

Plan de contingencia Pedagógica Para 5to Año  
Incluye Bibliografía y Ejercicios de Repaso



Instrucciones: Leer el material desde la parte 4 a la parte 6 y luego tratar de resolver los ejercicios que se proponen al finalizar la parte 6.

Ante cualquier duda consultar al siguiente mail: [hugowojczys@yahoo.com.ar](mailto:hugowojczys@yahoo.com.ar)

## 6.5. Dimensionado de instalaciones eléctricas con motores

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

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

### 6.5.1. Cálculo de la sección de los conductores de alimentación

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

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

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

Para circuitos trifásicos:

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

Para circuitos monofásicos:

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

Donde:

$I$  = intensidad nominal (A)

$P$  = potencia (W)

$U$  = tensión de alimentación (V)

$\cos \varphi$  = factor de potencia



#### RECUERDA

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

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

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

Para circuitos trifásicos:

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

Para circuitos monofásicos:

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

Donde:

$e$  = caída de tensión (V)

$P$  = potencia (W)

$L$  = longitud del circuito (m)

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

$U$  = tensión de alimentación (V)

$S$  = sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )



#### 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 mm<sup>2</sup>**, 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 mm<sup>2</sup>, ya que dichos equipos están diseñados en muchos casos para trabajar en sobrecarga y, como ya se ha detallado, presentan unas sobretensiones en el arranque que deben ser tenidas en cuenta. Es por este motivo, que el REBT 2002, en la ITC-BT-47, establece los criterios técnicos a tener en cuenta para la instalación y dimensionado de los motores eléctricos, los cuales se especifican a continuación:

### ■ ■ ■ Circuitos con un único motor

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

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

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

Y en el caso de motores monofásicos:

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

Donde:

S = sección del conductor (mm<sup>2</sup>)

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 (mm<sup>2</sup>/Ω × m)

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

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



### SABÍAS QUE

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

### ■ ■ ■ Circuitos con varios motores

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

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

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

### ■ ■ ■ Carga combinada

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

### ■ ■ ■ Motores de elevación y transporte

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

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

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

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

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 ( $\text{mm}^2$ )

$L$  = 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.

$\gamma$  = 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

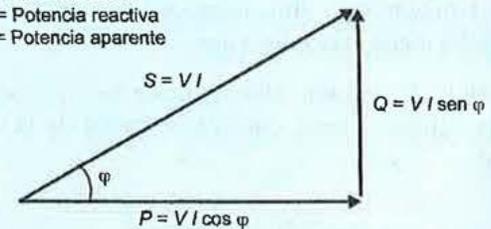
La mayoría de las máquinas eléctricas de corriente alterna, incluidos los motores, requieren para su funcionamiento de dos tipos de energía: la energía activa, la cual convierten en trabajo útil, y la energía reactiva, necesaria para la creación de los campos magnéticos. Por tanto, todas las instalaciones 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 <sup>2</sup> + TT × 50 mm <sup>2</sup> (Al) |
| Línea motor 2 | 50 CV              | 400/230 V | 7 metros  | 4 × 35 mm <sup>2</sup> + TT × 50 mm <sup>2</sup> (Cu) |

- ¿Se encuentran las caídas de tensión calculadas dentro de los límites establecidos por el Reglamento de Baja Tensión para instalaciones industriales?
- ¿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  $56 \text{ mm}^2/\Omega \times \text{m}$  y la del aluminio como  $35 \text{ mm}^2/\Omega \times \text{m}$ .

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

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

|   |           |
|---|-----------|
| Motor 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.

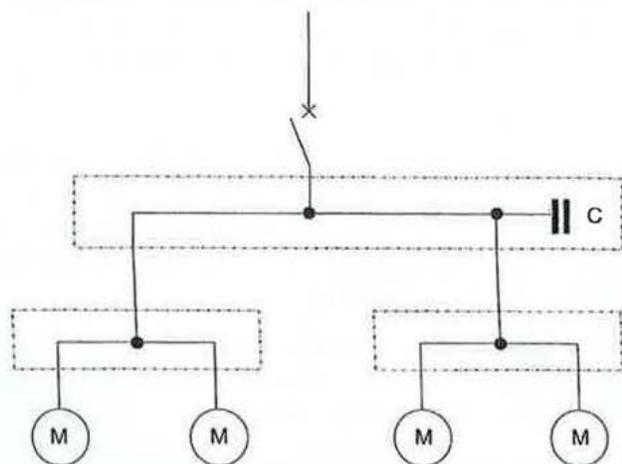


Figura 6.62. Ejemplo de compensación global.

### 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.

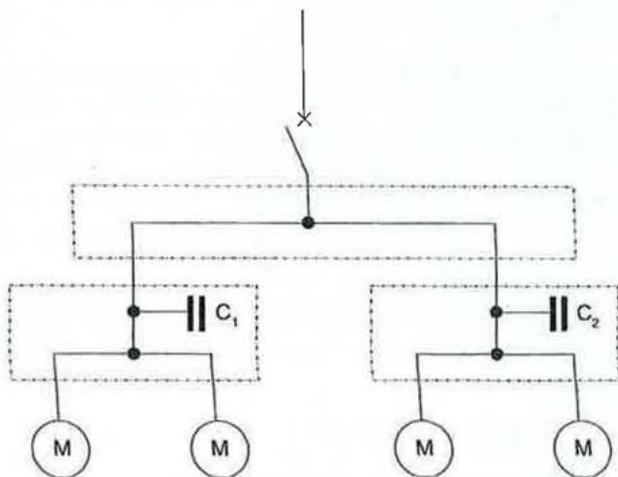


Figura 6.63. Ejemplo de compensación por grupos.

### 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.

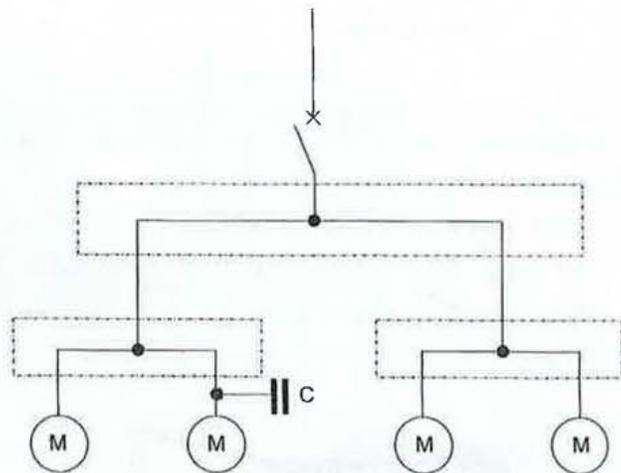


Figura 6.64. Ejemplo de compensación individual de un único motor.

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:

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

Siendo:

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

$P$  = potencia activa del receptor a compensar (W)

$\varphi_1$  = ángulo de desfase antes de la compensación

$\varphi_2$  = 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 |

## Actividades de comprobación

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