

# 4

# Motores eléctricos

## vamos a conocer...

1. Motores eléctricos
2. Motores de corriente alterna
3. Motores de corriente continua

### PRÁCTICA PROFESIONAL 1

Arranque manual de un motor trifásico mediante conmutador rotativo

### PRÁCTICA PROFESIONAL 2

Arranque manual de un motor trifásico mediante conmutador estrella-triángulo

### MUNDO TÉCNICO

Motores especiales

## y al finalizar..

- Conocerás cuáles son las partes de un motor eléctrico.
- Aprenderás los diferentes tipos de motores que se utilizan de forma habitual en la industria.
- Construirás, y comprobarás, diferentes circuitos eléctricos para el arranque manual de motores eléctricos.



## CASO PRÁCTICO INICIAL

## situación de partida

A un encargado de mantenimiento se la ha encomendado instalar el motor de una cinta transportadora, destinado al desplazamiento de botes de conserva, en una fábrica de envasado de tomate. Debido a las condiciones en las que la máquina va a trabajar, se ha calculado que dicho motor debe disponer de una potencia de 1kW y que debe funcionar en un único sentido de giro.

En el taller de mantenimiento de la propia fábrica dispone de varios tipos de motores de repuesto (de CA: monofásicos y trifásicos, de CC: *shunt* y de excitación independiente). Pensando en el entorno en el que va a trabajar la máquina y teniendo en cuenta que se

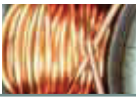
debe valorar el bajo mantenimiento de la misma, debe elegir uno de ellos.

El operario ha consultado el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y ha observado que, debido a la potencia del motor, no puede realizar un arranque directo, ya que la sobreintensidad producida en el momento del arranque, puede ser peligrosa para la instalación y los devanados del propio motor. Sin embargo, el funcionamiento de la máquina (parada y puesta en marcha) se debe gestionar, de forma manual, desde un interruptor próximo a ella.

## estudio del caso

*Antes de empezar a leer esta unidad de trabajo, puedes contestar las dos primeras preguntas. Después, analiza cada punto del tema, con el objetivo de contestar al resto de las preguntas de este caso práctico*

1. ¿Qué diferencia hay entre corriente continua y corriente alterna?
2. ¿Tienes claros los conceptos de conexión serie y conexión paralelo? Pon un ejemplo.
3. ¿Para qué te puede servir el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) en este caso?
4. Localiza las instrucciones del REBT relacionadas con el arranque de motores. ¿Cuáles son?
5. ¿Qué implica que un motor disponga de más potencia que otro?
6. ¿Crees que se podría instalar un motor de menos potencia para mover la cinta transportadora?
7. ¿Crees que todos los motores sirven para los dos tipos de corriente (alterna y continua)?
8. ¿Qué dispositivos de protección, de los que conoces hasta el momento, utilizarías para proteger motores de corriente continua?, ¿y para proteger los de corriente alterna?
9. ¿Por dónde acoplarías el motor a la cinta transportadora?
10. Como el motor que se va a instalar en la máquina de envasado requiere el mínimo mantenimiento ¿Qué tipo elegirías, uno de corriente continua o uno de alterna?



# 1. Motores eléctricos

## caso práctico inicial

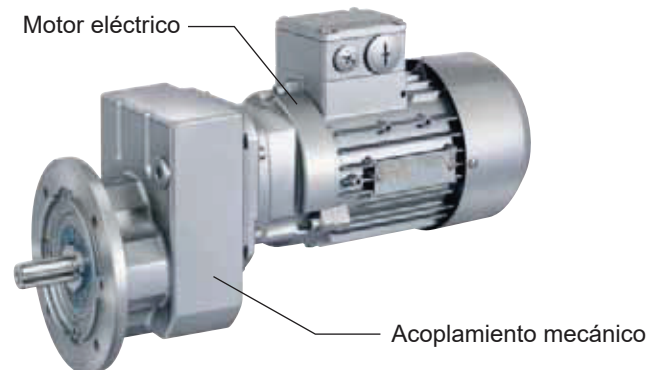
El REBT dice:

«Los motores deben instalarse de manera que la aproximación a sus partes en movimiento no pueda ser causa de accidente».

«Los motores no deben estar en contacto con materias fácilmente combustibles y se situarán de manera que no puedan provocar la ignición de estas».

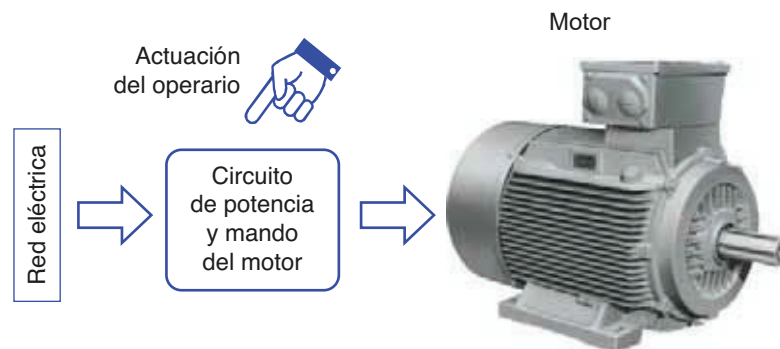
La gran mayoría de los movimientos que realizan las máquinas en la industria, para tareas tan dispares como desplazar objetos, empaquetar, cerrar puertas, subir y bajar materiales, agitar líquidos, etc., se realizan mediante motores eléctricos.

**Un motor, es un receptor que al ser alimentado mediante una corriente eléctrica, produce un movimiento giratorio en su eje que, a través de los acoplamientos mecánicos adecuados, es aprovechado para efectuar diferentes trabajos en el sector industrial y doméstico.**



↑ **Figura 4.1.** Motor eléctrico con acoplamiento mecánico.

Generalmente el funcionamiento y arranque de los motores eléctricos suele estar gestionado por sistemas de automatismos eléctricos. Este es el motivo por el que debes conocer previamente, cuáles son los diferentes tipos de motores utilizados en la industria y cómo se conectan. El siguiente paso, que tendrás oportunidad de estudiar en las próximas unidades, será montar y poner a punto los diferentes circuitos de automatismos que permiten realizar maniobras con algunos tipos de motores.



↑ **Figura 4.2.** Esquema de bloques para el arranque de un motor eléctrico.

## Tipos de motores eléctricos

## caso práctico inicial

Un motor de corriente continua no puede utilizarse en corriente alterna y viceversa.

Atendiendo al sistema de corriente utilizado en la alimentación, se pueden establecer dos tipos de motores: corriente alterna y corriente continua.

Debido a su fácil conexión, bajo mantenimiento y poco coste de fabricación, los más utilizados en la actualidad son los motores de corriente alterna, dejándose para aplicaciones más específicas los de corriente continua.



En esta unidad estudiarás diferentes formas de conectar algunos motores de corriente alterna, aunque al final de la misma se dará una visión general sobre cómo conectar los motores de corriente continua.

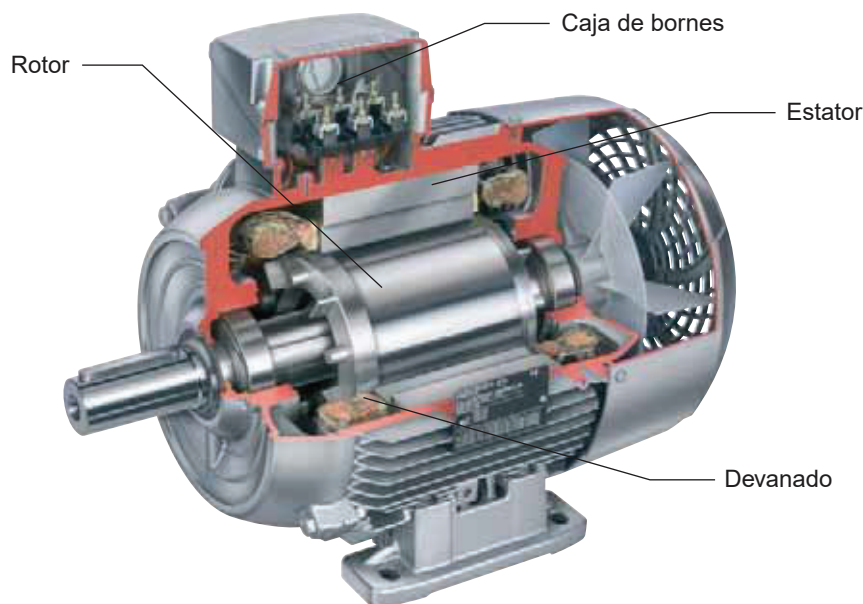
### Partes internas de un motor eléctrico

Un motor, y en general cualquier máquina eléctrica rotativa, está constituida por dos partes bien diferenciadas: el rotor y el estator.

**El rotor** es la parte giratoria de la máquina eléctrica y se aloja en el interior del circuito magnético del estator. Desde el exterior lo único que se puede ver de él es su eje.

Dependiendo del tipo de máquina eléctrica, el rotor puede estar bobinado o no. En el primer caso, el conexionado eléctrico se realiza desde la caja de bornes, a través de escobillas, a un sistema de colector o anillos rozantes.

**El estator** es la parte fija de la máquina. Está formado por chapa magnética ranurada (o piezas polares), en la que se aloja el devanado. La conexión eléctrica se realiza desde exterior a través de la caja de bornes.

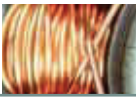


← **Figura 4.3.** Partes de un motor eléctrico.

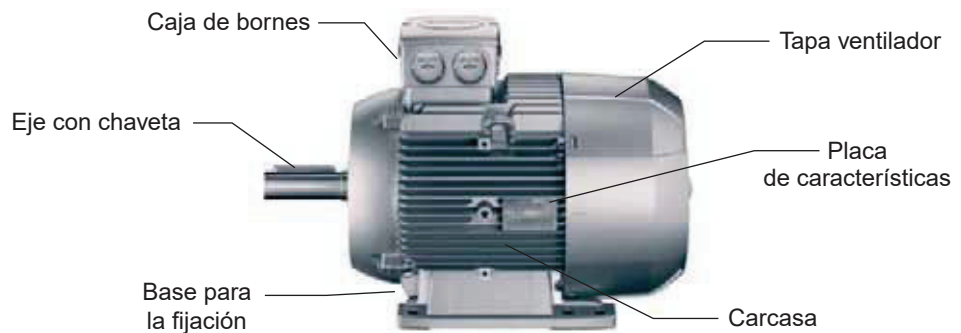
### Partes externas de un motor eléctrico

Si echas un vistazo al exterior de un motor eléctrico, podrás identificar las siguientes partes:

- **Caja de bornes:** permite la conexión del motor eléctrico al sistema de alimentación.
- **Placa de características:** es una placa de aluminio en la que se encuentran estampadas (por serigrafía o troquel) las características más significativas del motor.
- **Eje:** es el elemento por el que se transmite el movimiento giratorio del motor. Dispone de una chaveta para el acoplamiento a la maquinaria en la que vaya a ser instalado.
- **Carcasa:** cubre todo el interior del motor, tanto el circuito eléctrico como el circuito magnético.



- **Tapa del ventilador:** cubre el sistema de ventilación del motor. Dispone de una rejilla para facilitar la salida de aire.
- **Base de fijación:** es la parte de la carcasa que permite la fijación del motor a la bancada en la que va a ubicarse. Suele disponer de cuatro ranuras para la fijación y ajuste mediante tornillos.



→ **Figura 4.4.** Partes externas de un motor eléctrico.

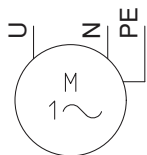
## 2. Motores de corriente alterna

### recuerda

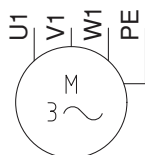
El borne PE corresponde al conductor de protección (toma de tierra).

En función del número de fases de la alimentación, los motores de corriente alterna **pueden ser monofásicos y trifásicos**. Los monofásicos se alimentan mediante fase y neutro y los trifásicos mediante tres fases. Los primeros se utilizan mayoritariamente en entornos domésticos y los segundos en entornos industriales.

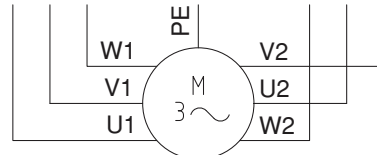
Los símbolos normalizados para identificar estos motores son los siguientes.



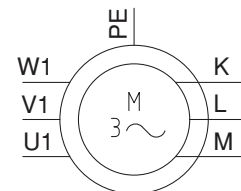
↑ **Figura 4.5.** Motor monofásico.



↑ **Figura 4.6.** Motor trifásico con rotor en cortocircuito.



↑ **Figura 4.7.** Motor trifásico con 6 bornes.



↑ **Figura 4.8.** Motor con rotor bobinado.

Estos tipos de motores son denominados habitualmente motores de inducción o asíncronos.

Entre los motores trifásicos, podemos destacar dos tipos en función del devanado del rotor: los de **jaula de ardilla (o cortocircuito)** y los de **rotor bobinado (o también denominado de anillos rozantes)**. Los primeros se utilizan de forma mayoritaria en todo tipo de aplicaciones, y los segundos en aquellos casos específicos que requieren un gran par motor.

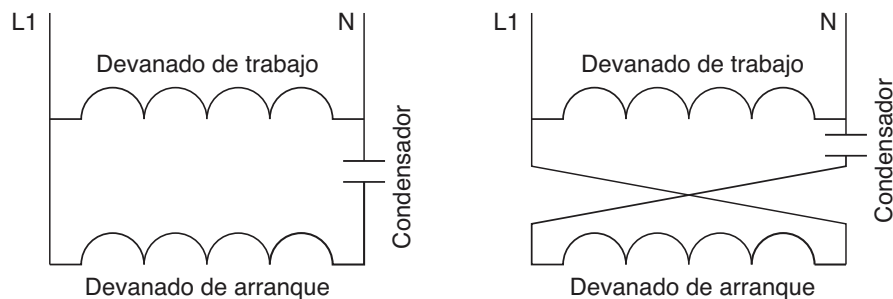
### 2.1. Motores monofásicos

Los motores monofásicos disponen en su interior de dos devanados, uno de arranque y otro de trabajo. Lo habitual es que la caja de bornes de este tipo de motores, disponga solamente de dos bornes, que se conectan directamente entre la fase y el neutro de la red eléctrica. En este caso, el motor tiene un único sentido de giro que no se puede cambiar sin desmontar la máquina, ya que para ello es necesario permutar la polaridad de uno solo de los devanados.



↑ **Figura 4.9.** Motor monofásico con condensador de arranque (ALE-COP).

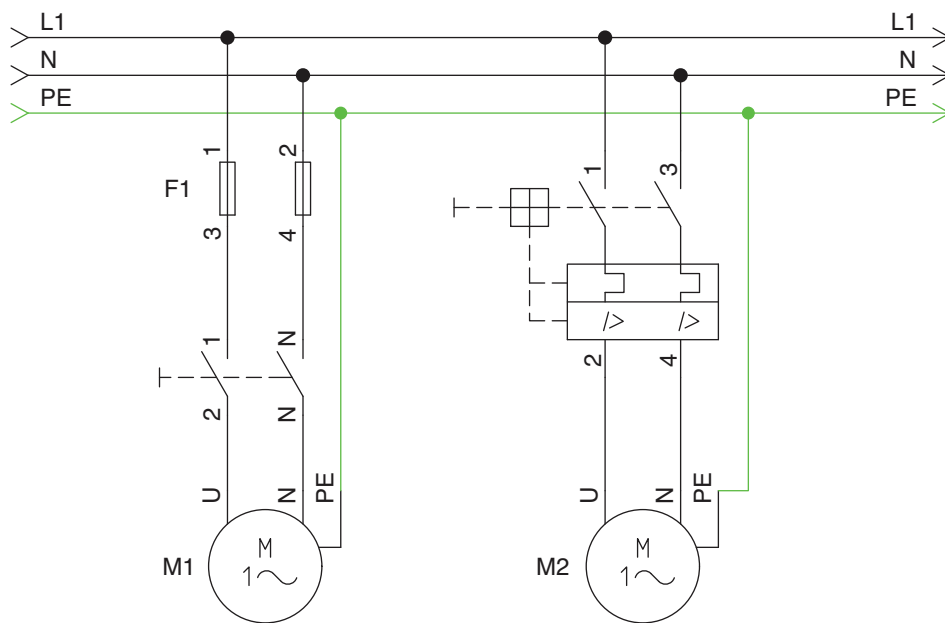
Estos motores suelen tener conectado en serie al devanado de arranque, un condensador (en el exterior) o un interruptor centrífugo (en el interior). El primer método el más utilizado en la actualidad debido a su nulo mantenimiento.



↑ **Figura 4.10.** Inversión del sentido de giro de un motor monofásico.

Estos motores son de baja potencia y su arranque se puede hacer con interruptor bipolar como se muestra en la figura 4.12.

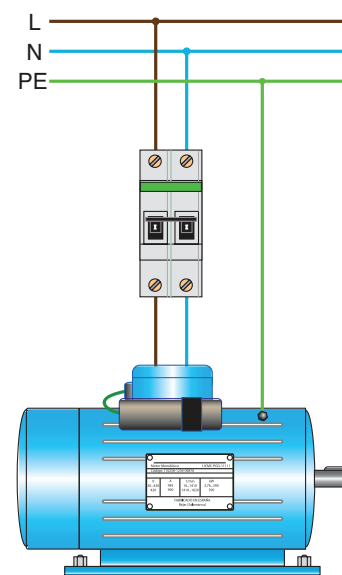
En la figura 4.13 puedes ver dos formas de arranque directo de un motor monofásico. En el esquema de la izquierda, el motor se alimenta de la red eléctrica con un interruptor bipolar y la protección se realiza mediante fusibles. En el esquema de la derecha, tanto la conmutación de la alimentación eléctrica como la protección, se realiza mediante un interruptor magnetotérmico bipolar.



↑ **Figura 4.13.** Arranque directo.



↑ **Figura 4.11.** Interruptor centrífugo de motor monofásico.



↑ **Figura 4.12.** Conexión de interruptor bipolar para arranque de motor monofásico.

## ACTIVIDADES

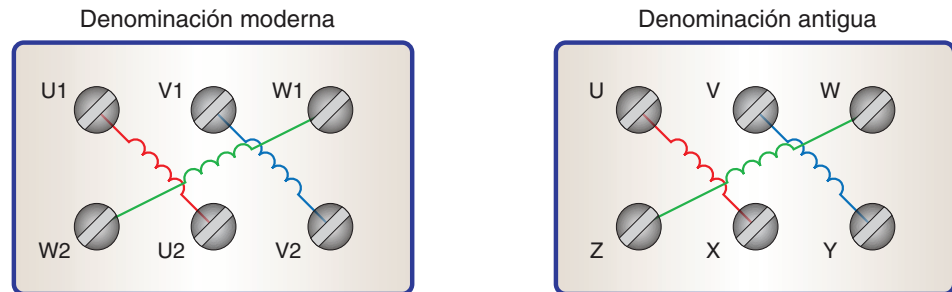
1. Utilizando un motor didáctico monofásico, realiza las conexiones necesarias para que el motor arranque. Conecta el conjunto a la red eléctrica y observa el sentido de giro de la máquina.
2. Desconecta la máquina de la red y permuta las conexiones de uno de los devanados. Aliméntalo de nuevo y comprueba visualmente que el motor gira en sentido contrario.



↑ **Figura 4.14.** Detalle de los devanados internos de un motor de inducción. (Cortesía Alecop).

## 2.2. Motores trifásicos de rotor en jaula de ardilla

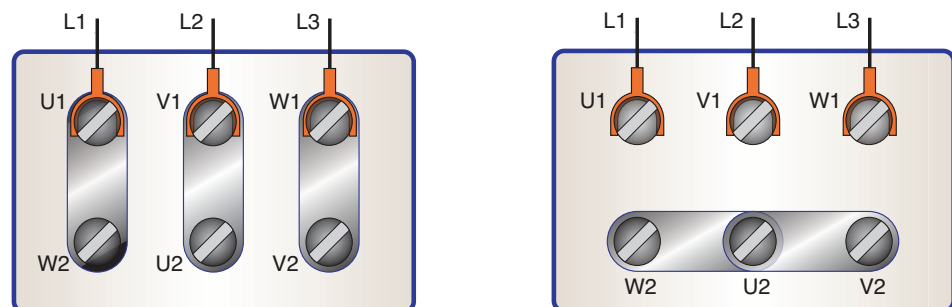
Los motores trifásicos disponen en el estator tres devanados, uno por fase. Cada devanado tiene dos terminales, un principio y un final, que salen a la caja de bornes, quedando conectados internamente de la siguiente forma:



↑ **Figura 4.15.** Conexión interna de los devanados de un motor trifásico.

En este tipo de motores, el rotor no está bobinado, por tanto no es necesario realizar en él ningún conexionado eléctrico.

Los motores trifásicos disponen una caja de bornes con 6 bornes, los cuales pueden ser interconectados entre sí de la siguiente manera:



↑ **Figura 4.16.** Conexión triángulo y conexión estrella.

### seguridad

Es importante no manipular nunca la caja de bornes mientras el motor está conectado a la red.

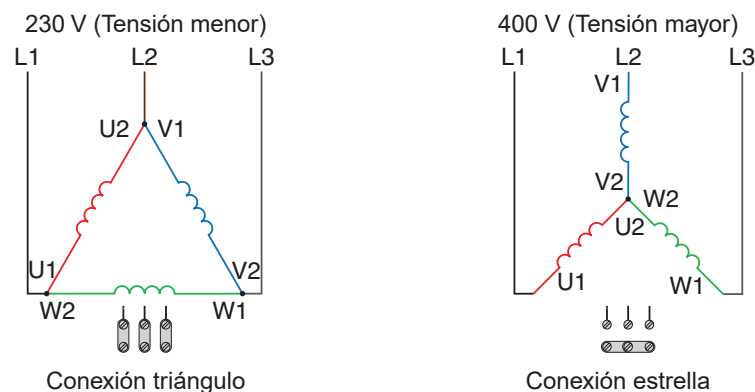


↑ **Figura 4.17.** Bornero de un motor trifásico.

La primera conexión se denomina **triángulo** y es para la menor tensión de funcionamiento del motor. La segunda conexión se denomina **estrella** y es para la tensión mayor.

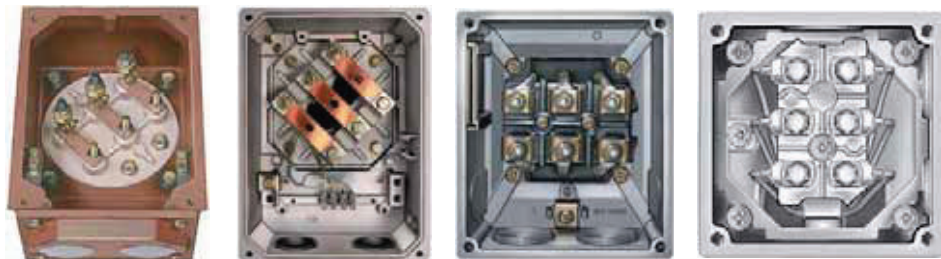
Así, se puede decir que todos los motores trifásicos son bitensión.

Por ejemplo, si un motor trifásico indica en su placa de características, que la tensión nominal es de 230V/400V, si se conecta a una red de alimentación de 230V, la conexión debe hacerse en triángulo. Sin embargo, si la red de alimentación es de 400 V, la conexión de los bornes debe hacerse en estrella.



→ **Figura 4.18.** Conexión de los devanados de un motor trifásico.

Todos los motores disponen de un conjunto de chapas perforadas, que facilitan la conexión de los bornes en estrella o en triángulo.



↑ Figura 4.19. Diferentes cajas de bornes de motores trifásicos (SIEMENS AG).

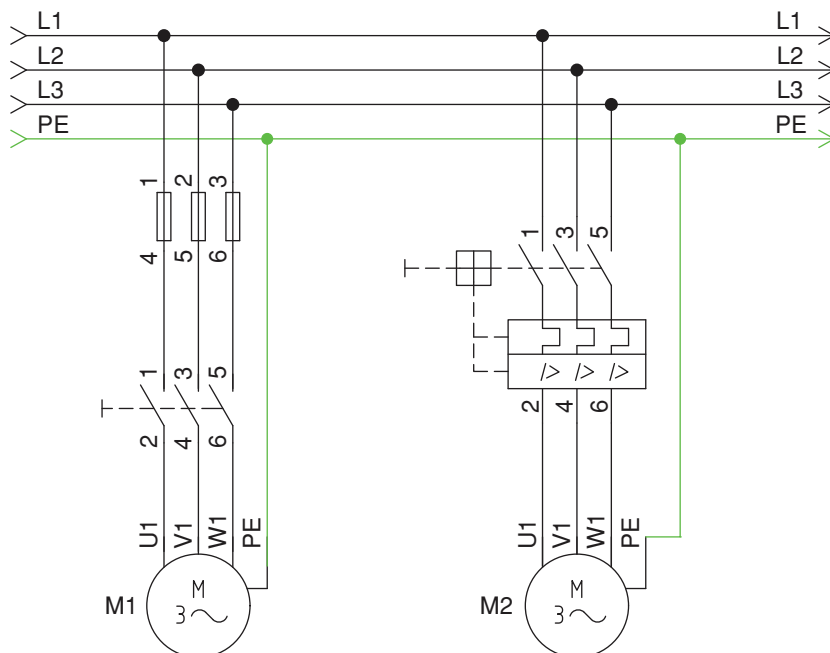
### Arranque directo de un motor trifásico

Los motores de baja potencia (menores de 0,75 kW), pueden arrancarse de forma directa mediante un interruptor tripolar, que permita la apertura o cierre de todas las fases a la vez.

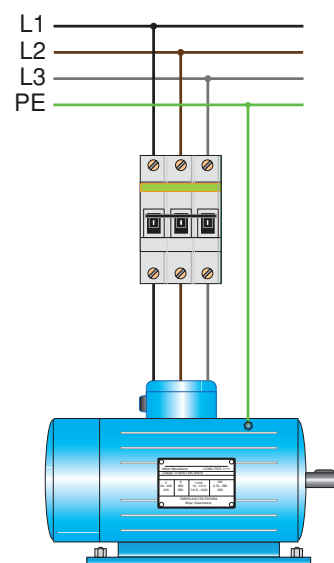


↑ Figura 4.20. Diferentes tipos de interruptores tripolares no automáticos.

En el esquema de la izquierda, el corte se hace con un interruptor trifásico de accionamiento manual y la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, mediante fusibles. En el esquema de la derecha, el arranque y la protección se hace mediante un interruptor magnetotérmico tripolar.



↑ Figura 4.22. Dos formas de arranque directo de un motor trifásico.



↑ Figura 4.21. Ejemplo de conexión para el arranque de un motor trifásico con interruptor magnetotérmico tripolar.

### seguridad

La carcasa de todos los motores debe conectarse siempre al cable de toma de tierra (PE).





### según el REBT

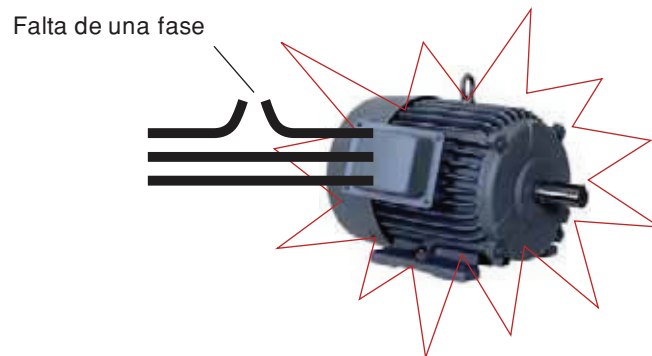
Los motores deben estar protegidos contra cortocircuitos y contra sobrecargas en todas sus fases, debiendo esta última protección ser de tal naturaleza que cubra, en los motores trifásicos, el riesgo de la falta de tensión en una de sus fases.

### Falta de una fase en la alimentación de un motor trifásico

Si un motor trifásico es alimentado con solo dos de las tres fases de la red eléctrica, se produce una sobrecorriente en estas fases, que si se mantiene en el tiempo, puede hacer peligrar los devanados internos del motor, destruyéndolos de forma irremediable a los pocos segundos de darse esta situación.

Si el motor está parado y se intenta arrancar en dos fases, emite un sonido característico y no arranca. Sin embargo, si el motor está en marcha cuando se produce la falta de una fase, es muy posible que el motor siga girando, emitiendo un sonido anormal, hasta que se quema.

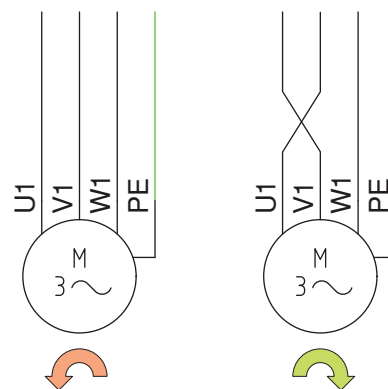
En el mercado existen diferentes dispositivos que detectan la falta de una fase, permitiendo desconectar el motor de la red eléctrica.



↑ Figura 4.23. Motor trifásico en dos fases.

### Inversión del sentido de giro de un motor trifásico

La inversión de giro en este tipo de motores se realiza permutando dos de las fases de alimentación.



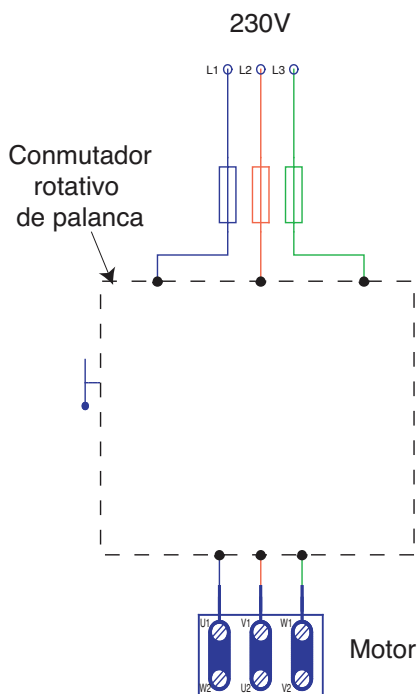
↑ Figura 4.24. Motor trifásico en dos fases.

Para realizar la inversión sin necesidad de desconectar los cables del motor, se utiliza un conmutador de potencia destinado a tal fin. En este caso, el conmutador es el encargado de realizar la permutación de fases en su interior.

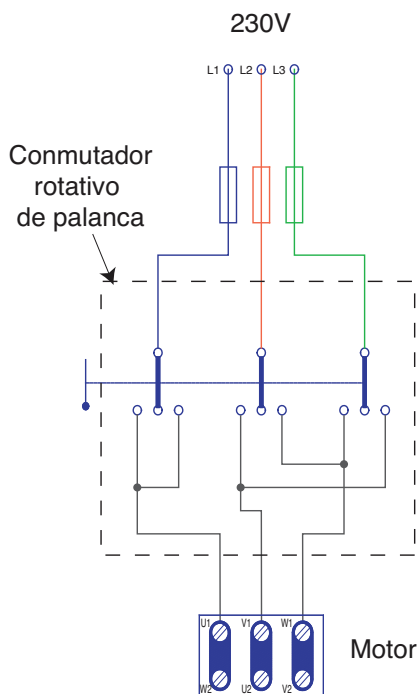
Estos conmutadores disponen de tres posiciones: una central (0) para motor parado, otra para el giro a izquierdas (I) y otra para giro a derechas (II). El cambio de fases, para la inversión del sentido de giro, se realiza internamente. La conexión de cables es bien sencilla, tres bornes para las tres fases de entrada, que vienen de la alimentación, y tres bornes para las fases de salida, que se conectan al motor.

En la figura 4.26, el conmutador rotativo de palanca para realizar la inversión de giro está representado por el rectángulo con línea discontinua. Es decir, que el conmutador real dispone de seis bornes de conexión, tres para la alimentación de la red eléctrica y los otros tres para la salida al motor.

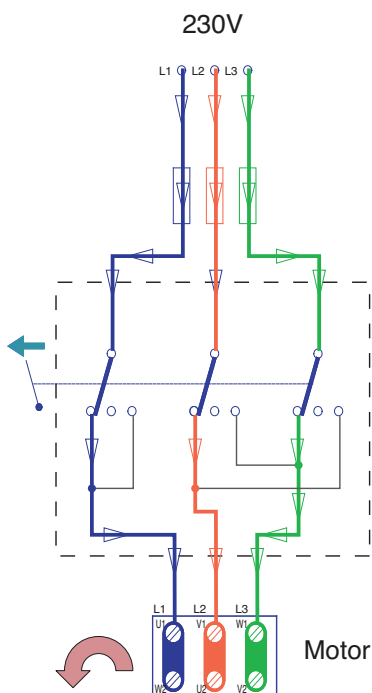
En esta secuencia de imágenes, puedes observar el funcionamiento interno de un conmutador rotativo, para la inversión del sentido de giro de un motor trifásico de rotor en jaula de ardilla:



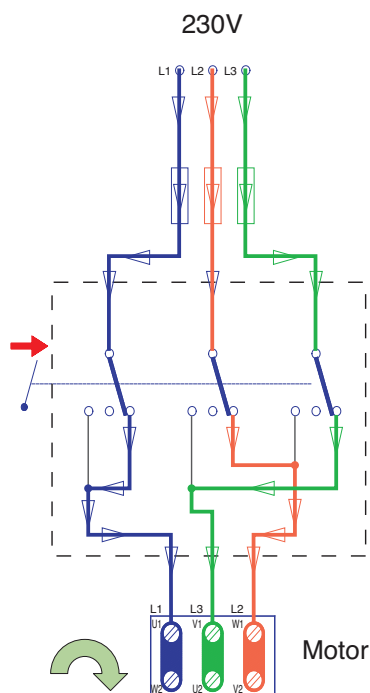
↑ Figura 4.26. Conexión del conmutador inversor.



↑ Figura 4.27. Posición 0: motor parado.



↑ Figura 4.29. Posición 1: giro a izquierdas.



↑ Figura 4.30. Posición 2: giro a derechas.

## saber más

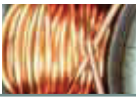
Existen en el mercado diferentes tipos de conmutadores para realizar la inversión del sentido de giro de un motor trifásico de forma manual, aunque los más utilizados en cuadros eléctricos son los denominados conmutadores de levas.



↑ Figura 4.25. Conmutador de levas de accionamiento rotativo para cuadro.



↑ Figura 4.28. Conmutador de palanca para ubicar a pie de máquina.



### caso práctico inicial

A mayor potencia del motor, mayor es el pico de corriente en el momento del arranque.

### ¿Qué ocurre en el momento del arranque de los motores de inducción?

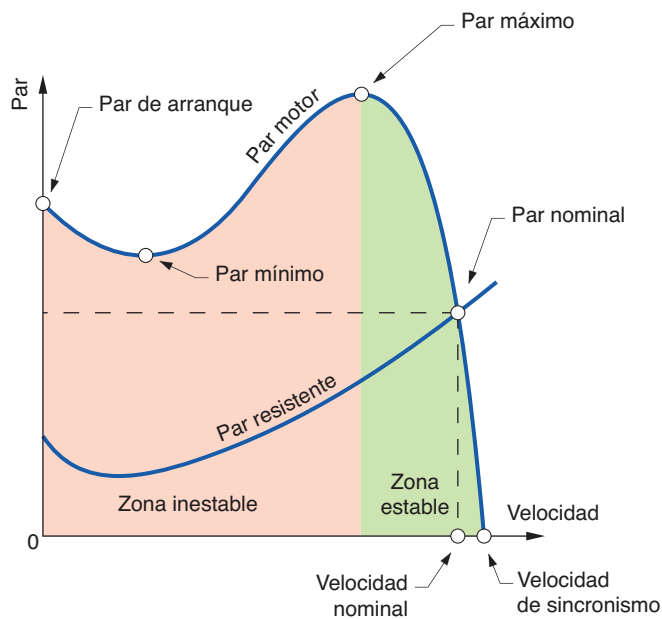
El instante del arranque de un motor de inducción es especialmente delicado, ya que la máquina debe vencer el par resistente que se aplica en su eje, hasta conseguir la velocidad de funcionamiento nominal. Si la carga que se aplica en él es excesivamente grande, el motor puede no llegar a arrancar.

Los fabricantes de motores suelen representar esta característica mediante la denominada curva **Par-Velocidad**. En ella se puede observar lo que ocurre con el par motor hasta que consigue la velocidad nominal.

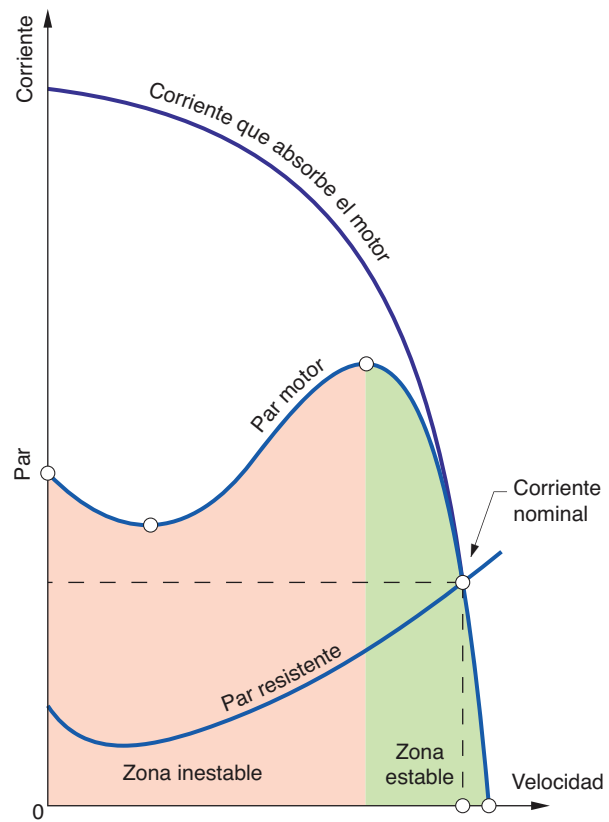
Como puedes ver en la figura 4.31, existe una zona inestable, en la que el par motor pasa por diferentes valores. En ese momento, si el par resistente es excesivamente elevado y está por encima de la curva del par motor, la máquina puede tener problemas para arrancar o incluso no conseguirlo. Una vez superada esta zona inestable, el motor consigue su velocidad nominal, funcionando en condiciones normales.

### vocabulario

El **par motor** es la fuerza que es capaz de ejercer un motor en cada giro.



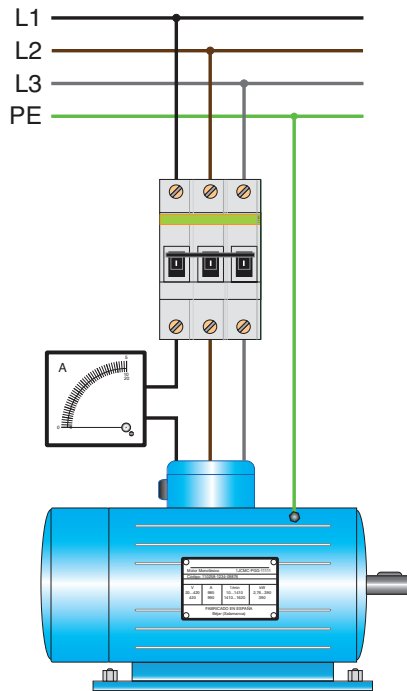
↑ Figura 4.31. Curva Par-Velocidad.



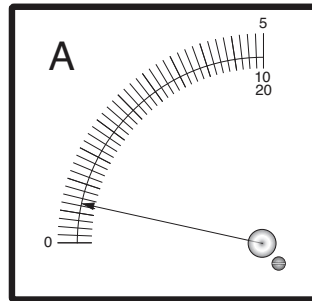
↑ Figura 4.32. Curva de corriente sobre la curva Par-Velocidad.

Vencer el par resistente en el momento del arranque, cuando el motor está a plena carga, produce una sobrecorriente, cuyo valor es muy superior a la corriente nominal del motor, que puede resultar enormemente perjudicial, tanto para la instalación como para la aparamenta que alimenta la máquina. Este efecto se enfatiza en los motores de gran potencia y por tanto es necesario tenerlo siempre en cuenta.

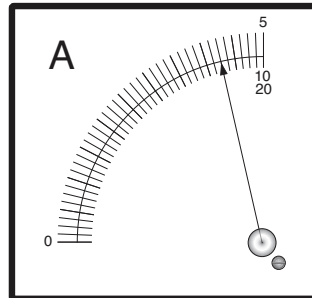
Para observar la sobrecorriente en el instante del arranque, simplemente debes insertar un amperímetro, de fondo de escala adecuado, en serie en una de las fases que alimentan el motor.



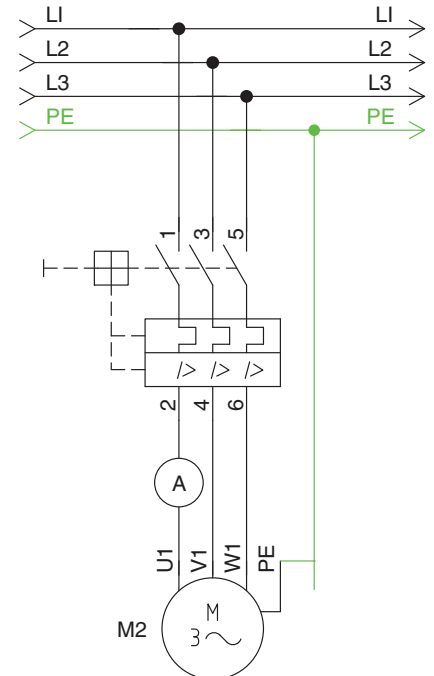
↑ **Figura 4.33.** Conexión del amperímetro en una de las fases.



↑ Corriente en el momento del arranque.



↑ **Figura 4.34.** Corriente nominal.



↑ **Figura 4.35.** Esquema del circuito.

El Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT-47 dice: «los motores de potencia superior a 0,75 kW, debe disponer de un dispositivo de arranque que no permita que la relación de corriente entre el periodo del arranque y la marcha normal que corresponda a su plena carga, según las características del motor que debe indicar su placa, sea superior a la señalada en el cuadro siguiente»

#### caso práctico inicial

El REBT dicta el tipo de arranque que se debe utilizar en función de la potencia de la máquina.

Potencia nominal del motor de CA	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga
De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 5,0 kW	3,0
De 5,0 kW a 15,0 kW	2,0
De más de 15,0 kW	1,5

## ACTIVIDADES

- Antes de continuar, realiza el montaje de la ficha «Arranque manual de un motor trifásico mediante conmutador rotativo» y comprueba lo que ocurre con la corriente en el momento del arranque.





### caso práctico inicial

El motor de la cinta transportadora del caso práctico necesita un dispositivo para disminuir la corriente en el momento del arranque.

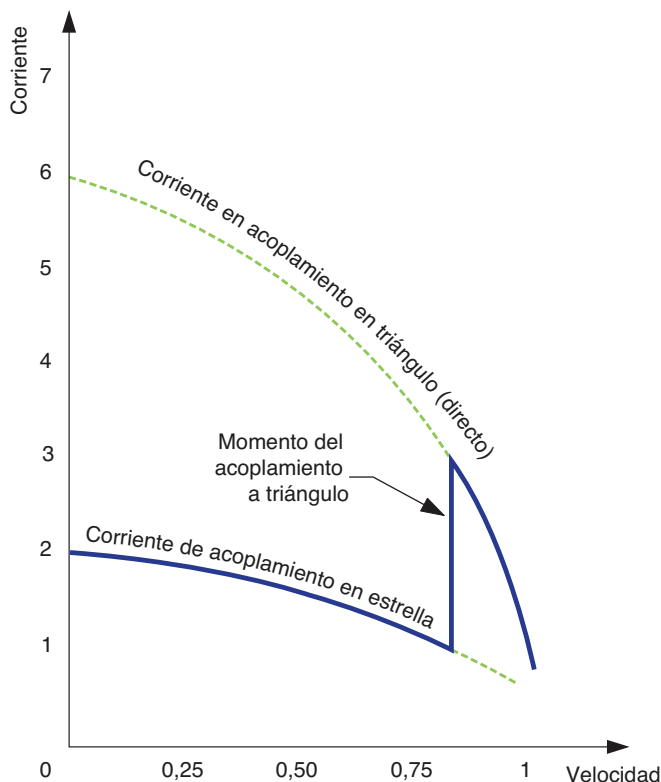
## Arranque estrella/triángulo

Existen varios métodos para evitar las sobrecorrientes en el instante del arranque de los motores trifásicos de jaula de ardilla, pero posiblemente, el más utilizado, por su sencilla implementación y bajo coste, es el denominado arranque estrella/triángulo.

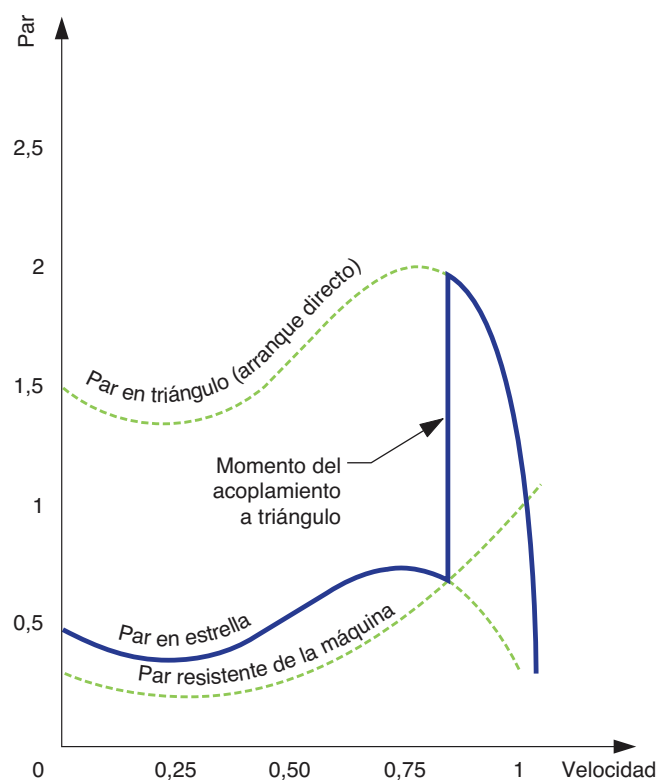
En próximas unidades podrás estudiar y practicar con otros tipos de arranques.

El arranque estrella/triángulo consiste en poner en marcha el motor en dos tiempos. En el primero, que coincide con la conmutación a la red eléctrica, el motor funciona con sus bornes conectados en estrella, consumiendo así tres veces menos corriente que en funcionamiento nominal. En el segundo tiempo, que coincide cuando la máquina ya ha conseguido la velocidad y corriente nominales, la caja de bornes se conmuta al modo triángulo, trabajando así en las condiciones de marcha normal para las que ha sido diseñado.

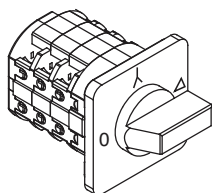
Así las curvas Par-Velocidad y Corriente-Velocidad se ven afectadas de la siguiente forma:



↑ **Figura 4.36.** En el instante del arranque, al conectar el motor en estrella, la corriente disminuye 3 veces la que consumiría si el arranque se hiciera de forma directa.



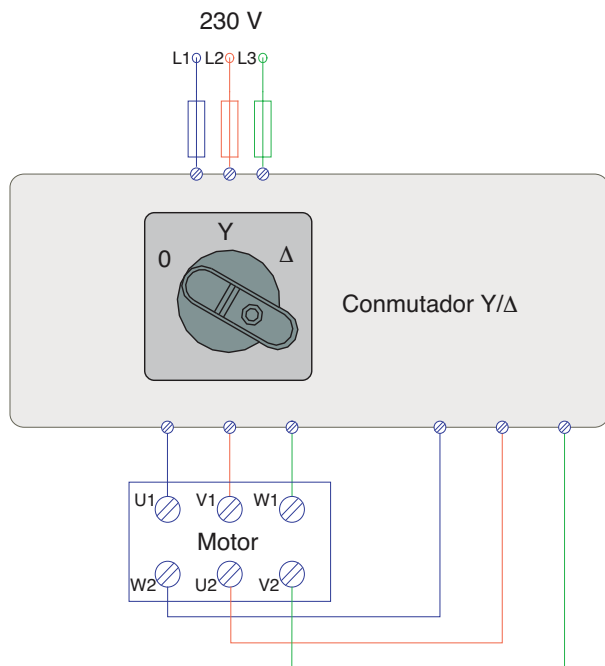
↑ **Figura 4.37.** En el tiempo que la máquina está conectada en estrella, el par motor también disminuye de forma considerable. En este caso, si la carga en el eje (par resistente) es muy grande, el motor no arrancaría.



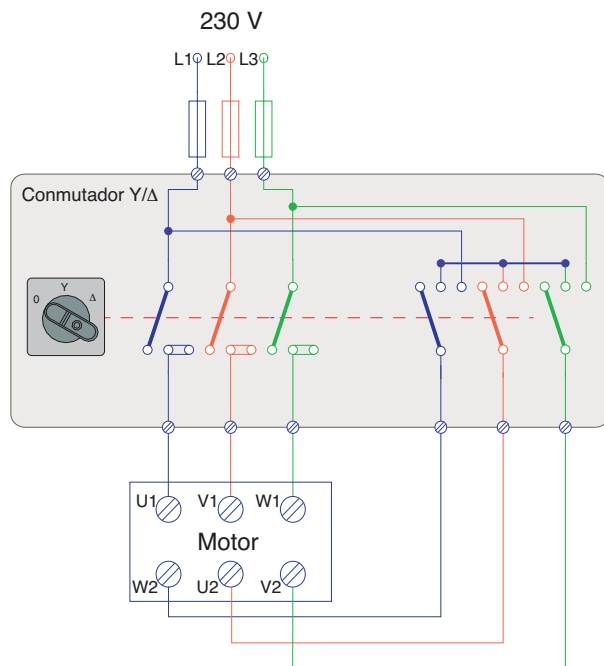
↑ **Figura 4.38.** Conmutador estrella/triángulo de levas (ABB).

Existen varias técnicas para realizar el arranque estrella/triángulo. Cuanto mayor es la potencia del motor, mayor debe ser la precisión en la conmutación de estrella a triángulo y por tanto, también el grado de automatización del circuito.

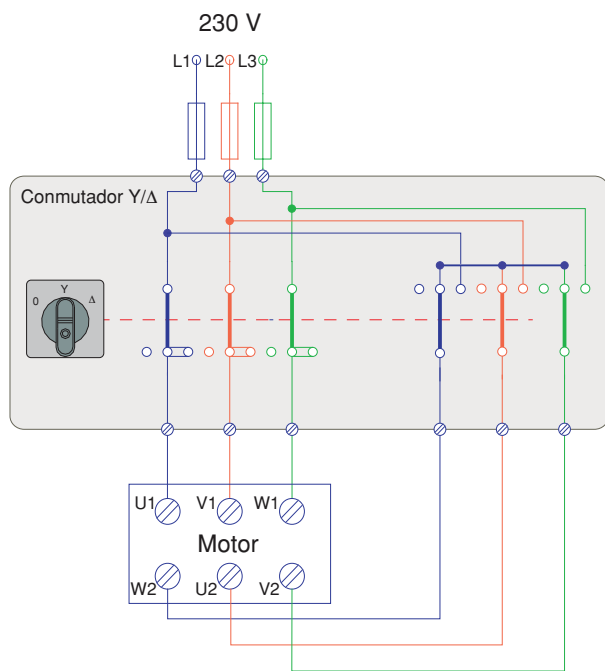
Sin embargo, para motores de pequeña potencia se pueden utilizar sistemas de conmutación manual, estando muy extendido, en cuadros eléctricos, el uso de los conmutadores de levas.



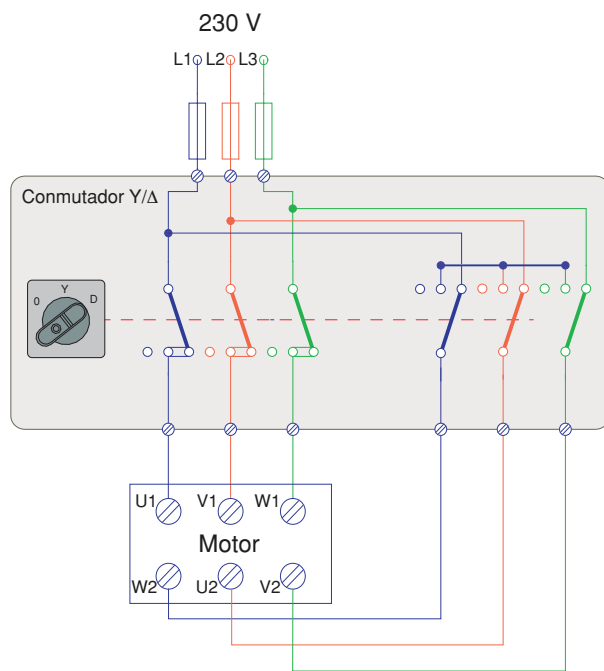
↑ **Figura 4.39.** Conexión del conmutador a la caja de bornes del motor.



↑ **Figura 4.40.** Posición 0: motor parado.



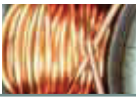
↑ **Figura 4.41.** Posición Y: el motor arranca en estrella.



↑ **Figura 4.42.** Posición Δ: el motor pasa a triángulo.

## ACTIVIDADES

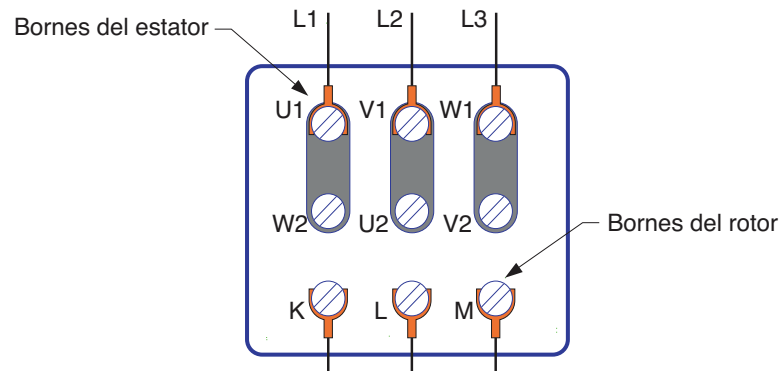
4. Antes de continuar, realiza el montaje de la ficha «Arranque manual de un motor trifásico mediante conmutador estrella triángulo», que encontraras al final de esta unidad. Comprueba lo que ocurre con la corriente en el momento del arranque y saca conclusiones respecto a lo que has observado en la actividad anterior.



## 2.3. Motores de inducción con rotor bobinado

Su uso no está tan extendido como los de rotor en jaula de ardilla o cortocircuito, pero **se utilizan para aplicaciones muy concretas que requieren un gran par motor.**

La caja de bornes tiene los seis bornes habituales en los motores trifásicos, que permiten conectar los devanados del estator en estrella y triángulo, de igual forma que se ha visto para los motores de rotor en jaula de ardilla. Pero además, dispone de tres bornes adicionales para el conexionado externo del devanado del rotor, etiquetados como K,L,M.



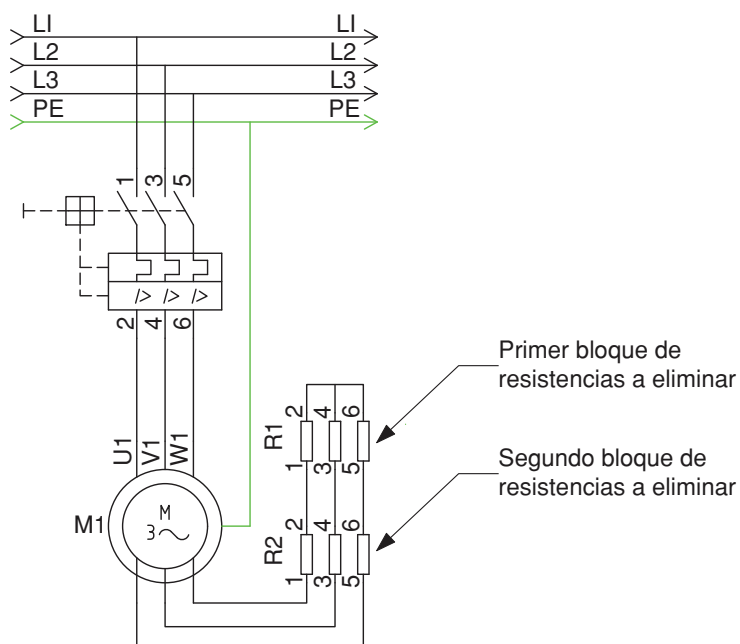
↑ **Figura 4.43.** Caja de bornes de un motor con rotor bobinado.



↑ **Figura 4.44.** Detalle de un rotor bobinado.

Estos motores están diseñados para trabajar con el rotor en cortocircuito, pero si esta conexión se realiza en el momento del arranque, la sobrecorriente sería de tal magnitud que pondría en peligro la aparatment y los conductores que lo alimentan. Por tanto, es necesario «cortocircuitar» el rotor en diferentes tiempos, eliminando varios grupos de resistencias de potencia.

La complejidad técnica que requiere la maniobra para la eliminación de estas resistencias por escalones, desaconseja el arranque manual, haciéndose necesario el uso de un circuito de automatismos. En próximas unidades tendrás oportunidad de practicar este tipo de arranque.



↑ **Figura 4.45.** Conexión de un motor de inducción de rotor bobinado.

### 3. Motores de corriente continua

El fácil conexionado, bajo coste y mantenimiento de los motores de corriente alterna con rotor en jaula de ardilla, ha relegado a los motores de corriente continua a aplicaciones muy concretas. Si bien es cierto que para aplicaciones como la robótica y el posicionamiento, aun se utilizan de forma masiva, cuando se requieren máquinas de gran potencia, lo habitual es utilizarlas de corriente alterna.

Aquí tendrás oportunidad de conocer, de forma básica, cómo se conectan y arrancan los diferentes tipos de motores de corriente continua que aún puedes encontrar en la industria.

#### caso práctico inicial

Debido a que el motor del caso práctico requiere un mantenimiento mínimo la mejor opción es utilizar un motor de corriente alterna.

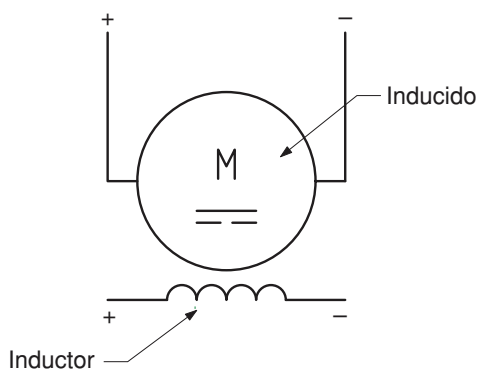
#### 3.1. Generalidades

Todas las máquinas de corriente continua son reversibles y pueden funcionar como **motor** o como **generador**.

Disponen de dos devanados: el **inducido** en el rotor y el **inductor** (o excitación) en el estator.

#### saber más

El estudio como generador se escapa de los objetivos de este libro y por tanto, solamente se verá su funcionamiento como motor.

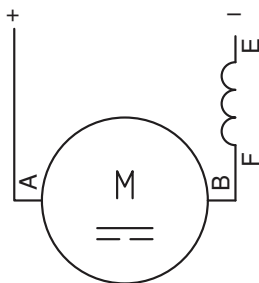


↑ **Figura 4.46.** Símbolo general de un motor de corriente continua.

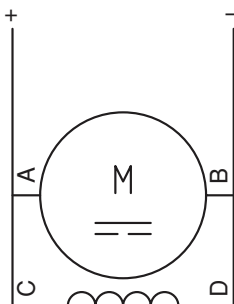
Según cómo se conecten entre sí estos devanados, se pueden conseguir las siguientes configuraciones:

- Máquina serie.
- Máquina *shunt* o derivación.
- Máquina compuesta (*compound*).
- Máquina de excitación independiente.

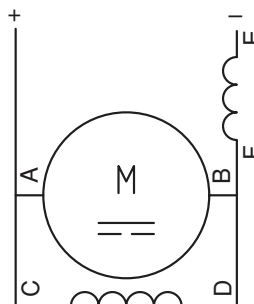
Los símbolos son los siguientes:



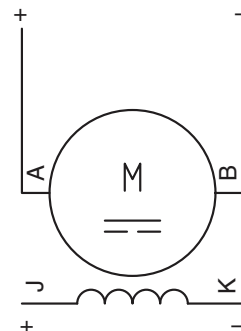
↑ **Figura 4.47.** Serie.



↑ **Figura 4.48.** Shunt.



↑ **Figura 4.49.** Compound.



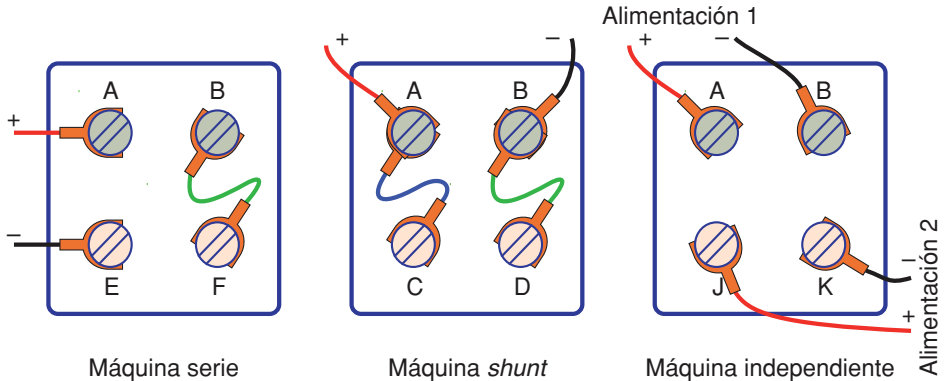
↑ **Figura 4.50.** Independiente.



No todos los devanados son intercambiables para conseguir las diferentes configuraciones aquí propuestas. Por ejemplo, un devanado inductor diseñado para una conexión serie, no puede conectarse en *shunt*, y viceversa, ya que el número de espiras y diámetro del conductor con el que está construido es diferente. Sin embargo, el devanado inductor para un motor *shunt*, puede utilizarse sin problemas en una máquina con conexión independiente.

3.2. La caja de bornes

Los bornes de cada uno de los devanados están etiquetados según la configuración para la que han sido diseñados. Generalmente este tipo de máquinas dispone de cuatro bornes en su caja de bornes, excepto la máquina *compound* que dispone de seis.



↑ Figura 4.51. Cajas de bornes de los diferentes tipos de motores de corriente continua

3.3. Arranque directo de motores de corriente continua

**caso práctico inicial**

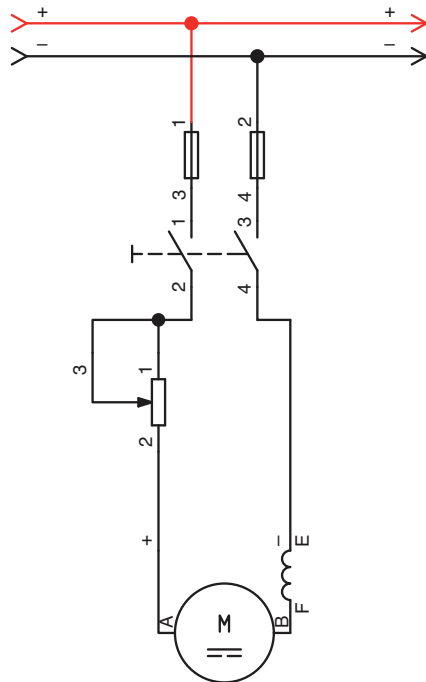
De igual forma que los motores de corriente alterna, los de continua generan importantes picos de corrientes en el momento del arranque.

Igual que sucede con los motores de corriente alterna en el momento del arranque, los de continua también generan una sobrecorriente que puede ser perjudicial, tanto para la instalación que los alimenta como para los devanados de la propia máquina.

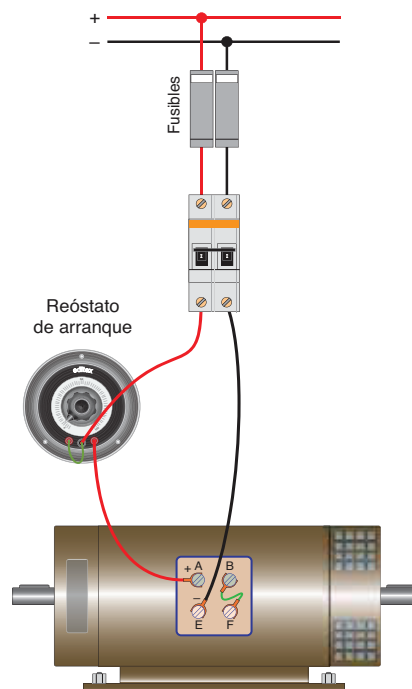
Por tanto, El REBT en la instrucción ITC-BT-47, establece que la constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga, en los motores de corriente continua, debe ajustarse a la siguiente tabla.

Potencia nominal del motor de CC	Constante máxima de proporcionalidad entre la intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga
De 0,75 kW a 1,5 kW	2,5
De 1,5k W a 5,0 kW	2,0
De más de 5,0 kW	1,5

Para disminuir la corriente en el instante del arranque, se conecta un reóstato en serie con el devanado inducido. Cuando el motor alcanza su funcionamiento normal, en velocidad y en corriente, el reóstato debe anularse.



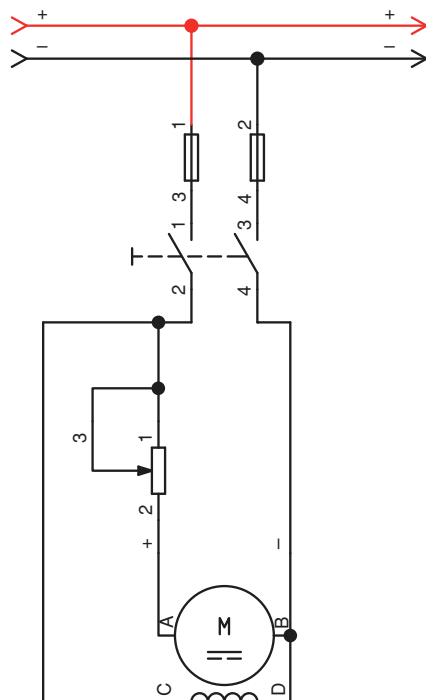
↑ **Figura 4.52.** Arranque de motor serie.



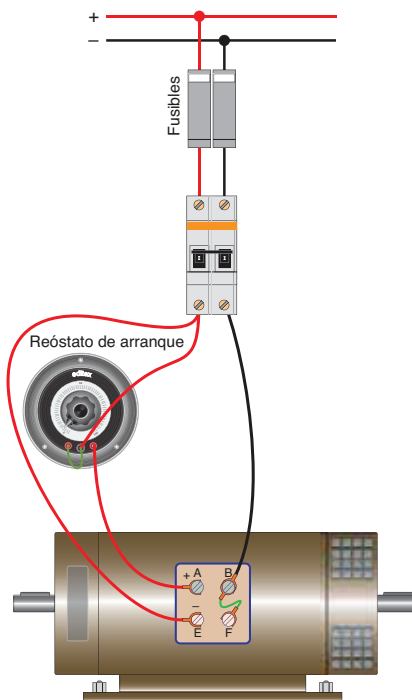
### saber más

Un motor serie sin carga en su eje, tiende a embalsarse.

Si esto no se controla, pueden producirse daños irreparables en la mecánica de la máquina (rodamientos, conjunto colector-escobillas, etc.).



↑ **Figura 4.53.** Arranque de motor shunt.



### saber más

Si se desconecta el devanado inductor (excitación), estando en marcha el motor, este se embala peligrosamente.

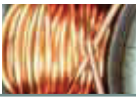
## 3.4. Inversión del sentido de giro de los motores de CC

Para invertir el sentido de giro de un motor de CC, se debe cambiar el sentido de la corriente en uno de sus devanados. Es decir, hay que permutar los cables de alimentación, bien en los bornes del devanado inducido o en los bornes del devanado inductor.

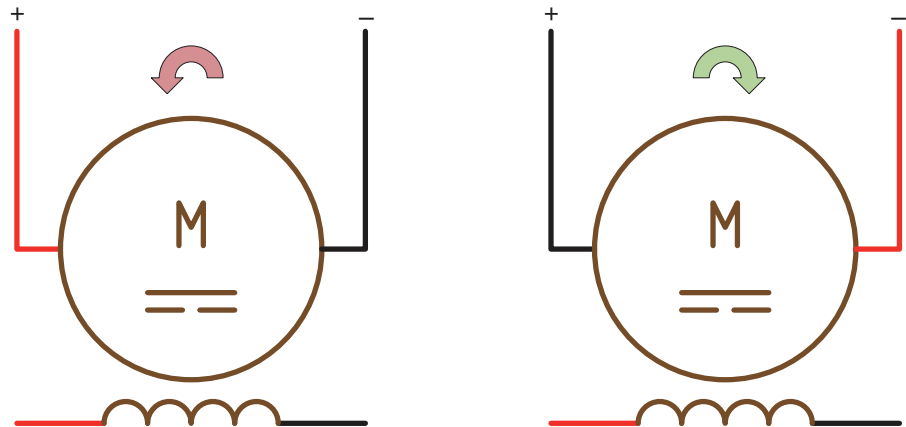
### según el REBT

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 cinco centímetros como mínimo.

Los reóstatos y las resistencias deberán ser separadas de la instalación por dispositivos de corte omnipolar, que podrán ser los interruptores generales del receptor correspondiente.

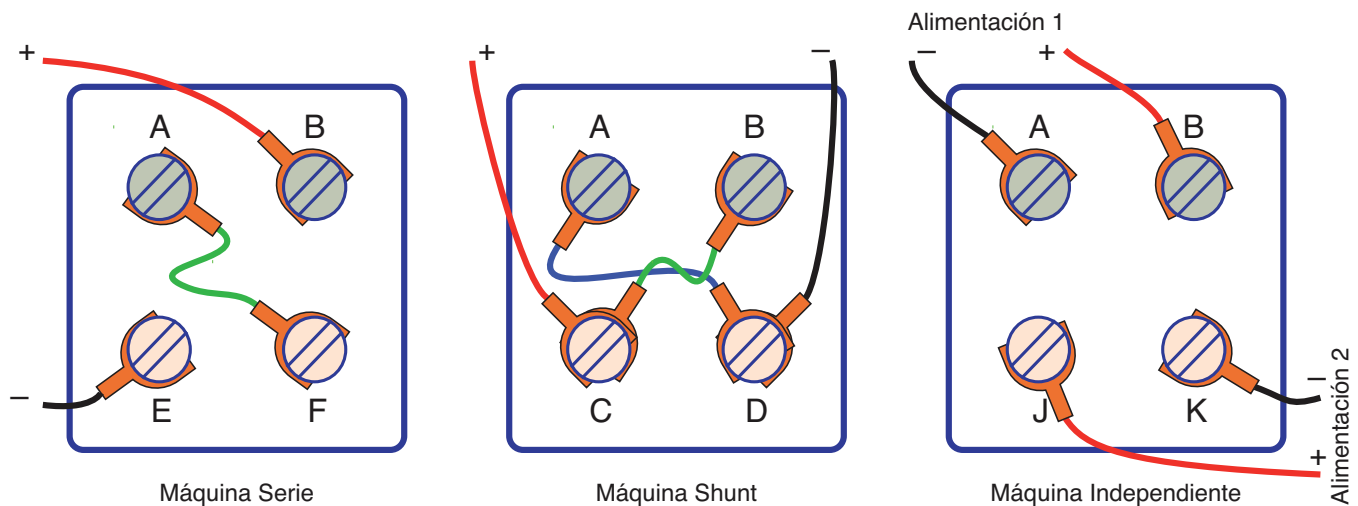


Con el fin de que el motor no se embale, en la práctica siempre se recomienda invertir las conexiones del inducido en lugar de las del inductor (excitación).



↑ **Figura 4.54.** Cambio de polaridad en uno de los devanados para inversión sentido de giro.

En la figura 4.55 se muestra cómo deben conectarse los terminales de los devanados, de los diferentes tipos de máquinas, para que inviertan su sentido de giro, respecto a las cajas de bornes representadas en la figura anterior.



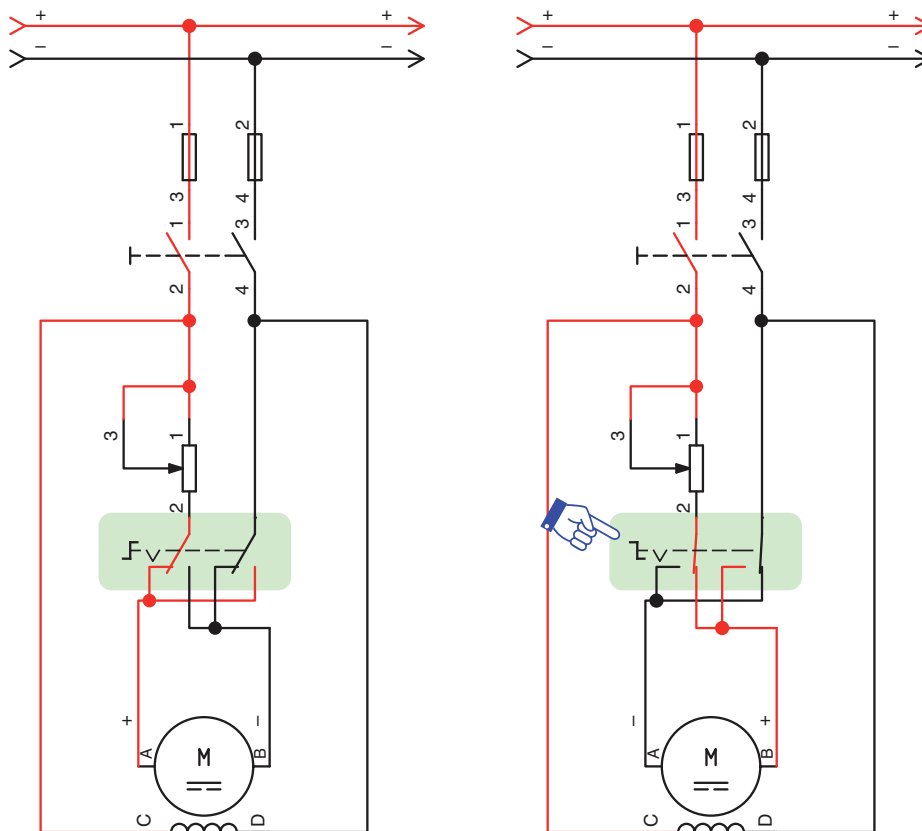
↑ **Figura 4.55.** Conexión de bornes para la inversión del sentido de giro.

En estos dos esquemas se representa cómo se produce el cambio del sentido de giro en un motor *shunt* mediante el accionamiento de un conmutador inversor rotativo.

En el esquema de la izquierda se observa cómo al accionar el interruptor bipolar general, en ambos devanados el sentido de la corriente es el mismo. En esta situación, el motor gira en un sentido.

Si se acciona el conmutador inversor, al actuar nuevamente sobre el interruptor general, el sentido de la corriente en el devanado del inducido cambia respecto al inductor y por tanto también cambia el sentido de giro de la máquina.

La inversión del sentido de giro de un motor de corriente continua, debe hacerse a motor parado y regulando el reóstato del inducido para evitar la sobrecorriente en el momento del arranque.



← **Figura 4.56.** Ejemplo para la inversión del sentido de giro de un motor *shunt* mediante conmutador rotativo.

## vocabulario

### Español-Inglés

Motor: *motor*

Devanado: *winding*

Caja de bornes: *terminal Box*

Inducido: *induced*

Inductor: *inducer*

Corriente continua: DC

Corriente alterna: AC

Par motor: *torque*

Velocidad: *speed*

Potencia nominal: *rated power*

Estrella/Triángulo: *start/delta*

Monofásico: *monophase*

Trifásico: *triphase*

El proceso que debes seguir para invertir el sentido de giro de un motor *shunt* según el esquema propuesto debe ser el siguiente:

### Arranque en un sentido de giro

1. Gira el mando de reóstato a su máxima resistencia.
2. Fija el conmutador rotativo a la posición para el sentido de giro con el que desees que arranque el motor.
3. Acciona el interruptor general bipolar.
4. Disminuye progresivamente el valor de resistencia del reóstato para disminuir la corriente el momento del arranque.

**Importante:** no acciones el conmutador rotativo cuando la máquina está en marcha. Para cambiar el sentido de giro, debes abrir previamente el interruptor general y seguir los pasos que se describen a continuación.

### Arranque en sentido contrario

1. Con el interruptor general abierto, coloca el mando del reóstato en la posición de máxima resistencia.
2. Acciona el conmutador inversor para que el motor arranque en sentido contrario a la maniobra anterior.
3. Cierra el interruptor general bipolar.
4. Disminuye el valor de resistencia del reóstato para disminuir el valor de la corriente en el momento del arranque.
5. Observa que la máquina gira en sentido contrario.



↑ **Figura 4.57.** Reóstato (VISHAY).

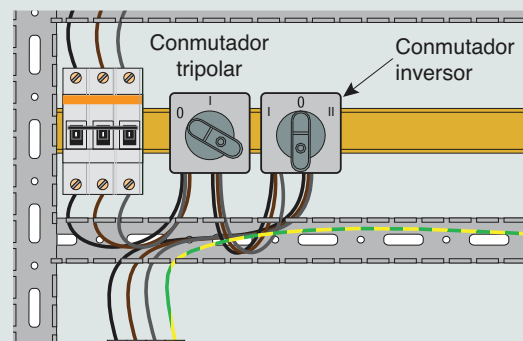




## ACTIVIDADES FINALES

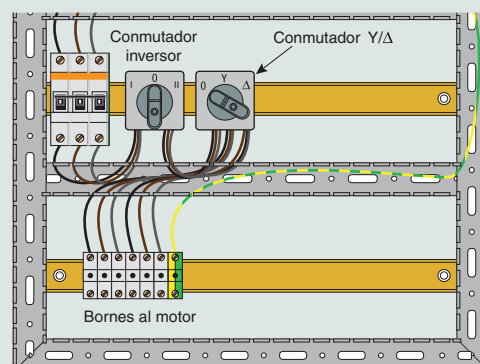
Dibuja el esquema en una ficha de trabajo, elige los aparatos necesarios, monta sobre un panel de entrenamiento y prueba los siguientes circuitos, teniendo en cuenta las pautas indicadas en las fichas «Práctica Profesional».

- 1. Arranque de un motor monofásico de inducción con interruptor rotativo de levass.
- 2. Basándote en la actividad anterior, realiza la inversión del sentido de giro del motor monofásico de inducción, con interruptor rotativo inversor. Ten en cuenta que para poder realizar esta actividad, debes disponer de un motor monofásico, cuyos devanados (tanto el de arranque como el de trabajo) estén conectados a su caja de bornes.
- 3. Arranque de un motor trifásico, con rotor en cortocircuito, con interruptor rotativo de levass (ficha «Práctica Profesional 1»)
- 4. Sobre la actividad anterior, realiza la inversión del sentido de giro del motor mediante conmutador rotativo inversor.



↑ Figura 4.58.

- 5. Arranque de un motor trifásico de rotor cortocircuito con conmutador estrella-triángulo (ficha «Práctica Profesional 2» y Caso Práctico Introdutorio).
- 6. Basándote en la actividad anterior, conecta un conmutador inversor para realizar la inversión del sentido de giro del motor trifásico. Dicho conmutador debe conectarse «aguas arriba» respecto al conmutador estrella-triángulo. Teniendo en cuenta la misión que tiene el arranque estrella/triángulo, ¿crees que es adecuado poner el conmutador inversor en este circuito?, razona la respuesta.



← Figura 4.59. Detalle de la conexión del conmutador inversor delante del estrella-triángulo.

- 7. Arranque directo de un motor de corriente continua en su configuración serie. Conecta un amperímetro en serie con la alimentación del motor para observar lo que ocurre en el momento del arranque.
- 8. Sobre la actividad anterior, conecta un reóstato en serie con los devanados del motor. Pon el dial de este reóstato a diferentes valores y observa qué ocurre con la corriente en el momento del arranque.
- 9. Basándote en la actividad anterior, monta un conmutador rotativo inversor, para invertir el sentido de giro de motor.
- 10. Realiza las últimas tres actividades para un motor *shunt*.

## entra en internet

---

- 11. Utilizando un buscador web, localiza los siguientes documentos y descárgalos:
  - a. Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión
  - b. Instrucciones técnicas complementarias del REBT
  - c. Guía técnica de aplicación del REBT
- 12. Localiza en internet (o en los documentos anteriormente descargados) las Instrucciones de Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión que estén relacionadas con el arranque de motores eléctricos.
- 13. Busca y descarga al menos tres catálogos de motores eléctricos de diferentes fabricantes.
- 14. Localiza catálogos de diferentes fabricantes de interruptores y conmutadores de potencia destinados al arranque de motores eléctricos de forma manual. Estudia sus hojas de características.
- 15. Busca, en páginas web de fabricantes de material eléctrico, los precios de los elementos necesarios para realizar la actividad de la «Práctica profesional 2» que se encuentra al final de esta unidad. Elabora el presupuesto estimado necesario para realizar este montaje.



# PRÁCTICA PROFESIONAL 1

## HERRAMIENTAS

- Herramientas de electricista
- Tenaza de engastar punteras

## MATERIAL

- El panel con canaleta y raíles montado en la unidad anterior
- Bornes para raíl
- Un magnetotérmico tripolar
- Un conmutador tripolar de levás
- Un motor trifásico de 0,6 kW
- Cable de línea de 2,5 mm<sup>2</sup>
- Manguera de 5 x 2,5 mm<sup>2</sup>
- Amperímetro

## Arranque manual de un motor trifásico mediante conmutador rotativo

### OBJETIVO

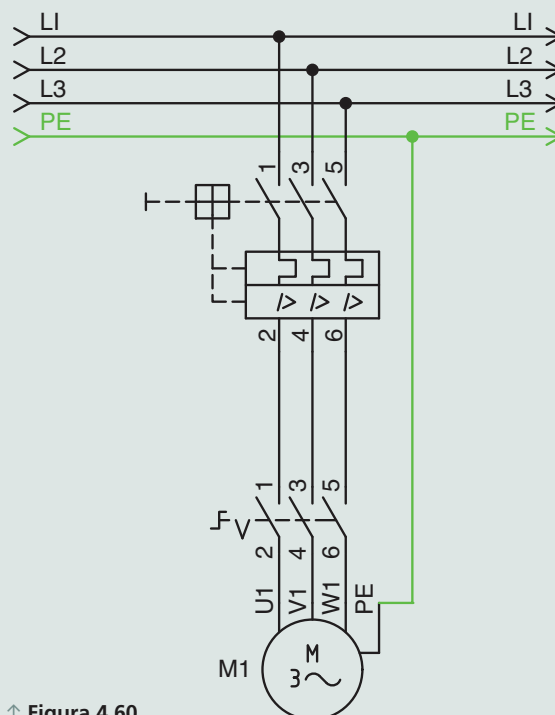
Arrancar un motor trifásico mediante un conmutador rotativo de levás y observar qué ocurre con la corriente en el instante del arranque.

### PRECAUCIONES

- Antes de enchufar el panel a la red eléctrica, asegúrate de que todos los conductores y aparatos que intervienen en el circuito están conectados correctamente.
- No manipules las conexiones sin desconectar previamente el panel de la red.
- Fíjate en la tensión de trabajo indicada en la placa de características de tu motor y conecta adecuadamente las chapas en su caja de bornes.
- Para evitar que los devanados del motor puedan dañarse, procura que en ningún momento de la prueba, el motor se quede en dos fases.
- No toques con la mano el eje del motor cuando esté girando.

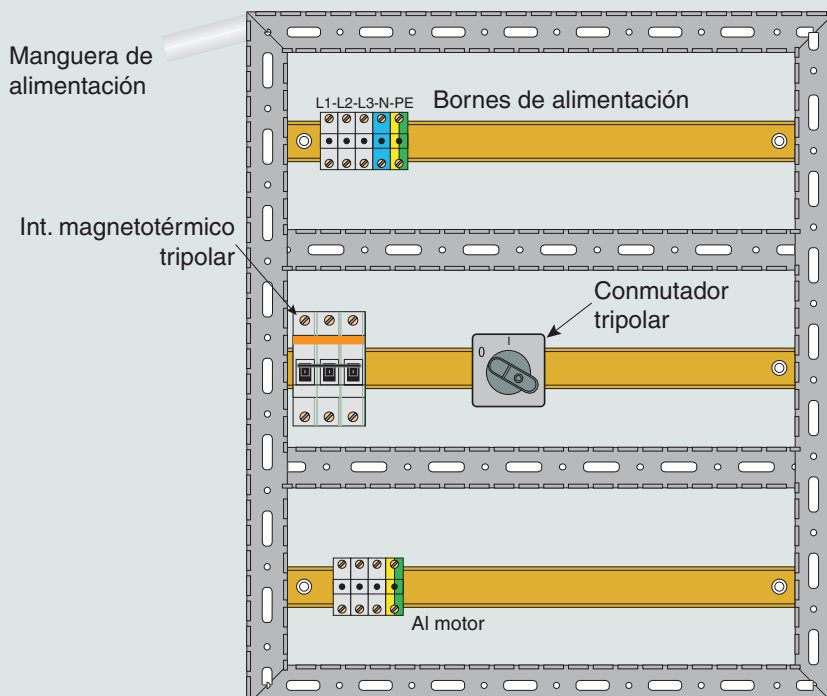
### DESARROLLO

1. Dibuja en una ficha de trabajo el esquema del circuito para el arranque de un motor trifásico de rotor en jaula de ardilla, teniendo en cuenta que se debe disponer de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.



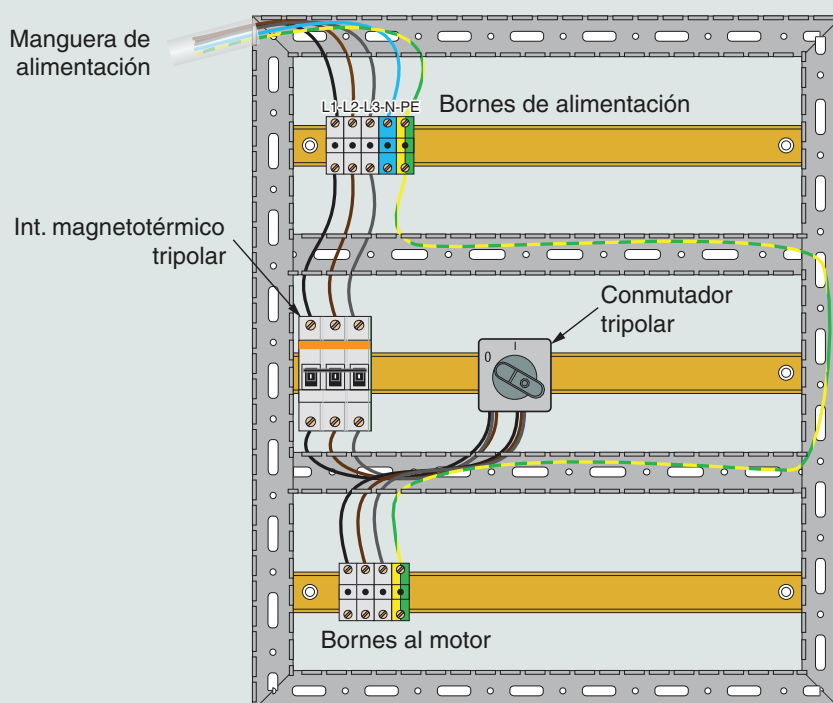
↑ Figura 4.60.

2. En el panel de trabajo, coloca la aparamenta necesaria para realizar el montaje.



← Figura 4.61.

3. Retira las tapas de la canaleta y realiza el cableado del circuito según el esquema que has dibujado anteriormente. No olvides conectar el conductor de protección y poner punteras en todas las terminaciones de los cables.



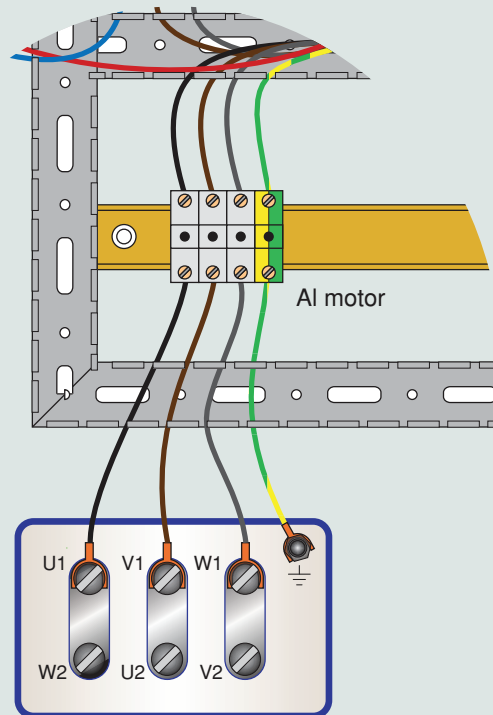
← Figura 4.62.





## PRÁCTICA PROFESIONAL 1 (cont.)

4. Conexiona la manguera de alimentación a los bornes de la parte superior del panel de entrenamiento.
5. Observa la placa de características del motor y coloca las chapas-puente en la caja de bornes para que funcione a la tensión de la red eléctrica en la que vas a conectar el circuito.
6. Conexiona los bornes de salida del panel de entrenamiento, a la caja de bornes del motor.



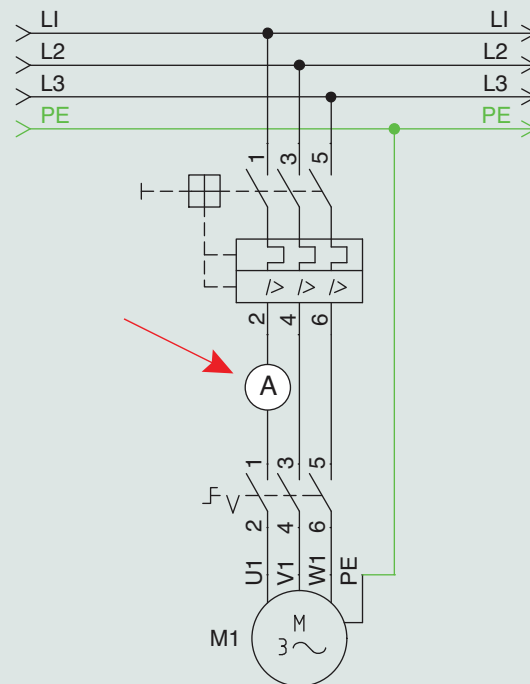
↑ Figura 4.63.

7. Enchufa la manguera de alimentación a una toma de corriente.
8. Acciona el interruptor magnetotérmico.
9. Acciona el conmutador rotativo para que el motor arranque.
10. Observa si el motor funciona correctamente.
11. Si el motor no arranca o emite un ronquido, es posible que hayas realizado alguna mala conexión en el montaje. En ese caso, desconecta la alimentación del panel de entrenamiento y comprueba si el circuito está realizado según el esquema.

### 2ª Parte

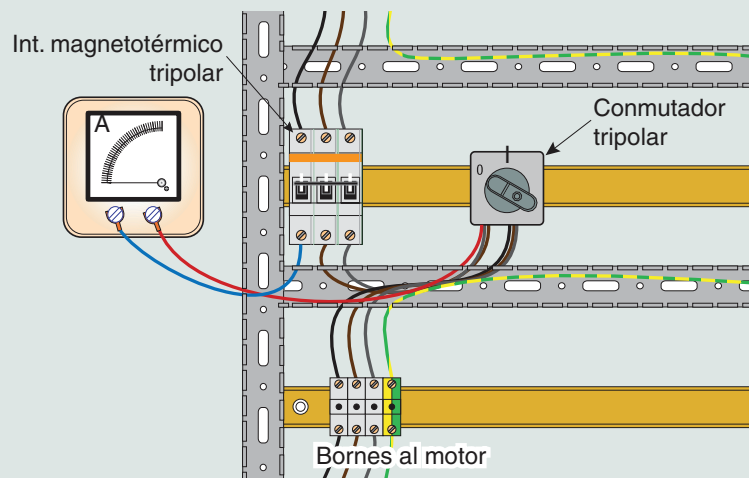
Para comprobar qué ocurre con la corriente en el instante del arranque, conecta un amperímetro en serie con una de las fases del motor.

12. Desconecta la alimentación del panel de pruebas.
13. Dibuja la ubicación del amperímetro sobre el esquema.



↑ Figura 4.64.

14. Suelta uno de los cables de salida del magnetotérmico que va hacia la entrada del conmutador de levass.
15. Conecta el amperímetro entre los bornes (del magnetotérmico y conmutador) de los que se ha soltado dicho cable.



↑ Figura 4.65.

16. Pon en marcha el circuito repitiendo los pasos del 7 al 11.
17. Observa qué ocurre con la corriente en el momento del arranque.



## PRÁCTICA PROFESIONAL 2

### HERRAMIENTAS

- Herramientas de electricista
- Tenaza de engastar punteras

### MATERIAL

- El panel con canaleta y raíles montado en la unidad anterior
- Bornes para raíl
- Un magnetotérmico tripolar
- Un conmutador de levas estrella/triángulo
- Un motor trifásico de 1 kW
- Cable de línea de 2,5 mm<sup>2</sup>
- Manguera de 5 x 2,5 mm<sup>2</sup>
- Amperímetro

## Arranque manual de un motor trifásico mediante conmutador estrella-triángulo

### OBJETIVO

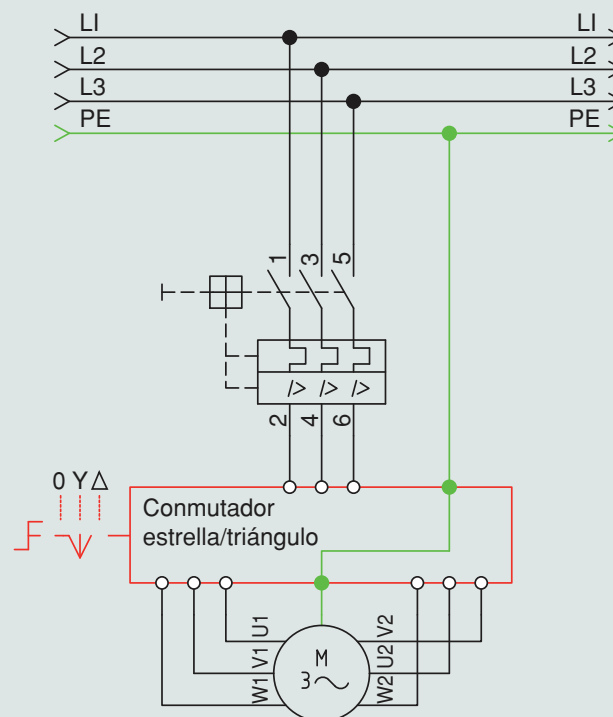
Arrancar un motor trifásico mediante un conmutador estrella/triángulo y observar cómo disminuye la corriente en el instante del arranque.

### PRECAUCIONES

- Antes de enchufar el panel a la red eléctrica, asegúrate de que todos los conductores y aparatos que intervienen en el circuito están conectados correctamente.
- No manipules las conexiones sin desconectar previamente el panel de la red.
- Fíjate en la tensión de trabajo indicada en la placa de características de tu motor y conecta adecuadamente las chapas en su caja de bornes.
- Para evitar que los devanados del motor puedan dañarse, procura que en ningún momento de la prueba, el motor se quede en dos fases.
- No toques con la mano el eje del motor cuando esté girando.

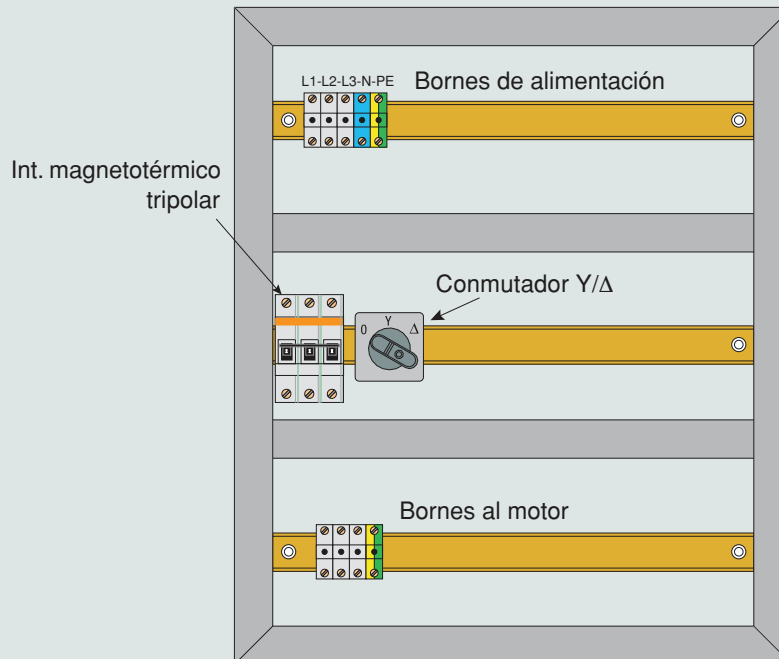
### DESARROLLO

1. Dibuja en una ficha de trabajo el esquema del circuito para el arranque mediante el conmutador estrella-triángulo, teniendo en cuenta que se debe disponer de protección contra sobrecargas y cortocircuitos.



↑ Figura 4.66.

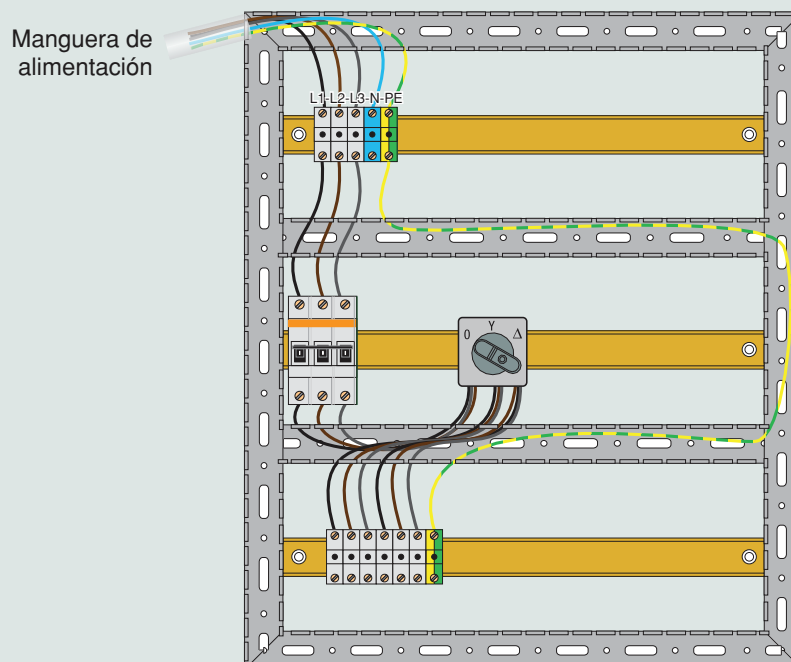
2. En el panel de trabajo, coloca la aparamenta necesaria para realizar el montaje.



← Figura 4.67.

3. Retira las tapas de la canaleta y realiza el cableado del circuito según el esquema que has dibujado anteriormente. No olvides conexionar el conductor de protección y poner punteras en todas las terminaciones de los cables.

Debes tener muy en cuenta las indicaciones dadas por el fabricante del conmutador estrella/triángulo para conectarlo adecuadamente. No dudes en utilizar el manual de instrucciones que lo acompaña.



← Figura 4.68.

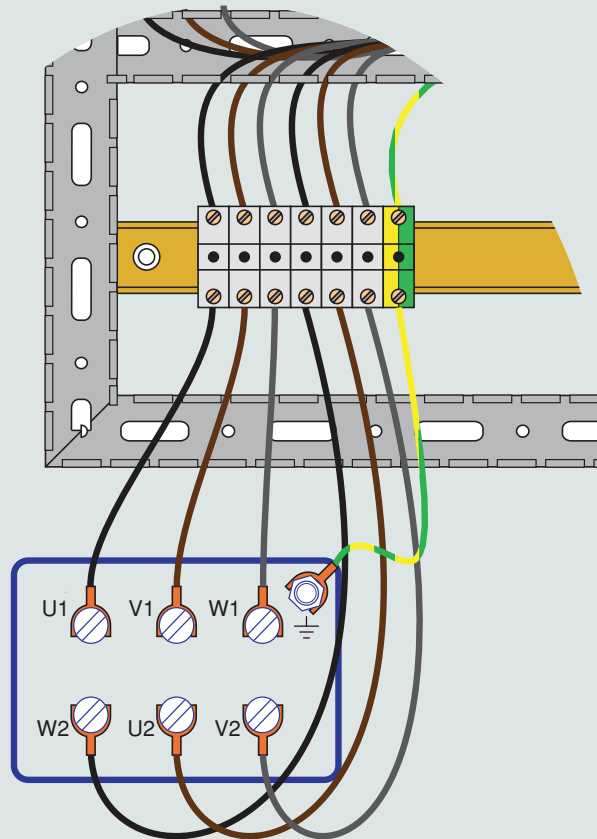


## PRÁCTICA PROFESIONAL 2 (cont.)

4. Conexiona la manguera de alimentación a los bornes de la parte superior del panel de entrenamiento.
5. Conexiona los bornes de salida del panel de entrenamiento a la caja de bornes del motor.

Para que el motor funcione correctamente, es importante que sigas sin equivocarte el orden de conexión de estos bornes, según el esquema del conmutador estrella/triángulo.

No olvides conectar el conductor de toma de tierra a la caja de bornes del motor.



↑ Figura 4.69.

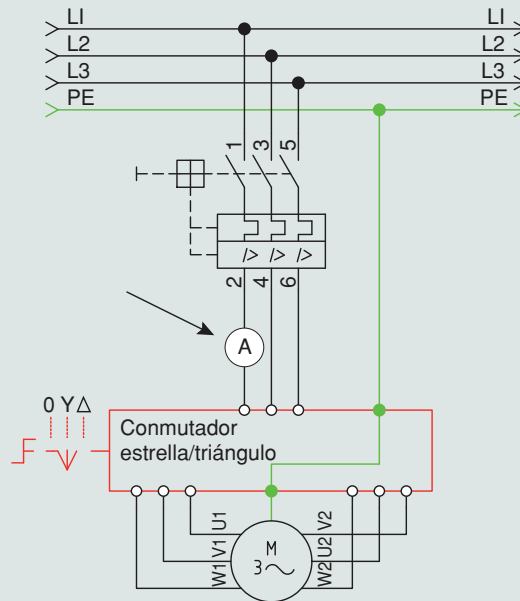
**Importante:** deben estar retiradas las chapas-puente de la caja de bornes del motor.

6. Enchufa la manguera de alimentación a una toma de corriente.
7. Acciona el interruptor magnetotérmico.
8. Pasa el conmutador a la posición estrella y a los dos segundos pásalo a la posición triángulo.
9. Observa si el motor funciona correctamente.
10. Si el motor no arranca o emite un ronquido, como si estuviera en dos fases, desconecta la alimentación del panel de entrenamiento y sigue de nuevo el esquema de conexión. Con toda seguridad habrás conectado de forma incorrecta alguno de los bornes del motor.

## 2ª Parte

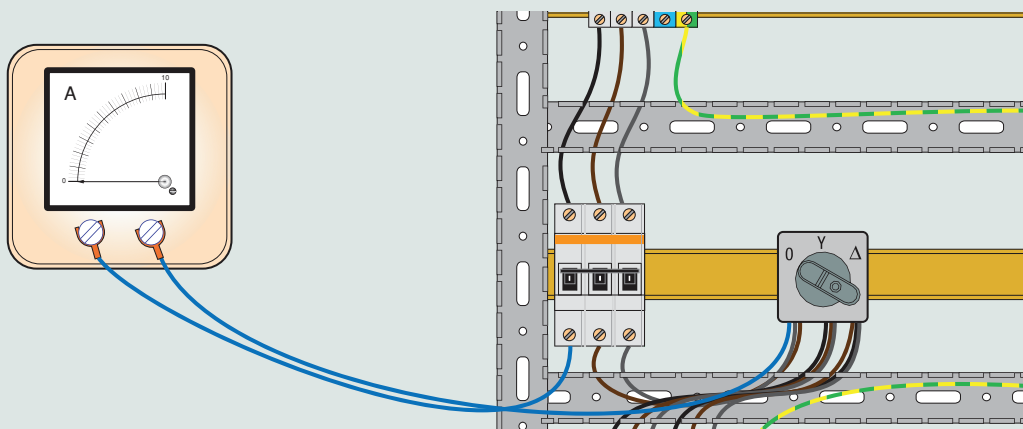
Para comprobar el efecto del arranque estrella/triángulo, debes conectar un amperímetro en serie con una de las fases del motor.

11. Desconecta la alimentación del panel de pruebas.
12. Dibuja la ubicación del amperímetro sobre el esquema.



↑ Figura 4.70.

13. Suelta uno de los cables de salida del magnetotérmico que va hacia la entrada del conmutador estrella-triángulo.
14. Conecta el amperímetro entre los bornes (del magnetotérmico y conmutador) de los que se ha soltado dicho cable.



↑ Figura 4.71.

15. Pon en marcha el circuito repitiendo los pasos 6, 7, 8 y 9.
16. Observa qué ocurre con la corriente en el momento del arranque.





## MUNDO TÉCNICO

### Motores especiales

Además de los tipos de motores que has estudiado en este tema, que podríamos decir que son los tradicionales, existen en la actualidad otros tipos de motores, que por tener una constitución y funcionamiento distinto a los anteriores, suelen denominarse «especiales».

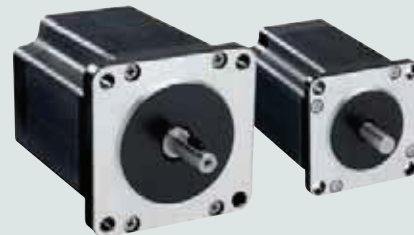
Todos ellos presentan la capacidad de poder situar su eje, prácticamente en cualquier posición angular, y mantenerse en ella. Por ello son de utilidad en aquellas aplicaciones en las que es necesario disponer de un control total sobre dicha posición y/o la velocidad angular del eje, como por ejemplo brazos robotizados, máquinas herramientas, etc.

Generalmente están formados por un conjunto de motor y sistema de control de posición. El sistema de control suele estar compuesto por componentes electrónicos,

que se encargan de determinar el ángulo exacto en el que se encuentra el eje, y corregir en caso de que no sea el punto deseado. Además generan o controlan la alimentación necesaria para el correcto funcionamiento del motor.

#### Motores paso a paso

El motor no se mueve de manera continua, sino a pequeños pasos (1.000 pasos por vuelta, por ejemplo). El sistema de alimentación es mediante pulsos de tensión positiva y negativa, que se aplican a las bobinas del estator. Con cada pulso aplicado el motor avanza un paso. El ángulo girado en cada paso depende de las características constructivas del motor. Además, controlando la frecuencia de los pulsos de la alimentación también podemos controlar la velocidad del motor.



↑ **Figura 4.72.** Motores paso a paso y su controlador (SCHNEIDER).

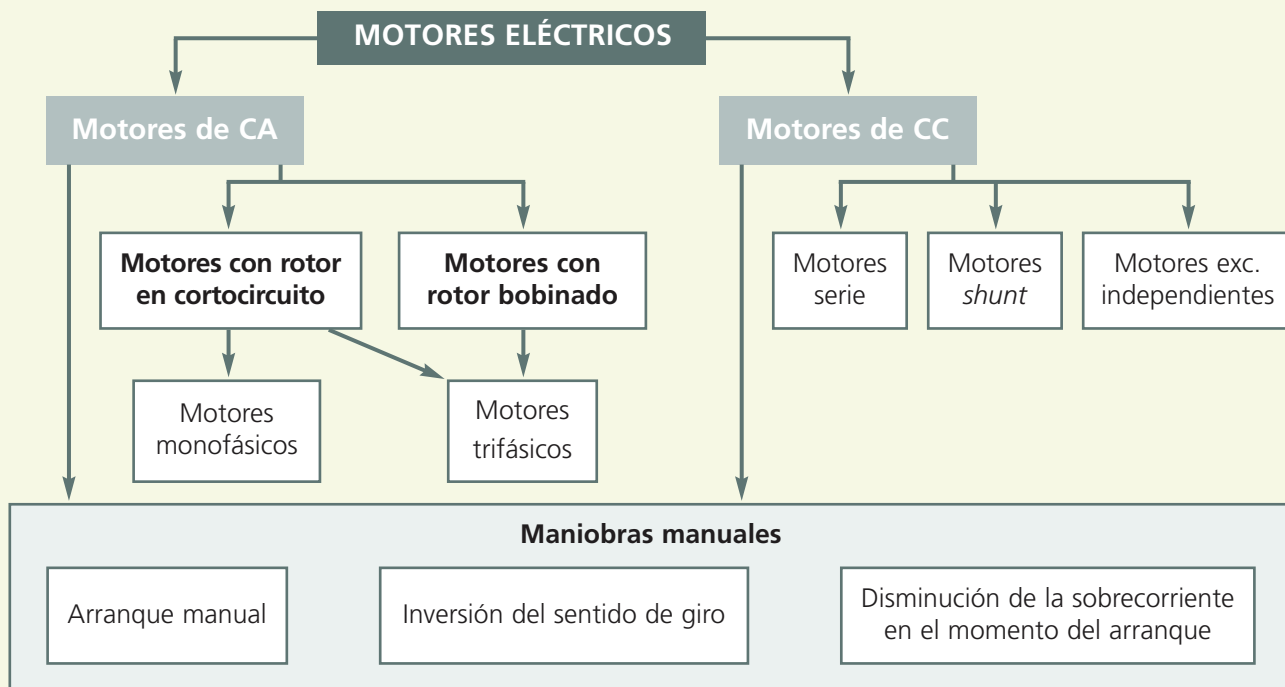
#### Motores *brushless* (sin escobillas)

El rotor está constituido por imanes permanentes. Se conectan mediante dos conductores especiales al controlador. Uno envía la información de la posición del eje del motor en cada momento, y por el otro se recibe la alimentación necesaria para su control. En el mercado actual se pueden encontrar motores *brushless* de CC y de CA.



↑ **Figura 4.73.** Motores paso a paso y su controlador (SCHNEIDER).

## EN RESUMEN



## EVALÚA TUS CONOCIMIENTOS

- Di cuáles de estos motores son de corriente alterna:
  - Motor *shunt*.
  - Motor monofásico de inducción.
  - Motor trifásico con rotor bobinado.
  - Motor con excitación independiente.
- ¿Qué se produce en el momento del arranque de un motor eléctrico?
  - Una sobretensión.
  - Una sobrecorriente.
  - Un bloqueo del eje.
  - Una sobreexcitación.
- ¿Cuál es la denominación de bornes en un motor trifásico de inducción?
  - A,B,E,F
  - U1,V1,W1,K,L,M
  - U,N,PE
  - U1,V1,W1,U2,V2,W2
- Si un motor de 230/400V se conecta a una red de 400V, ¿como debe conectarse su caja de bornes?:
  - En triángulo.
  - En estrella.
  - Es indiferente.
  - De ninguna manera.
- En un arranque manual con un conmutador estrella triángulo ¿cómo deben estar las chapas-puente de la caja de bornes?
  - En estrella.
  - En triángulo.
  - Retiradas.
  - Conectadas a la toma de tierra.
- ¿Qué ocurre si un motor trifásico funciona en dos fases?
  - Se produce una sobrecarga poniendo en peligro los devanados de la máquina.
  - Se produce un sobretensión que quemaría el motor de forma irremediable.
  - No ocurre nada.
  - El motor va más lento.
- La inversión del sentido de giro de un motor trifásico de inducción se realiza:
  - Permutando dos de las fases de alimentación.
  - Permutando las tres fases de alimentación.
- Si estando en marcha un motor *shunt*, se le desconecta el devanado de excitación ¿qué ocurre?
  - Se para.
  - Se embala.