

7

Arranque y variación de velocidad en motores

vamos a conocer...

1. Automatismos para el arranque y control de motores de corriente alterna
2. Regulación de velocidad en motores de corriente alterna
3. Arranque de motores de corriente continua
4. Regulación de velocidad en motores de corriente continua

PRÁCTICA PROFESIONAL

Arranque estrella-triángulo de un motor trifásico

MUNDO TÉCNICO

Variadores de velocidad en red

y al finalizar..

- Conocerás diferentes sistemas para el arranque de motores de corriente alterna y continua.
- Instalarás y programarás dispositivos para la variación de velocidad de motores eléctricos.
- Conocerás algunos de los sistemas utilizados para el frenado de máquinas eléctricas.
- Montarás y probarás diferentes circuitos relacionados con el arranque y regulación de diferentes tipos de motores eléctricos.



Automatismos para el arranque y control de motores de corriente alterna

Los motores eléctricos en general (tanto de alterna como de continua), en el momento del arranque deben vencer el par resistente que existe en su eje. Esto provoca que la corriente consumida en ese instante sea muy elevada, resultando especialmente perjudicial para la máquina y el circuito que la alimenta, agravándose en motores de gran potencia. Para evitar en todo lo posible esta sobrecorriente, se utilizan numerosas configuraciones para el arranque. El uso de sistemas basados en automatismos industriales permiten optimizar este tipo de maniobras con gran facilidad.

Arranque estrella-triángulo

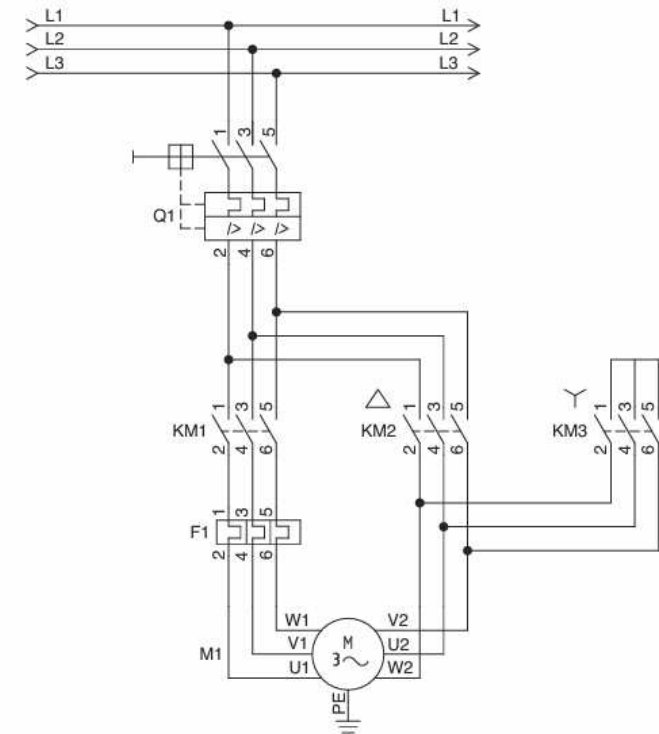
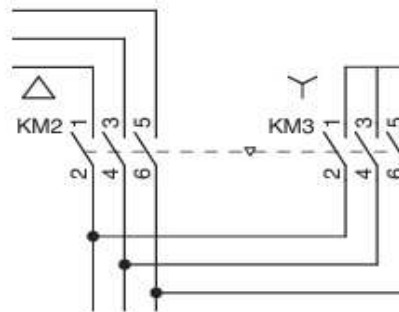
caso práctico inicial

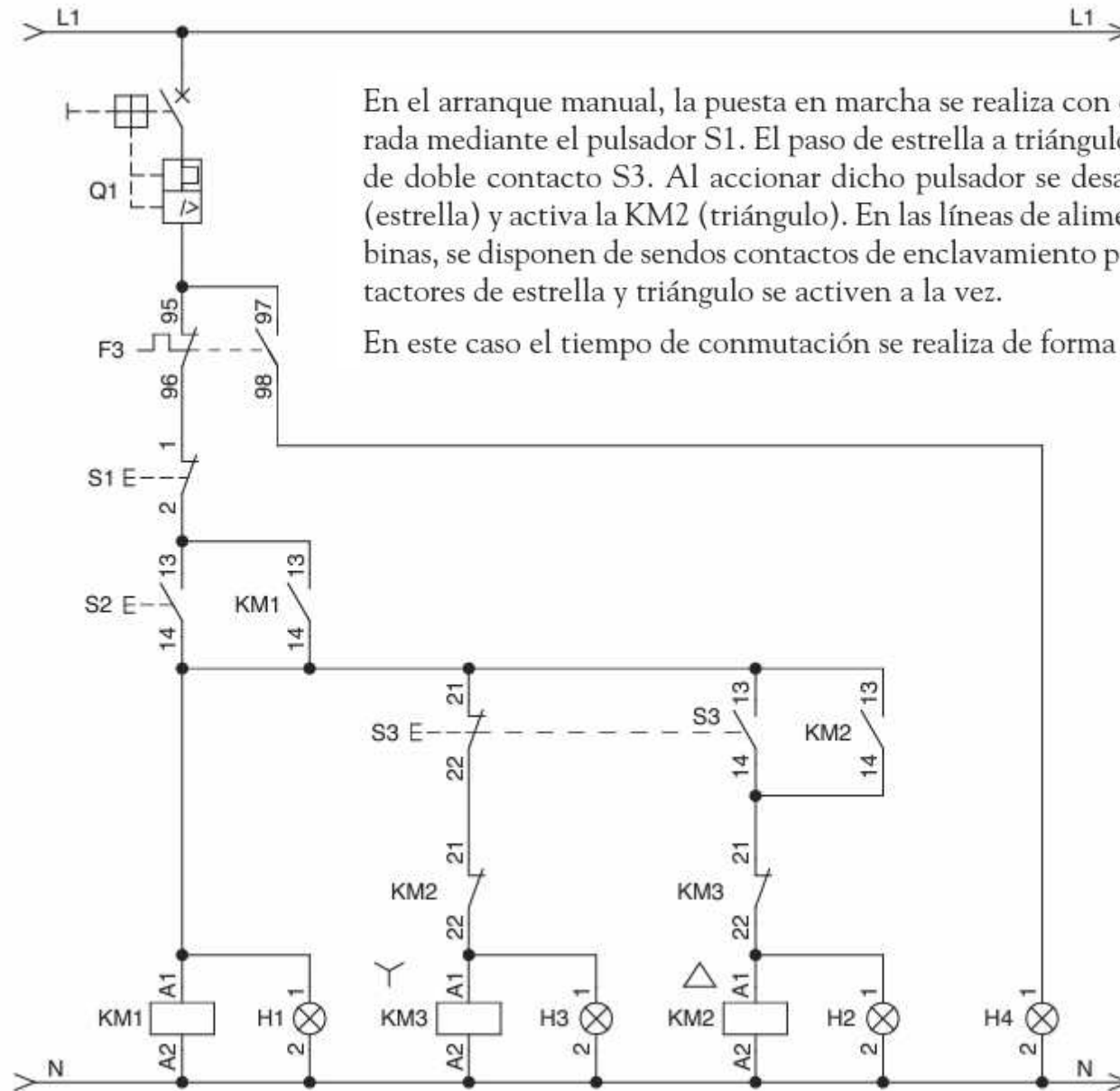
El circuito «estrella-triángulo» es la solución tradicional, siempre que no se requiera regulación de velocidad, para evitar el pico de corriente en el momento del arranque del motor de la cinta transportadora.

seguridad

En ningún caso deben activarse a la vez los contactores de estrella y de triángulo, ya que se produciría un cortocircuito.

Algunos fabricantes disponen de conjuntos completamente montados con enclavamiento mecánico entre ambos contactores.



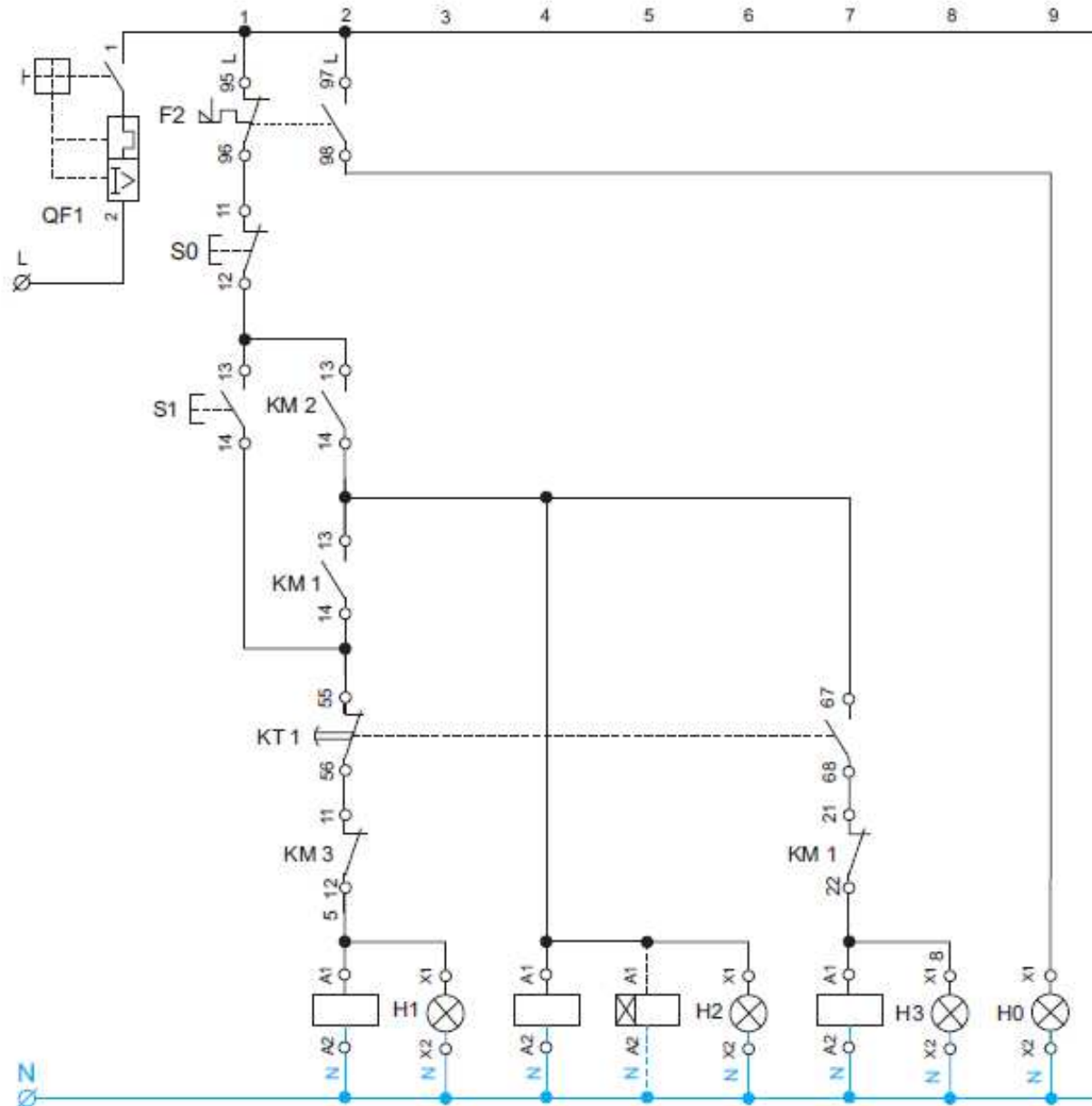


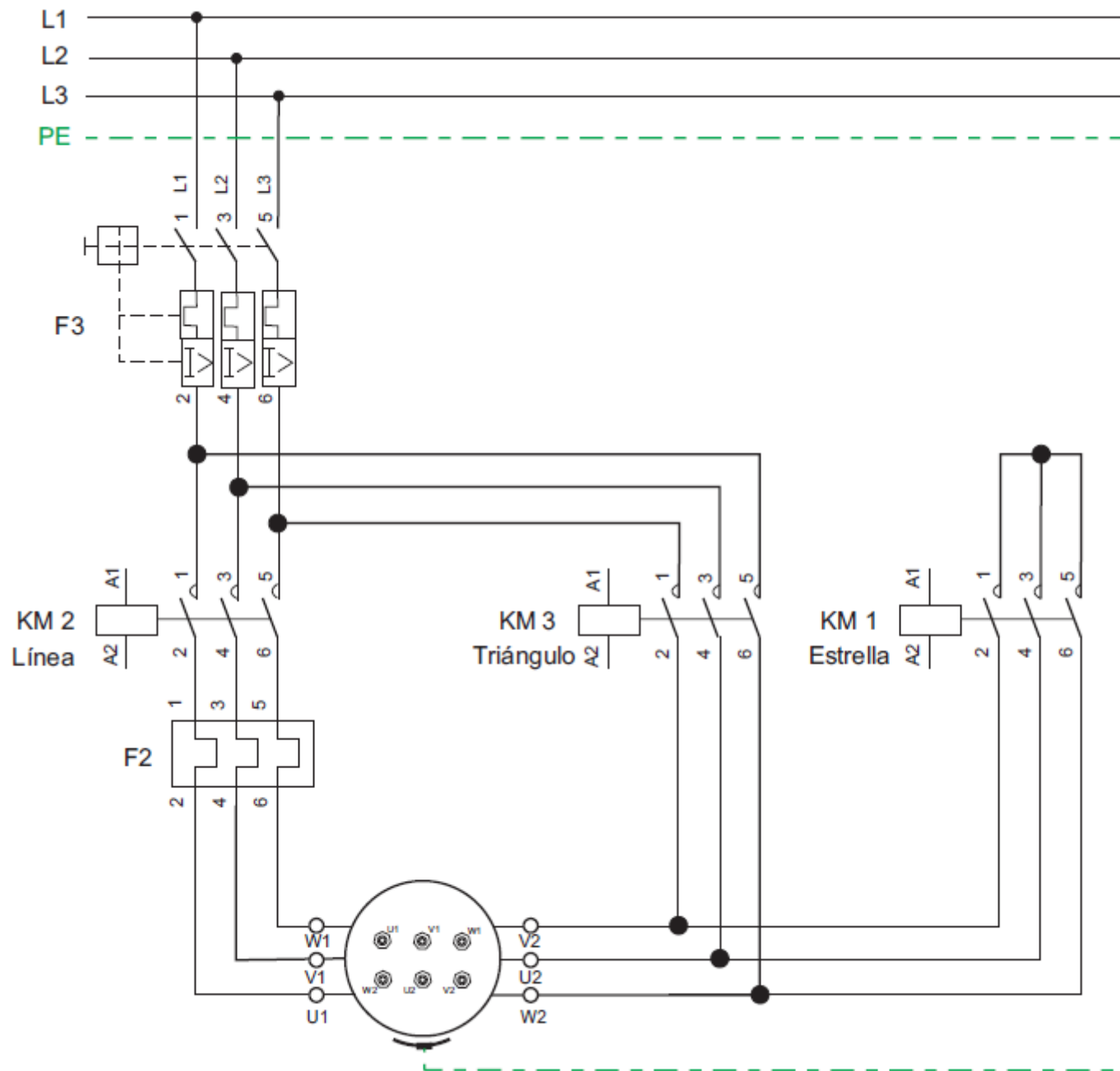
En el arranque manual, la puesta en marcha se realiza con el pulsador S2 y la parada mediante el pulsador S1. El paso de estrella a triángulo lo realiza el pulsador de doble contacto S3. Al accionar dicho pulsador se desactiva la bobina KM3 (estrella) y activa la KM2 (triángulo). En las líneas de alimentación de ambas bobinas, se disponen de sendos contactos de enclavamiento para evitar que los contactores de estrella y triángulo se activen a la vez.

En este caso el tiempo de conmutación se realiza de forma manual.

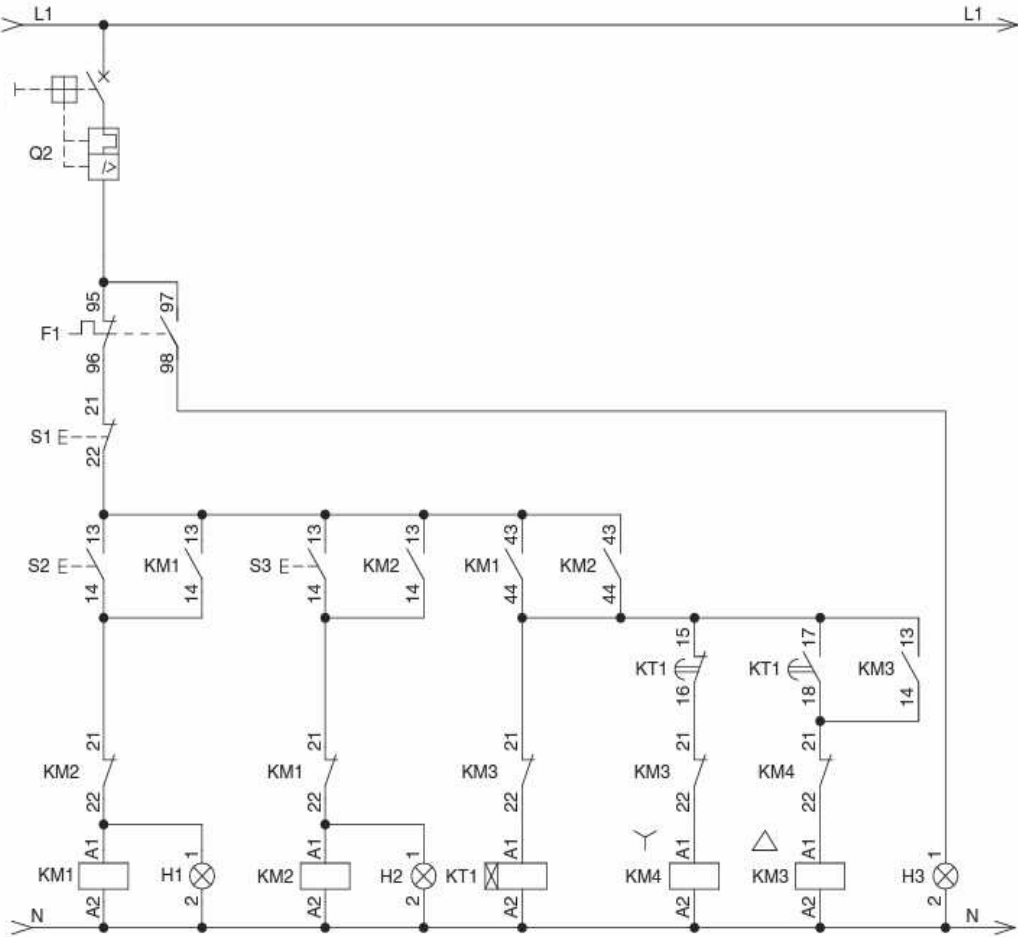
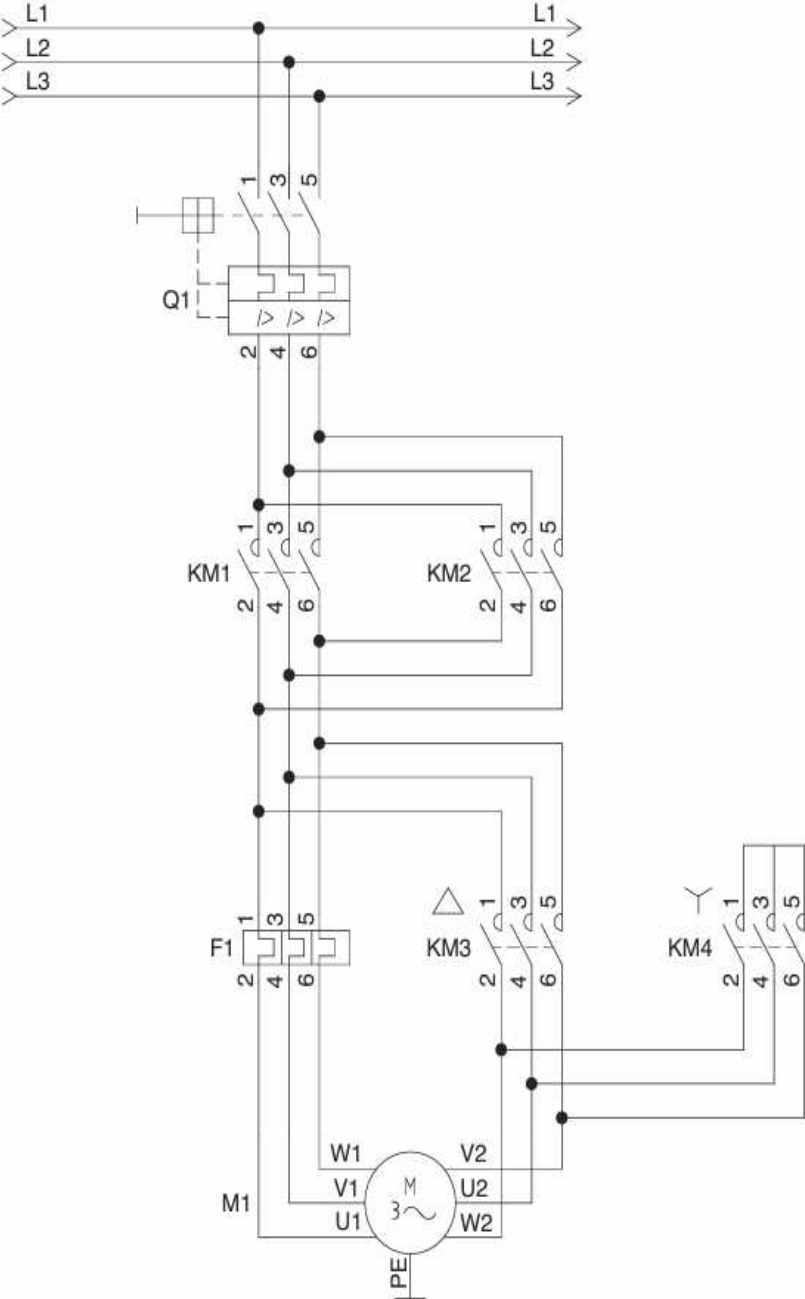
Circuito de mando de arranque de estrella triángulo manual.

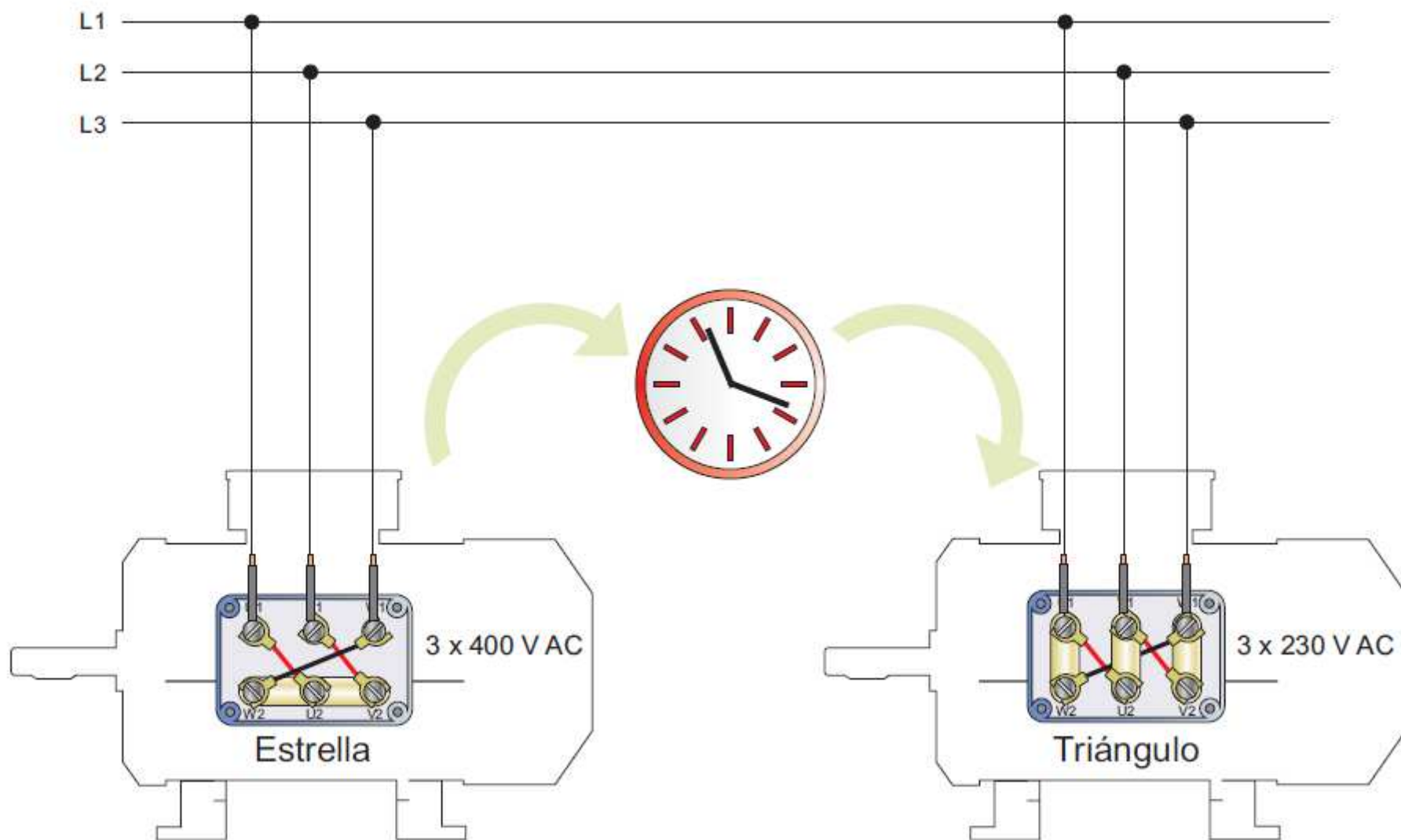
Esquema de mando



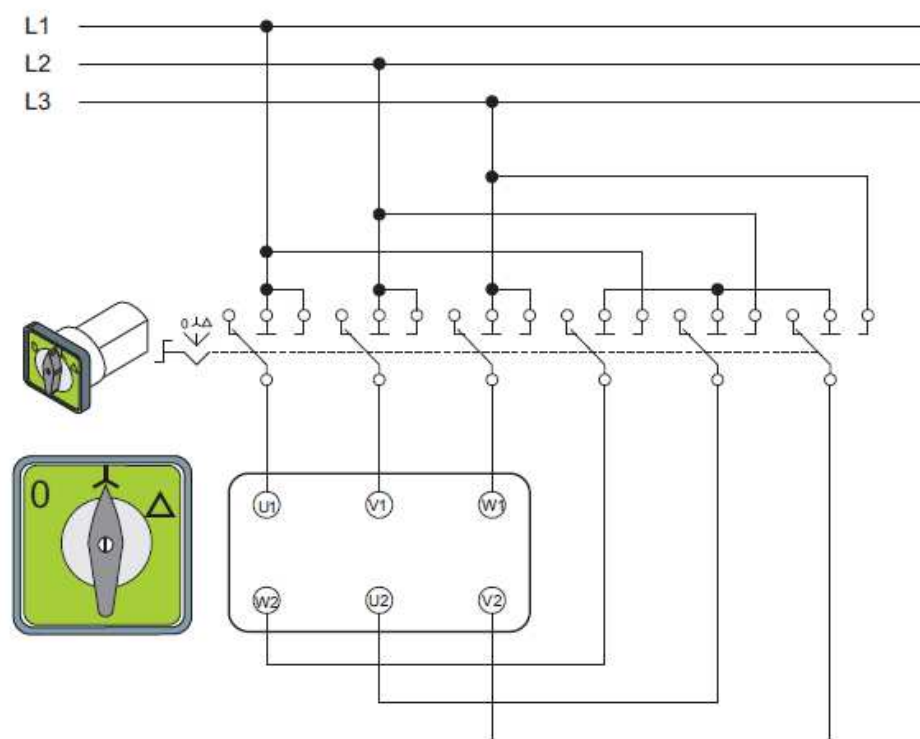
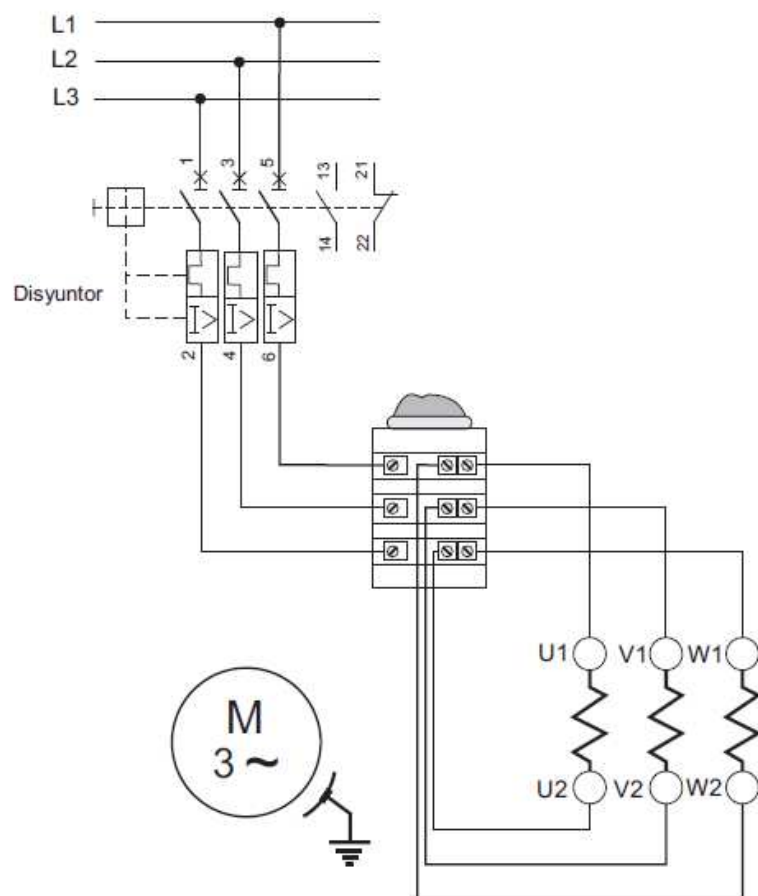


Arranque estrella-triángulo con inversión del sentido de giro

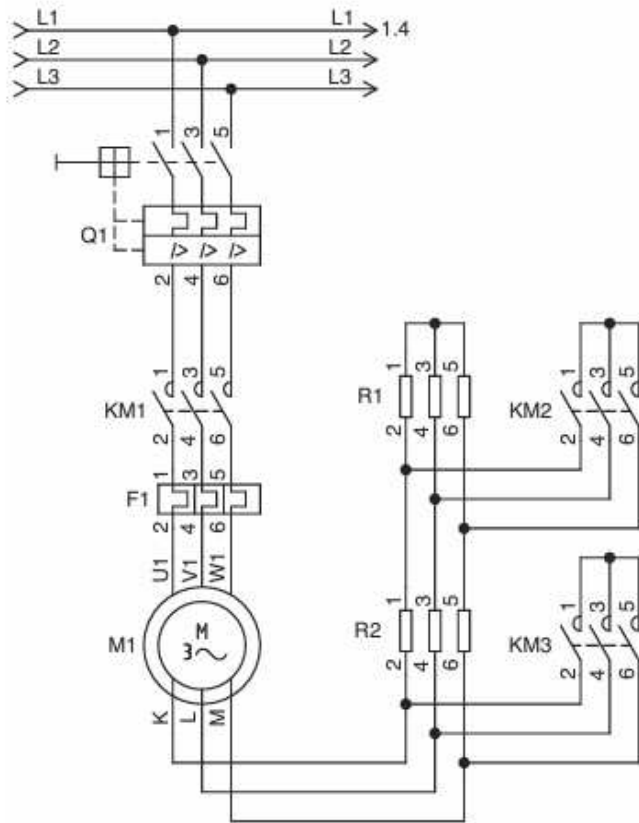




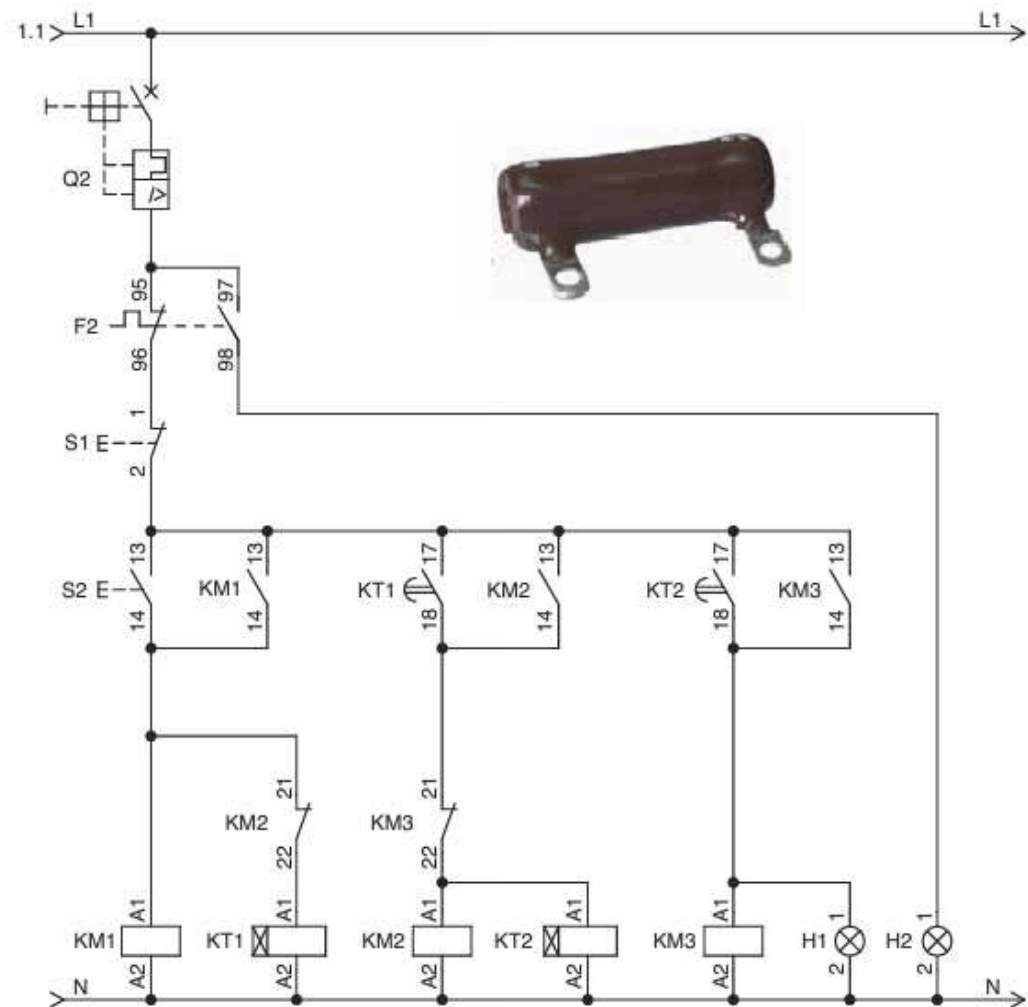
Conmutador estrella-triángulo.



Arranque de un motor por eliminación de resistencias rotóricas

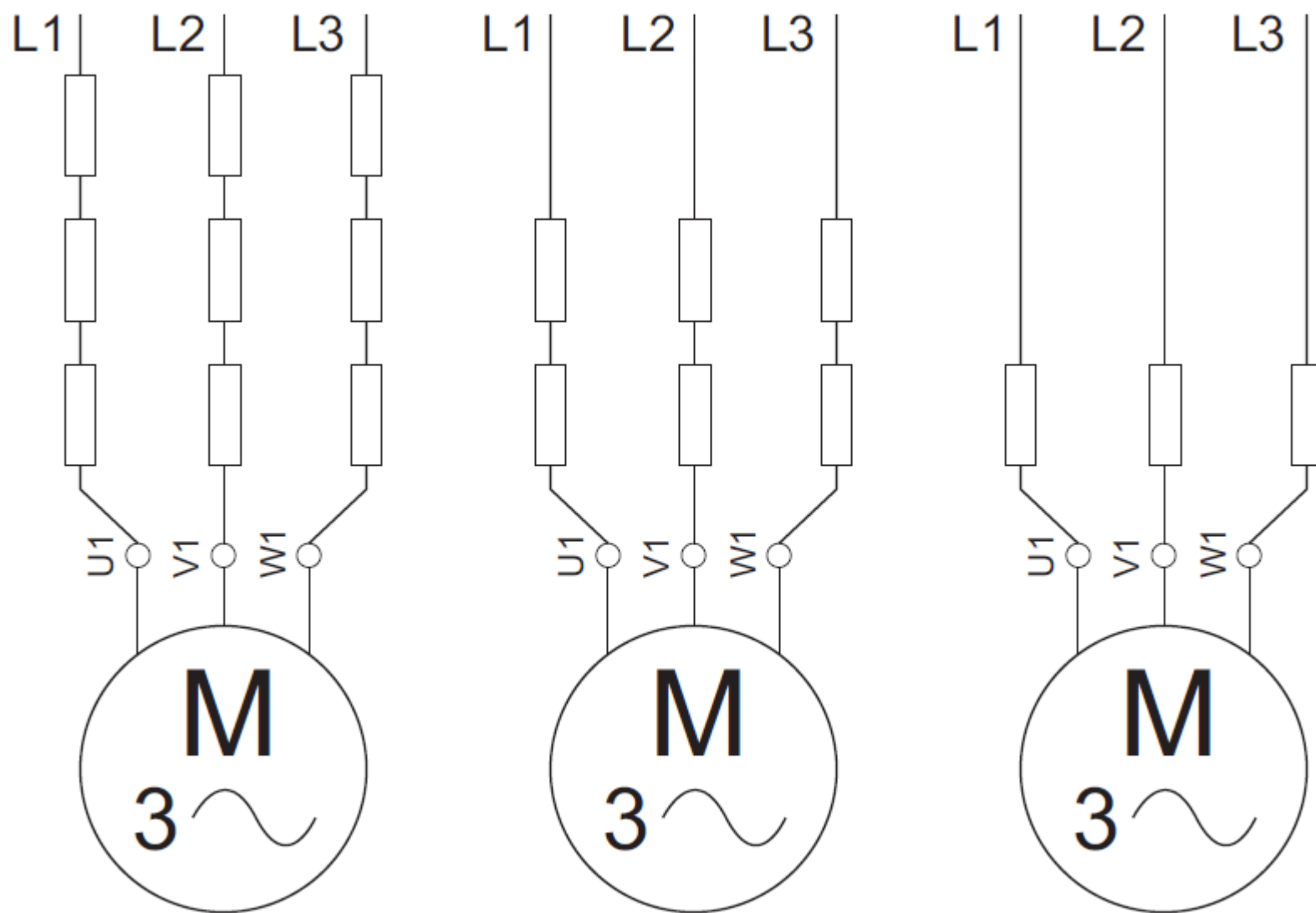


Esquema de fuerza

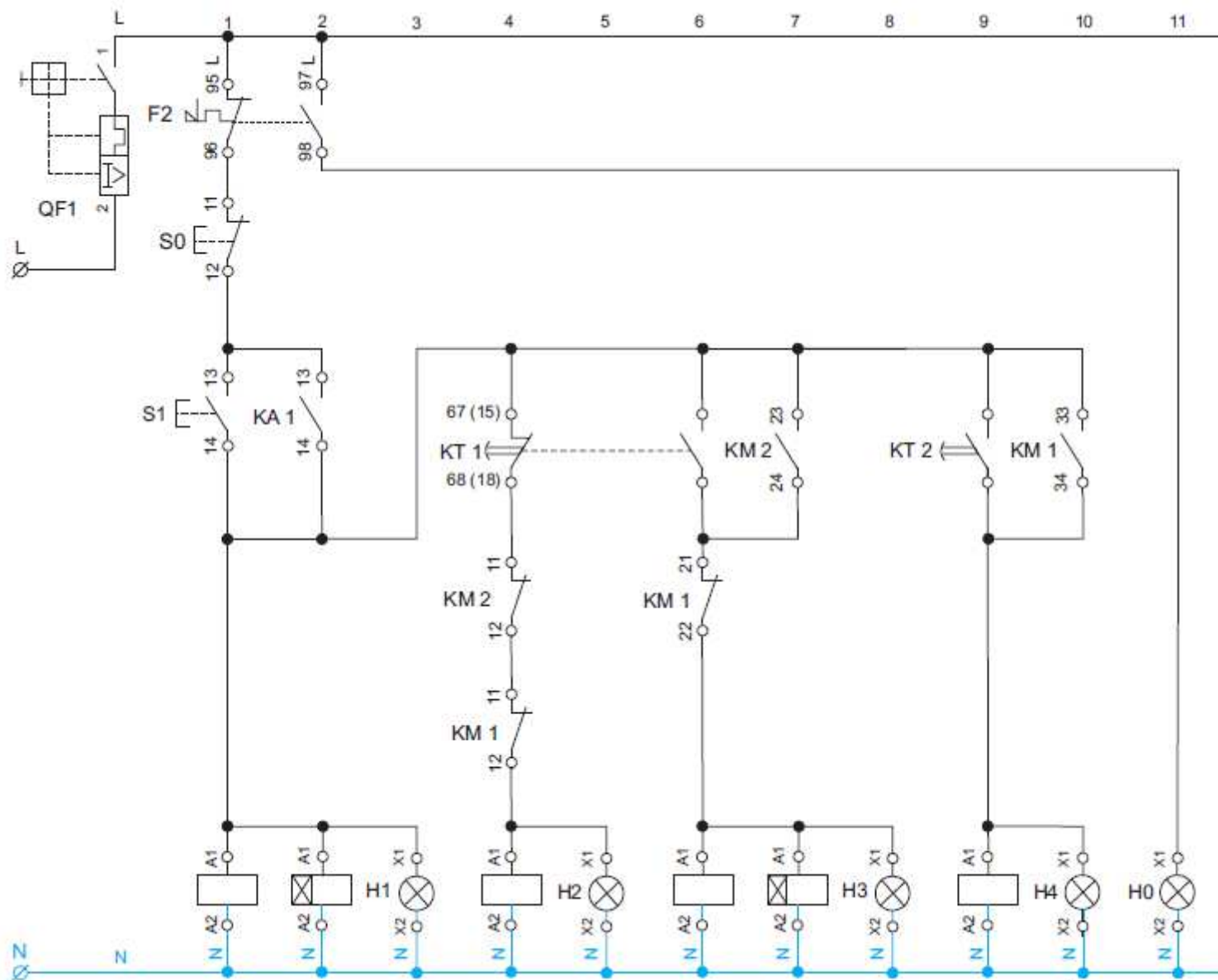


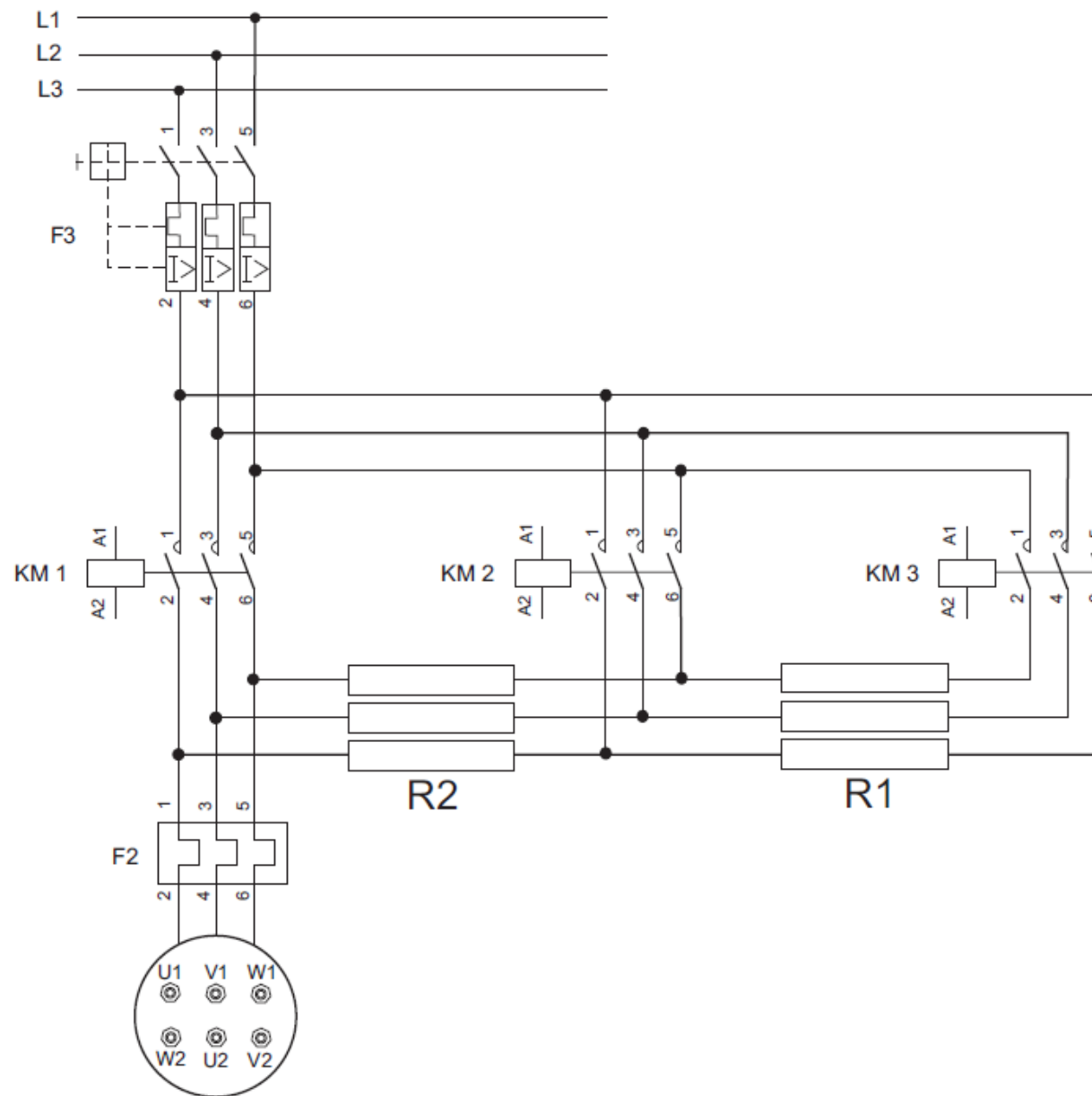
Esquema de mando

Esquema de un arranque por eliminación de resistencias en cuatro fases.



Esquema de un arranque por eliminación de resistencias en cuatro fases.





Esquema de un arranque por eliminación de resistencias en cuatro fases.

Arranque de motores con devanados separados (Part-Winding)

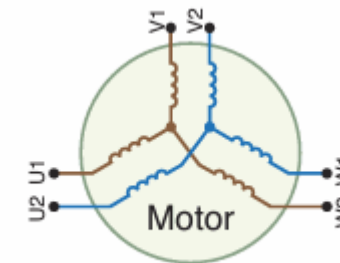
Otra forma de disminuir la corriente en el momento del arranque de un motor de inducción consiste en utilizar máquinas con dos devanados, también denominadas de **devanados partidos** o «**Part-Winding**».

En este caso, primero se alimenta uno de los devanados, disminuyendo así la corriente de arranque a la mitad, y cuando el motor ya ha conseguido la velocidad nominal, se conecta en paralelo el otro devanado.

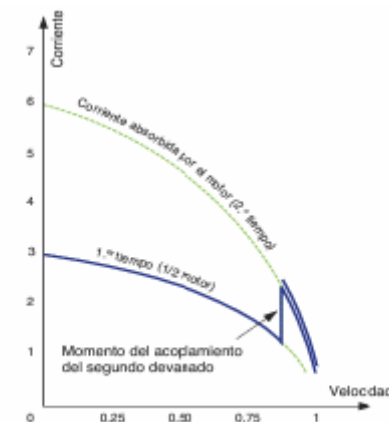
Este tipo de motores está muy extendido en el continente americano y no tanto en Europa. Sin embargo, en determinados sectores industriales, como la refrigeración, mucha de la maquinaria importada a nuestro país procedente de EEUU, dispone de este tipo de motores y es necesario conocerlos para su correcto arranque.

El circuito de fuerza dispone de dos contactores (KM1 y KM2), con sus respectivos relés térmicos, para alimentar los devanados de motor individualmente.

El circuito de mando consiste en un arranque mediante pulsadores de marcha y paro que activa el contactor del primer devanado (KM1), y un circuito temporizado que activa el KM2 con un retardo respecto a KM1.

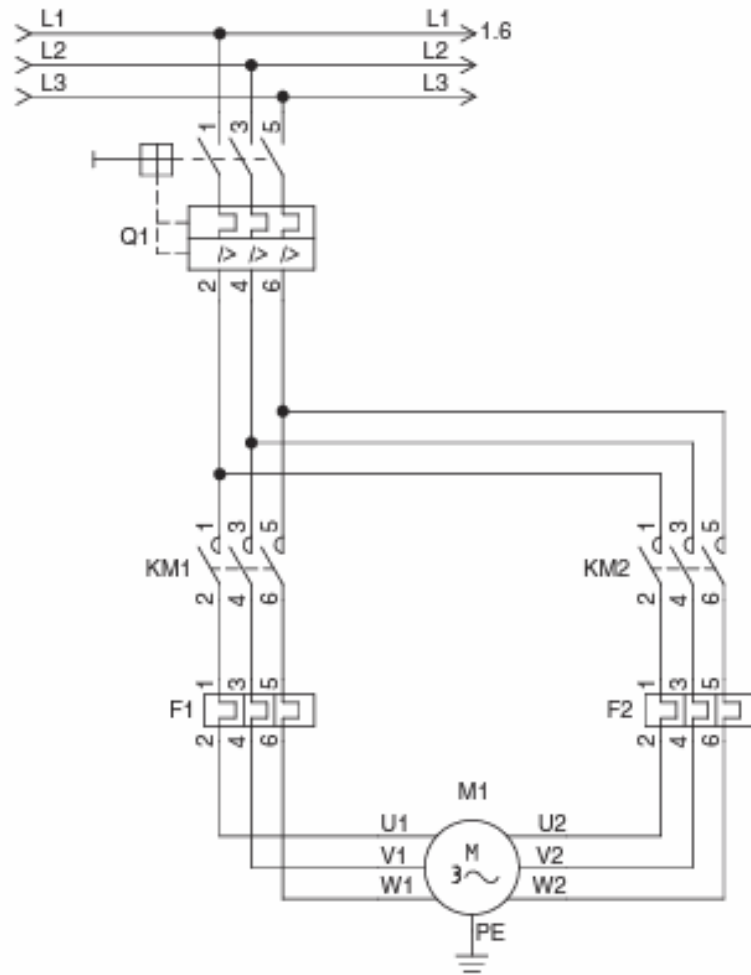


Devanados de un motor Part-Winding.

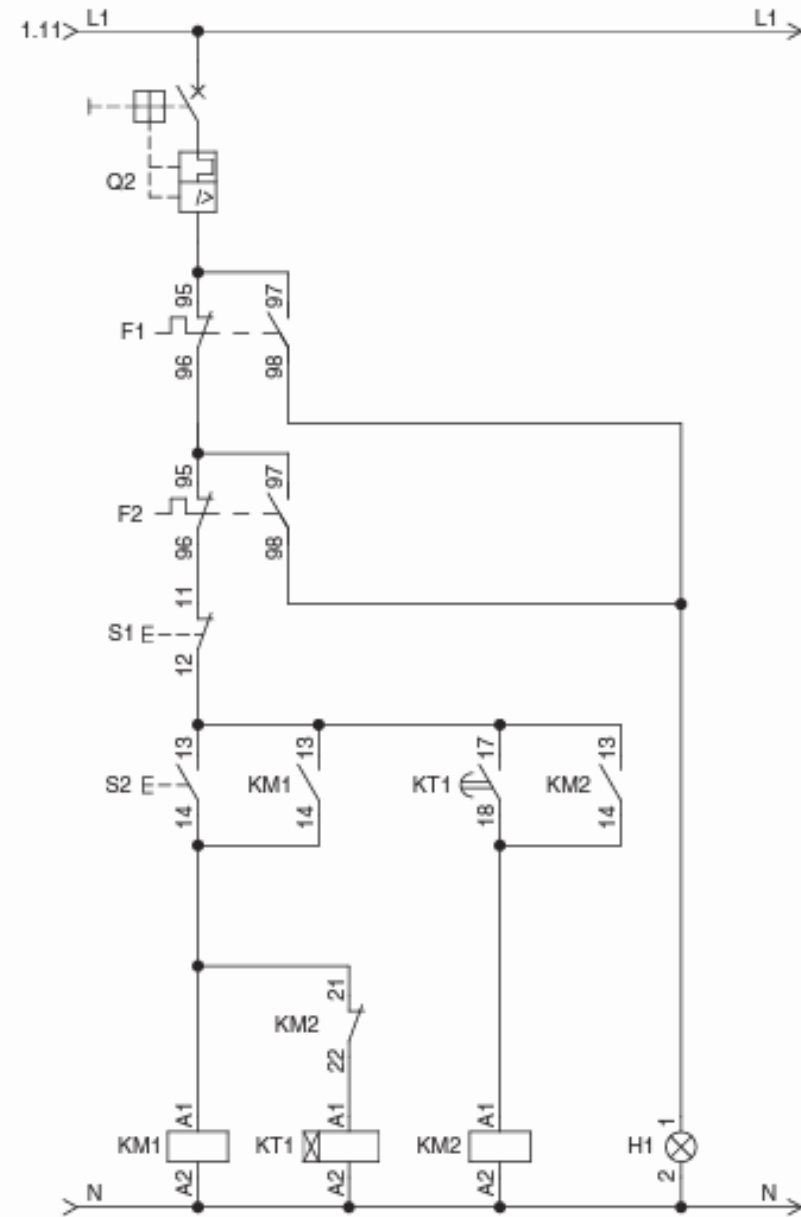


Curva corriente- velocidad del arranque

Arranque de motores con devanados separados (Part-Winding)



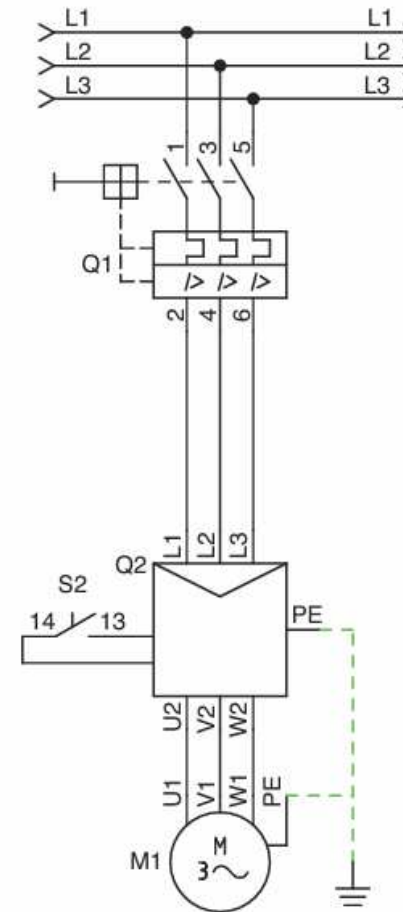
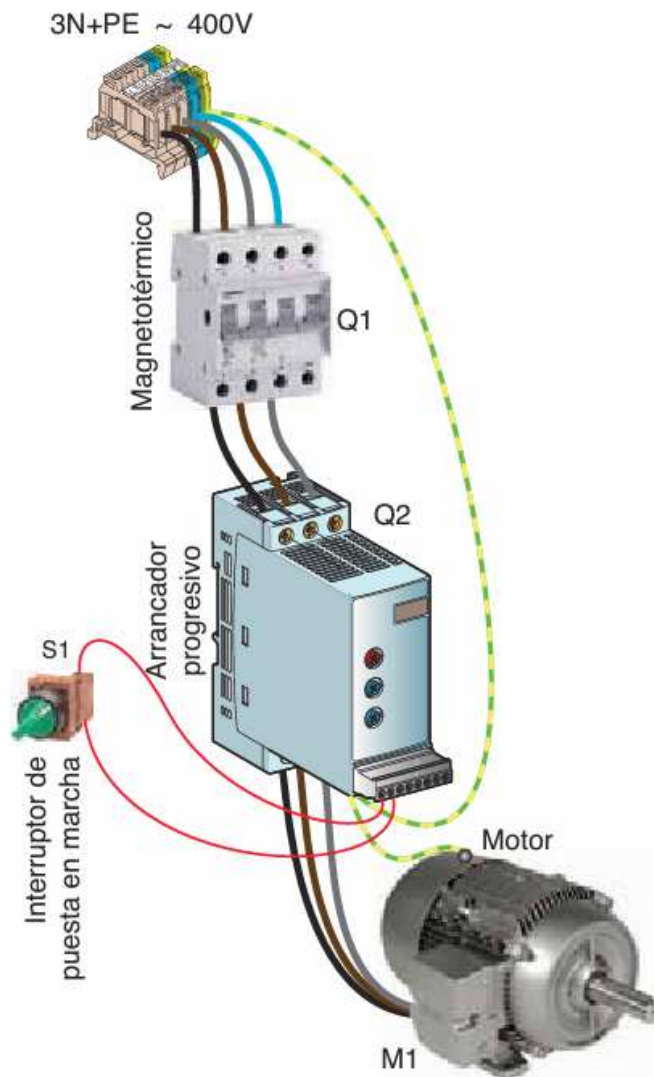
Esquema de fuerza



Esquema de mando

Arranque de motores asíncronos mediante arrancadores progresivos

Los arrancadores progresivos o suaves, son dispositivos de electrónica de potencia que permiten arrancar los motores de inducción de forma progresiva y sin sacudidas, limitando así las puntas de corriente en el momento del arranque.



Esquema de fuerza



caso práctico inicial

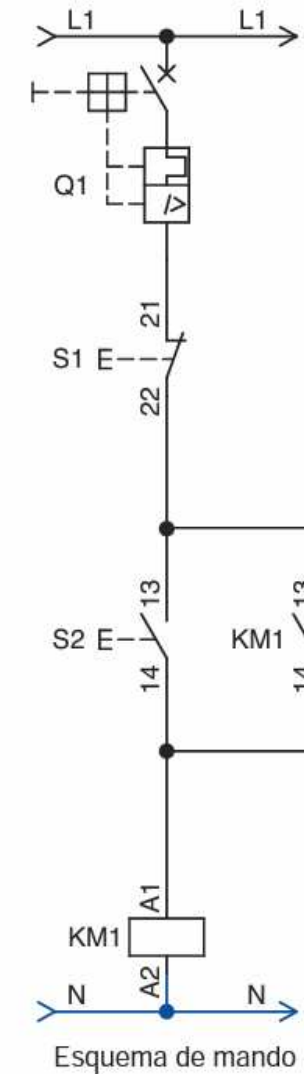
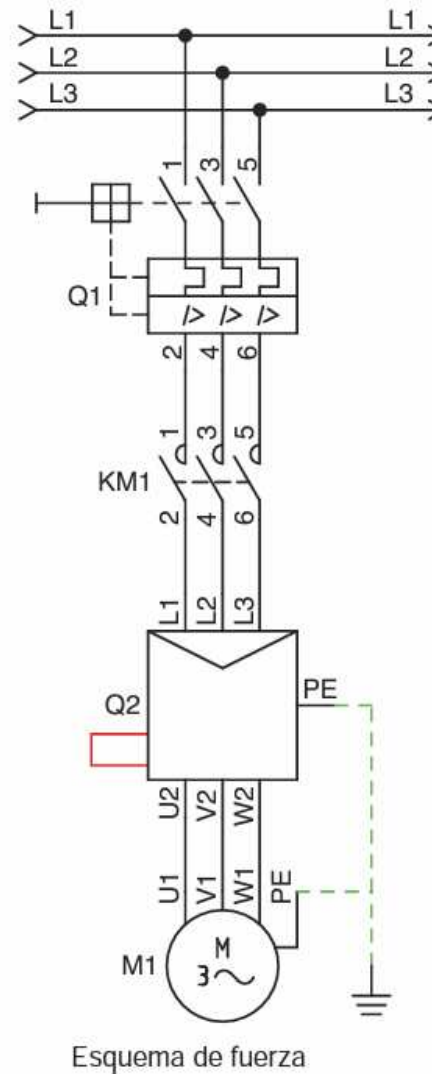
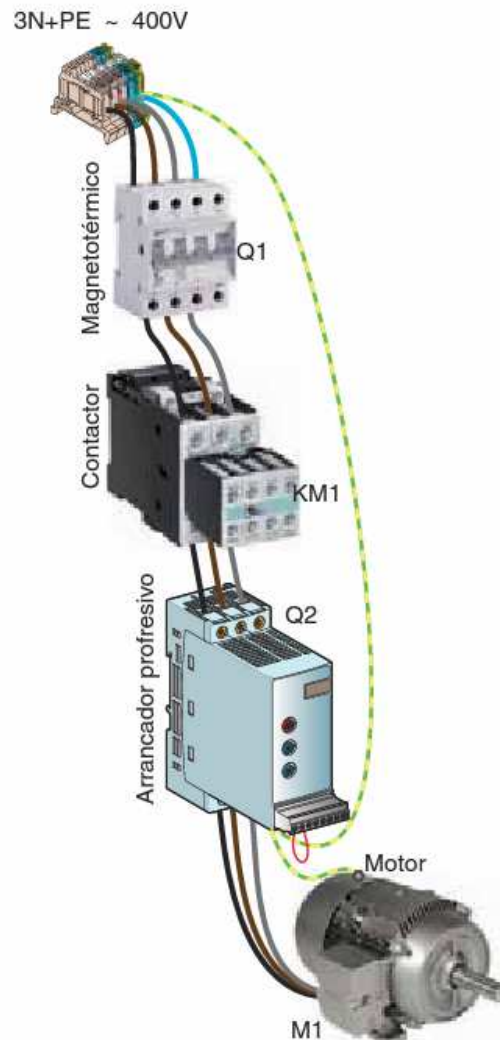
Una buena solución para evitar el pico de corriente en el momento del arranque de la cinta transportadora, es utilizar arrancadores progresivos. Su instalación y mantenimiento es sencillo ya que no requiere de mucho cableado para el mando.

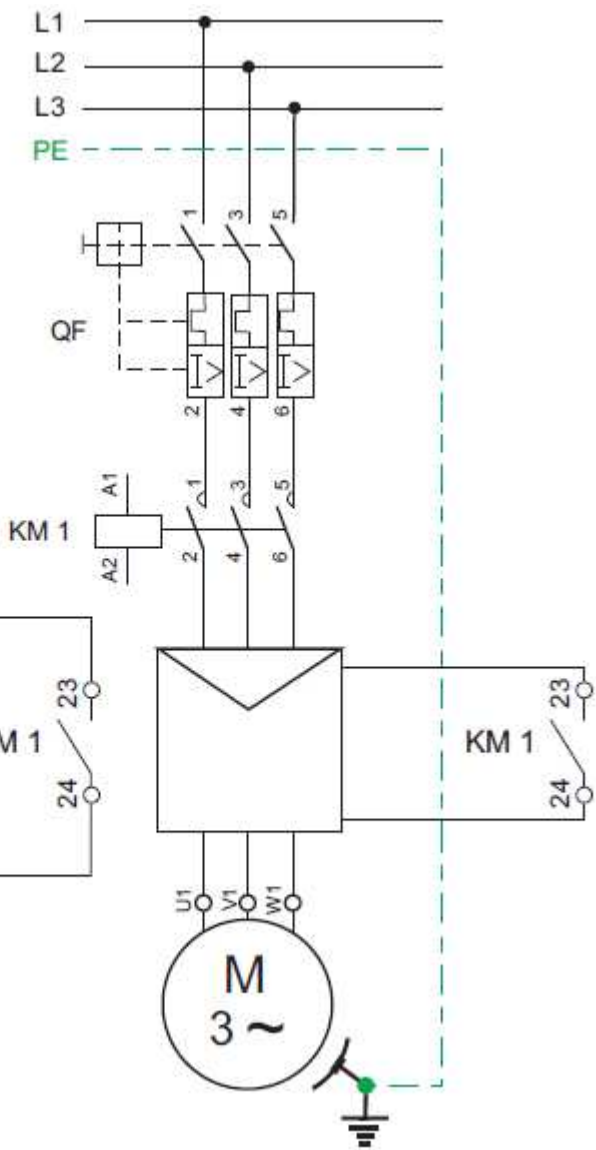
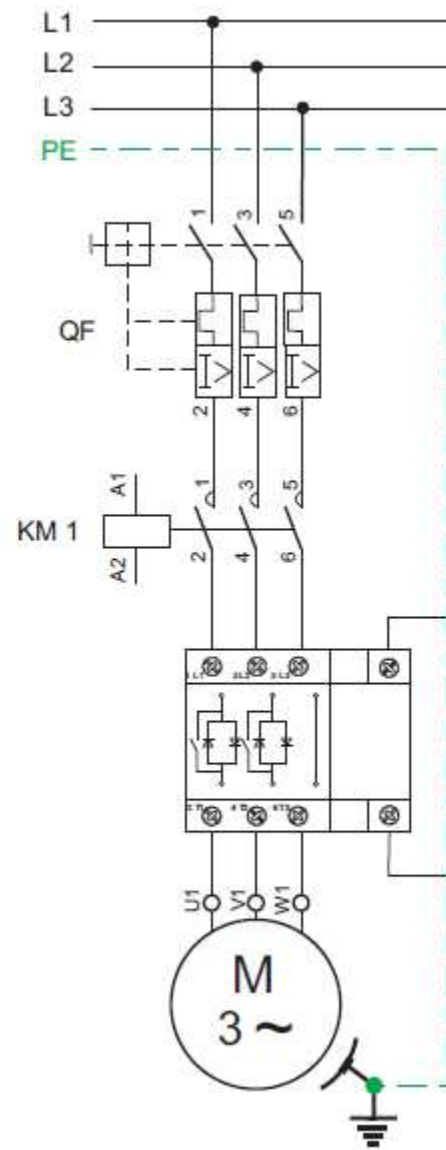
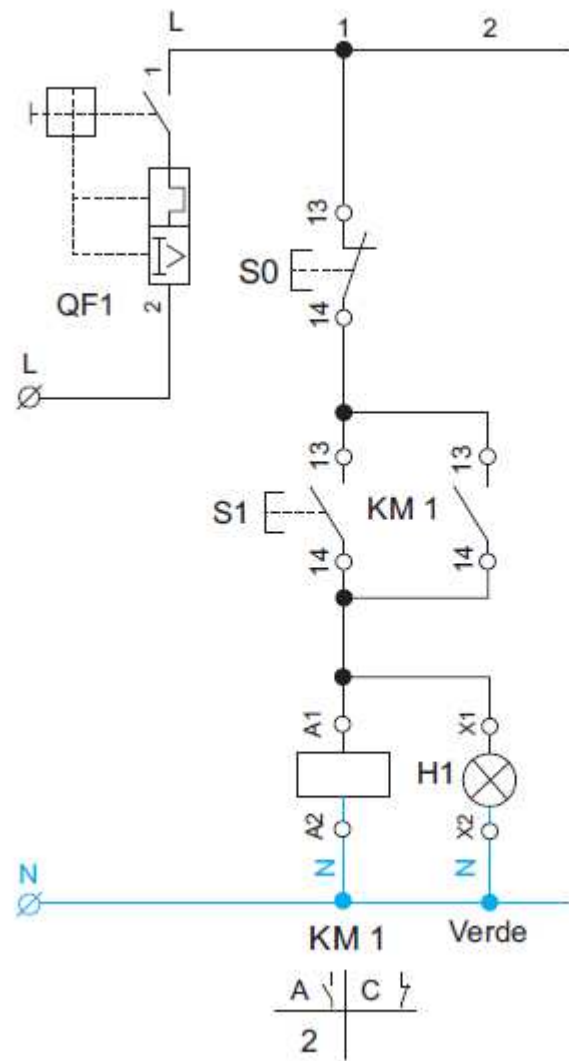
seguridad

En los dispositivos de electrónica de potencia, como arrancadores progresivos o variadores de frecuencia, es importante que la conexión del conductor de protección esté bien realizada.

Arranque de motores asíncronos mediante arrancadores progresivos

Otra posibilidad consiste en insertar un contactor (KM1) antes del arrancador progresivo, de forma que el corte y la activación del motor se pueda gestionar desde un circuito de mando externo.





Frenado de motores asíncronos

En los circuitos estudiados hasta ahora, la parada de los motores se hace simplemente abriendo el circuito de alimentación desconectando el contactor o contactores que realizan esta misión. En todos los casos, el eje del motor sigue girando por inercia hasta que se detiene por rozamiento o por el par resistente aplicado en su eje.

Sin embargo, muchas son las aplicaciones industriales que requieren que el rotor del motor deje de girar bruscamente una vez que se corta su alimentación eléctrica.

En estos casos es necesario disponer de un sistema de frenado, siendo los más habituales:

- Frenado por inyección de corriente continua.
- Frenado por sistema electromecánico.
- Frenado por contracorriente.

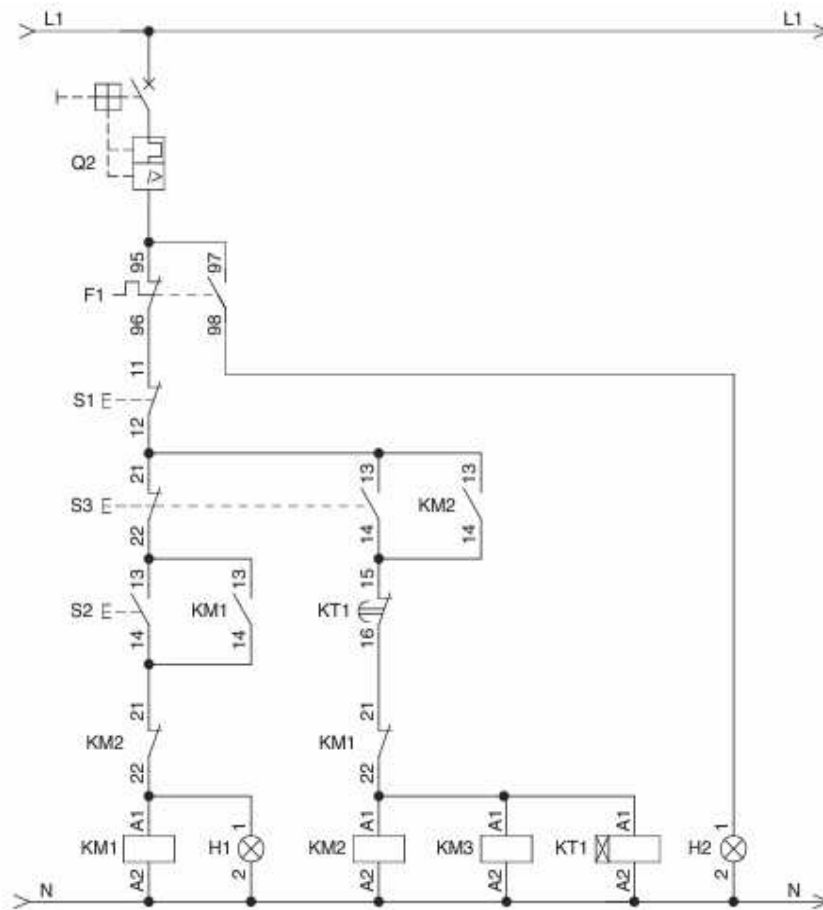
Frenado por inyección de corriente continua

Si a los bornes de un motor de corriente alterna se le aplica de forma temporal una pequeña tensión de corriente continua, en el estator se genera un campo magnético fijo que es capaz de bloquear el rotor frenándolo.

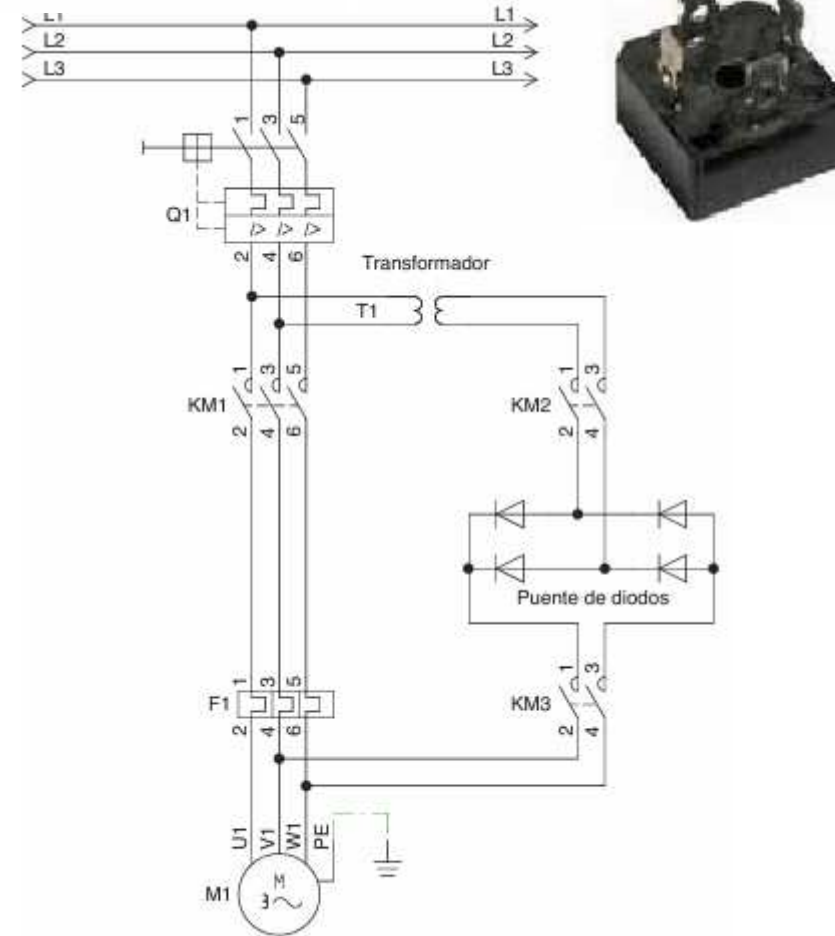
Esta circunstancia se puede aprovechar para detener de forma brusca un motor de inducción inmediatamente después de haber sido desconectado de la red eléctrica que lo alimenta.

saber más

Utilizando un transformador (de 230/12V) y un puente de diodos monofásico de potencia, se puede conseguir de forma sencilla corriente continua en un circuito de corriente alterna.



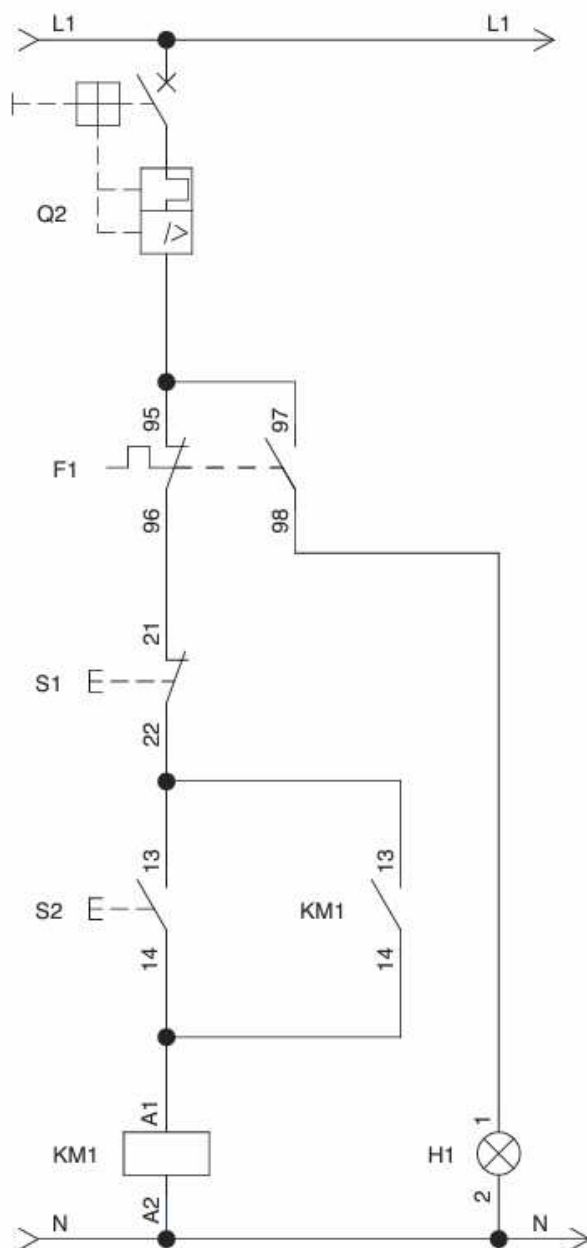
Esquema de mando



Esquema de fuerza

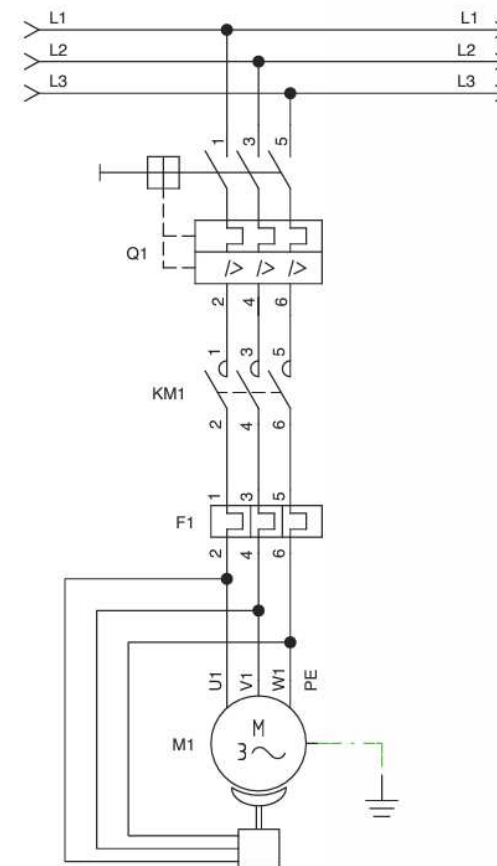


Frenado por sistema electromecánico



Este sistema consiste en alimentar temporalmente un sistema electromecánico, que frena el eje del motor mediante rozamiento de una zapata con el eje, de forma similar a como se hace en los automóviles.

En el circuito de fuerza, cuando el motor está alimentado mediante el contactor principal (KM1), también lo está el sistema de electroimanes del electrofreno. En esta situación la zapata se retira del eje del motor evitando así su frenado. Si el motor se desconecta mediante el contactor de alimentación, también lo hace el electroimán del sistema de frenado. Por tanto, la zapata, mediante un resorte vuelve a su posición de reposo bloqueando el eje por rozamiento.



Frenado por contracorriente

Consiste en alimentar el motor con dos de las fases invertidas, creando así un par opuesto al de funcionamiento normal del motor.

El circuito de fuerza es similar a los ya estudiados para realizar la inversión del sentido de giro de los motores asíncronos. La diferencia radica en la conexión en serie de tres resistencias de potencia con el contactor KM2, para generar la situación de contracorriente.

El funcionamiento normal del motor se realiza conectando KM1. Cuando este se desactiva, el motor se desconecta de la red eléctrica y entra automáticamente KM2. En esa situación el motor es alimentado a través de las resistencias, frenándolo de inmediato.

Para evitar que el motor logre funcionar en sentido contrario, el funcionamiento de KM2 debe controlarse mediante un temporizador.

Regulación de velocidad en motores de corriente alterna

recuerda

La frecuencia de nuestra red eléctrica es de 50 Hz.

Otros sistemas, como el americano, trabajan con una frecuencia de 60 Hz.

La velocidad de giro de un motor de corriente alterna está definida por la siguiente expresión:

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

N : la velocidad de giro en r.p.m. (revoluciones por minuto)

f : es la frecuencia de la red en Hz (hercios)

p : es el número de pares de polos del motor.

Está claro que modificando la frecuencia o el número de pares de polos de la máquina, se cambia la velocidad de giro.

Variación de velocidad por cambio del número de pares de polos

El número de pares de polos solamente se puede definir en el momento de la construcción del devanado del motor. Por tanto, en este sentido, si está previsto que una máquina funcione a diferentes velocidades, su devanado debe diseñarse (y construirse) de tal manera que desde su caja de bornes se puede elegir la velocidad de funcionamiento.

Este tipo de motores disponen de dos cajas de bornes, una por devanado, completamente independientes.

1. Motor con devanados separados.
2. Motor con devanados compartidos o con tomas intermedias (motor Dahlander).

Por tanto la velocidad máxima que se puede conseguir de esta forma es de 3.000 r.p.m.

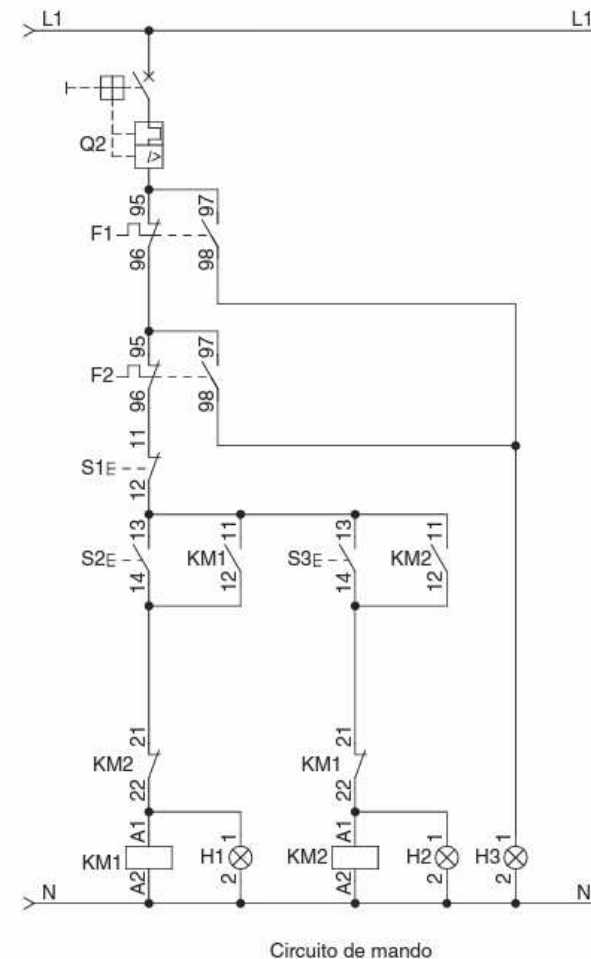
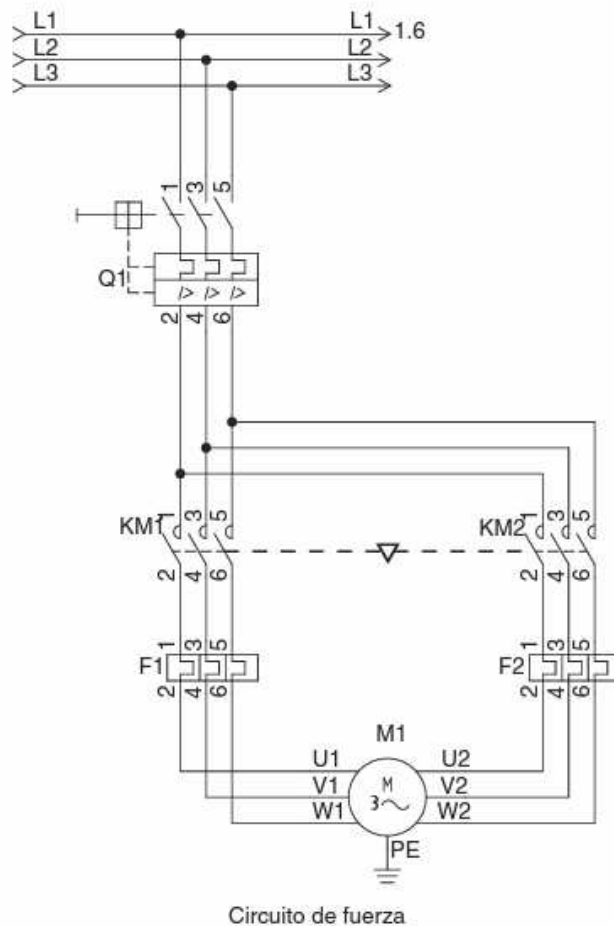
Arranque de un motor de dos velocidades con devanados independientes

Este tipo de motores dispone de dos devanados independientes, cada uno diseñado para un número de polos.

A efectos prácticos, los dos devanados se comportan como si de dos motores diferentes se tratara, cada uno diseñado para una velocidad. Teniendo en cuenta que en ningún caso los dos devanados pueden conectarse a la vez, se hace necesario el enclavamiento mecánico entre los dos contactores.

recuerda

Este tipo de motores disponen de dos cajas de bornes, una por devanado, completamente independientes.



Arranque de un motor de dos velocidades con devanados con tomas intermedias (motor Dahlander)

Se denomina motor Dahlander a aquel que utiliza el mismo devanado para conseguir dos o más velocidades.

En el caso del motor de dos velocidades, la caja de bornes dispone de 6 puntos de conexión. En función de cómo se conecten dichos bornes, se consigue que la máquina funcione a una velocidad u otra.

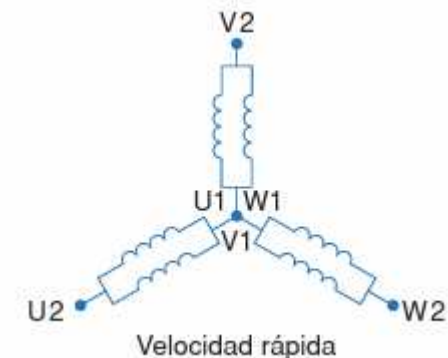
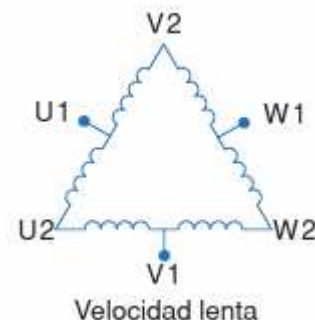
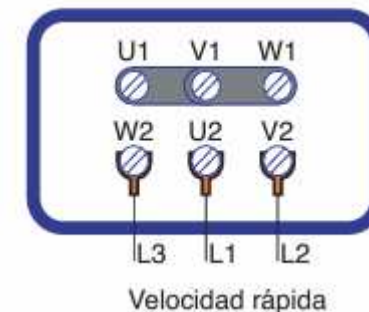
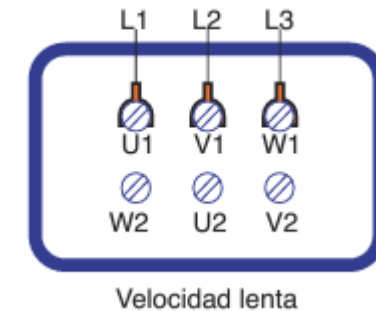
La conmutación entre una y otra velocidad requiere utilizar un circuito de automatismos basado en contactores.

En el circuito de fuerza, para arrancar el motor a la velocidad lenta, se conectan los bornes U1-V1-W1 a la red con KM2 y se dejan sin conexión U2-V2-W2. Para arrancar a la velocidad rápida, se conectan los bornes U2-V2-W2 a la red con KM1 y se puentean U1-V1-W1 con KM3.

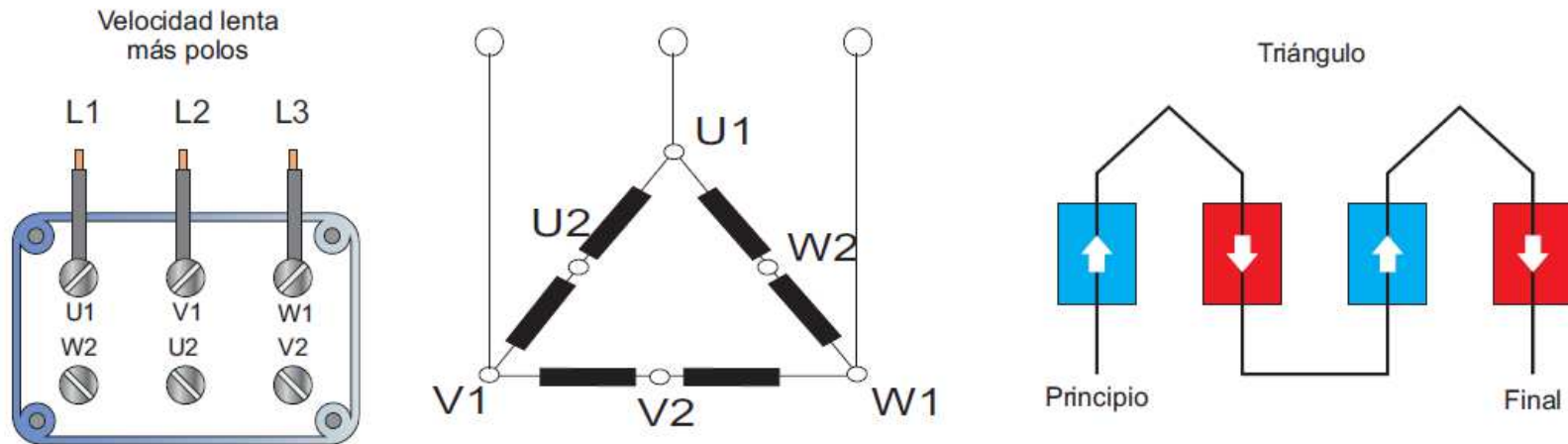
En el circuito de mando, el pulsador S2 se utiliza para arrancar el motor a velocidad lenta mediante KM2 y el pulsador S3 para hacerlo a la velocidad rápida.

Los contactores KM2 y KM3 nunca deben entrar a la vez. Por tanto, se hace necesario utilizar entre ellos enclavamiento mecánico entre ambos o eléctrico, mediante contactos cerrados cruzados en las ramas que alimentan sus bobinas.

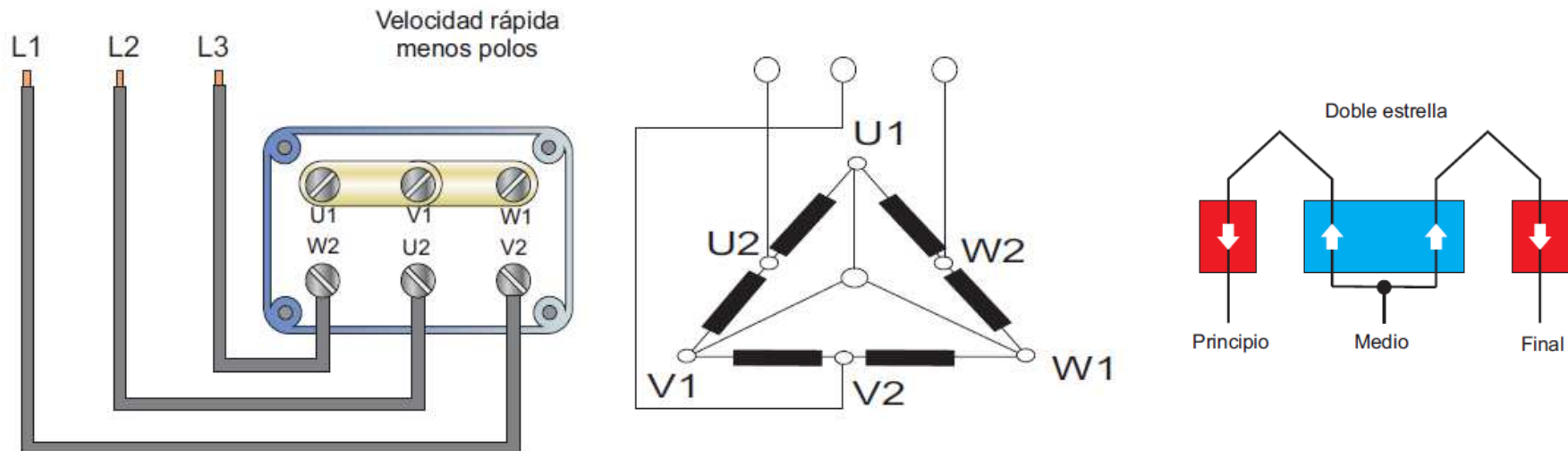
Las lámparas H1 y H2 permiten señalar la velocidad a la que está funcionando el motor.

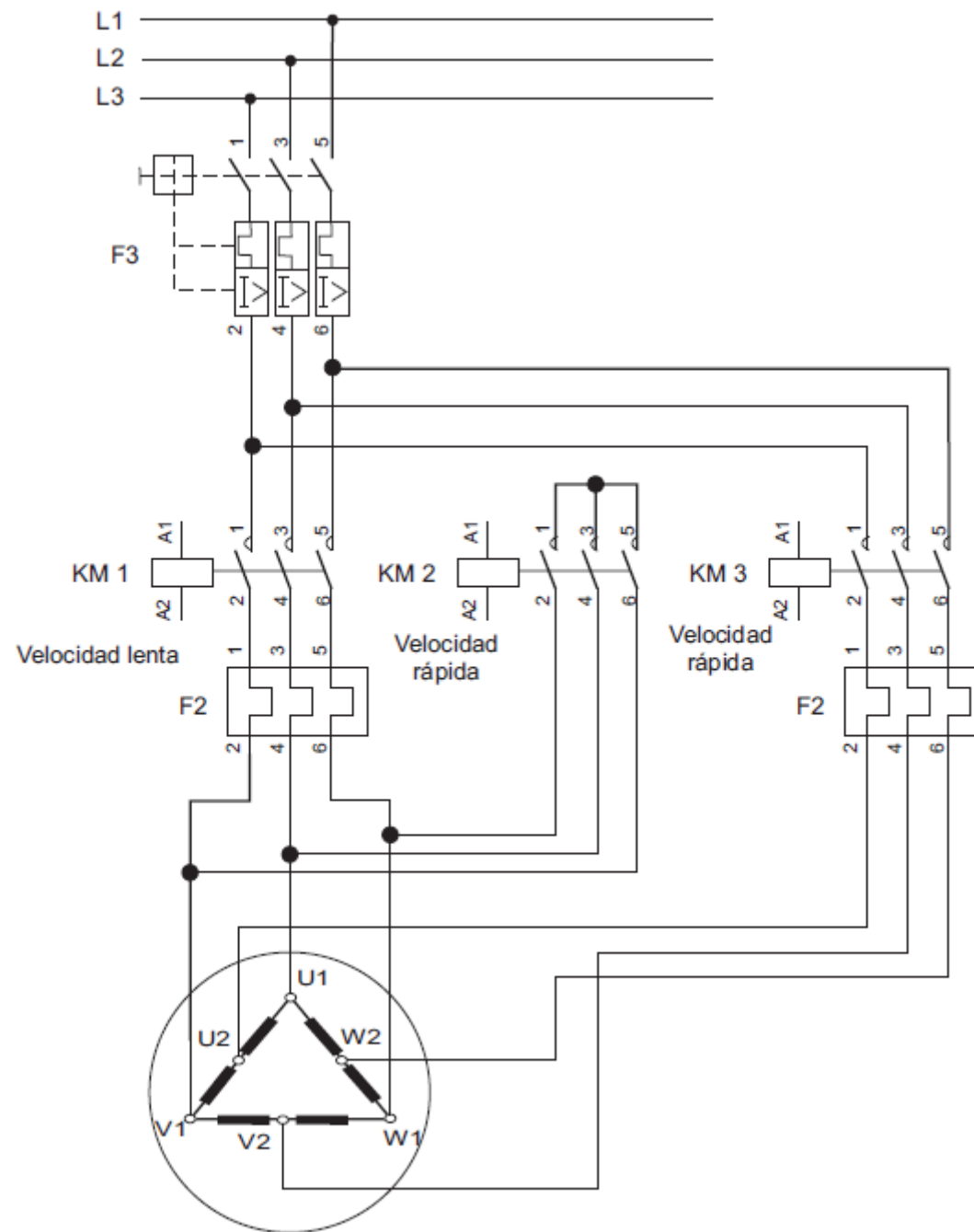


Conexión del motor dahlander para velocidad lenta.

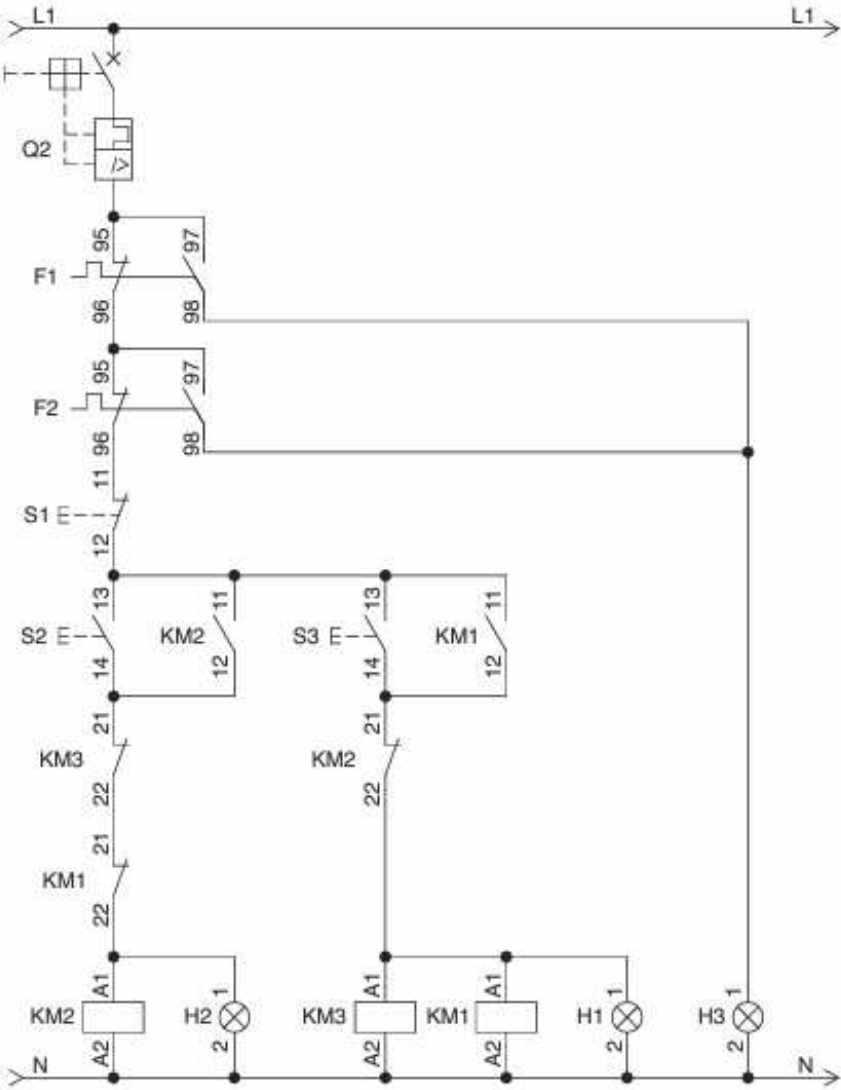
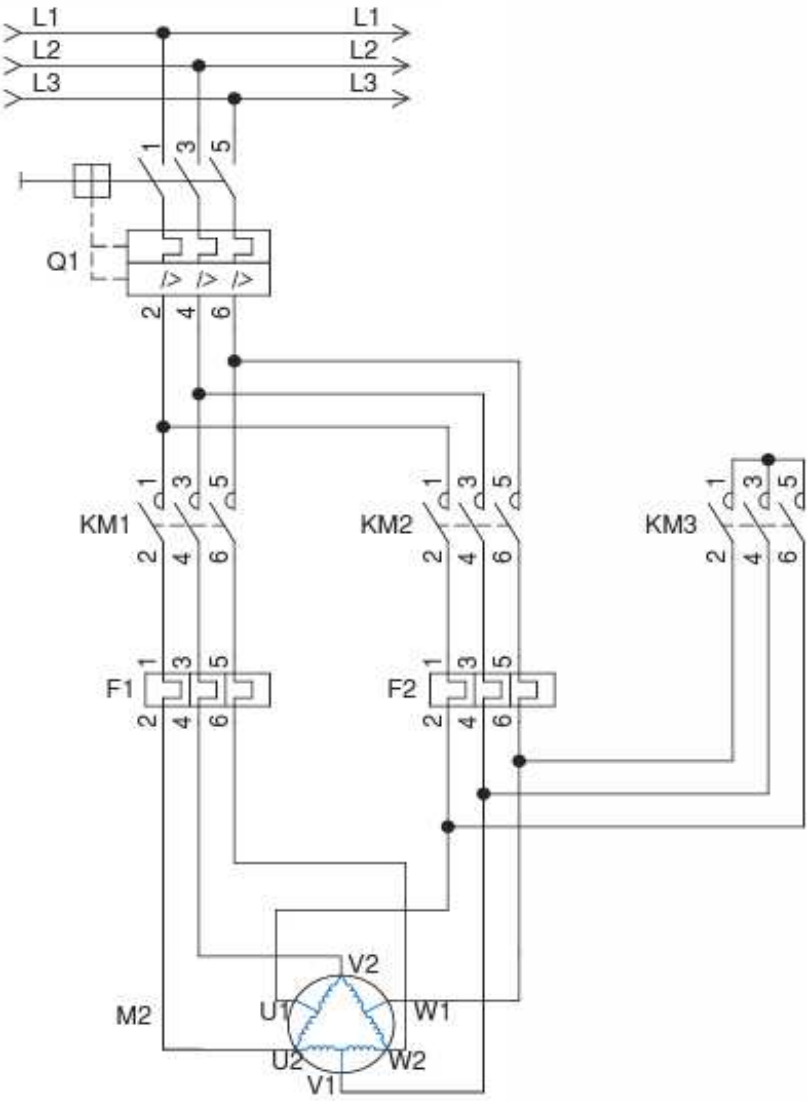


Conexión del motor dahlander para velocidad rápida.





Arranque de un motor de dos velocidades con devanados con tomas intermedias (motor Dahlander)



Variación de velocidad por variadores de frecuencia

Otra forma de variar la velocidad de un motor de corriente alterna se consigue cambiando la frecuencia de su alimentación, mediante los denominados **variadores de frecuencias** o variadores de velocidad.

Un variador de frecuencia es un dispositivo de electrónica de potencia, que como su propio nombre dice, es capaz de modificar la frecuencia en hercios de la alimentación de un motor.

caso práctico inicial

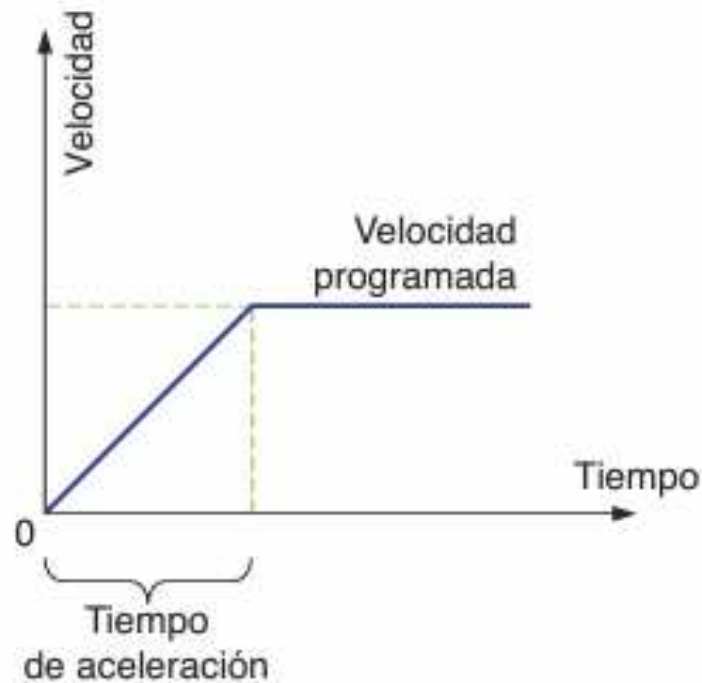
El uso de un variador de frecuencia es la mejor solución para la velocidad del motor de la cinta transportadora.



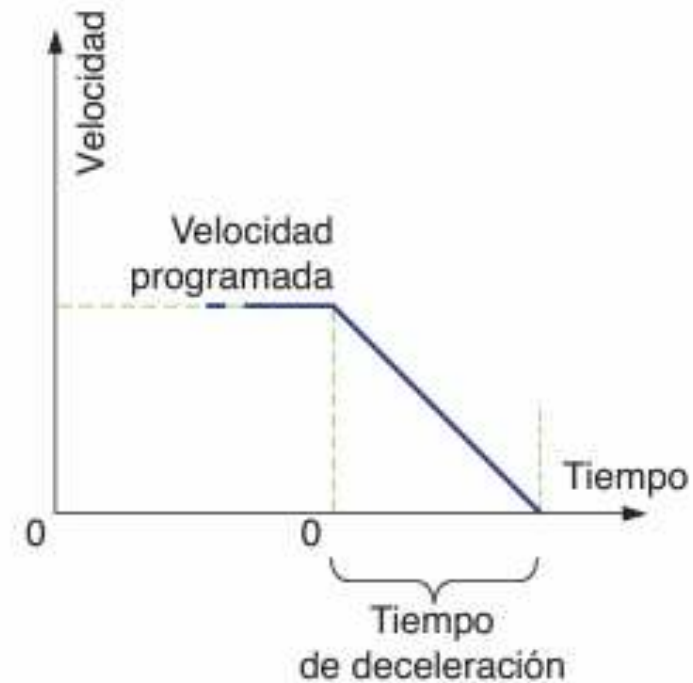
Variadores de frecuencia de baja potencia.

Programación de los variadores de frecuencia

- **Ajustes de fábrica:** pone todos los parámetros del variador a valores de fábrica.
- **Rampa de aceleración:** es el tiempo en segundos que se emplea para que el motor consiga la velocidad preprogramada.
- **Rampa de deceleración:** es el tiempo en segundos que se emplea para que un motor disminuya su velocidad hasta pararse o lograr otra velocidad preprogramada.



Rampa de aceleración.



Rampa de deceleración.

Programación de los variadores de frecuencia

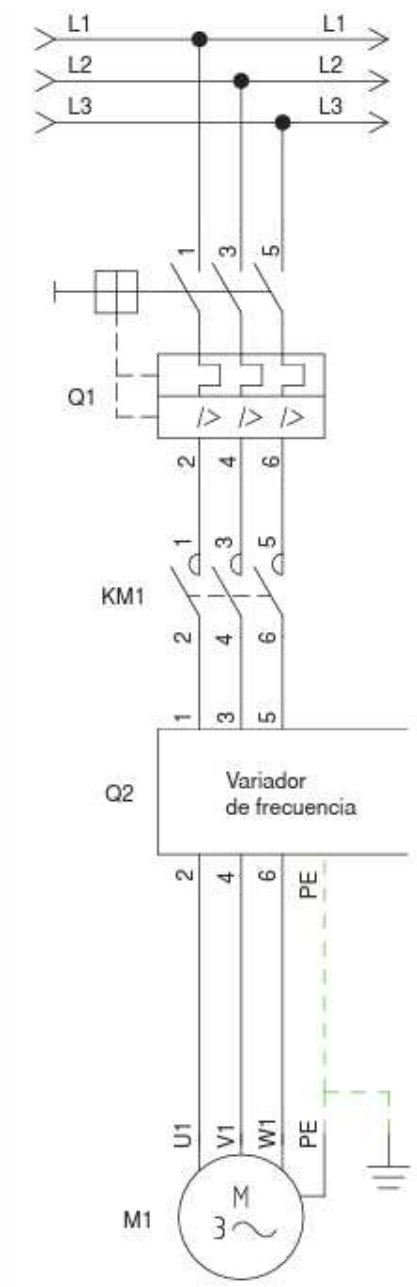
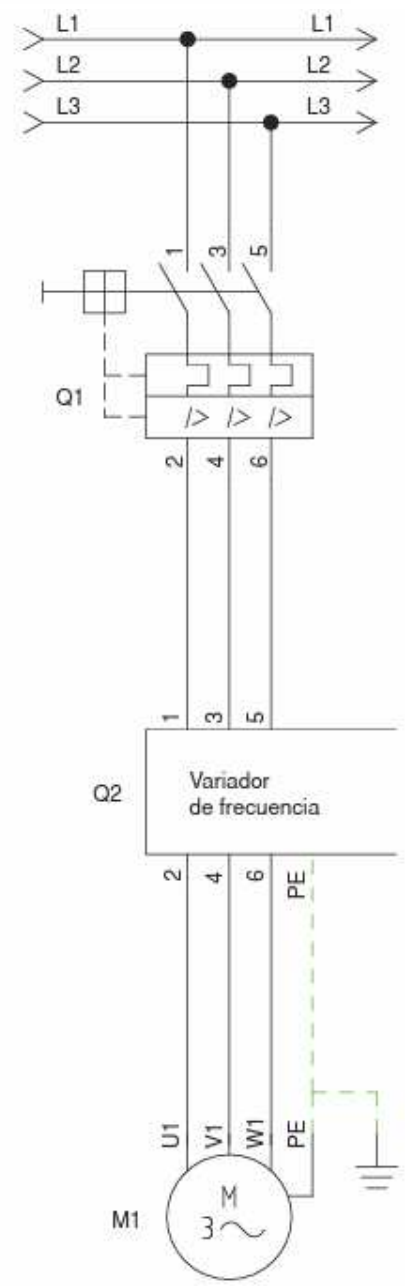
- **Velocidad máxima:** velocidad más rápida a la que se desea que gire el motor.
- **Velocidad mínima:** velocidad más lenta a la que se desea que gire el motor.
- **Velocidades preseleccionadas:** conjunto de velocidades que programa el operario y que se eligen a través de las entradas lógicas o por algún bus de comunicación.
- **JOG:** funcionamiento del motor a impulsos. Necesita una velocidad preseleccionada propia y tener asociada una entrada lógica para conectar en ella un pulsador o interruptor.
- **Frenado:** permite ajustar el tipo de frenado del motor, que puede ser por inyección de corriente continua o rueda libre.

saber más

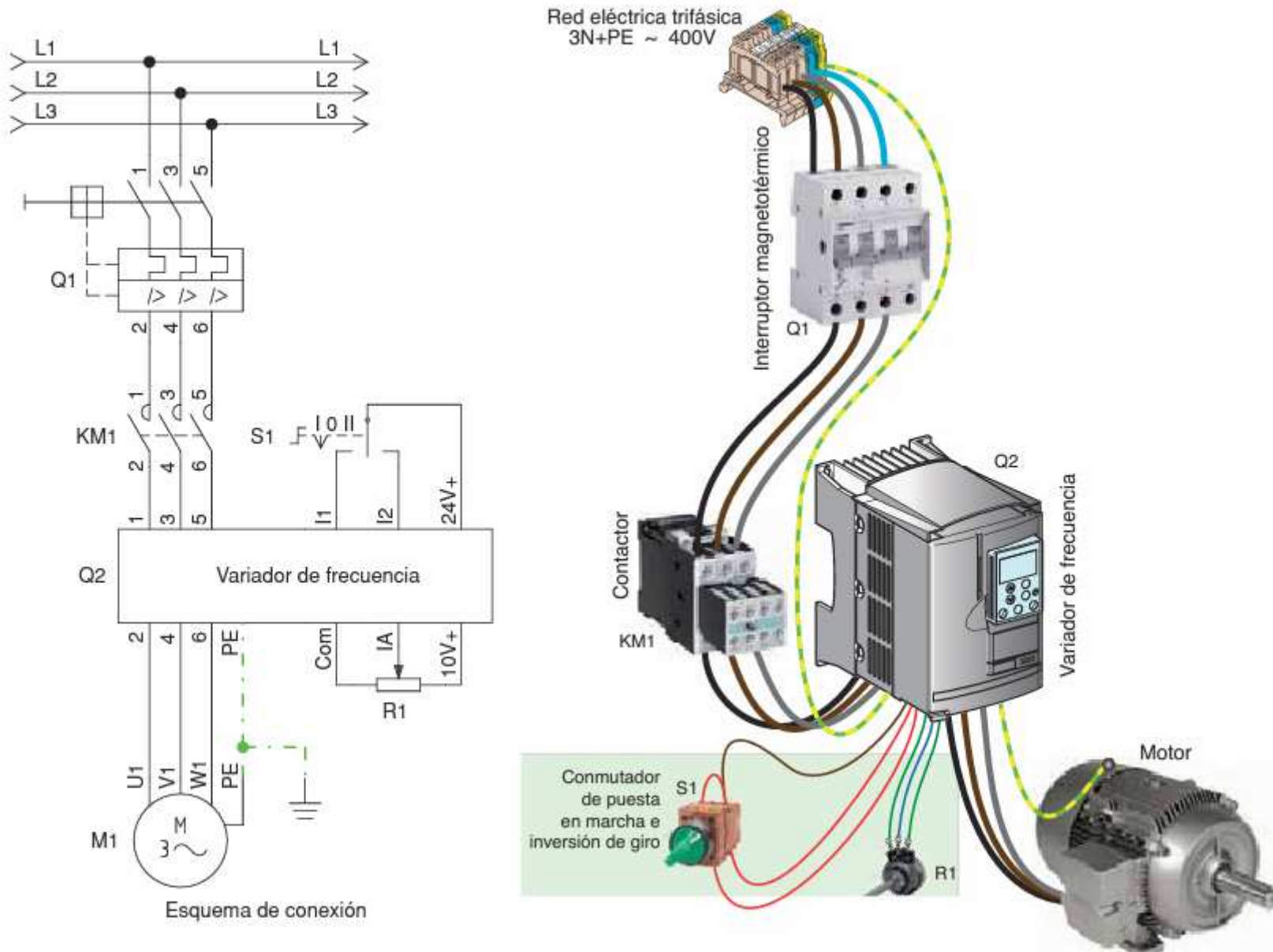
Algunos fabricantes integran el variador de frecuencia en el propio motor.

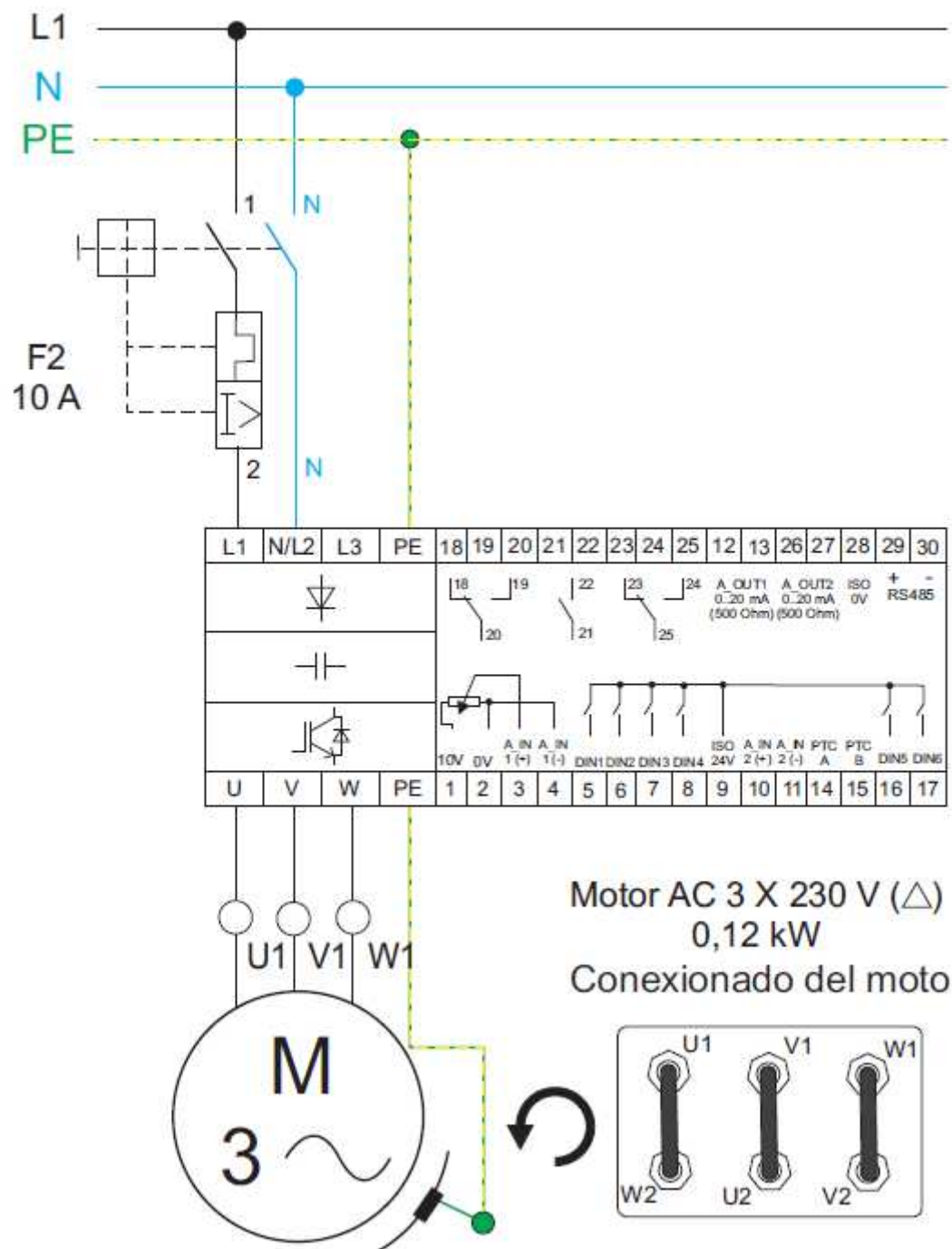


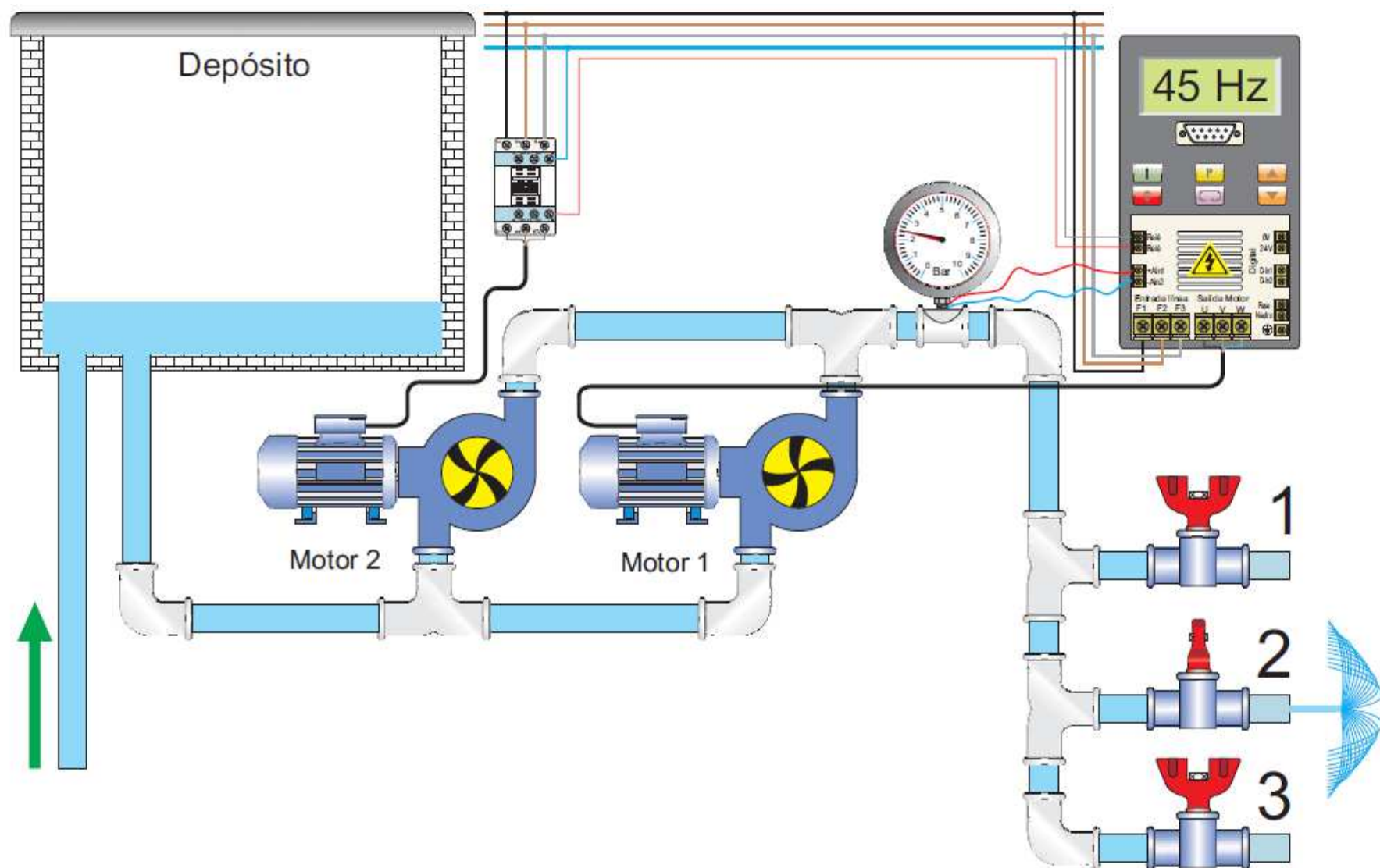
Conexión del variador de velocidad

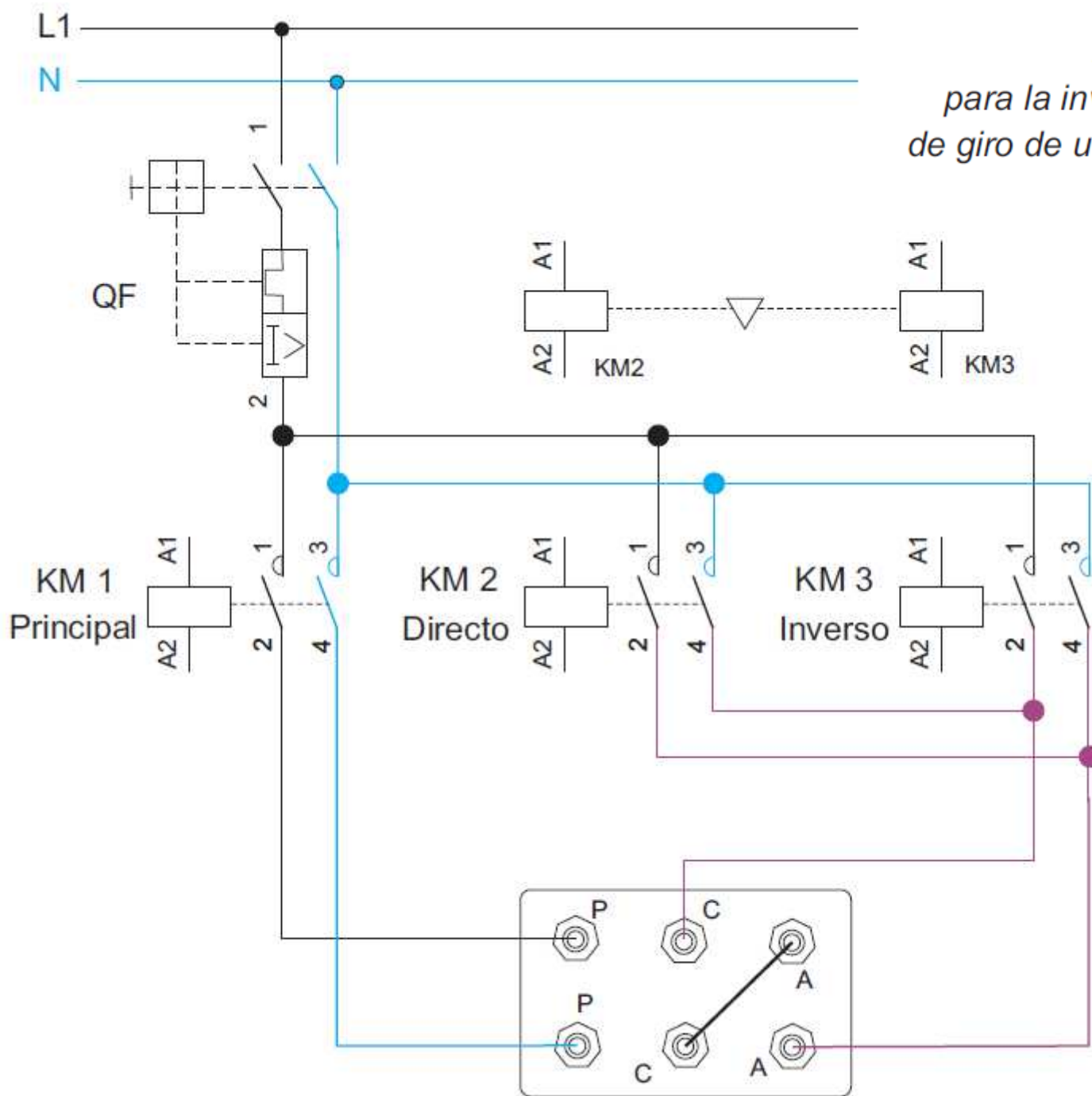


Conexión del variador de velocidad



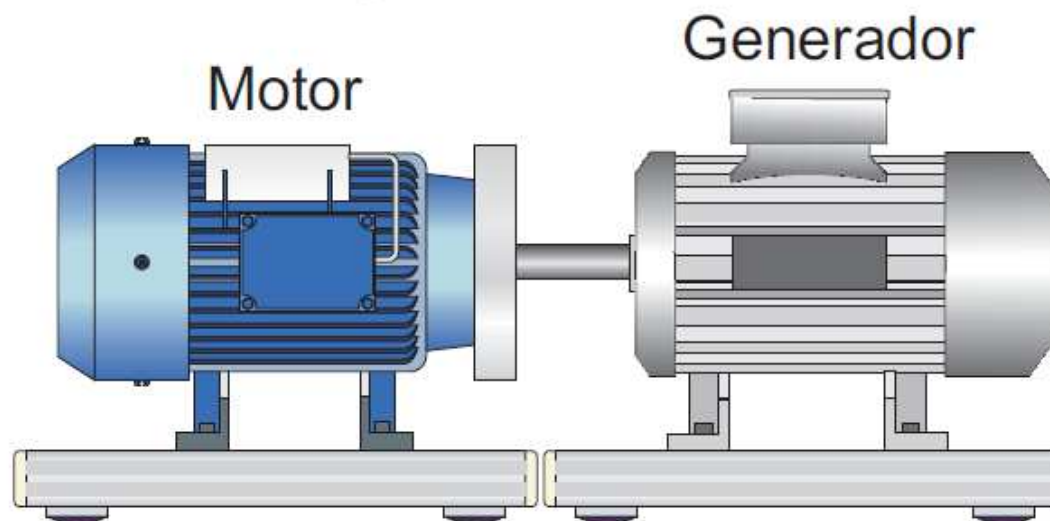
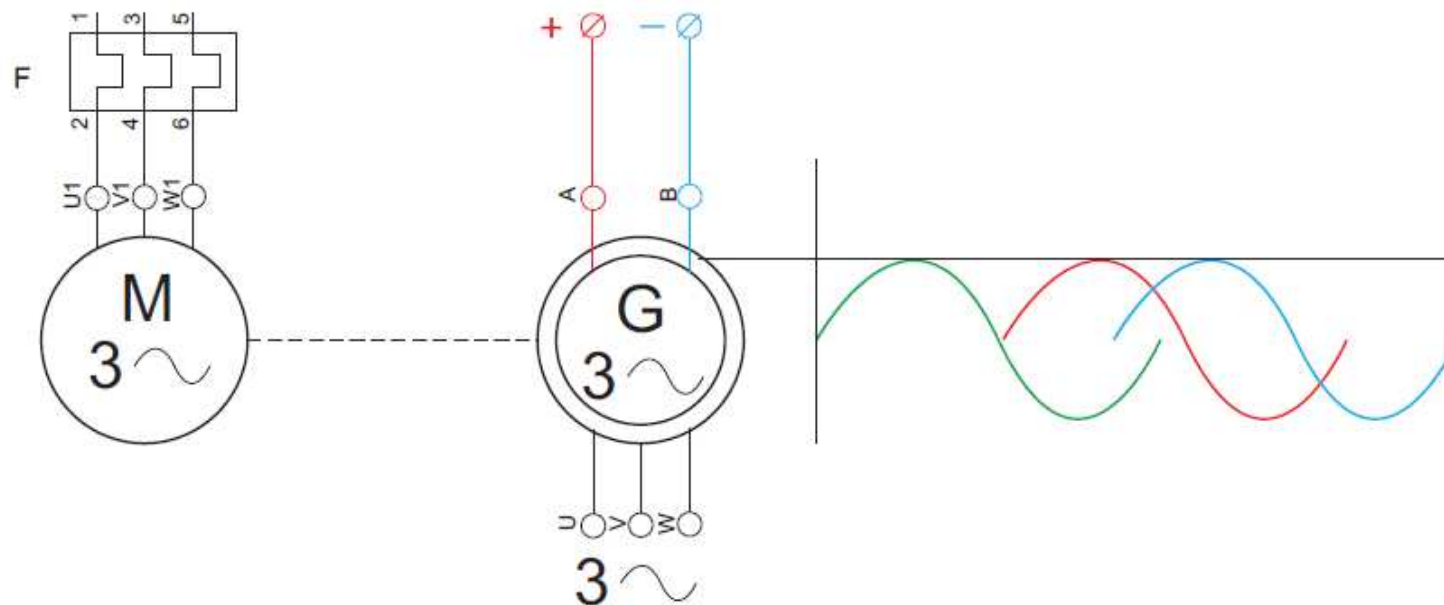






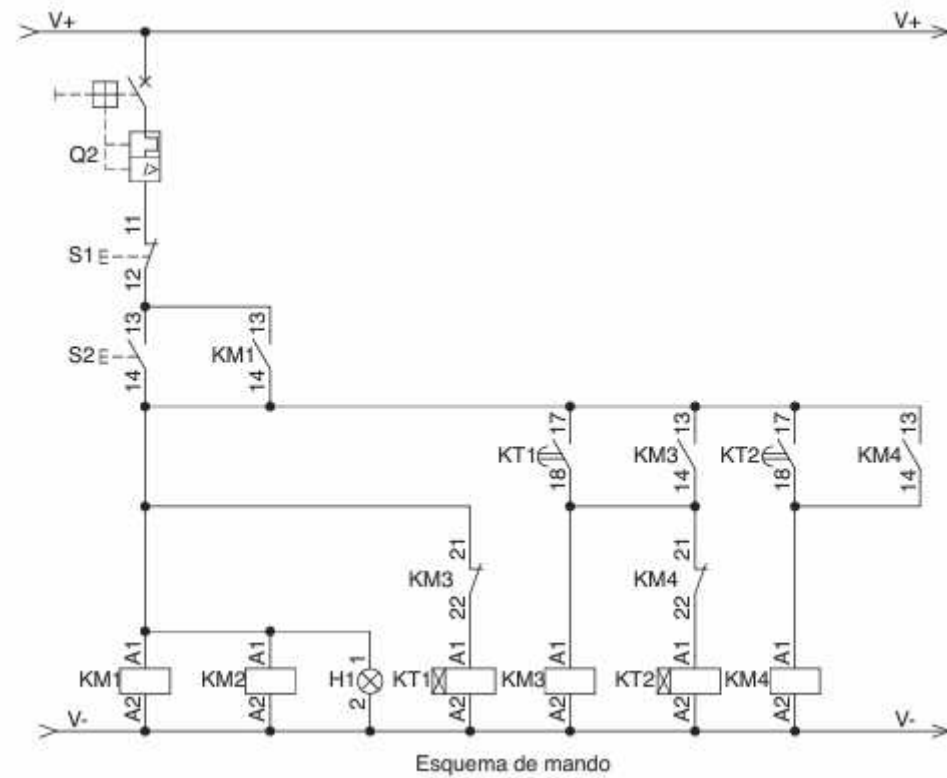
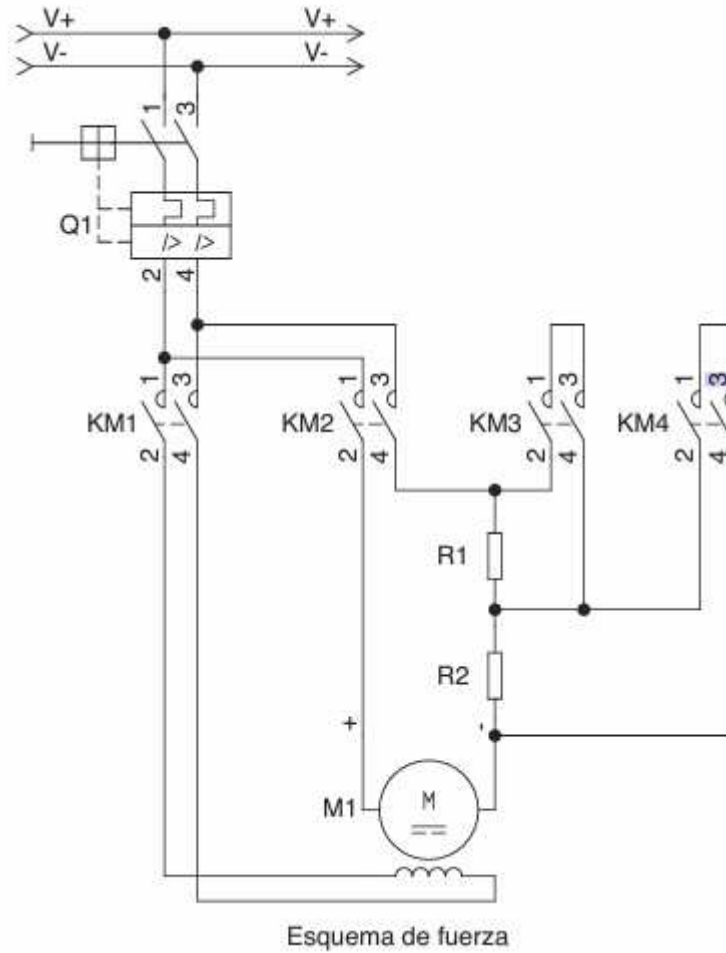
*Esquema de potencia
para la inversión de sentido
de giro de un motor monofásico.*

Acoplamiento motor-generator.



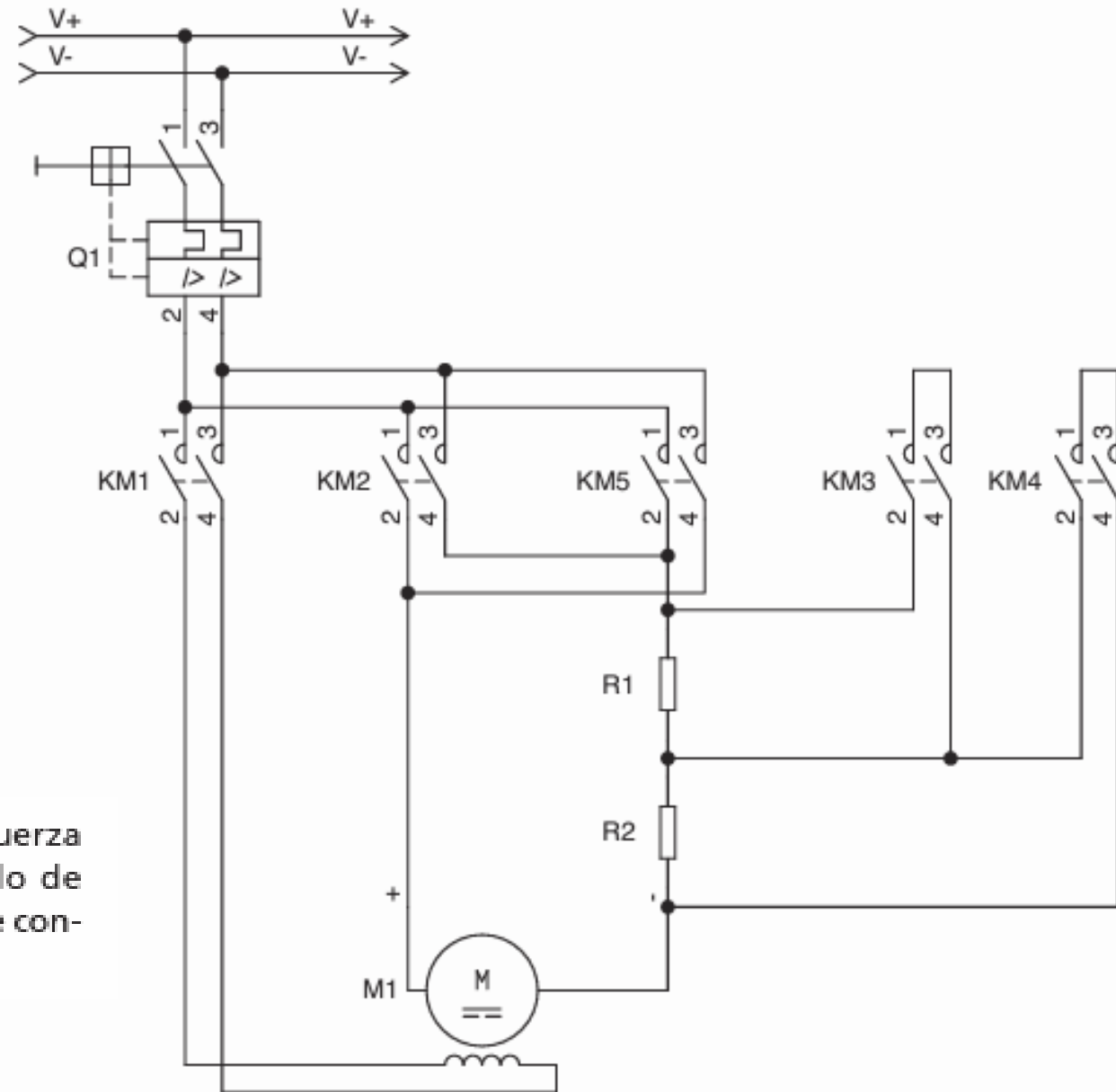
Arranque de motores de corriente continua

Aquí se muestra como se realiza el arranque del motor de devanados independientes (y por defecto también del *shunt*) ya que es el más utilizado de todos ellos.

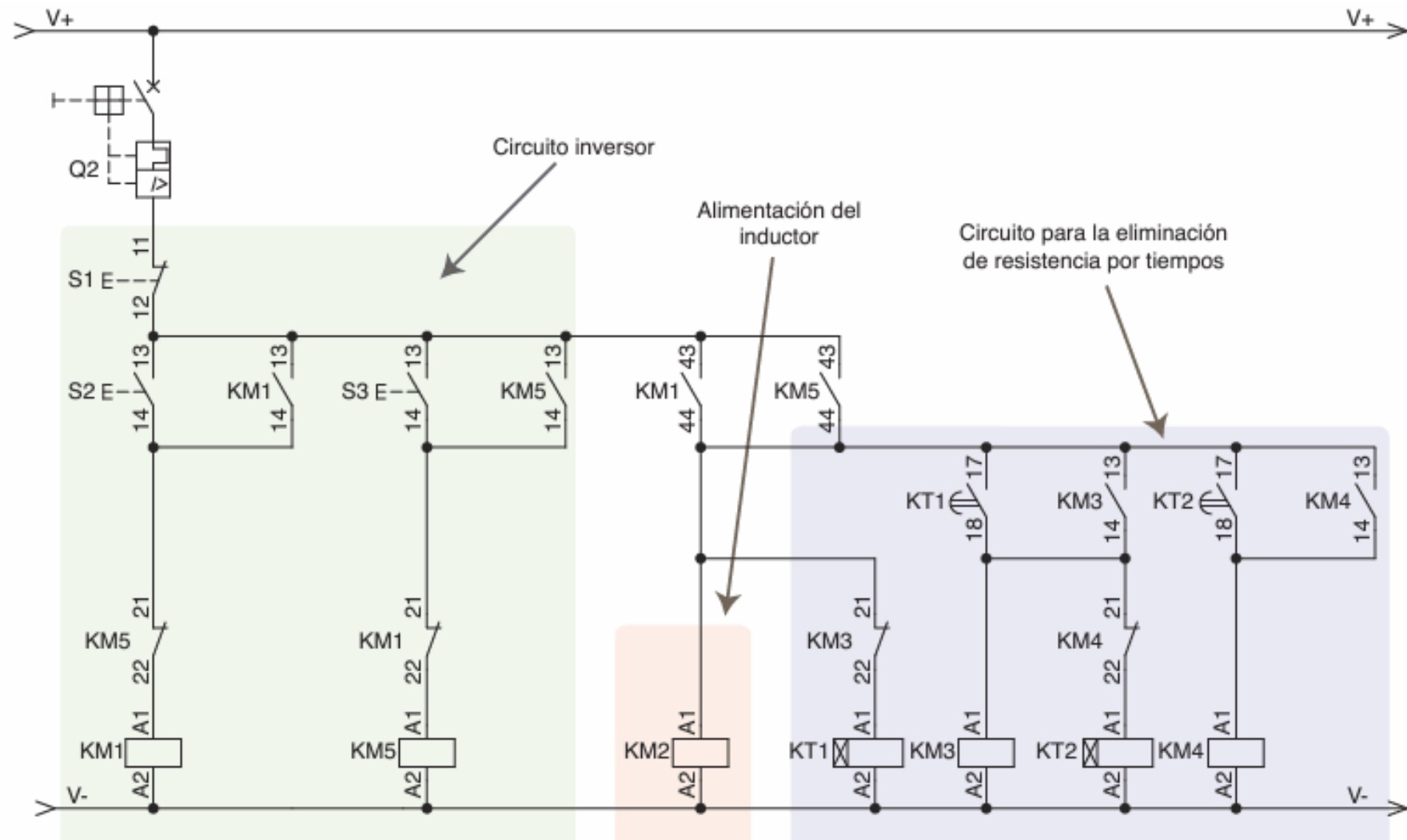


Arranque de motores de corriente continua

Esquema de fuerza para la inversión del sentido de giro de un motor de corriente continua.

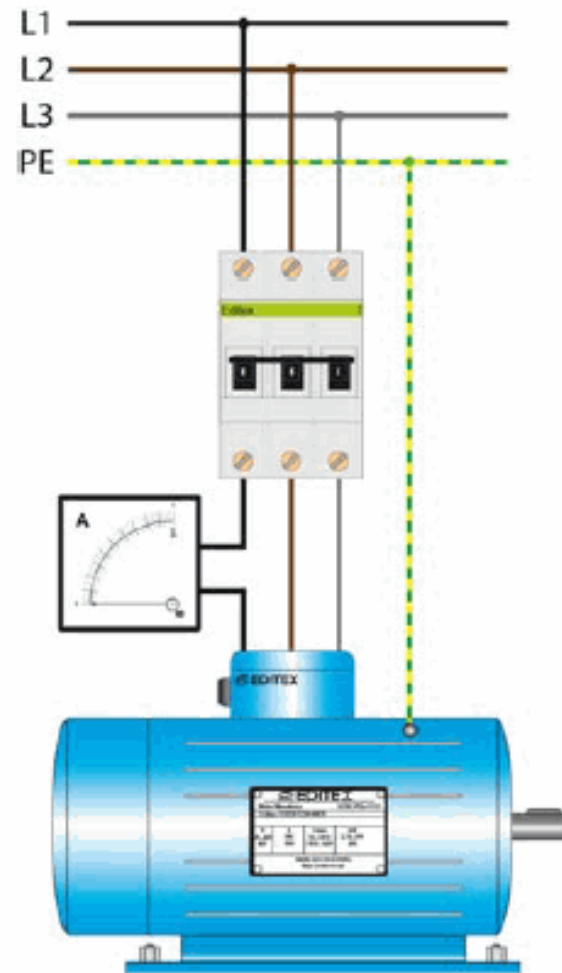


Arranque de motores de corriente continua



ACTIVIDADES

Conecta un amperímetro en serie con una de las fases que alimentan un motor trifásico con rotor en cortocircuito. Conecta el motor a la red eléctrica y observa qué ocurre con la corriente en el momento del arranque.



Conexión del amperímetro al motor trifásico

ACTIVIDADES

Conecta un motor trifásico de rotor en cortocircuito a una línea de corriente alterna de tensión variable. Con el mando de regulación, modifica la tensión de alimentación del motor entre 150 y 240V. ¿Qué ocurre con la velocidad del motor? ¿Qué conclusiones sacas de esta prueba?

Variando la tensión de alimentación de un motor de corriente alterna, no se varía la velocidad de giro de su rotor. Es más, si el motor está en carga y la tensión baja en exceso, el motor se para.

¿Cuál es el circuito de automatismos que permite evitar en todo lo posible los picos de corriente en el momento del arranque del motor?

El denominado arranque Estrella-Triángulo, es el que mejor se adapta para evitar la sobrecorriente en el momento del arranque, del motor utilizado en el caso práctico inicial de esta unidad.

¿El uso de un arrancador progresivo sería adecuado para solucionar el problema de la corriente del arranque del motor instalado?

Efectivamente, el arrancado progresivo es un dispositivo que permite solucionar los problemas de sobrecorrientes en el momento de arranque de este tipo de motores. En la actualidad están sustituyendo a los arranques convencionales basados en automatismo con contactores.

ACTIVIDADES

¿Si el motor es de rotor en jaula de ardilla, crees que se puede utilizar el arranque por resistencias rotóricas?

No, este tipo de arranque solamente se puede realizar en motores con rotor bobinado.

¿Cuál sería la forma idónea para regular la velocidad del motor instalado?

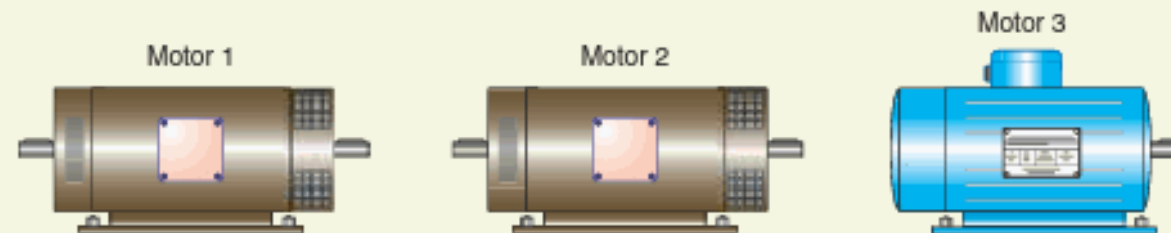
La forma idónea para regular la velocidad de un motor de corriente alterna con rotor en cortocircuito, es utilizando un variador de frecuencia o variador de velocidad.

ACTIVIDADES

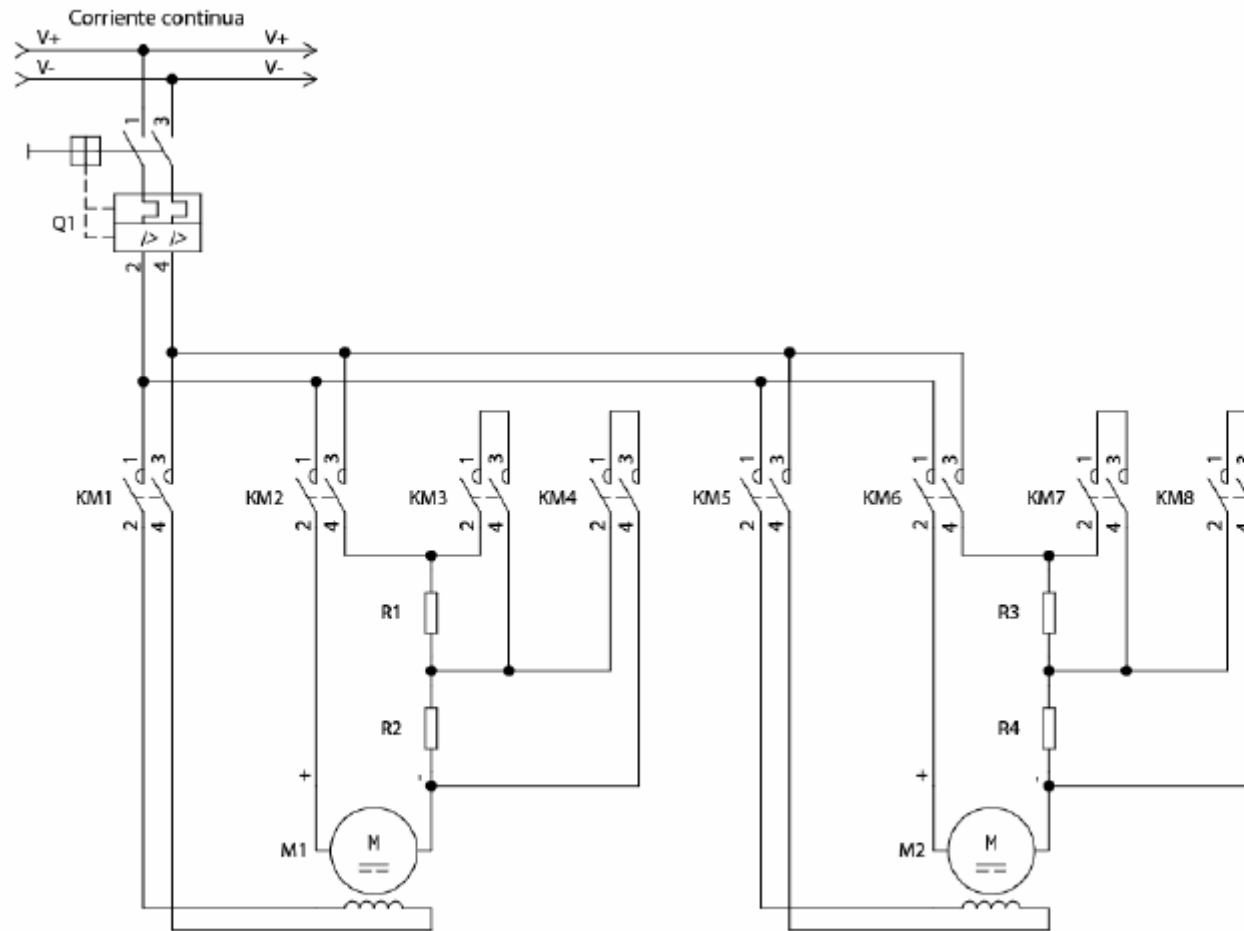
Dibuja los esquemas de mando y fuerza para el arranque condicionado de tres motores. Dos son de corriente continua con devanados independientes y el tercero es trifásico de corriente alterna con rotor en cortocircuito.

Las condiciones de funcionamiento son las siguientes:

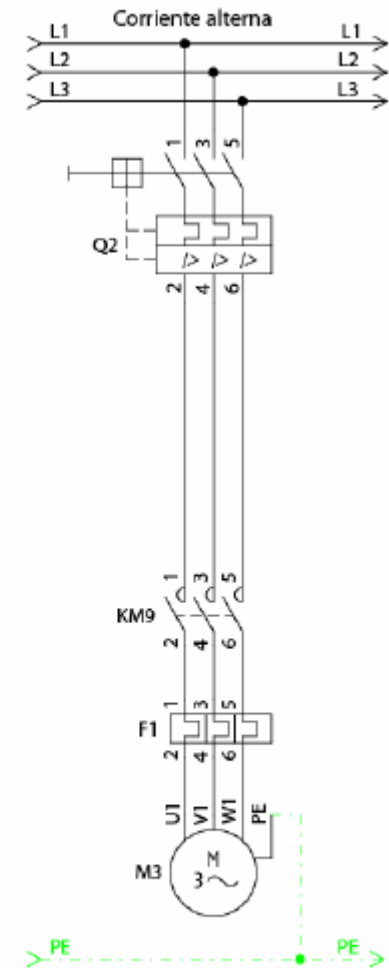
- a) El segundo motor de CC solamente puede ponerse en marcha cuando el motor 1 ha arrancado por completo.
- b) Si alguno de los motores de corriente continua está en funcionamiento, el motor de corriente alterna no puede ponerse en marcha y viceversa.
- c) El arranque de los motores de corriente continua debe hacerse por eliminación de resistencias en 2 tiempos.
- d) El motor de corriente alterna se arranca de forma directa a través de un contactor.



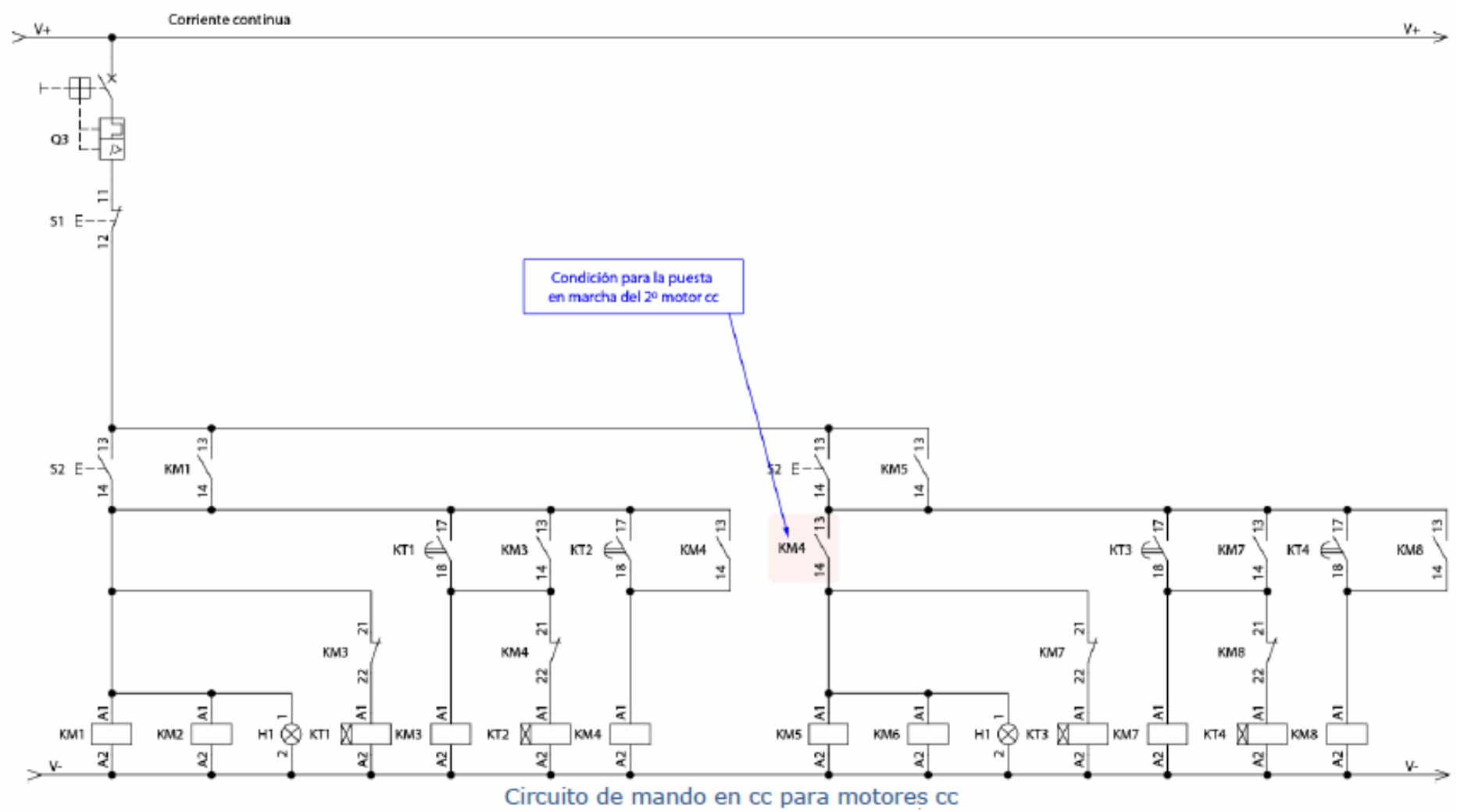
ACTIVIDADES

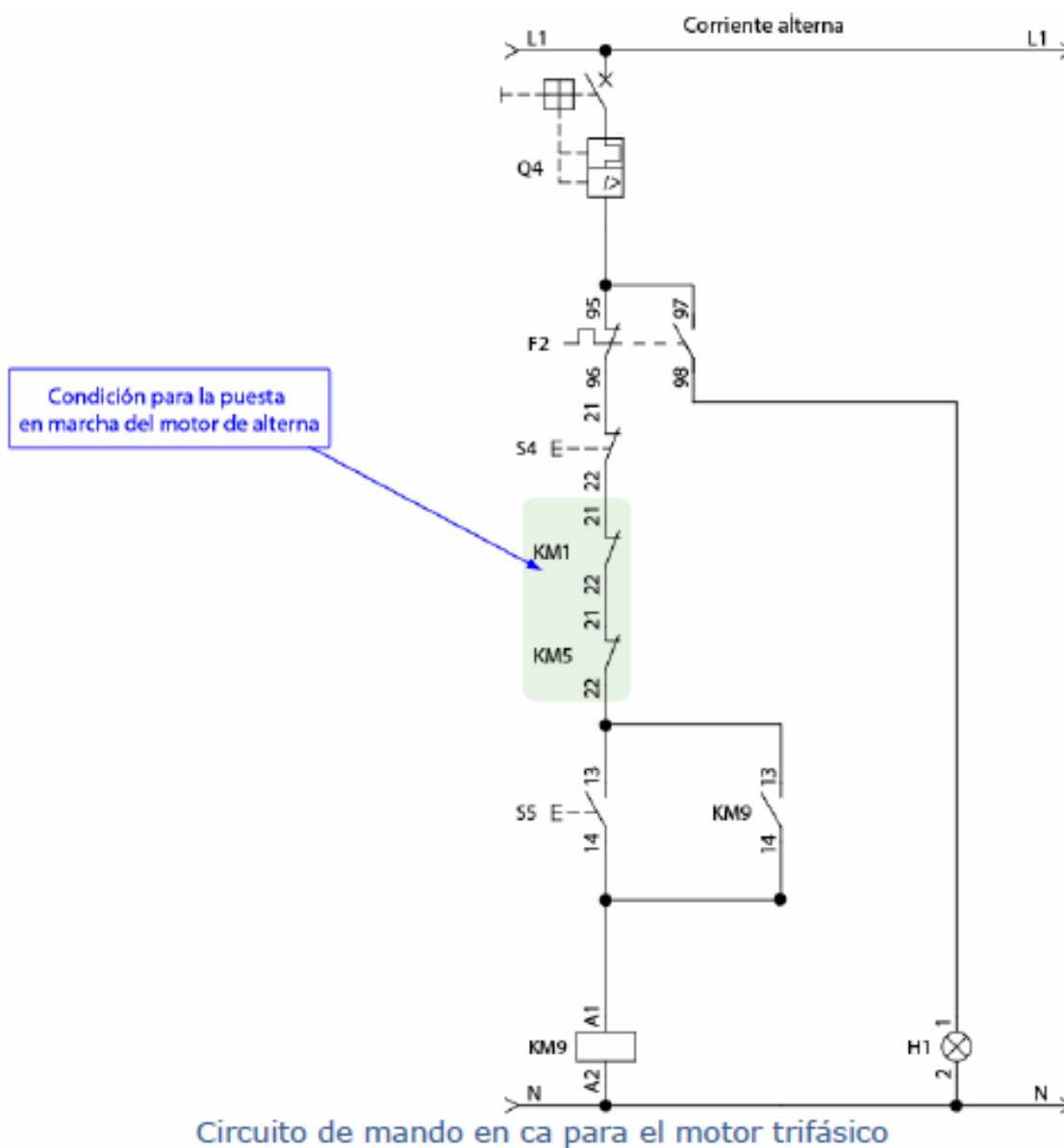


Circuito de fuerza para motores cc y motor ac



ACTIVIDADES



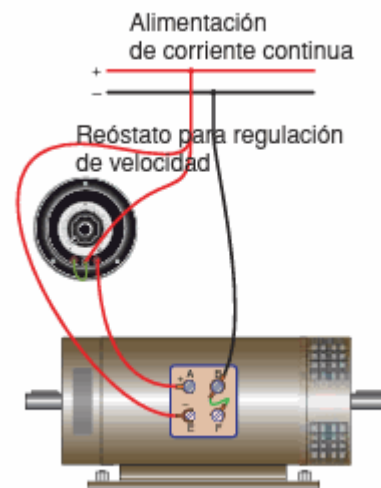


Regulación de velocidad en motores de corriente continua

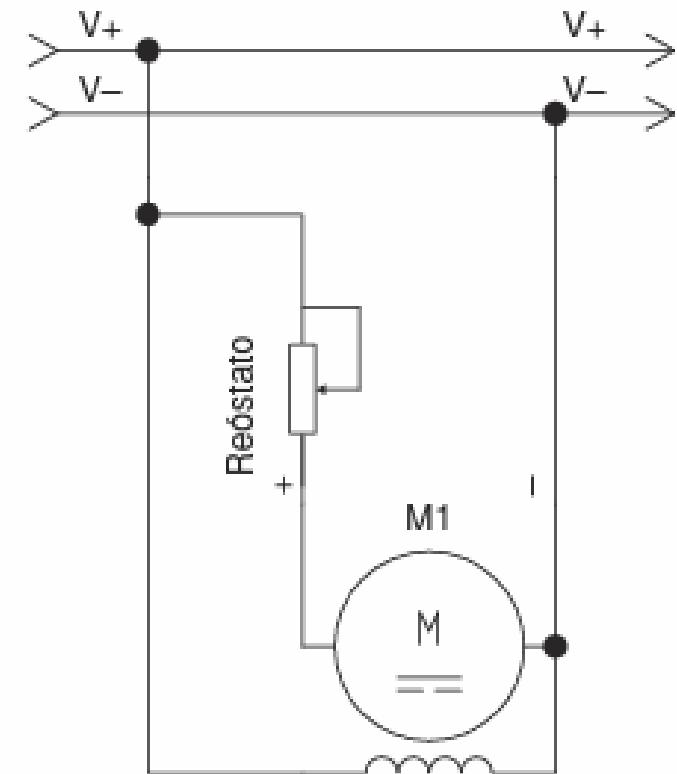
Con el motor en marcha, si se varía la corriente en uno de los devanados, se varía también la velocidad de giro de la máquina.

Regulación de velocidad reóstática

La forma clásica de regular la velocidad en un motor de corriente continua es insertando en serie con uno de los devanados un reóstato de potencia adecuada. Si bien esta forma es sencilla y eficaz desde el punto de vista eléctrico, no lo es tanto desde el punto de vista del montaje y la instalación, ya que se requieren voluminosos dispositivos como los reóstatos de regulación.



Si el reóstato se conecta en el circuito del inducido, la regulación de velocidad se realiza a par constante. Sin embargo, si se conecta en el circuito inductor, se dice que la regulación se realiza a potencia constante.



Regulación de velocidad en motores de corriente continua



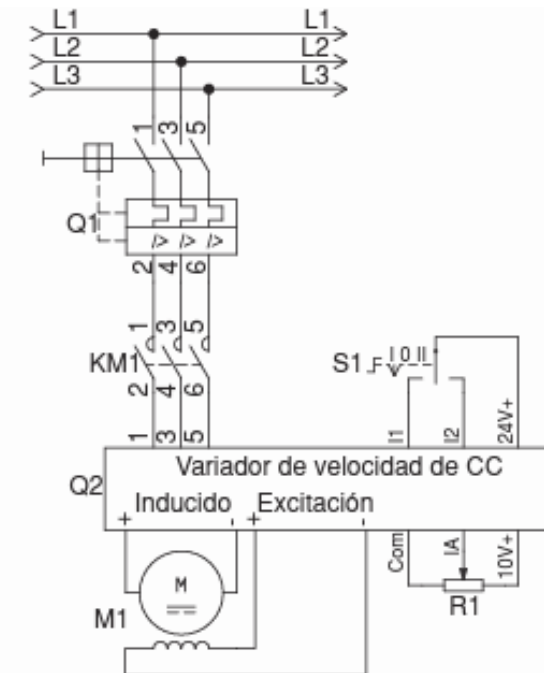
Regulación por variadores de velocidad

La regulación de velocidad reostática está siendo sustituida por métodos más modernos y versátiles basados en circuitos de electrónica de potencia.

En el mercado existen los denominados **variadores de velocidad** para motores de corriente continua, que permiten regular de forma suave, por medio de un pequeño potenciómetro, la corriente de uno de los devanados y por tanto, la velocidad del motor.

De igual forma que los variadores de velocidad de corriente alterna, los de corriente continua disponen de entradas lógicas, desde las que se puede gestionar la marcha y parada, la inversión del sentido de giro, el JOG y el frenado de la máquina.

La alimentación del variador se realiza desde la red eléctrica (monofásica o trifásica) de corriente alterna. El propio dispositivo es el encargado de generar la corriente continua para la alimentación de los devanados del motor.



EN RESUMEN

CIRCUITOS PARA EL CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Arranque

- Estrella/triángulo
- Devanados separados (*Part-winding*)
- Por resistencias rotóricas
- Mediante arrancadores progresivos

Frenado

- Por contracorriente
- Por inyección de corriente continua
- Por sistemas electromecánicos

Cambio de velocidad

- Por cambio de pares de polos
- Devanados independientes
- Conexión Dahlander
- Por cambio de frecuencia
 - Mediante variadores de frecuencia

CIRCUITOS PARA EL CONTROL DE MOTORES DE CORRIENTE CONTINUA

Arranque

- Por eliminación de resistencias
- Por eliminación de resistencias con inversión de sentido de giro

Cambio de velocidad

- Regulación de velocidad reostática
- Mediante variador de velocidad
- Por rectificadores semicontrolados