

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-triángulo (Y-Δ).
 - 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.

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

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.

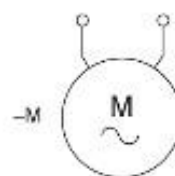


Figura 6.38. Símbolo genérico del motor de CA monofásico. Los bornes pueden nombrarse como U-V o F-N.

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

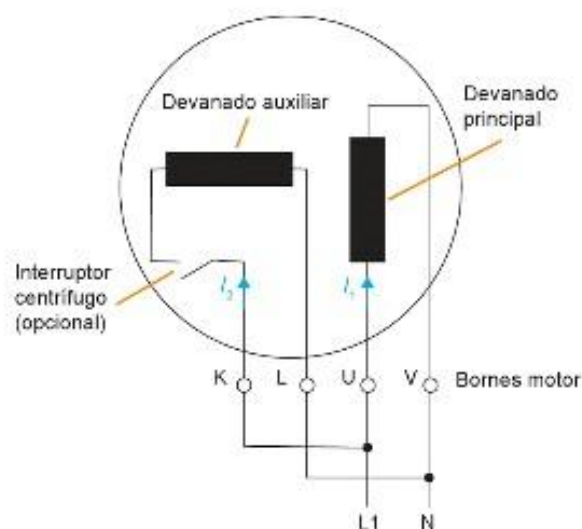


Figura 6.39. Representación interna del motor de CA con bobina auxiliar de arranque.

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.

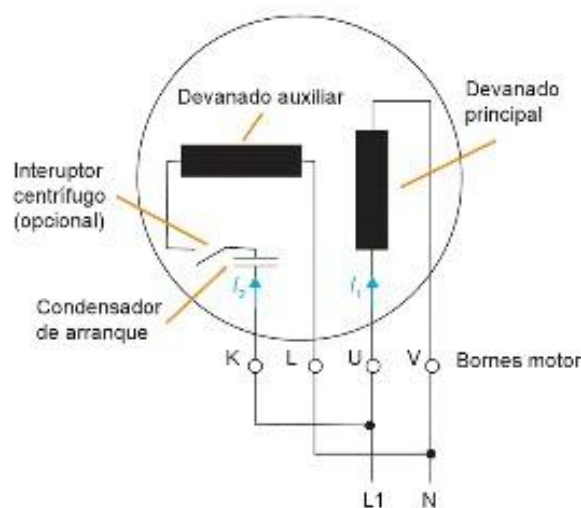


Figura 6.40. Representación interna del motor de CA con condensador de arranque.



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.

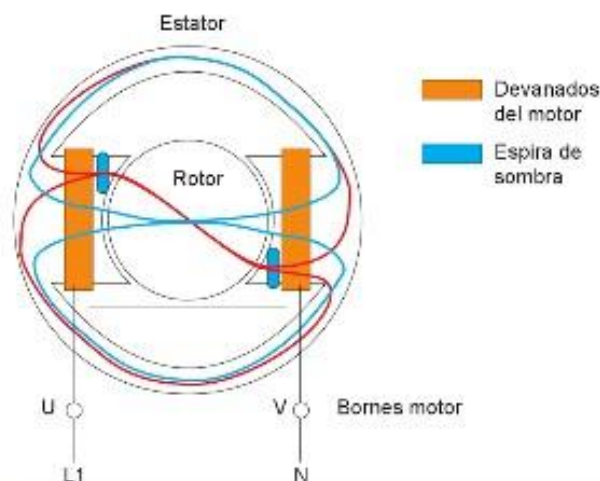


Figura 6.41. Representación interna del motor de CA con espira de sombra.

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.

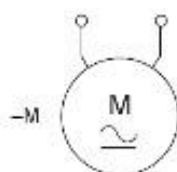


Figura 6.42. Símbolo del motor universal.



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, conmutando las espiras del devanado principal del estator.

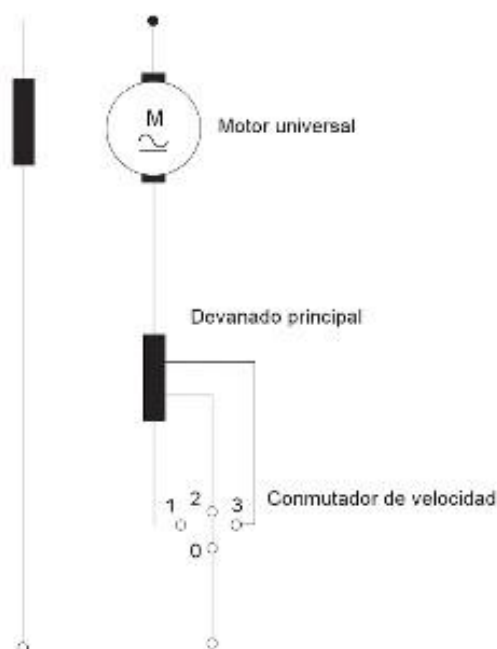


Figura 6.44. Representación gráfica de un motor universal de varias velocidades.

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 requieran 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:

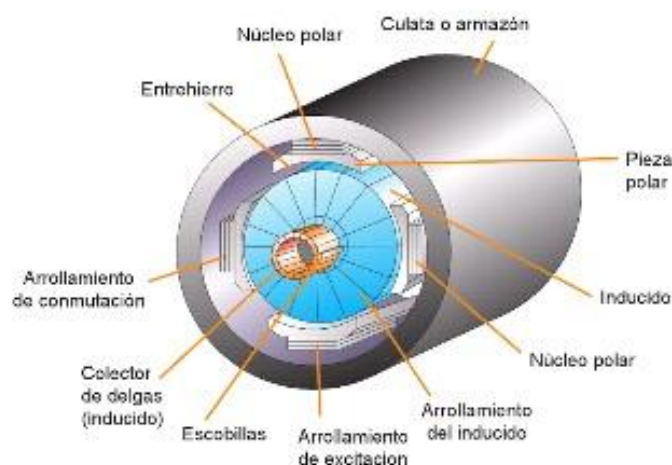


Figura 6.47. Constitución del motor de CC.

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.

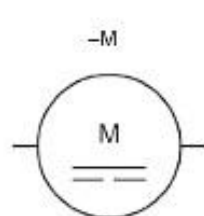


Figura 6.48. Símbolo general del motor de CC.

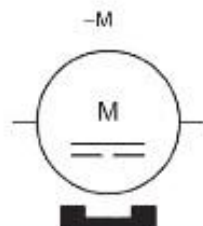


Figura 6.49. Símbolo del motor de CC de imán permanente.

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.

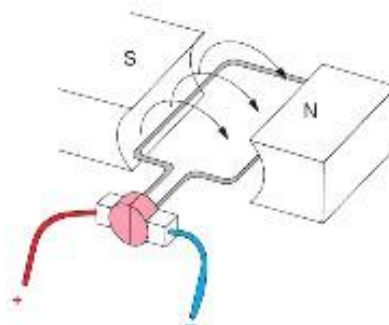


Figura 6.50. Representación del colector de delgas.

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.

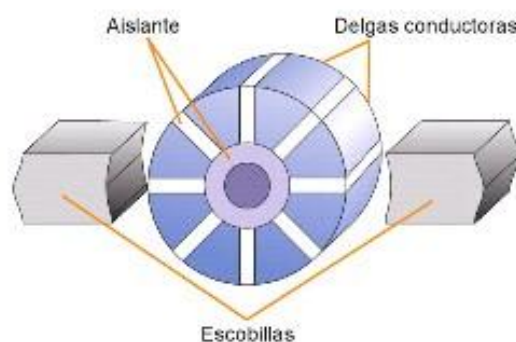


Figura 6.51. Detalle de la unión entre el colector de delgas y las escobillas.

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 asíncronos 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.

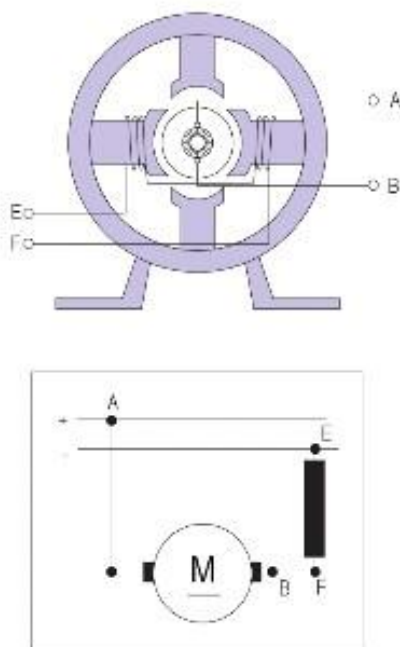


Figura 6.52. Motor de CC de excitación serie.



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.

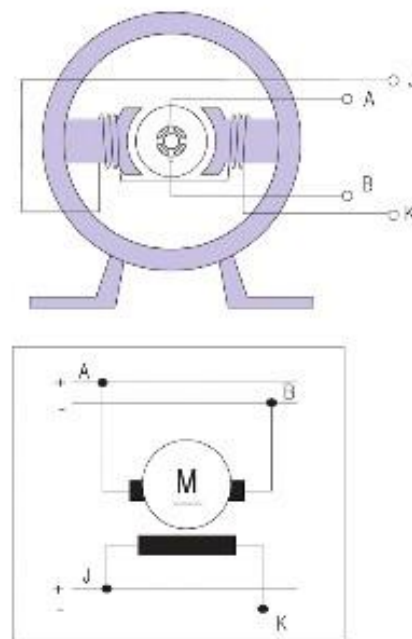


Figura 6.53. Motor de CC de excitación independiente.

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 asíncronos 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.

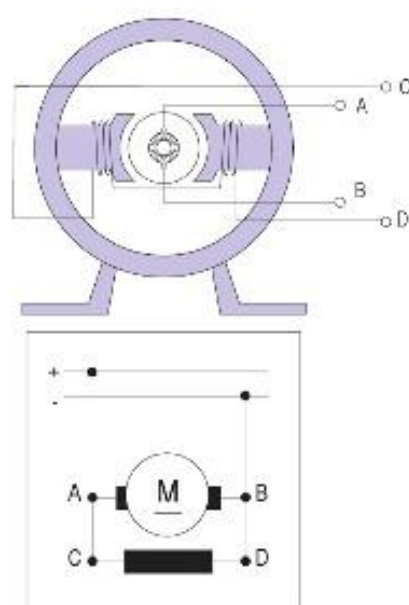


Figura 6.54. Motor de CC de excitación shunt.

Motor de CC de excitación compuesta o compound

Poseen dos circuitos diferentes, uno conectado en serie y otro conectado en derivación (paralelo). Cada uno de los devanados debe tener las características propias del tipo de conexión.

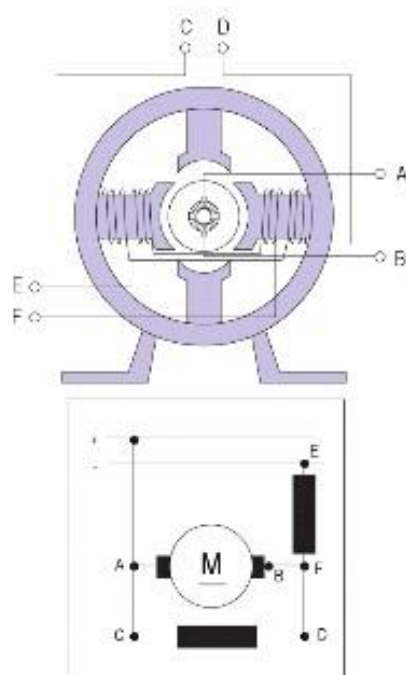


Figura 6.55. Motor de CC de excitación compound.

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.

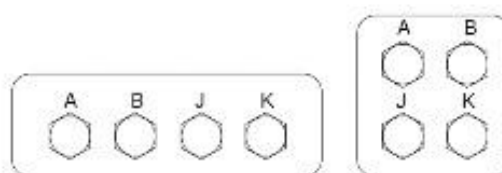


Figura 6.56. Placas de bornes de un motor de CC de excitación independiente.

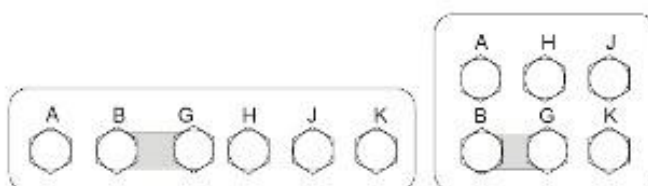


Figura 6.57. Placas de bornes de un motor de CC de excitación independiente con polos de conmutación.

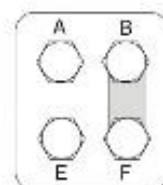


Figura 6.58. Placa de bornes de un motor de CC de excitación serie.

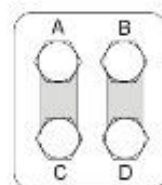


Figura 6.59. Placa de bornes de un motor de CC de excitación shunt.

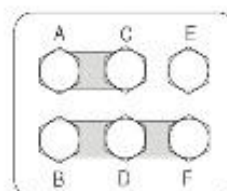


Figura 6.60. Placa de bornes de un motor de CC de excitación compound.

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:

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

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

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 $1,5 \text{ mm}^2$, ya que las cargas que alimentan presentan un consumo muy bajo.

Para la alimentación de **motores**, nunca deben utilizarse secciones de cableado inferiores a $2,5 \text{ mm}^2$, ya que dichos equipos están diseñados en muchos casos para trabajar en sobrecarga y, como ya se ha detallado, presentan unas sobrecargas 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:

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

Y en el caso de motores monofásicos:

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

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:

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

■ ■ ■ 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:

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

Y en el caso de motores monofásicos:

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

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 ($\text{mm}^2/\Omega \times \text{m}$)



RECUERDA

Antes de considerar la sección calculada como definitiva, debe verificarse que la caída de tensión es conforme a la reglamentación vigente, tanto en el régimen normal como en el transitorio (arranque de motores), y que las protecciones contra los choques eléctricos están aseguradas.

Al contrario de lo que ocurría en los circuitos con varios motores convencionales, cuando **varios motores de elevación** se conectan a través de los mismos conductores de alimentación, el cálculo de la potencia total no se realiza diferenciando al motor de mayor potencia, si no que se hallará multiplicando el factor **1,3 por la suma de la potencia** de todos los motores.

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.

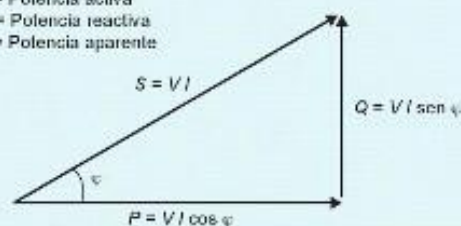


RECUERDA

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 × 70 mm ² + TT × 50 mm ² (Al)
Línea motor 2	50 CV	400/230 V	7 metros	4 × 35 mm ² + TT × 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 tómalas como 56 mm²/Ω × m y la del aluminio como 35 mm²/Ω × 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 asíncrono al 0 % de carga	0,17
Motor asíncrono al 50 % de carga	0,73
Motor asíncrono 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 capacitiva.

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.

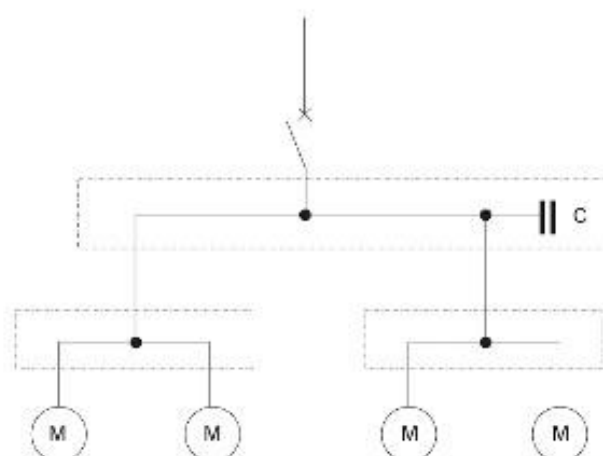


Figura 6.62. Ejemplo de compensación global.

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.

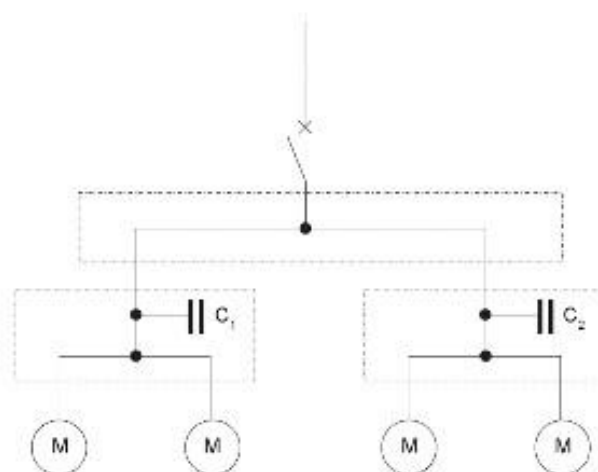


Figura 6.63. Ejemplo de compensación por grupos.

ELECTRICIDAD-ELECTRÓNICA

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 asíncrono) es relativamente grande en comparación con la potencia total de la instalación.

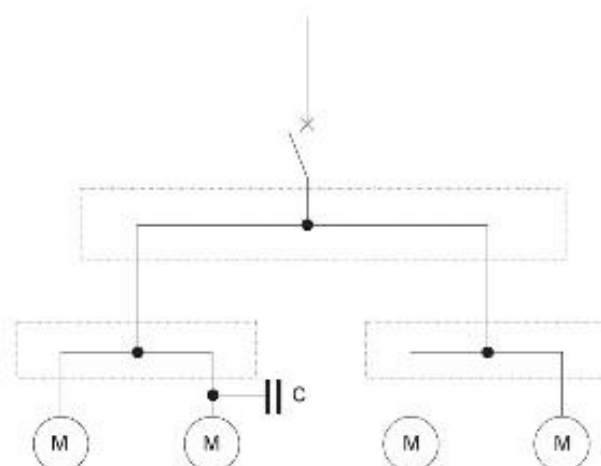


Figura 6.64. Ejemplo de compensación individual de un único motor.

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 capacitiva 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.)

Potencia nominal		kVAr que se deben instalar			
kW	CV	Velocidad de rotación (rpm)			
		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