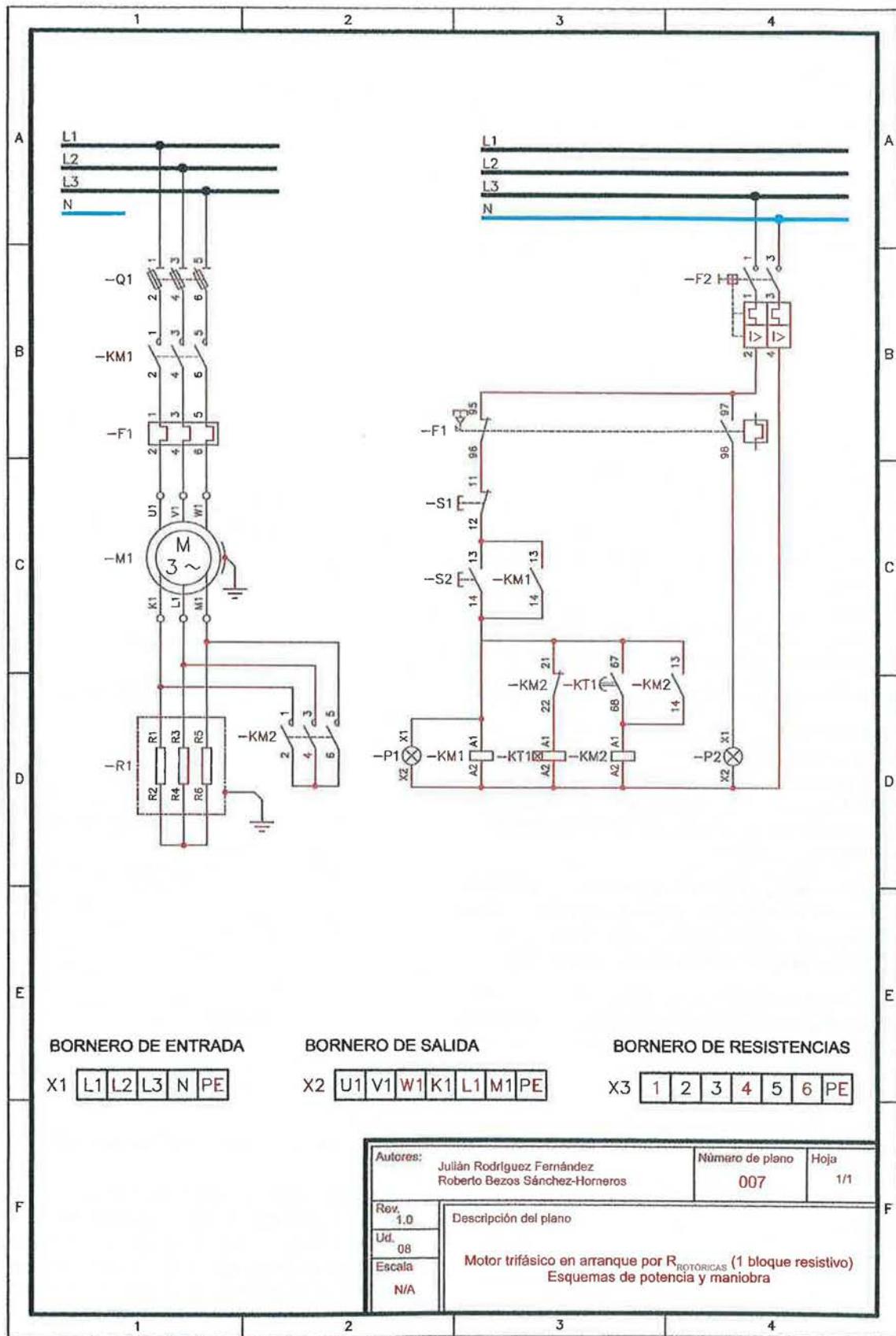


Figura 8.18. Curva par/velocidad en arranque mediante dos bloques de $R_{rotóricas}$.

El arranque por resistencias rotóricas es muy flexible, ya que es posible adaptar fácilmente el número y el aspecto de las curvas de par, intensidad y velocidad en función de los requisitos de un proceso. Sin embargo, los motores de rotor bobinados son mucho más costosos y difíciles de mantener, por lo que este tipo de arranque solo suele utilizarse en máquinas que arrancan en carga o que necesitan un arranque progresivo.



8.2.6. Arranque por autotransformador

El autotransformador es una máquina eléctrica, similar a un transformador de potencia, que únicamente cuenta con un devanado para los circuitos magnéticos de entrada y salida.

La característica fundamental de este dispositivo es que la conexión de los bornes de salida es regulable en varias posiciones o tomas, de manera que la relación de transformación entre la tensión de entrada y la tensión de salida, U_1/U_2 , es variable.

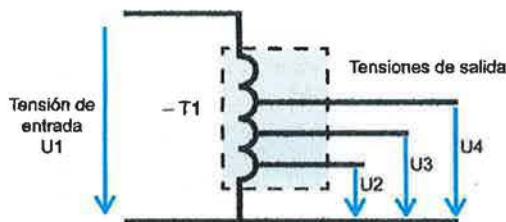


Figura 8.19. Representación gráfica de un autotransformador.

Durante el arranque por autotransformador, el motor se alimenta inicialmente a una tensión más reducida que la de la red, y en consecuencia, la intensidad demandada en el arranque también disminuye. Cuando la máquina alcanza la estabilidad, el autotransformador queda fuera del circuito.

El proceso de arranque se lleva a cabo en tres etapas:

1. El autotransformador comienza acoplándose en estrella y a continuación, el motor se conecta a la red a través de una parte de los devanados del autotransformador. La tensión de entrada al motor podrá seleccionarse en función de la toma del autotransformador a la que sea conectado.
2. Cuando el motor alcanza la velocidad de equilibrio, la conexión en estrella del autotransformador se abre, de manera que la parte superior del bobinado del autotransformador queda conectada en serie con el motor.
3. Unos instantes después de la segunda etapa, se cortocircuita el autotransformador (queda fuera del circuito) y el motor se acopla directamente a la tensión de la red.

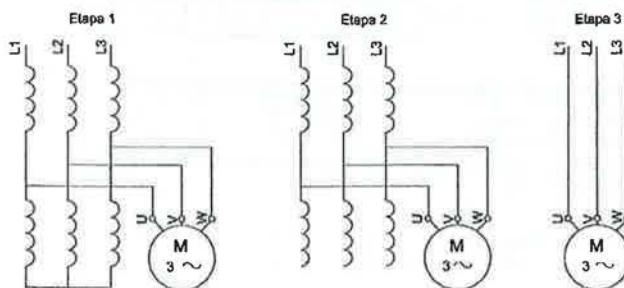


Figura 8.20. Representación de las etapas de arranque por autotransformador.

La corriente y el par de arranque mediante este tipo de arranque varían en la misma proporción que la tensión de entrada. Normalmente, en la primera etapa tanto la corriente como el par de arranque se ven reducidos entre un 40 % y un 80 % del valor que tendrían en arranque directo.

El tiempo de arranque, que depende de la programación de los temporizadores, oscila entre 7 y 12 segundos.

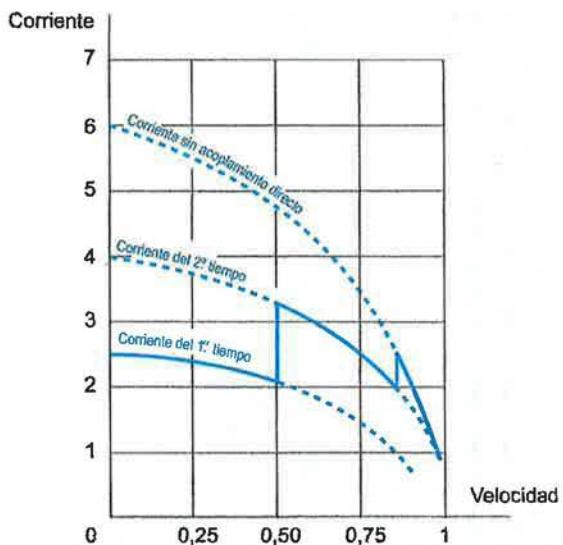


Figura 8.21. Curva corriente/velocidad en arranque mediante autotransformador.

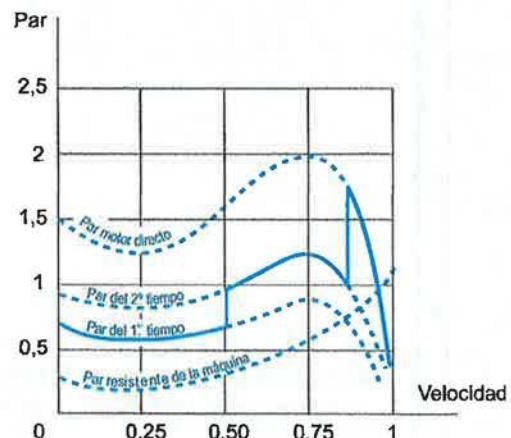
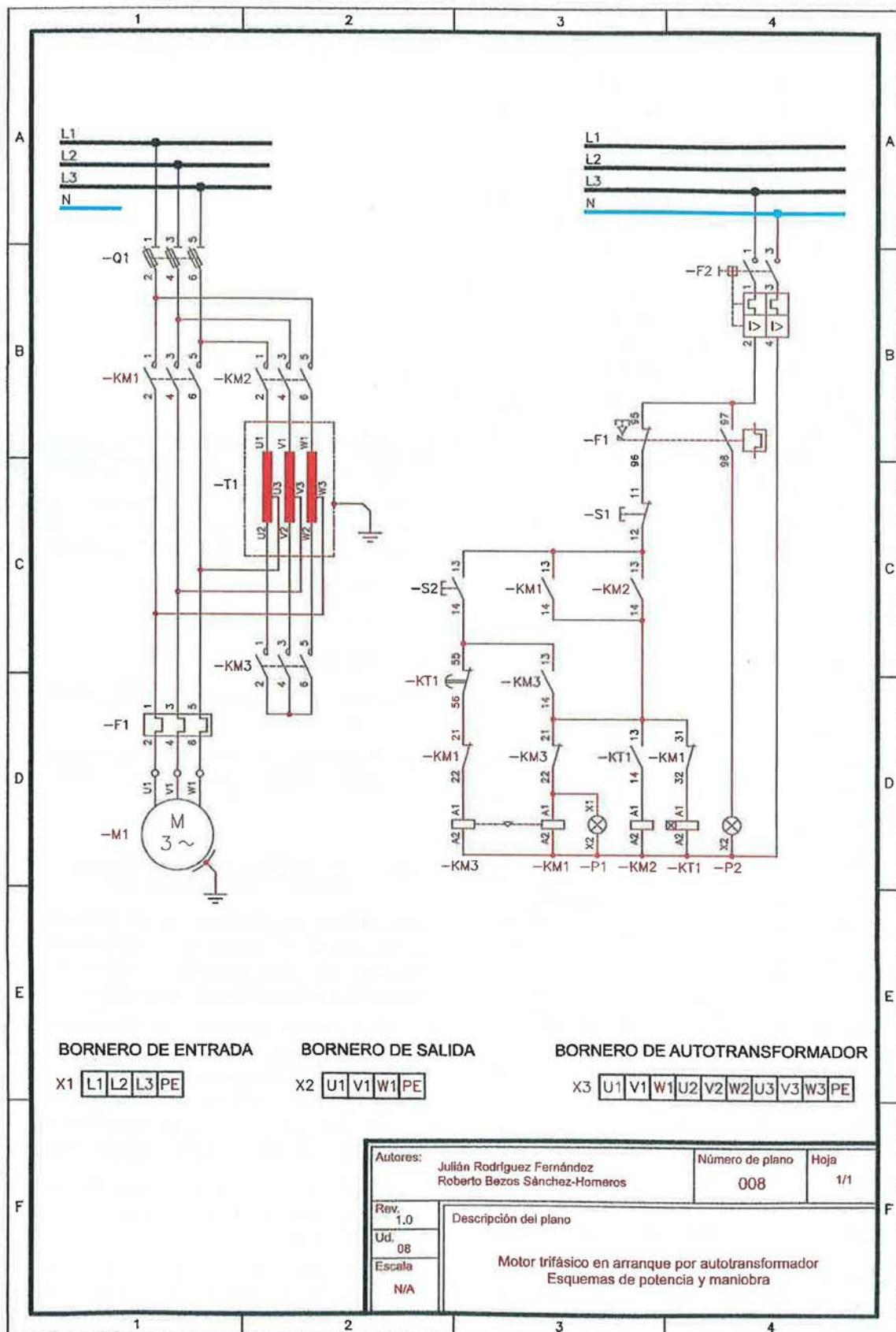


Figura 8.22. Curva par/velocidad en arranque mediante autotransformador.

Este arranque es muy utilizado en máquinas de gran potencia o gran inercia, fundamentalmente en motores de potencia superior a 100 kW. Es un método muy eficaz dado que no hay interrupciones en la tensión durante el cambio de etapas y la relación par/corriente es muy buena. Las principales desventajas son el alto coste económico de los equipos y la gran cantidad de perturbaciones que genera.



8.2.7. Arranque part-winding

El motor eléctrico de tipo *part-winding* se caracteriza porque los devanados estatóricos se encuentran desdoblados y presentan seis o doce bornes de salida.

El arranque *part-winding*, por tanto, solo puede ser realizado en los motores del mismo nombre, y el principio de funcionamiento es el siguiente: durante el arranque, solo una parte de los devanados se conecta directamente a la red, lo que **reduce aproximadamente a la mitad** tanto la corriente como el par de arranque. Al finalizar la etapa de arranque (pasados entre 3 y 6 segundos generalmente) se acoplan el resto de los devanados, alcanzando el motor sus características de funcionamiento nominales.

Este tipo de arranque es muy utilizado en los motores asociados a las máquinas y equipos de climatización, especialmente en los compresores que arrancan en vacío o con poca carga.

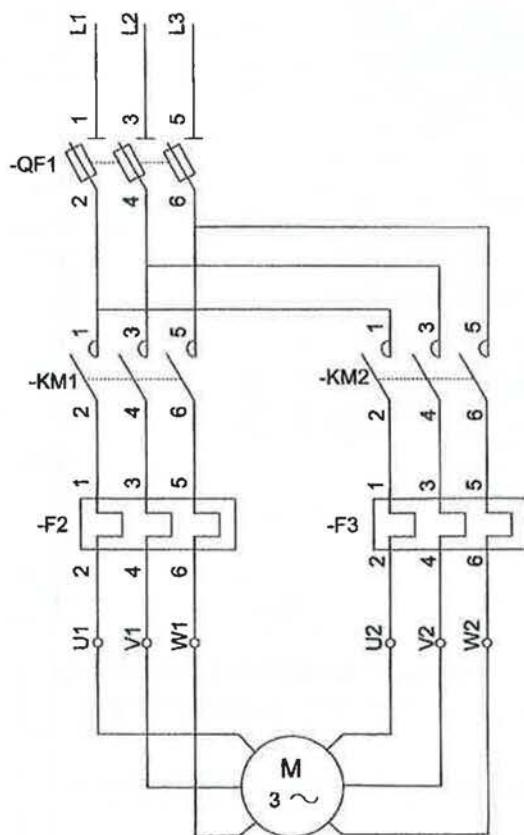


Figura 8.23. Esquema de potencia asociado a un motor part-winding.

La principal ventaja que presenta el arranque *part-winding* es su sencillez, de hecho el montaje del circuito de fuerza es similar al de un motor de dos velocidades. Además, ofrece un par de arranque relativamente elevado. La

desventaja, por contra, es evidente: se requiere un motor especial para llevar a cabo el arranque.

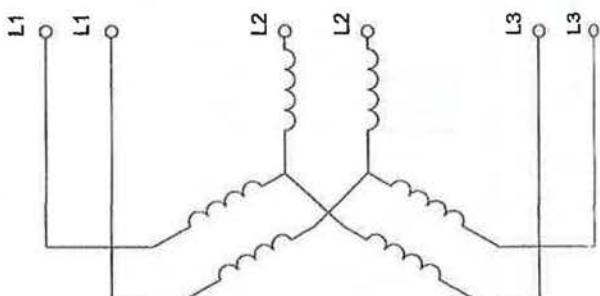


Figura 8.24. Detalle de los devanados internos de un motor part-winding con 6 bornes de salida.

Actividad propuesta 8.2

Dado el esquema de fuerza del arranque tipo *part-winding*, realiza el esquema de maniobra asociado, en el que tendrás que incluir, como mínimo, los siguientes elementos:

- Botones de marcha y paro.
- Dispositivos de protección.
- Realimentación.
- Lámparas indicadoras de marcha y lámpara indicadora de disparo térmico.

Realiza el esquema utilizando la simbología normalizada y respetando el marcado adecuado de los componentes.

8.2.8. Arranque electrónico

Los arrancadores electrónicos son dispositivos más sofisticados que los basados en tecnología cableada, y permiten realizar arranques en motores controlando y **regulando** la intensidad demandada por la máquina.

Son equipos regulables, de dimensiones reducidas y adaptables a cualquier ciclo de trabajo. La **intensidad en el arranque** del motor puede ser regulada generalmente entre un **25 %** y un **75 %** de la que tendría en el arranque directo. El **par motor** será igualmente regulable, entre unos valores que oscilan del **10 %** al **70 %** del par en arranque directo.

Es el método de arranque más progresivo que existe, con unos tiempos de trabajo que pueden variar desde 1 hasta 60 segundos.

Al tratarse de un componente electrónico, su principal desventaja es que genera perturbaciones electromagnéticas en las redes donde se ubica (fundamentalmente armónicos), pero gracias a las múltiples ventajas que ofrece, su

uso está muy estandarizado en máquinas eléctricas de todo tipo, como bombas, compresores, ventiladores, cintas de transporte, etc.

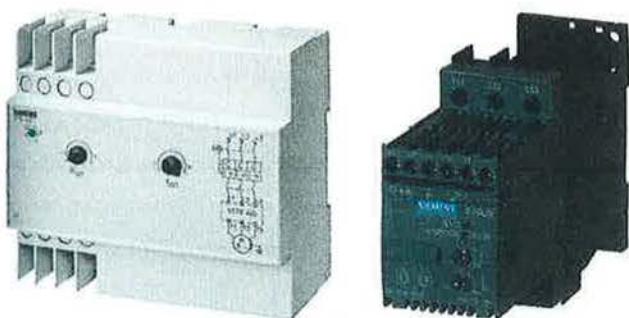


Figura 8.25. Arrancadores electrónicos. (Cortesía de Siemens.)

El principio de funcionamiento de los arrancadores electrónicos pasa fundamentalmente por un componente electrónico denominado **tiristor**. Este componente tiene la peculiaridad de que solo deja pasar la corriente eléctrica en un único sentido (de manera similar a lo que hace un diodo), pero con la peculiaridad de que dispone de una conexión específica, denominada *gate* o *puerta* a través de la cual es posible regular un ángulo dentro de la onda de tensión senoidal que será capaz de cortar, "troceando" dicha onda.

Si se instalan dos tiristores en un tipo de conexión específica denominada **antiparalelo**, el conjunto resultante podrá trocear la onda de tensión en los dos sentidos de paso de la corriente.

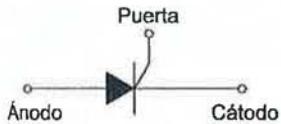


Figura 8.26. Símbolo del tiristor.

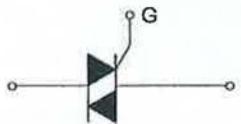


Figura 8.27. Tiristores en antiparalelo.

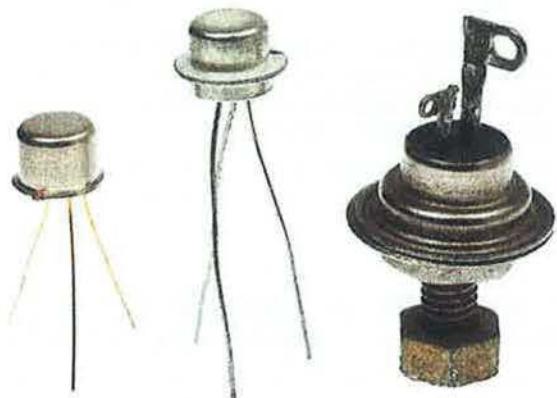


Figura 8.28. Tiristores de alta y baja potencia.

Al cortar o trocear parte de la onda de tensión que llega a un motor durante su arranque, el valor eficaz de la misma se verá reducido, y en consecuencia, al llegar menos voltaje al motor la intensidad en el arranque se verá también reducida.

La gran ventaja de este dispositivo es que puede regular el ángulo de entrada de la *puerta* de manera progresiva y gradual durante todo el funcionamiento del motor, motivo por el cual también se conoce a los arrancadores electrónicos como **arrancadores progresivos**.

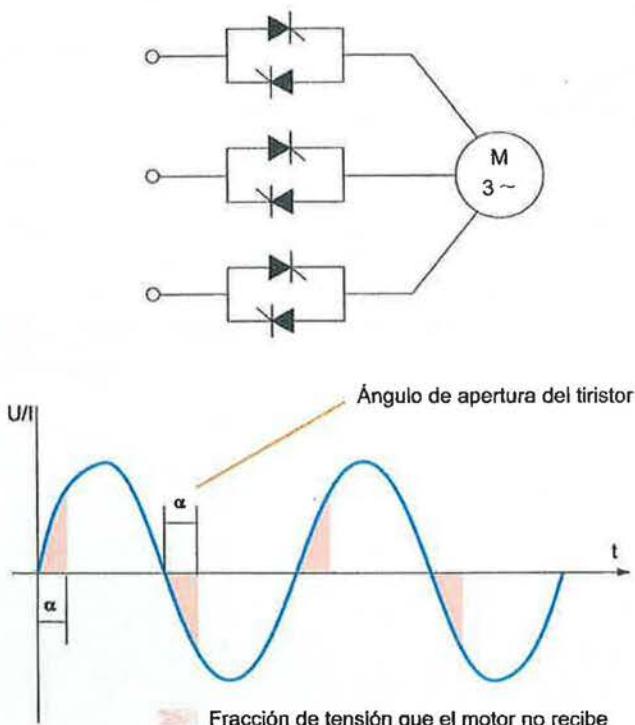


Figura 8.29. Principio de funcionamiento de un arrancador electrónico.

Las funciones básicas que cumple toda unidad de arranque electrónico son las siguientes:

- Indicador del estado del arrancador.
- Regulación de la intensidad de arranque.
- Comutación de máquina (control de marcha/paro).

No obstante, en la actualidad es posible encontrar arrancadores electrónicos más sofisticados que ofrecen funciones avanzadas como:

- Rearme a distancia.
- Indicador de la carga del motor.
- Función de histórico y monitorización.
- Protección frente a cortocircuitos.

- Protección frente a sobrecargas.
- Protección por sobretemperatura.
- Rearranque automático.
- Función *bypass*.
- Seccionamiento de la máquina de la red de alimentación.

A continuación se muestran dos esquemas de conexión de un arrancador electrónico, con funciones integradas de conmutación de máquina, lo que permite no tener que disponer de contactores para la marcha y paro del motor. Cabe destacar que **el conexionado y alimentación de estos equipos depende de cada fabricante**, por lo que resulta necesario consultar el manual de instrucciones en cada caso.

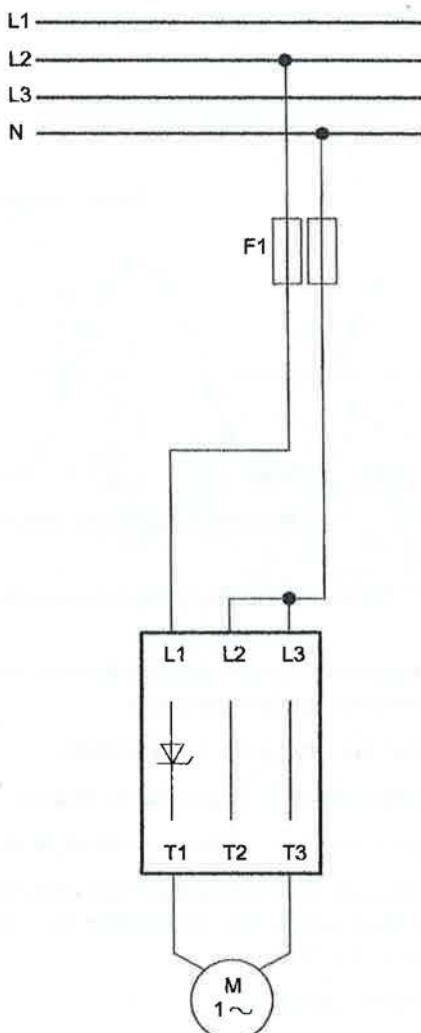


Figura 8.30. Ejemplo de conexión simplificada de un arrancador electrónico para un motor monofásico.

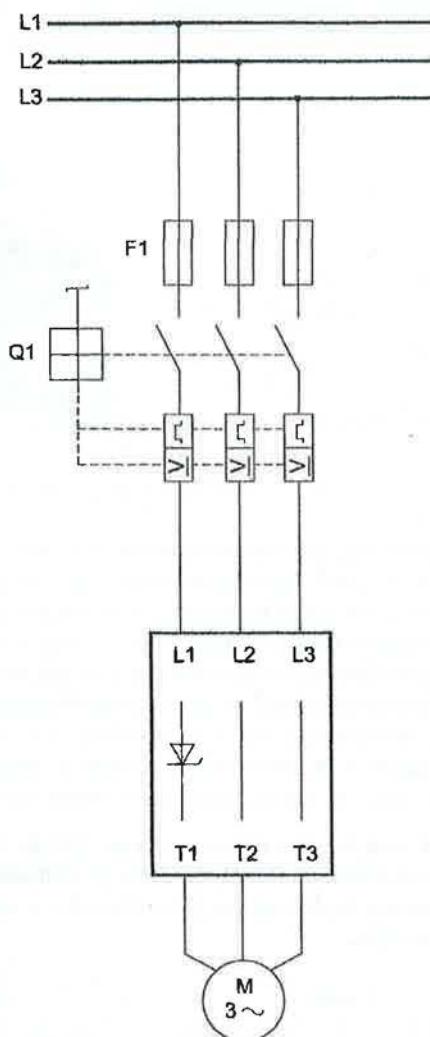


Figura 8.31. Ejemplo de conexión simplificada de un arrancador electrónico para un motor trifásico.



SABÍAS QUE

Existen dispositivos electrónicos más sofisticados que combinan la posibilidad de **arranque progresivo** con funciones adicionales como **variación de velocidad**, chequeo de contactores auxiliares, temporización, etc.

Estos equipos, aunque más caros, son más utilizados en las aplicaciones industriales basadas en motores que los propios arrancadores electrónicos.

Actividad propuesta 8.3

¿Qué ventajas e inconvenientes fundamentales crees que tienen los arranques estudiados basados en lógica cableada con el arranque mediante arrancador electrónico?

Actividad resuelta B.3

Un equipo de ventilación formado por un motor trifásico (M1) se activa de manera automática por medio de un termostato (B1) cuando la temperatura del recinto alcanza cierto valor. No obstante, se puede activar por medio de un mando manual (S1).

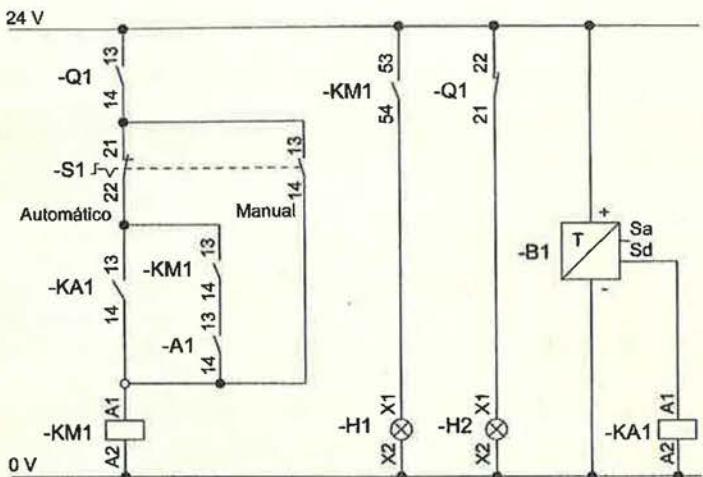
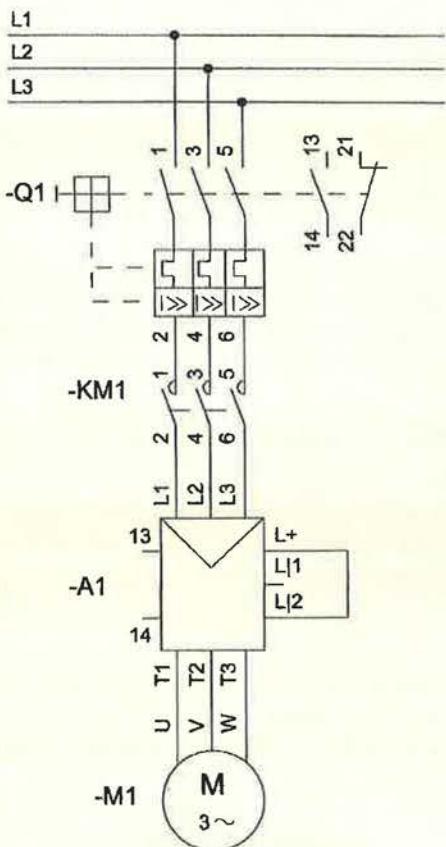
Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al equipo de ventilación teniendo en cuenta:

- a) El ventilador arrancará de manera suave por medio de un arrancador progresivo.
 - b) La protección del circuito de fuerza se obtendrá mediante un guardamotor.
 - c) El sistema debe contar con señalización para la marcha del motor (H1).
 - d) El sistema debe contar con señalización frente a paro por sobrecarga (H2).
 - e) El circuito de maniobra se alimenta a una tensión de 24 voltios.

Solución:

Esquema de potencia:

Esquema de maniobra:



Aclaraciones con respecto al funcionamiento:

- El contacto 13-14 del arrancador (A1) detendrá el motor cuando detecte algún problema.
 - El puente L+ y Ll2 da la orden de arranque del motor.
 - El sensor de temperatura tiene dos salidas y se emplea la salida de tipo digital (Sd) o termostática.

8.2.9. Arranque de motores trifásicos en redes monofásicas

Los motores trifásicos en jaula de ardilla pueden ser conectados en redes monofásicas mediante una conexión específica denominada Steinmetz.

Este sistema consiste en alimentar al motor únicamente a través de dos de sus fases y colocar un condensador entre una de las fases alimentadas y la fase que queda libre. El condensador cumple la misma función que en los motores de corriente alterna, desfasando el campo magnético para producir un par en el eje que lo haga girar.

El método es aplicable tanto para conexiones en estrella como para conexiones en triángulo.

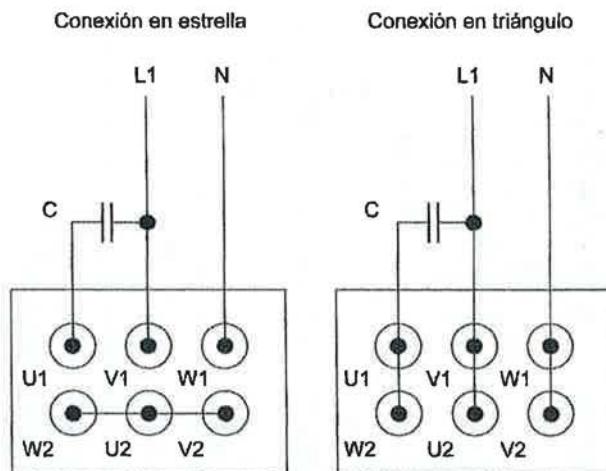


Figura 8.32. Conexión de la caja de bornes de motores trifásicos Y-Δ para ser conectados en redes monofásicas.

Antes de aplicar este método de arranque hay que tener en cuenta unas consideraciones previas, ya que la conexión Steinmetz no se puede realizar en todo tipo de motores:

- Solo se aconseja realizar esta conexión en motores de pequeña potencia, aquella que sea inferior a 4 kW.
- La potencia que desarrollará el motor será del 75 % u 80 % con respecto a la que tendría conectado en una red trifásica.
- El par de arranque disminuirá hasta el 50-70 % del que tendría el motor conectado en una red trifásica.
- La tensión nominal del condensador instalado debe ser de entre 1,15 y 1,25 veces la tensión nominal de la red monofásica, con un mínimo de 250 V. Esto es debido a que va a estar sometido a ciertas sobretensiones.

Cálculo del condensador de arranque

La capacidad del condensador se puede calcular a través de la siguiente fórmula:

$$C = 50 \times P \times \left(\frac{220}{U} \right)^2 \times \frac{50}{f}$$

Donde:

C = capacidad del condensador (μF)

P = potencia en el eje del motor (CV)

U = tensión de alimentación (V)

f = frecuencia de la red (Hz)

Una vez hallado el resultado, se debe escoger el valor normalizado de condensador inmediatamente superior de los que existen en el mercado. Estos son:

Tabla 8.3. Valores normalizados (en μF) de condensadores comerciales.

4	4,5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
25	28	30	32	35	40	45	50	60	65	100

De manera simplificada, y puesto que generalmente las tensiones a las que se conectará el motor serán de 230 o 400 V_{CA}, los valores del condensador por cada kW de potencia del motor se pueden resumir de la siguiente forma:

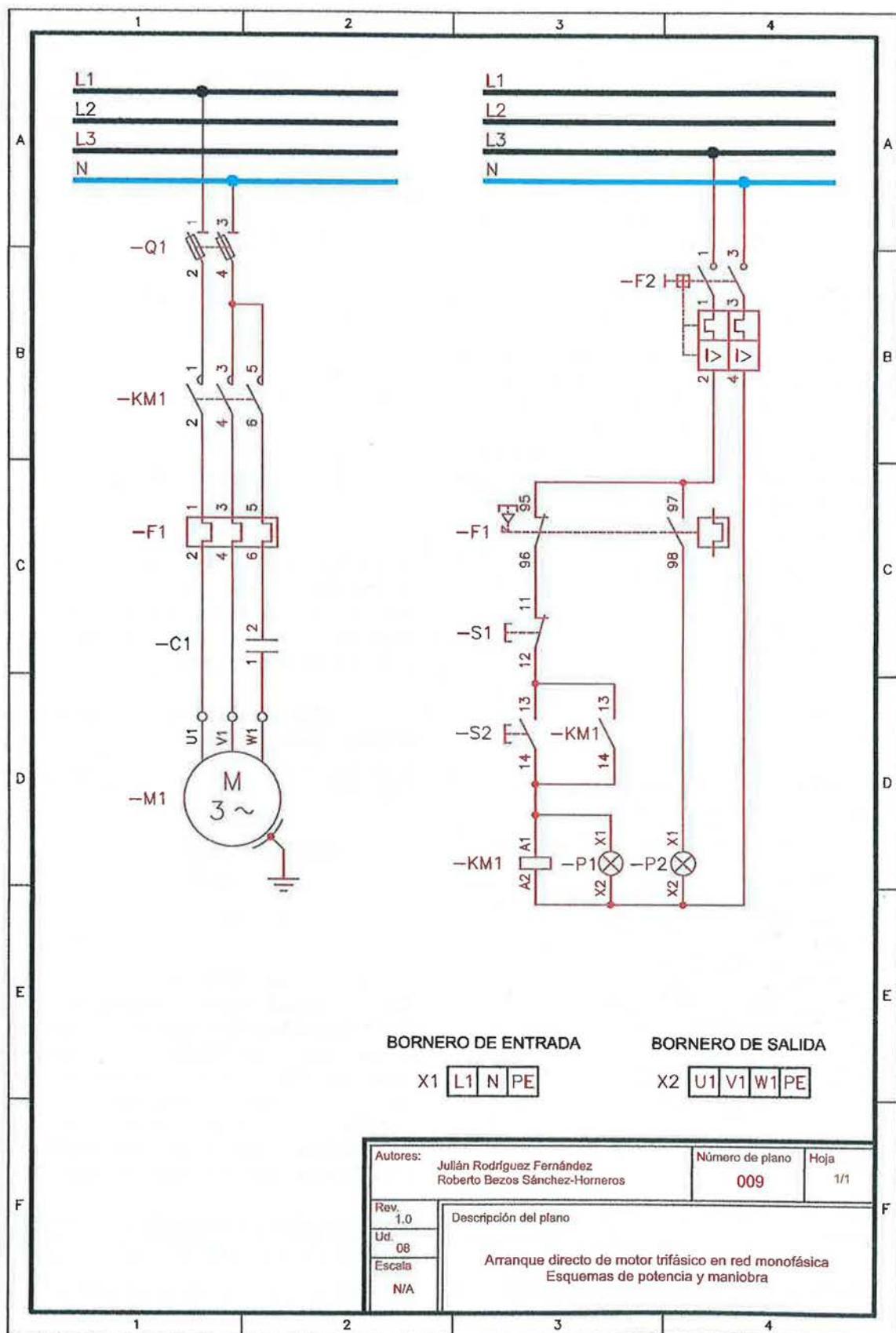
Tabla 8.4. Método simplificado de cálculo del condensador de arranque.

Tensión de la red monofásica	230 V _{CA}	400 V _{CA}
Capacidad del condensador por cada kW del motor	70 μF	20 μF

Es decir, en el caso más común, si se conecta un motor trifásico a una red monofásica de 230 V, la capacidad del condensador deberá ser de 70 μF por cada kW del motor.



Figura 8.33. Motor monofásico con condensador de arranque. (Cortesía de ELPROM.)



8.2.10. Arranque de motores monofásicos con aparamenta trifásica

Para la conexión de motores monofásicos hay que tener en cuenta que la gran mayoría de los contactores y relés térmicos disponibles en la práctica son de tipo trifásico. El arranque de motores monofásicos podría realizarse protegiendo al circuito de potencia con un interruptor automático magnetotérmico bipolar, comutando el sistema mediante un contactor monofásico de dos polos, pero lo más común es utilizar contactores trifásicos asociados a relés térmicos trifásicos.

En estos casos, la conexión del motor debe realizarse sin dejar ningún borne de los equipos de aparamenta trifásicos sin conectar, especialmente en el caso del relé térmico, ya que todos sus polos deben recibir corriente. Para ello, será necesario que uno de los conductores activos, generalmente la fase, atraviese por duplicado tanto el contactor como el relé térmico, tal como se muestra en la siguiente figura:

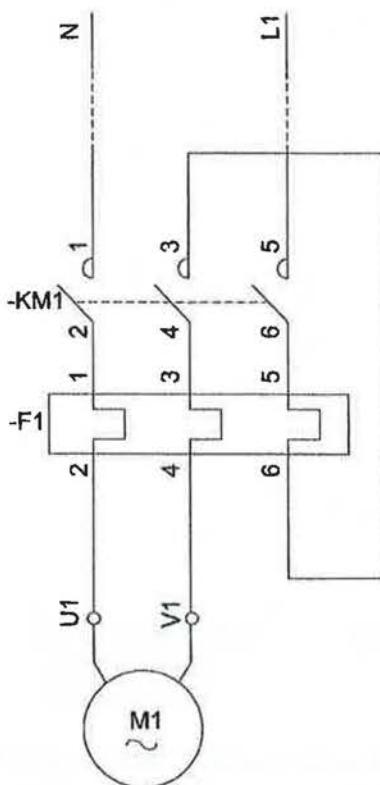


Figura 8.34. Detalle de la conexión de un motor monofásico con contactor y relé térmico trifásico.

Este método, aunque no parezca muy apropiado, realmente aumenta la seguridad del circuito de potencia, ya que el relé térmico efectúa dos medidas sobre la misma fase.

Actividad propuesta 8.4

Realiza el esquema de potencia y maniobra completo para el arranque de un motor monofásico a través de pulsadores de paro/marcha, mediante un contactor y un relé térmico trifásico.

La protección magnética del circuito de potencia se realizará mediante seccionador con fusible, la protección del circuito de maniobra mediante interruptor automático magnetotérmico de dos polos (polo + neutro).

Debes ubicar también las lámparas indicadoras de marcha del motor y disparo térmico.

Todos los dispositivos, equipos y materiales del esquema, así como el bornero de entrada y salida, deben quedar correctamente marcados e identificados.

8.2.11. Arranque de motores de corriente continua

Al igual que ocurre con los motores de corriente alterna, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, establece, para motores de corriente continua, los siguientes límites admisibles de intensidad en el arranque con respecto a la intensidad nominal del motor:

Tabla 8.5. Límite admisible de intensidad en el arranque para motores de corriente continua.

Potencia del motor	Ia/Iin
$P \leq 0,75 \text{ kW}$	No aplica
$0,75 \text{ kW} < P \leq 1,5 \text{ kW}$	2,5
$1,5 \text{ kW} < P \leq 5,0 \text{ kW}$	2,0
$P > 5,0 \text{ kW}$	1,5

En la mayoría de los motores de corriente continua, dado que no suelen ser de gran potencia, el método más utilizado para reducir la intensidad en el arranque es la colocación, en serie con el devanado inducido, de una o varias resistencias fijas o, más frecuentemente, una resistencia variable o reóstato. Es un método similar al ya estudiado para motores trifásicos basado en resistencias rotóricas, y de igual manera, una vez que el motor ha alcanzado la estabilidad, la carga resistiva debe ser anulada.



RECUERDA

La potencia de los motores puede medirse en vatios (W), caballos de vapor (CV) o caballos de potencia (HP).

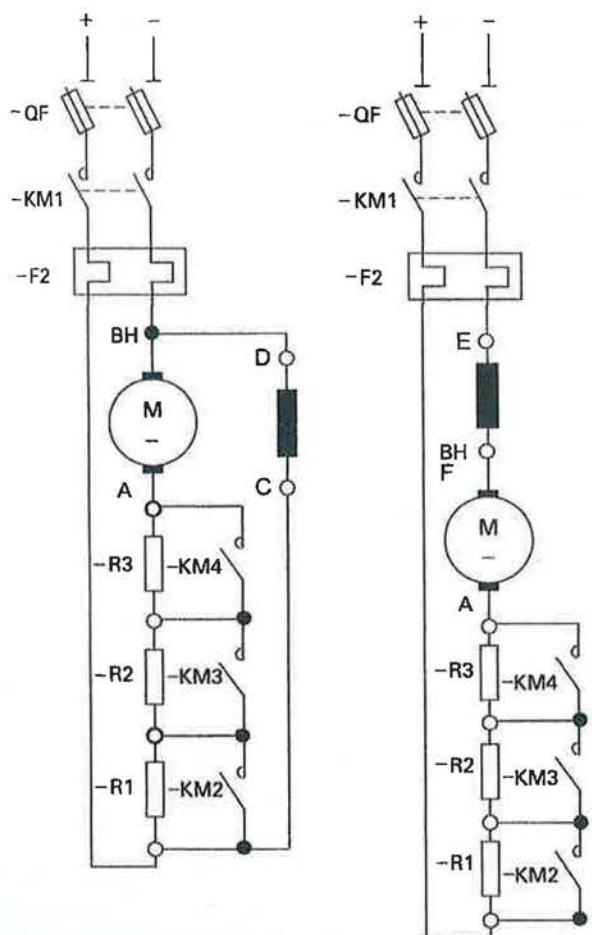


Figura 8.35. Esquemas de potencia para el arranque de dos motores de corriente continua (serie y derivación) mediante bloques de resistencias.

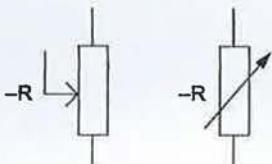


Figura 8.36. Símbolos representativos de un reóstato.



Figura 8.37. Reóstato circular de arranque para motores de alta potencia, hasta 7 kW.

El valor resistivo del reóstato se calculará en función del cumplimiento de los valores límites de intensidad en el arranque expresados en la Tabla 8.5. Conocido este dato, se puede proceder al cálculo de la resistencia a partir de la siguiente ecuación:

$$R_a = \frac{U}{I_a} - r_i$$

Siendo:

R_a = resistencia de arranque (valor del reóstato) (Ω)

U = tensión de alimentación (V)

I_a = intensidad deseada en el arranque (A)

r_i = resistencia interna del motor (Ω)

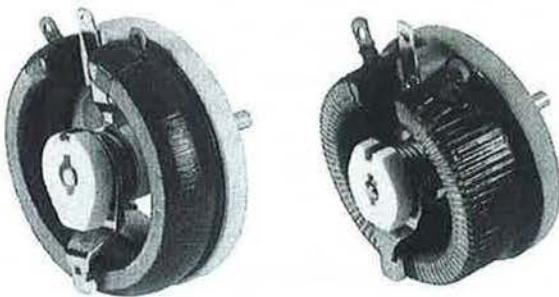


Figura 8.38. Reóstato circular de arranque para motores de baja potencia, hasta 0,25 kW.



SABÍAS QUE

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión establece las siguientes prescripciones relacionadas con las resistencias de arranque de motores:

- Los reóstatos de arranque y regulación de velocidad y las resistencias adicionales de los motores, se colocarán de modo que estén separados de los muros 5 cm como mínimo.
- Deben estar dispuestos de manera que no puedan causar deterioros como consecuencia de la radiación térmica o por acumulación de polvo, tanto en servicio normal como en caso de avería.
- Se montarán de manera que no puedan quemar las partes combustibles del edificio ni otros objetos combustibles; si esto no fuera posible, los elementos combustibles llevarán un revestimiento ignífugo.
- Los reóstatos y las resistencias deberán poder ser separadas de la instalación por dispositivos de corte omnipolar, que podrán ser los interruptores generales del receptor correspondiente.

8.3. Inversión de giro en motores eléctricos

Durante el funcionamiento de las aplicaciones y procesos basados en motores, ya sean trifásicos, monofásicos o de corriente continua, puede resultar necesario invertir el sentido de giro del motor. Puertas eléctricas que suben y bajan, cintas transportadoras que se desplazan a derecha e izquierda o equipos mezcladores de fluidos de dos movimientos son algunos ejemplos de estas aplicaciones.

Los métodos para realizar la inversión de giro de un motor eléctrico se exponen a continuación:

8.3.1. Inversión de giro en motores trifásicos

La inversión de giro en motores trifásicos se realiza intercambiando dos de las tres fases que suministran tensión al estator. De esta manera se invierte el sentido de giro de los campos magnéticos, y en consecuencia, el sentido de giro en el rotor.

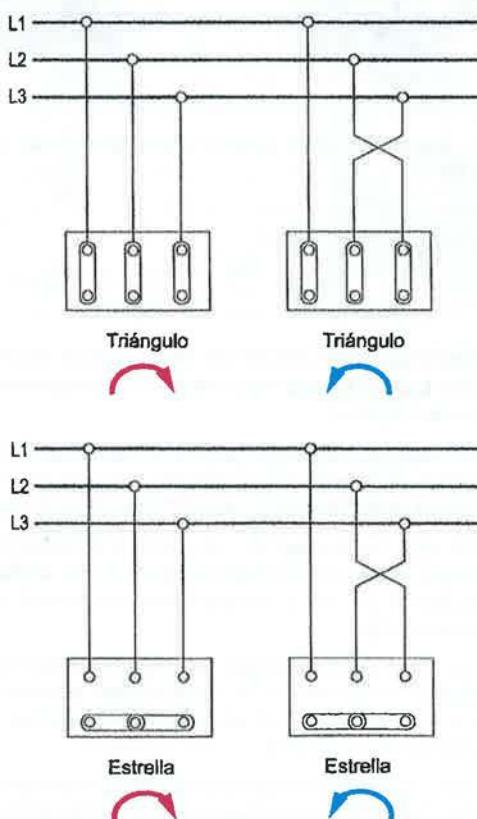


Figura 8.39. Representación de la inversión del sentido de giro en motores trifásicos.

Resulta indiferente cuáles de las fases sean las comunicadas, pero debe tenerse en cuenta que en caso de intercambiar por error las tres fases, el motor mantendría el sentido de giro original. También resulta indiferente el tipo de motor y su conexión.

El sentido de giro puede realizarse mediante lógica cableada utilizando un interruptor de tres posiciones, o bien mediante dos contactores que realicen la commutación de las fases a través de pulsadores tal como se muestra en el siguiente esquema de detalle. Los contactores, como es evidente, deben estar **enclavados** o de lo contrario podría producirse un cortocircuito franco entre fases en bornes del contactor si la maniobra no se ejecuta correctamente.

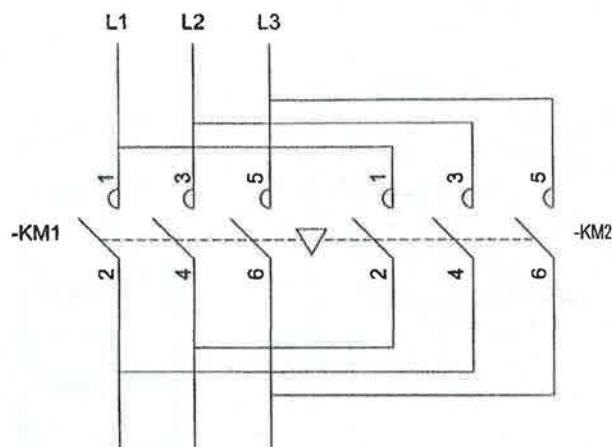


Figura 8.40. Detalle del conexionado de contactores para la inversión de giro de un motor trifásico (inversión entre L1 y L2 con enclavamiento mecánico).

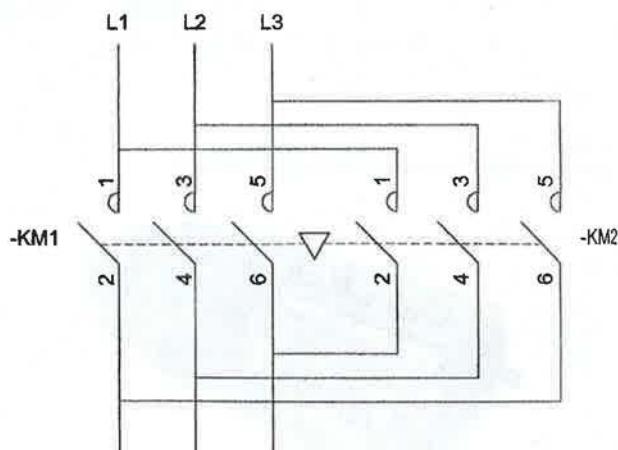
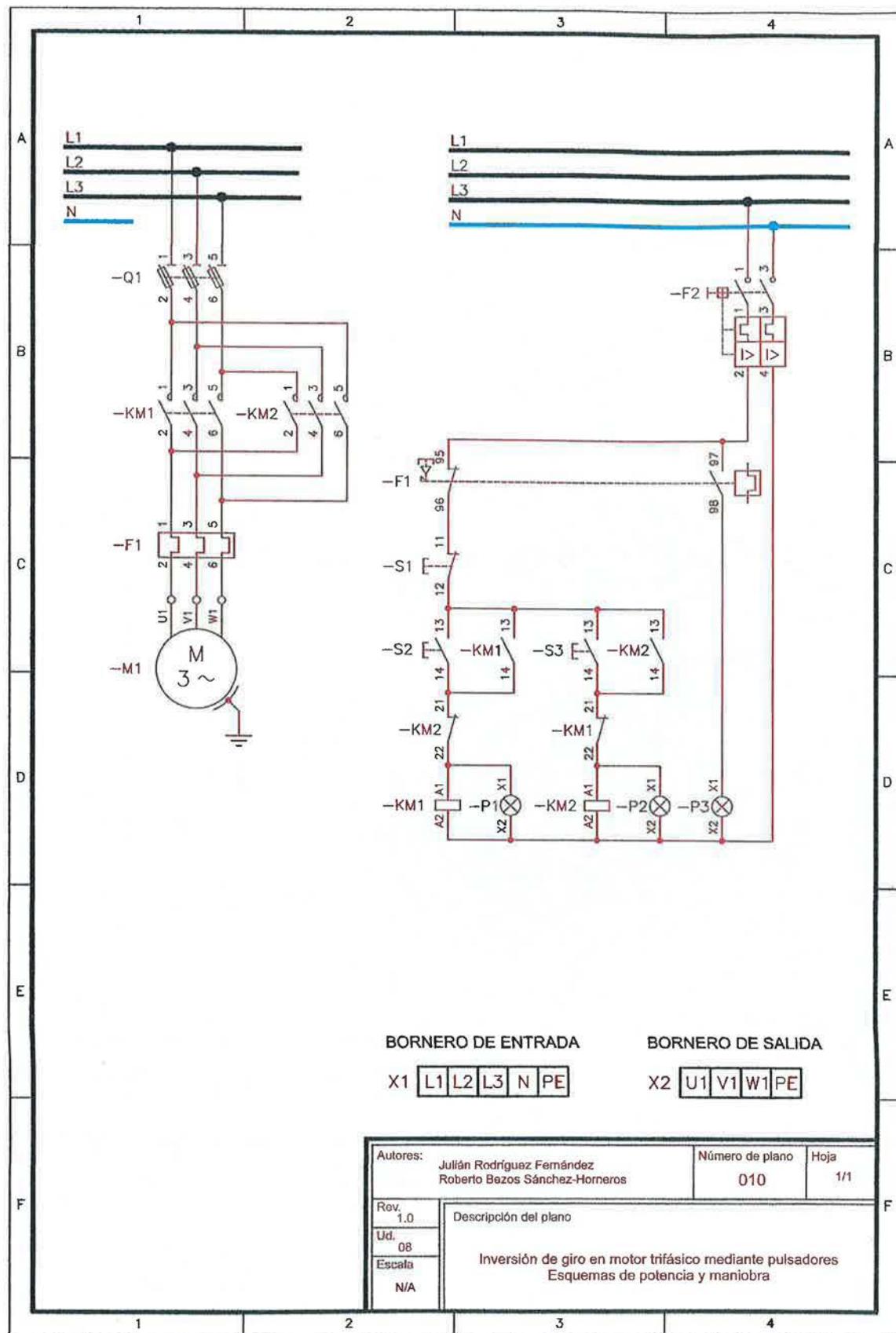
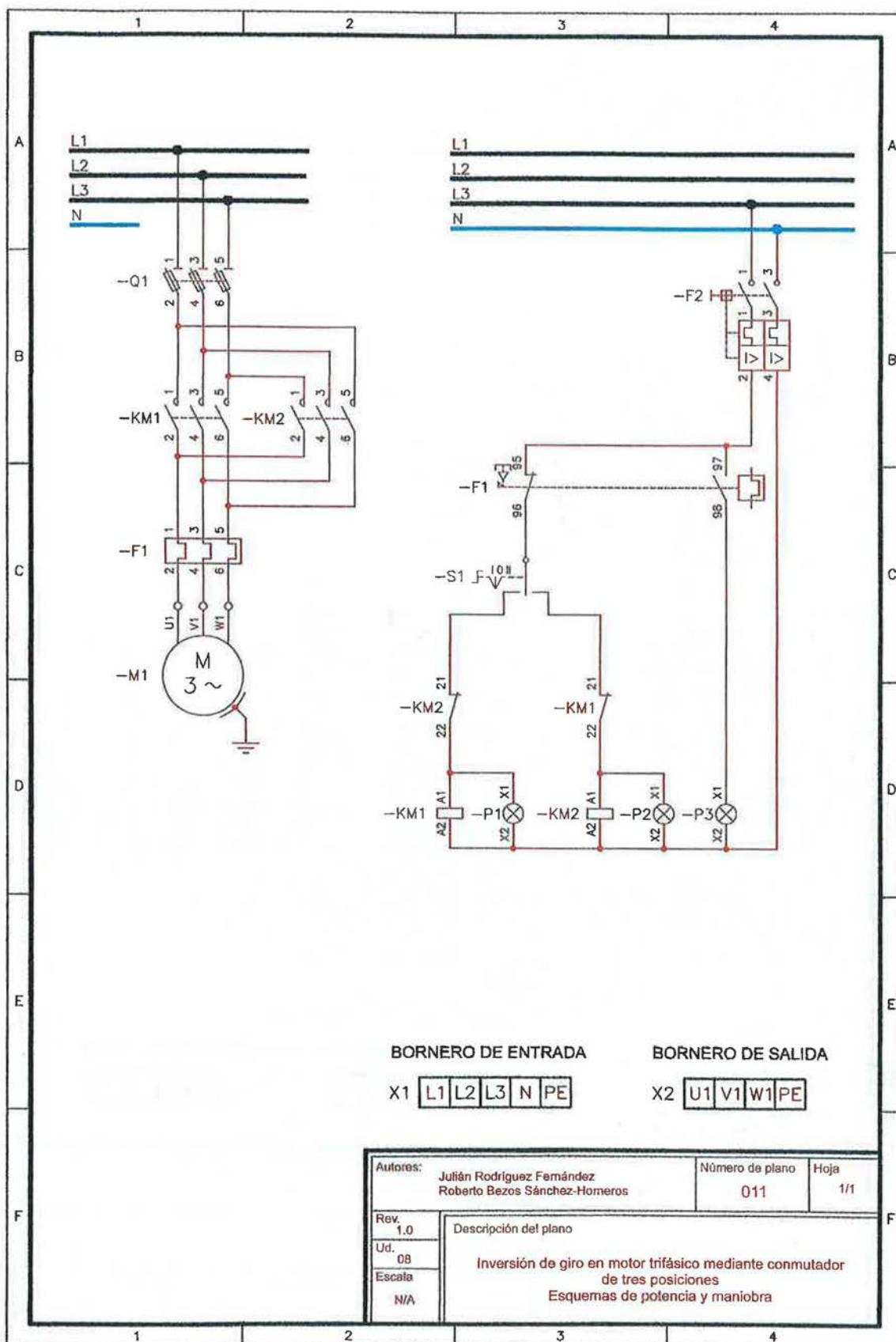


Figura 8.41. Detalle del conexionado de contactores para la inversión de giro de un motor trifásico (inversión entre L1 y L3 con enclavamiento mecánico).





8.3.2. Inversión de giro en motores monofásicos

En los motores de corriente alterna monofásicos la inversión de giro se consigue invirtiendo las dos líneas de alimentación del motor (fase por neutro).

En el caso de motores monofásicos con bobinado auxiliar de arranque, se deberán invertir los conductores de alimentación de solo **uno de los bobinados**, que generalmente corresponderá al auxiliar.

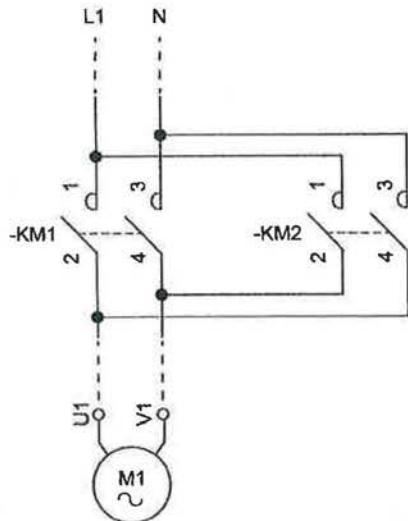


Figura 8.42. Inversión de giro de un motor monofásico.

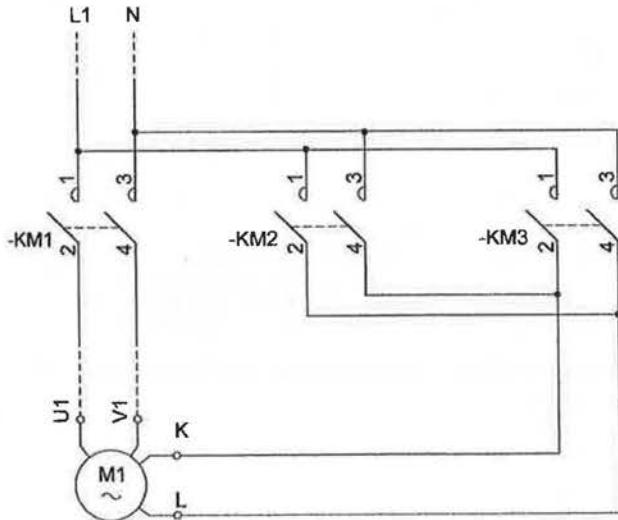


Figura 8.43. Detalle del conexionado para la inversión de giro de un motor monofásico con bobinado auxiliar de arranque.

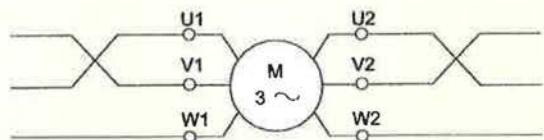
Actividad resuelta 8.2

¿Cómo recablearías un motor trifásico conectado para ser arrancado en estrella-triángulo, si quieras cambiar el sentido de giro del mismo?

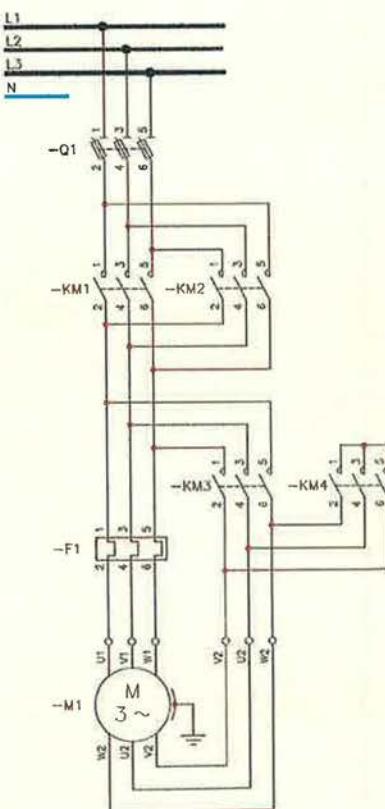
Explica la solución adoptada y realiza los esquemas de potencia y maniobra asociados al arranque estrella-triángulo con inversión de giro.

Solución:

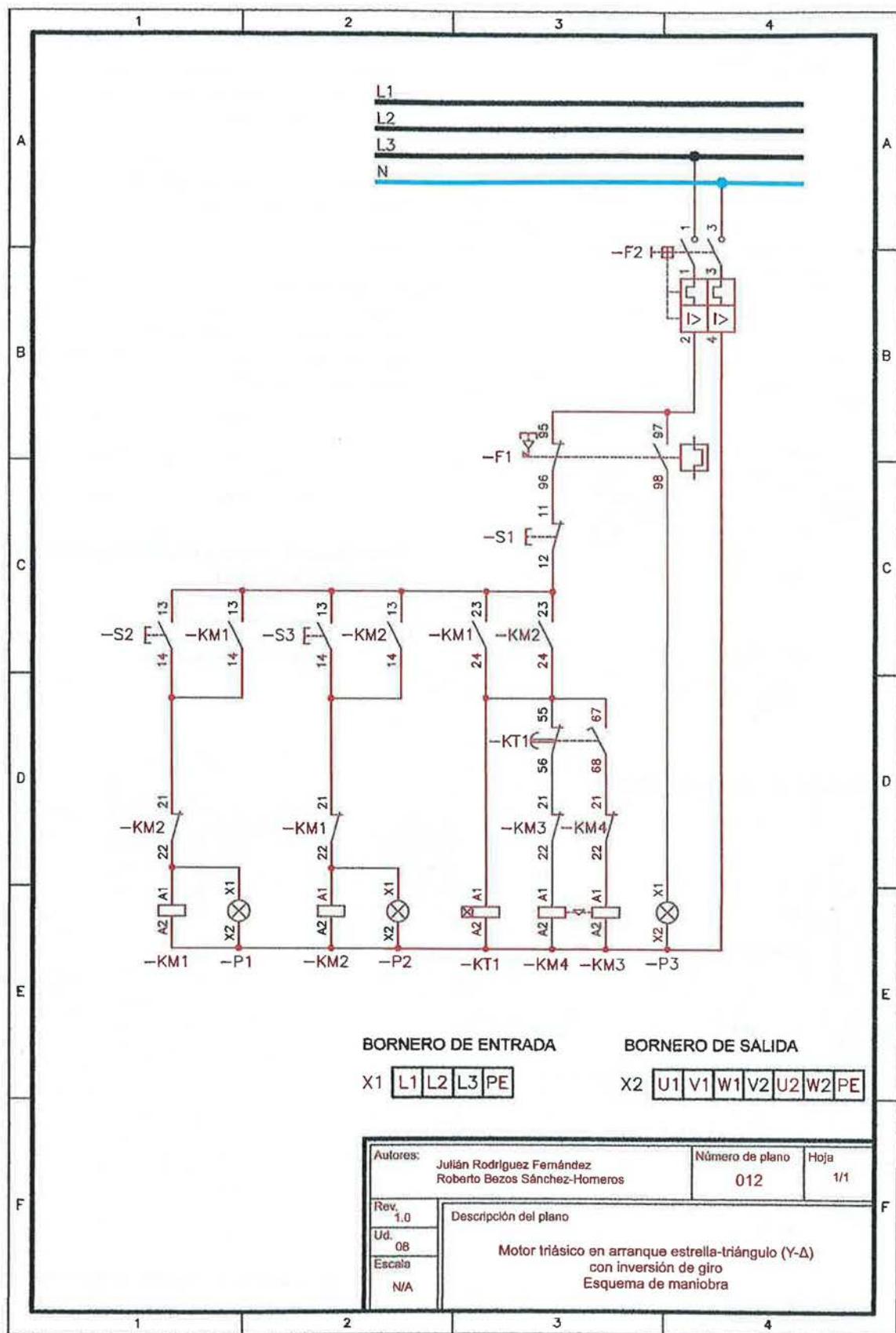
El cableado aconsejado para invertir el sentido de rotación del motor es el que se muestra a continuación. Hay que tener en cuenta que el sentido de giro debe estar invertido tanto para la conexión en estrella como para la conexión en triángulo.



El esquema de potencia completo quedaría representado de la siguiente manera:



En lo que respecta al esquema de maniobra, la solución adoptada se muestra en el Plano 012.



8.3.3. Inversión de giro en motores de corriente continua

El método teórico para llevar a cabo la inversión de giro en motores de corriente continua se basa en invertir la polaridad de la corriente que circula por los devanados del inductor o del inducido. Evidentemente, si se permuta la polaridad en ambos bobinados, el eje del motor gira en el mismo sentido.

En la práctica, lo más común y conveniente es **invertir la polaridad de las conexiones del inducido**. A continuación se muestran algunos esquemas de potencia para realizar la inversión del sentido de giro en motores de corriente continua.

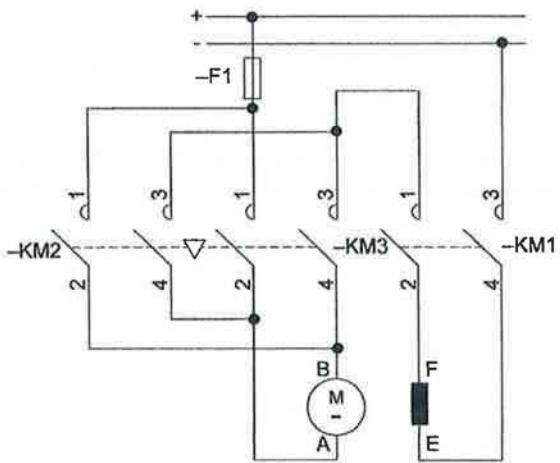


Figura 8.44. Inversión de giro en motores de CC de excitación serie.

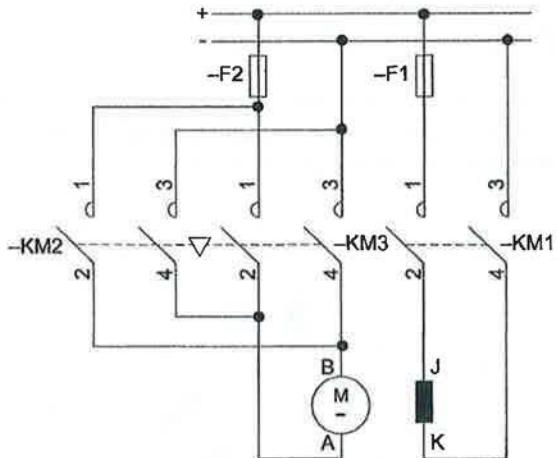


Figura 8.45. Inversión de giro en motores de CC de excitación independiente.

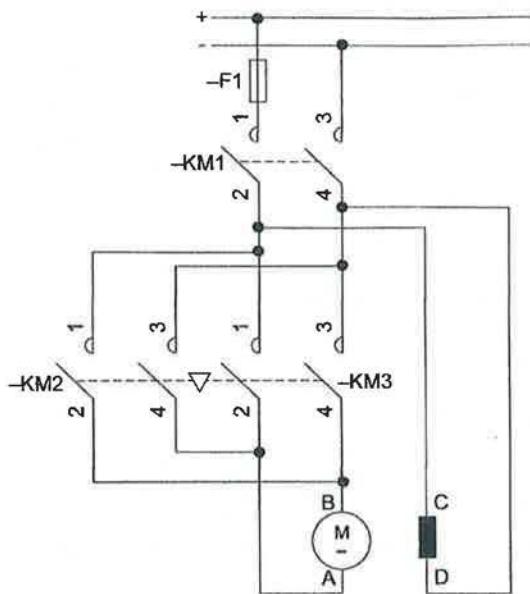


Figura 8.46. Inversión de giro en motores de CC de excitación shunt.

Actividad propuesta 8.5

Observa los circuitos de potencia mostrados para realizar la inversión del sentido giro en motores de corriente continua de excitación serie, independiente y *shunt*.

Realiza el esquema completo de maniobra asociado a estos circuitos, suponiendo que el cambio en el sentido de giro se realiza desde dos pulsadores de marcha independientes, una vez el motor ha sido detenido mediante un tercer pulsador de paro.

8.4. Sistemas de variación de velocidad en motores de corriente alterna

Puesto que la velocidad de un motor de corriente alterna, sea de tipo trifásico o monofásico, depende únicamente de la frecuencia de la red y de los pares de polos del estator, la variación de la velocidad en este tipo de máquinas estaba muy limitada hasta la aparición en el mercado de los variadores electrónicos de frecuencia.

La regulación clásica de la velocidad en este tipo de motores consiste en utilizar varios grupos de devanados internos, o un solo grupo de bobinas partidas por bornes intermedios. De hecho, hasta la revolución de la electrónica, los motores de corriente continua han sido los más utilizados para aplicaciones que requerían una regulación de la velocidad de trabajo.

SABÍAS QUE

A pesar de que los motores de corriente continua han quedado relegados a un segundo plano desde la entrada en el mercado de la electrónica de potencia, todavía se siguen utilizando en grandes máquinas que requieren un control total de la velocidad, como es el caso de algunos tranvías o trenes.

Una gran parte de los procesos y motores utilizados en las instalaciones industriales funcionan a velocidades variables. Actualmente, la regulación de la velocidad en máquinas rotativas de corriente alterna se consigue mediante alguno de estos métodos:

- Lógica cableada, entre los que destacan los motores de dos velocidades y el motor Dahlander.
- Lógica digital, con variadores electrónicos de frecuencia.

8.4.1. Motor trifásico de inducción de dos velocidades

Este tipo de motores dispone de **dos grupos de bobinas independientes** cada uno con un número de espiras diferente que hace que la intensidad de campo magnético generado sea diferente en función del grupo que sea conectado a la red.

Cada grupo de bobinas, por tanto, poseerá una velocidad distinta, que debe ser especificada por el fabricante. En función de la velocidad que se desee escoger, se alimentarán los bobinados correspondientes a uno u otro grupo de bobinas.

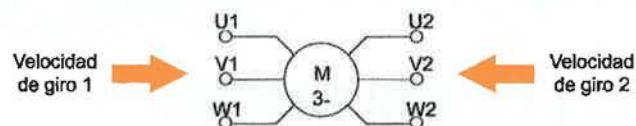


Figura 8.47. Principio de funcionamiento de un motor de dos velocidades.

Como es obvio, no resulta posible alimentar los dos grupos de bobinas del motor de manera simultánea, puesto que esto provocaría casi con total seguridad daños irreversibles en la máquina. Para evitar que esto suceda de manera accidental, las maniobras entre contactores deben estar enclavadas.

8.4.2. Motor trifásico de inducción tipo Dahlander

Un motor trifásico en conexión Dahlander, posee la característica especial de poder trabajar en dos velocidades nominales distintas con **un único grupo de bobinas**. Esto se consigue dividiendo cada uno de los devanados por la

mitad y sacando de ese punto intermedio tres bornes, lo que equivale a dividir los polos por la mitad. Al tener la mitad de polos, el motor girará al doble de velocidad, por lo que **las dos velocidades del motor Dahlander siempre serán una el doble que la otra**.

La conexión del motor en la velocidad lenta consiste en alimentar únicamente los extremos de las bobinas (U1-V1-W1).

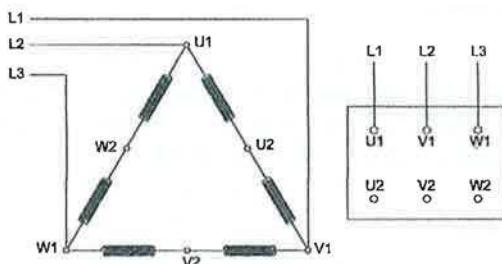


Figura 8.48. Representación de las conexiones del motor Dahlander en velocidad lenta.

Las conexiones del motor para la velocidad rápida consisten, por un lado, en alimentar las bobinas por la parte central de las mismas (U2-V2-W2), y por otro lado, en cortocircuitar en forma de estrella los extremos (U1-V1-W1).

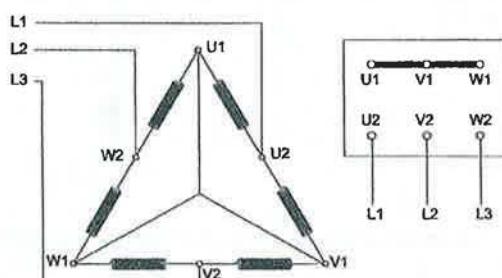


Figura 8.49. Representación de las conexiones del motor Dahlander en velocidad rápida.

Con la velocidad rápida, el circuito equivalente resultante sería el que se muestra a continuación, con el número de pares de polos reducido a la mitad.

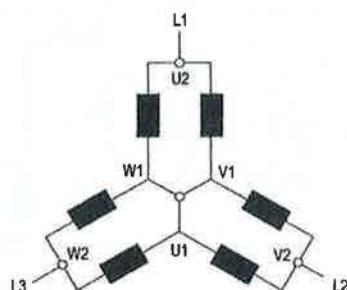
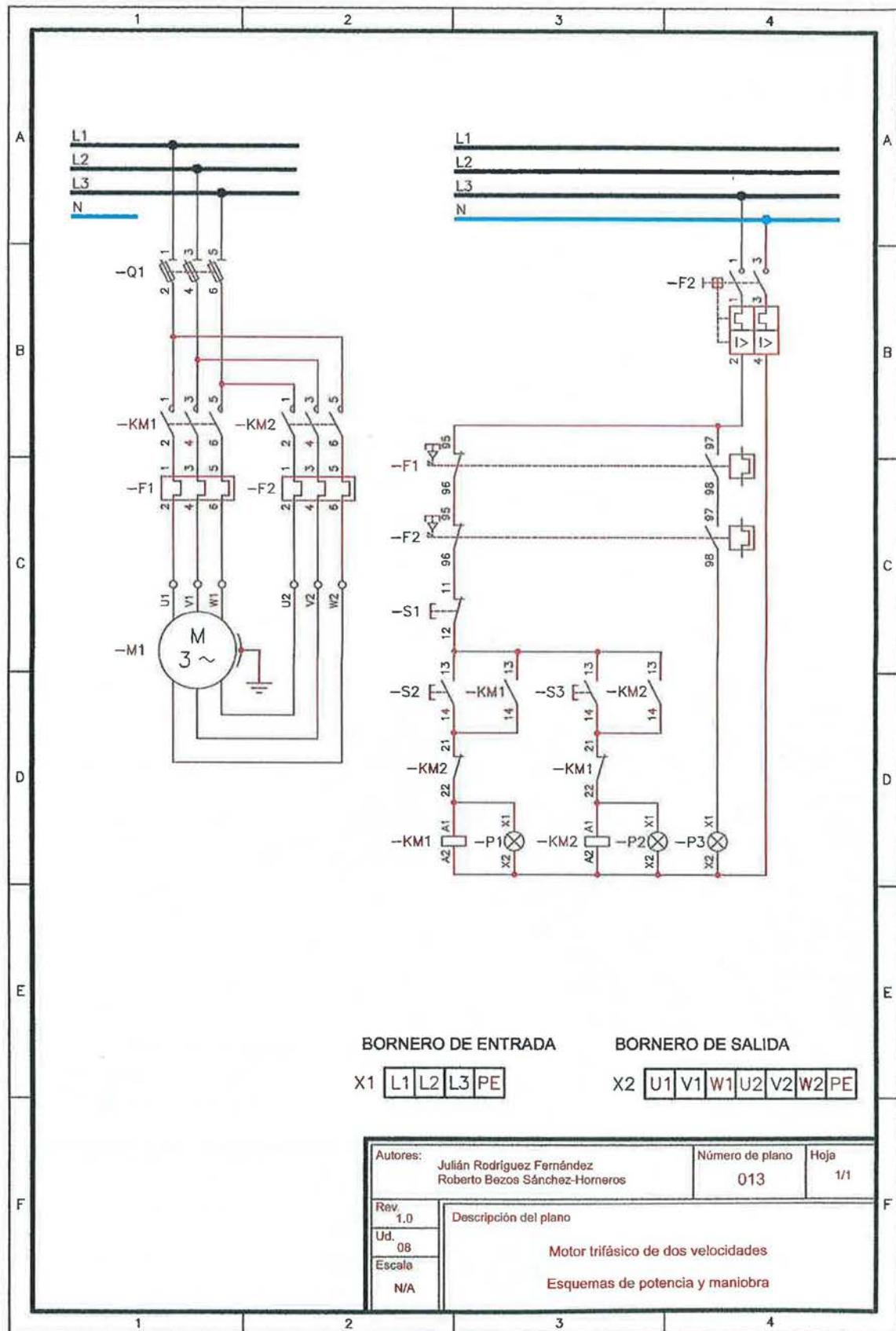
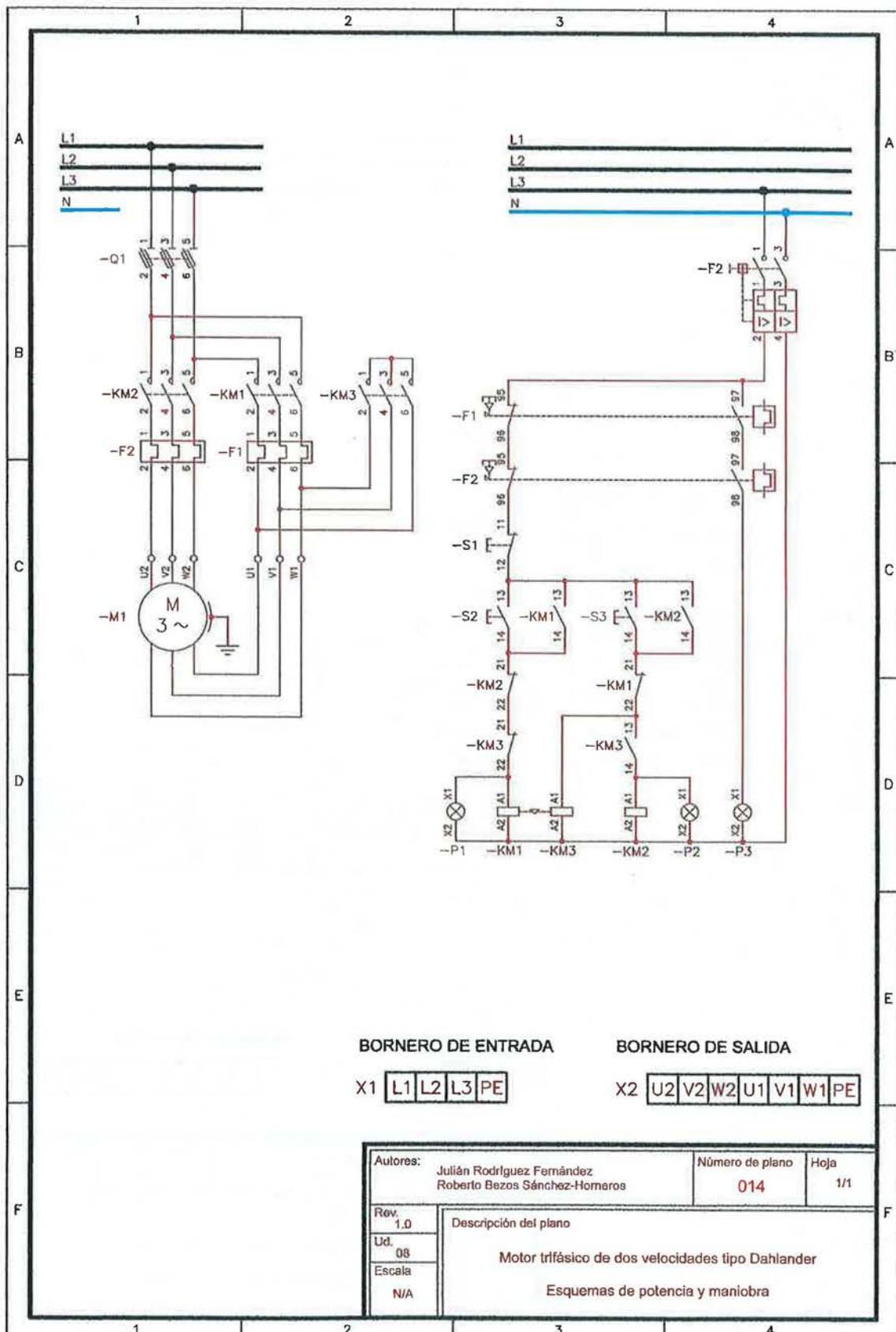


Figura 8.50. Circuito equivalente de los bobinados en velocidad rápida.





8.4.3. Variadores de frecuencia. Regulación electrónica de la velocidad

Dado que la velocidad de un motor de corriente alterna depende directamente de la frecuencia, los sistemas y accionamientos de velocidad variable han estado desde siempre asociados a los motores de corriente continua, ya que su control resulta más sencillo, dejando relegados a los motores de corriente alterna a trabajos y aplicaciones de velocidad constante.

La aparición a nivel industrial de los componentes electrónicos de potencia, sin embargo, ha hecho llegar en la actualidad a la fabricación de equipos capaces de controlar la velocidad de las máquinas de corriente alterna, modificando la frecuencia de entrada al motor. Este hecho, unido al difícil y costoso mantenimiento asociado a los motores de corriente continua, ha propiciado que en la actualidad la mayoría de los procesos y aplicaciones que requieren variaciones de velocidad estén gobernados por variadores electrónicos de frecuencia (también llamados convertidores de frecuencia) asociados a motores alimentados en corriente alterna.



Figura 8.51. Variadores de velocidad para motores CA de pequeña potencia. (Cortesía de Siemens.)



Figura 8.52. Variador de velocidad para motores CA de alta potencia. (Cortesía de Mitsubishi.)

El principio de funcionamiento de la mayoría de los variadores de velocidad electrónicos para motores de corriente alterna monofásicos y trifásicos, se basa en la denominada técnica de modulación por anchura de pulsos (PWM), mediante la cual se modifica la frecuencia de entrada al motor.

Para realizar esta tarea, utiliza dispositivos electrónicos tales como diodos, rectificadores, onduladores, transistores y filtros pasivos, que básicamente, se encargan de transformar una onda de corriente alterna en corriente continua, *troceárla* en ciclos por impulsos y volver a transformarla en una onda de corriente alterna. El número de ciclos por segundo obtenidos equivale a la nueva frecuencia.

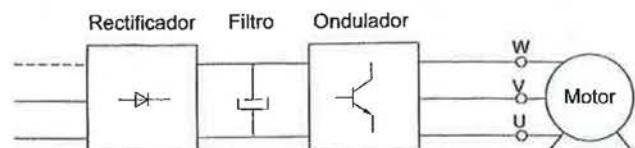


Figura 8.53. Principio de funcionamiento de un variador de velocidad.

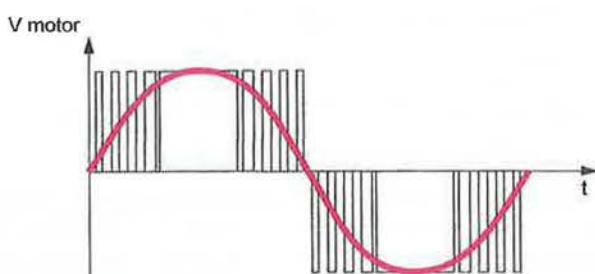


Figura 8.54. Onda de corriente alterna obtenida a partir del corte por medio de impulsos de la tensión rectificada.

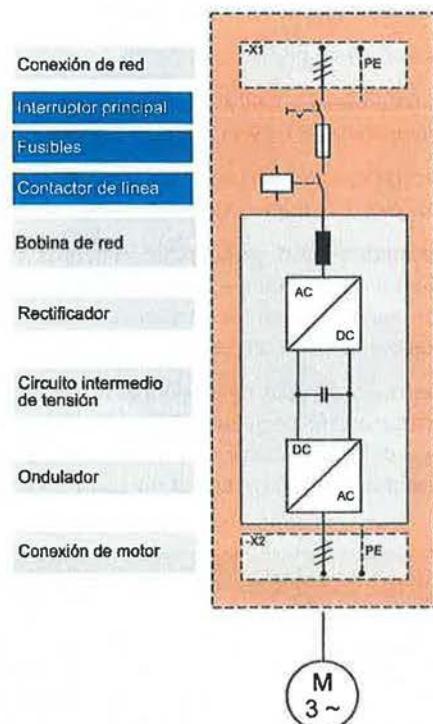


Figura 8.55. Detalle esquemático de un convertidor de frecuencia integrado en un cuadro eléctrico.

Los convertidores de frecuencia, además de poder regular la velocidad de los motores, generalmente tienen otras funciones integradas para llevar a cabo el control de estas máquinas:

- Función de arrancador electrónico.
- Control y variación de **aceleración**.
- Control y variación de **velocidad**.
- Función de **frenado** o deceleración de motor.
- Regulación de la intensidad de arranque.
- Control del par motor.
- Comutación de máquina (control de marcha/paro).
- Rearme a distancia.
- Indicador de la carga del motor.
- Función de histórico y monitorización.
- Protección frente a cortocircuitos y sobrecargas.
- Seccionamiento de la red de alimentación.

La principal desventaja de los convertidores de frecuencia con respecto a los métodos de variación de la velocidad basados en lógica cableada es su elevado precio, la necesidad de programación y el hecho de que generan armónicos y perturbaciones a la red durante su funcionamiento. Sin embargo, las ventajas que ofrecen son numerosas, como por ejemplo:

- Control sencillo de la velocidad.
- Mínimo coste de mantenimiento.
- Ahorro de energía al poder definir cuándo la máquina deja de trabajar o cuándo reduce la velocidad.
- Mejora de la calidad en los procesos al poder realizar arranques y frenados suaves.

Los variadores de frecuencia tienen sus principales aplicaciones en máquinas y cintas transportadoras, ventiladores, bombas, aparatos elevadores, prensas mecánicas, compresores y un largo etcétera.

La conexión de este tipo de dispositivos, al igual que ocurría en el caso de los arrancadores electrónicos, depende del modelo y del fabricante, por lo que será necesario consultar la hoja de características del variador en cada caso.



SABÍAS QUE

También resulta posible variar la velocidad de los motores de corriente continua utilizando variadores electrónicos. No obstante, para motores CC de media y baja potencia, el método más utilizado de regulación de velocidad consiste en intercalar un reóstato en el circuito que limite la intensidad de alimentación. A menor intensidad, menor velocidad de giro.

8.5. Frenado de motores eléctricos

En todos los esquemas y circuitos analizados hasta este punto, la parada del motor alimentado por el automatismo se realiza por deceleración de manera natural, es decir, una vez se deja de suministrar energía al estator del motor, este sigue girando por inercia y reduce la velocidad poco a poco hasta que se detiene por el efecto del rozamiento mecánico y del par resistente.

En determinados procesos industriales, sin embargo, puede resultar necesario controlar el frenado de un motor, ya sea de manera **gradual controlada** o **inmediata por bloqueo**. Para estas aplicaciones será necesario disponer de sistemas automatizados de frenado, de entre los que destacan los mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 8.6. Tipos de frenado de máquinas eléctricas rotativas.

Motores sincronos	Frenado regenerativo	
	Frenado por contracorriente	
	Frenado dinámico	Frenado regenerativo
		Frenado reostático
Motores asincronos	Frenado por contracorriente	
	Frenado por inyección de corriente continua	
	Frenado electromecánico	

El frenado de tipo dinámico es más utilizado para los motores eléctricos que mueven máquinas de tracción, como las locomotoras o los coches híbridos. Consiste en reducir la velocidad del motor utilizándolo como generador. Si la energía generada se disipa en forma de calor en una resistencia será de tipo reostático y si la energía se devuelve a la red o se almacena en baterías eléctricas, será de tipo regenerativo.



SABÍAS QUE

En la Fórmula 1 se utiliza el término **KERS** para referirse a un dispositivo que aprovecha la energía almacenada durante el frenado regenerativo del vehículo.

En las instalaciones de automatismos industriales, los sistemas de frenado de motores más utilizados son el frenado por contracorriente, el frenado por inyección de corriente continua y el frenado electromecánico. Estos sistemas de frenado pueden estar gobernados por automatismos basados en lógica cableada o por sistemas electrónicos como los variadores de frecuencia. A continuación se definen las características más importantes de los mismos.

8.5.1. Frenado por contracorriente

El método de frenado por contracorriente consiste en reconnectar el motor a la red eléctrica en sentido de giro inverso, mientras sigue en movimiento tras haber sido desconectado. De esta manera se consigue un par opuesto al funcionamiento del motor que produce la frenada.

Se trata de un método muy eficaz, pero es necesario disponer de dispositivos que controlen la velocidad del motor para que se detenga con la antelación suficiente, evitando que comience a girar en sentido contrario. Algunos de estos dispositivos son los detectores de parada de fricción, detectores de parada centrífugos, dispositivos cronométricos o tacómetros.

Si este tipo de frenado se ejecuta mediante lógica cableada, el circuito de fuerza es similar a los ya estudiados para realizar la inversión del sentido de giro de los motores asíncronos y el circuito de maniobra difiere en que se debe utilizar un pulsador de doble cámara para realizar el paro y activar el sistema de contracorriente.

Existe una variante de este método que se denomina **frenado por contracorriente suavizado**, y consiste en añadir un grupo de resistencias estatóricas para reducir los efectos bruscos que produce la inversión. Este es el método más utilizado en la práctica, ya que el frenado por contracorriente normal puede llegar a provocar daños en la máquina.

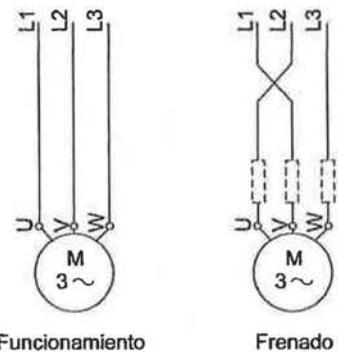


Figura 8.56. Principio de funcionamiento del frenado por contracorriente.

En automatismos de lógica cableada, la fuente de corriente continua suele obtenerse conectando un equipo específico (compuesto por un rectificador y un transformador) a dos de las tres fases de alimentación del motor a través de dos grupos de contactores.

La principal ventaja que ofrece este método con respecto al frenado por contracorriente radica en que no es necesario controlar que el motor vuelva a arrancar en sentido contrario. Además, con los variadores y arrancadores electrónicos actuales, esta posibilidad de frenado se ofrece por defecto.

8.5.3. Frenado electromecánico

El frenado electromecánico es un sistema aplicable a motores de pequeña y mediana potencia, que consiste en alimentar temporalmente un electrofreno que detendrá el eje del motor por rozamiento a través de una zapata, muelle, tambor o disco.

Cuando se aplica este sistema mediante lógica cableada los circuitos de potencia y maniobra son similares a los de un arranque directo. En estado de reposo o parada, el electrofreno bloquea el eje del motor y en el momento que se activa el contactor principal se alimenta el motor y el electrofreno se retira.



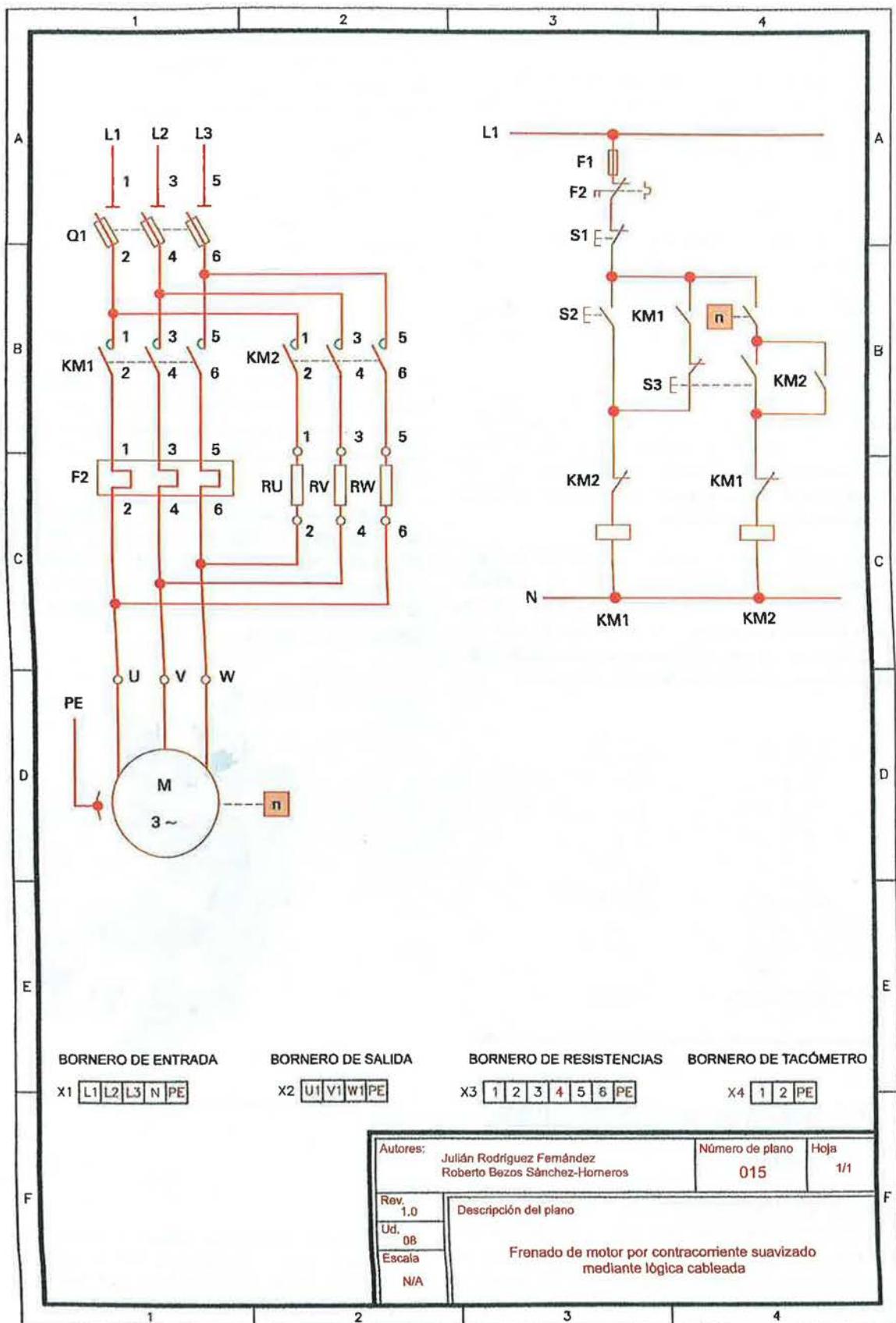
Figura 8.57. Representación de un electrofreno.

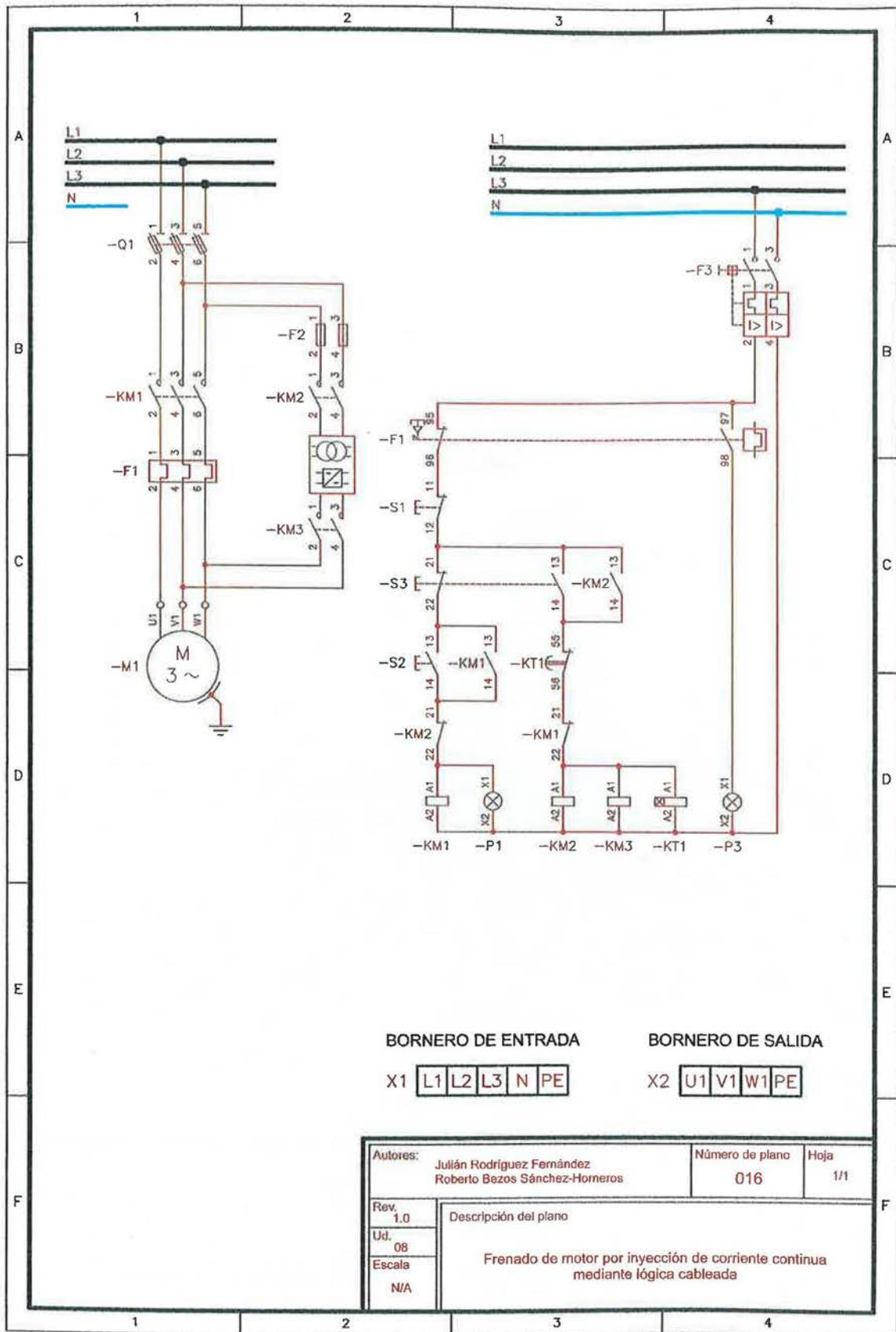
8.5.2. Frenado por inyección de corriente continua

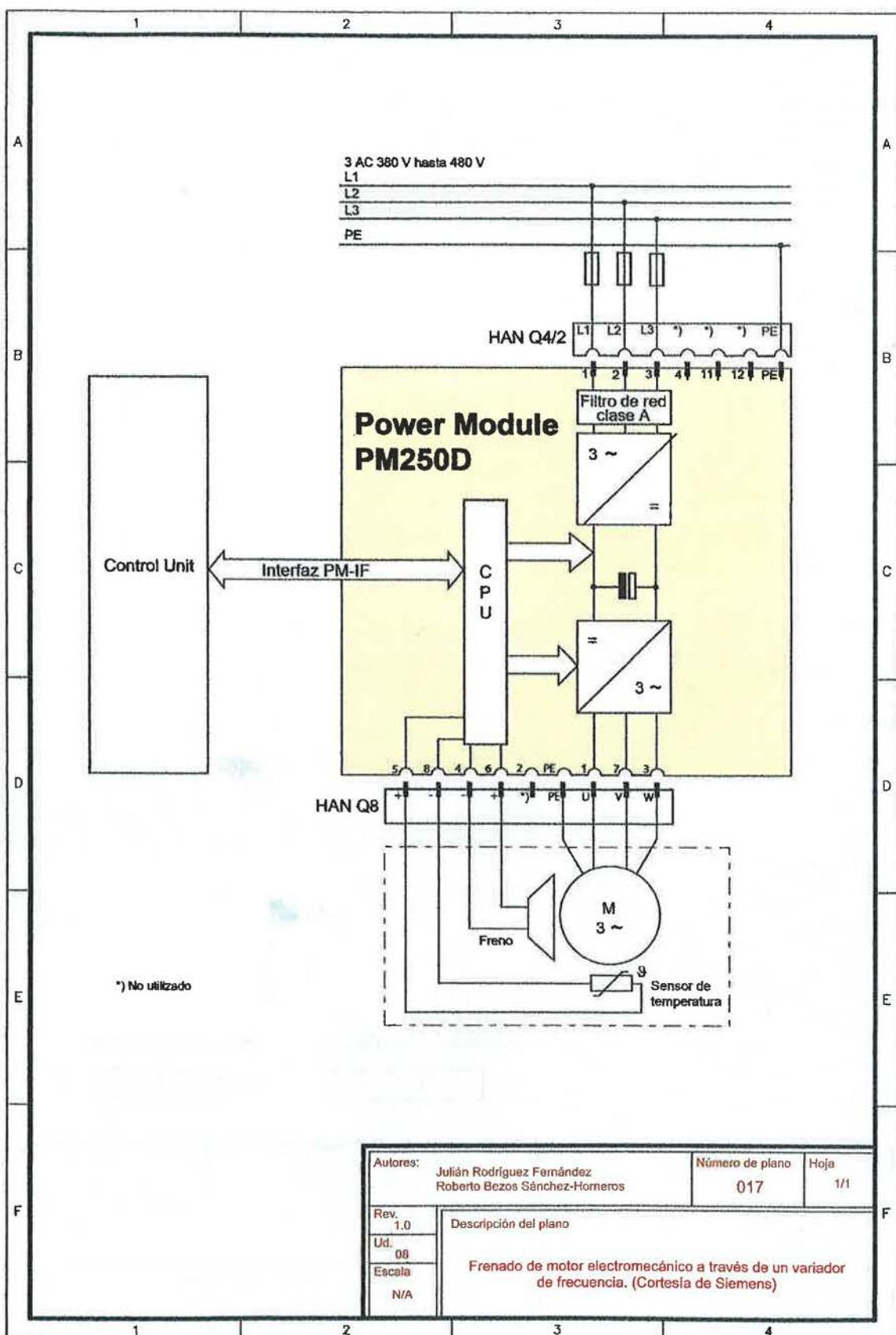
Este sistema de frenado consiste enviar corriente continua rectificada al estator del motor, una vez ha sido desconectado de la red, generando un campo magnético que acaba bloqueando el rotor. El valor de corriente debe equivaler aproximadamente a 1,3 veces la corriente nominal de funcionamiento.

SABÍAS QUE

Existen otros sistemas de frenado muy poco utilizados en la actualidad, como son el frenado monofásico, que consiste en alimentar el motor por las dos fases de la red. O el frenado por ralentizador de corrientes de Foucault.







8.6. Compensación automática del factor de potencia

En la mayoría de las industrias, la compensación del factor de potencia de la instalación eléctrica se realiza de manera automática mediante baterías de condensadores controladas por contactores.

El uso de baterías de condensadores automáticas se basa en monitorizar permanentemente, mediante un dispositivo de medida similar a un analizador de red, el factor de potencia de la instalación, y conectar el número de baterías necesarias para compensarlo en todo momento hasta un valor resistivo (cercano a $\cos \varphi = 1$). De esta manera se garantizan las condiciones óptimas de la instalación en lo que a demanda de energía reactiva se refiere, pero además se garantiza que en ningún momento la energía absorbida por la red sea capacitiva, tal como especifica el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

SABÍAS QUE

Las baterías de condensadores automáticas normalmente se ubican en la cabecera de la instalación en el embarrado del cuadro general de baja tensión (CGBT) de la instalación.

Un equipo de compensación automática de energía reactiva debe ser capaz de adecuarse a las variaciones de potencia reactiva de la instalación para conseguir mantener el factor de potencia deseado. Estos sistemas están constituidos por tres elementos fundamentales:

- **Regulador:** calcula el factor de potencia de la instalación y da las órdenes a los contactores para conectar los distintos escalones. Para obtener este dato, se encarga de medir y monitorizar la lectura de intensidad (mediante un transformador de intensidad), la tensión y el consumo.
- **Contactores:** conectan los distintos condensadores que configuran la batería. El número de escalones que es posible disponer en un equipo de compensación automática depende de las salidas que tenga el regulador.
- **Baterías de condensadores:** aportan la energía reactiva a la instalación. Suelen estar formadas por grupos de tres condensadores conectados en triángulo.

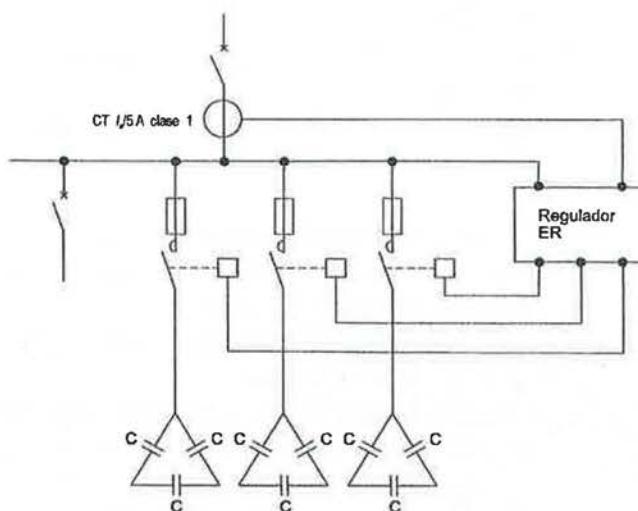


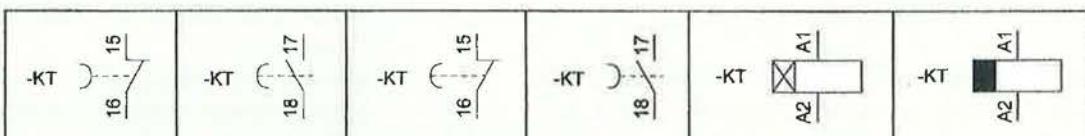
Figura 8.58. Compensación automatizada de energía reactiva mediante baterías de condensadores.

Actividades de comprobación

- 8.1.** ¿Cómo se consigue invertir el sentido de giro de un motor asíncrono trifásico de rotor en cortocircuito?
- Invirtiendo la polaridad del devanado rotórico.
 - Invirtiendo tres de las fases del devanado estatórico.
 - Invirtiendo dos de las fases del devanado estatórico.
- 8.2.** El arranque directo de un motor tiene como principal ventaja:
- Que su intensidad de arranque es muy alta, lo que favorece a la potencia.
 - Que su par de arranque es muy alto, lo que favorece a la fuerza inicial.
 - Que su tiempo medio de arranque es muy alto, lo que facilita un arranque progresivo.
- 8.3.** En el arranque mediante resistencias rotóricas:
- Buscamos aumentar la intensidad de arranque, al disminuir la resistencia del circuito.
 - Buscamos aumentar el par de arranque, al compensar el rotor de forma resistiva.
 - Buscamos disminuir la intensidad de arranque, al aumentar la resistencia del circuito.
- 8.4.** En el arranque mediante autotransformador:
- Buscamos aumentar la intensidad de arranque, al disminuir la tensión inicial.
 - Buscamos disminuir la intensidad de arranque, al disminuir la tensión inicial.
 - Buscamos disminuir la intensidad de arranque, al insertar más bobinados en el estator.
- 8.5.** Con un motor de dos velocidades en conexión Dahlander, podemos obtener:
- Dos velocidades cualesquiera.
 - Dos velocidades, una el doble que la otra.
 - Hasta cuatro velocidades, si lo conectamos en triángulo.
- 8.6.** ¿En qué tipo de frenado resulta necesario utilizar un rectificador?
- Frenado por electrofreno.
 - Frenado por inyección de corriente continua.
 - Frenado por contracorriente.
- 8.7.** En el arranque directo de un motor trifásico con rotor de jaula de ardilla, cuyas características nominales de tensión son: 690 V/1.200 V, podemos conectarlo en estrella:
- A una red trifásica de 690 V.
 - A una red trifásica de 1.200 V.
 - A una red trifásica de 1.200 V o 690 V, según hagamos la conexión.
- 8.8.** Si en el motor del apartado anterior queremos realizar un arranque estrella-triángulo, ¿a qué red debemos conectarlo?
- A una red trifásica de 690 V.
 - A una red trifásica de 1.200 V.
 - A una red trifásica de 1.200 V o 690 V, según hagamos la conexión.
- 8.9.** ¿A qué hacen referencia las siglas PWM?
- A un sistema de frenado reostático.
 - A un sistema de variación de la frecuencia.
 - A un sistema electrónico para la inversión de giro.
- 8.10.** ¿Hasta cuánto se reduce aproximadamente la intensidad en un arranque estrella-triángulo con respecto a la intensidad en arranque directo?
- Hasta 1/2.
 - Hasta 1/3.
 - Hasta 2/3.
- 8.11.** ¿En cuál de los siguientes sistemas de automatismos industriales no resultaría necesario utilizar enclavamiento entre ninguno de sus contactores?
- Inversión de giro de un motor trifásico.
 - Motor de dos velocidades.
 - Ninguna opción es correcta.
- 8.12.** Las sondas térmicas diseñadas para ser acopladas al motor tras la fabricación, ya que no son introducidas de serie, se denominan:
- TNC.
 - CTN.
 - NTC.

Actividades de aplicación

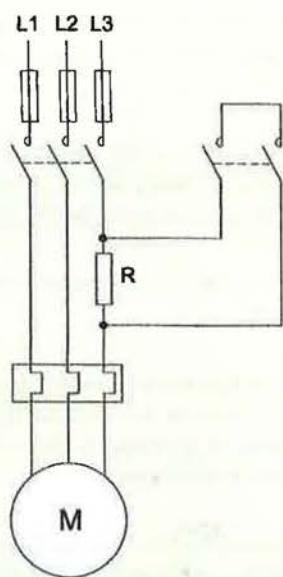
- 8.1. Según el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en un motor de corriente alterna de 8.200 W, ¿cuál es la máxima relación posible entre la intensidad nominal y la intensidad en el arranque?
- 8.2. Según el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, en un motor de corriente continua de 8.200 W, ¿cuál es la máxima relación posible entre la intensidad nominal y la intensidad en el arranque?
- 8.3. ¿En cuál de los siguientes motores no se podría realizar un arranque mediante resistencias rotóricas?
- En un motor de rotor bobinado.
 - En un motor de rotor accesible.
 - En un motor de rotor en cortocircuito.
- Justifica todas las respuestas.
- 8.4. ¿Cuál es el componente fundamental de un arrancador electrónico? ¿Cuál es su función?
- 8.5. ¿Qué es un guardamotor? Define sus principales características.
- 8.6. Explica brevemente qué es una sonda térmica PTC, definiendo sus características fundamentales. ¿Dónde se ubican este tipo de sondas?
- 8.7. Según el vigente Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002), en general, ¿a partir de qué potencia a un motor trifásico no se le puede realizar un arranque directo?
- 8.17. Identifica los siguientes elementos:



Casos prácticos

- 8.1.** Existe un método de arranque de motores eléctricos trifásicos que se puede considerar como un paso intermedio entre el arranque por autotransformador y el arranque por resistencias estáticas. Se denomina arranque en Kusa, y consiste en colocar una sola resistencia en una de las tres fases, cuyo valor ohmico suministra el fabricante del motor.

A continuación se muestra el esquema de potencia asociado a este arranque:



Analiza el circuito y responde a las siguientes cuestiones:

- ¿Qué ventajas e inconvenientes crees que puede tener este tipo de arranque?
 - ¿En qué motores crees que se utiliza?
 - Identifica los componentes representados en el esquema, explica brevemente su función y realiza el marcado de los mismos.
 - Realiza el esquema de maniobra asociado al esquema expuesto.
- 8.2.** Realiza el esquema de potencia y maniobra completo para la inversión de giro de un motor de corriente continua de excitación compound o compuesta.

- 8.3.** Realiza el esquema de potencia y maniobra completo para un motor trifásico de rotor bobinado mediante resistencias rotóricas de cuatro tiempos (es decir, con tres bloques resitivos), que deberán ir siendo cortocircuitados de manera automática mediante contactores cada 3 segundos.

- 8.4.** Realiza el esquema de potencia y maniobra completo para la inversión de giro de un motor de corriente alterna monofásico mediante pulsadores. Los contactores utilizados deberán ser de dos polos y el relé térmico de tres polos.

- 8.5.** Diseña un automatismo industrial basado en lógica cableada para realizar el arranque de un motor III de inducción cortocircuitando la protección térmica en el arranque mediante contactores.

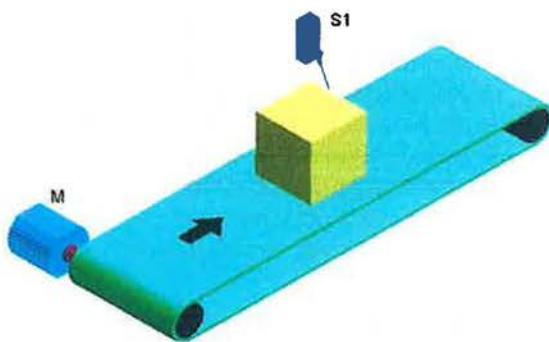
- 8.6.** La tabla que se muestra a continuación contiene un resumen de la información que aparece en la placa de características de tres motores distintos:

	Motor A		Motor B		Motor C	
50 Hz	133/230 V	50 Hz	400/690 V	50 Hz	230/400 V	
7,5 kW	26,3/12,1 A	18,5 kW	32,5/18,8 A	5,5 kW	22,5/13 A	
$\cos \varphi =$ 0,82	1.455 rpm	$\cos \varphi =$ 0,91	2.940 rpm	$\cos \varphi =$ 0,73	750 rpm	

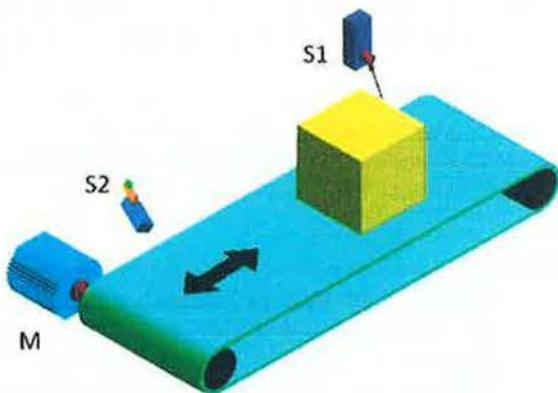
Si disponemos de una red trifásica de 50 Hz y 400 V de tensión de línea:

- ¿Cuáles de los tres motores podrían arrancarse mediante el método estrella-tríangulo? Justifica la respuesta.
- Indica la intensidad a la que habría que ajustar las protecciones (térmicas y magnéticas) del arrancador estrella-tríangulo para el motor o motores seleccionados.
- Al poner en marcha el motor, se ha detectado que gira en sentido contrario al deseado. Describe el proceso que habría que llevar a cabo para corregir el problema.

- 8.7. Diseña un esquema de maniobra para que el objeto de la figura se detenga al llegar al interruptor de posición S1 y, transcurridos unos segundos, reanude su movimiento.



- 8.8. Diseña el esquema de potencia y el esquema de maniobra correspondientes al proceso industrial representado en la figura.



El funcionamiento es el siguiente:

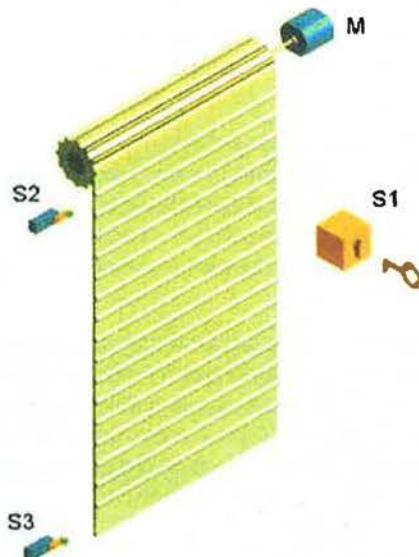
Al pulsar el botón de marcha, el objeto de la figura avanza desde el principio de la cinta (donde se encuentra ubicado el motor) hasta llegar al mecanismo final de carrera S1, donde se detiene. Transcurridos unos segundos, el objeto reanuda su movimiento en dirección contraria hasta llegar a la posición en la que el sensor S2 lo detecta y detiene el sistema.

- 8.9. Realiza el esquema de fuerza y maniobra para el arranque de dos motores trifásicos. El funcionamiento debe ser el siguiente:

- Al pulsar marcha (S2) arranca el primer motor (M1) y transcurrido un tiempo arranca el segundo motor (M2).
- Al pulsar paro, se paran inmediatamente los motores.
- Los motores estarán protegidos mediante disyuntor motor.

- Ante cualquier avería en algún motor, ninguno funcionará.
- Se señalizará (H1 y H2) cuando está funcionando cada motor, además se señalizará (H3) cuando se produce un disparo en alguna protección.
- Una vez arrancados los dos motores, el temporizador se desconectará de la red eléctrica.

- 8.10. Se pretende diseñar un circuito de mando que, aplicado a un inversor de giro, permita automatizar una puerta eléctrica. Para ello se dispone de un pulsador de marcha (S1) y dos interruptores de posición (S2 y S3) que detectan cuándo la persiana llega a la posición superior o inferior respectivamente.



La puerta debe subir al accionar S1, parar al llegar a la posición superior S2 y, después de 45 segundos, bajar automáticamente y detenerse en la posición inferior S3. Como medida de seguridad, si durante el proceso de bajada alguien pasa por debajo de la puerta, activándose S3, el automatismo debe hacer que la puerta vuelve a subir automáticamente.

- 8.11. Dibuja el esquema de fuerza y maniobra para una máquina compuesta por dos motores trifásicos que se mueven en sentidos opuestos (cuando M1 tiene giro directo M2 tiene giro inverso y viceversa). El funcionamiento es el siguiente:

- Al pulsar S2, M1 gira en sentido directo y M2 en sentido inverso.
- Al pulsar S3, M1 gira en sentido inverso y M2 en sentido directo.
- Con un pulsador de paro (S1) se detiene todo el sistema.

- Las protecciones constan de un seccionador fusible (Q1) que protege a ambos motores además de un relé térmico por cada motor.
 - Ante cualquier problema, se para todo el sistema. Debe quedar señalizado el sentido de funcionamiento de la maquinaria.
- 8.12.** El motor eléctrico de una máquina se pone en marcha al accionar un pulsador (S2) y gira en sentido directo durante 30 segundos, al cabo de los cuales invierte su sentido y permanece así hasta que se pulsa paro (S1). Como elementos de protección cuenta con un disyuntor magnético (Q1) y relé térmico (F1). Si se dispara el relé térmico, el sistema se para.
Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado al proceso detallado, señalizando cuándo la máquina está en marcha (H1) y cuándo ha saltado el térmico (H2).
- 8.13.** Realiza el esquema de un arranque estrella-tríángulo para un motor trifásico, el cual se pueda arrancar desde dos posiciones (S3 y S4) y parar desde una (S1), además, contará con un paro de emergencia. Señaliza en qué fase del arranque se encuentra el motor.
- 8.14.** Realiza el esquema de fuerza y maniobra del arranque de un motor trifásico mediante autotransformador, el cual una vez arrancado funcione durante un tiempo de 25 segundos. Dota al motor con protección. Señaliza cuándo el motor está en fase de arranque (H1) y cuándo ya ha arrancado (H2).
- 8.15.** Realiza el esquema del arranque de un motor trifásico mediante resistencias estatóricas el cual cuenta con dos escalones o grupos de resistencias de arranque. Dota al motor con protección. Señaliza cuándo el motor ha terminado de arrancar.
- 8.16.** Realiza el esquema de potencia y maniobra de un arranque adecuado para un motor de rotor bobinado de mediana potencia. Se desea que tenga tres escalones de arranque.
- 8.17.** Realiza el esquema de fuerza y maniobra para el arranque de un motor de devanados separados, el cual pueda arrancar en ambos sentidos de giro. Añade los sistemas y mecanismos de seguridad que consideres oportunos.
- 8.18.** Una cinta transportadora con material sensible a caídas se desplaza a lo largo de un proceso productivo. Un operario la controla (S2: paro y S3: marcha) desde el principio de la línea y un segundo operario que realiza tareas de calidad puede también controlarla desde la mitad de la cinta (S4: paro y S5: marcha). Además, contará con un paro de emergencia (S1).
Elabora los esquemas de potencia y maniobra asociados a este proceso, señalizando cuándo la cinta transportadora está en funcionamiento y cuándo se activan las protecciones. Realiza el esquema utilizando el arranque más adecuado.
- 8.19.** Realiza el esquema de potencia y maniobra asociado a un arranque de un motor monofásico el cual está protegido con un disyuntor magnético para cortocircuitos y con un relé térmico. El motor debe poder arrancar en cualquier sentido de giro, pero si arranca en sentido directo funciona durante 10 segundos y si arranca en sentido inverso funciona durante 15 segundos.
- 8.20.** Apoyándote en catálogos de varios fabricantes que localices en internet, selecciona los elementos que intervienen en el arranque del motor trifásico expuesto a continuación. Selecciona tanto los elementos de mando como los elementos de protección más adecuados, justificando la elección.
Las características del circuito son las siguientes:
 - El circuito de mando se realiza a una tensión de 230 V_{ca}.
 - La potencia del motor es 15 kW.
 - Protección mediante disyuntor electromagnético y relé térmico.
 - Se desea un arranque suave y progresivo. (Arranque de clase 10.)