

# 12 INSTALACIONES DE BAJA TENSIÓN

## 282. PRODUCCIÓN TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica se produce (fig.12.1) en la central generadora (1) a una tensión que no suele sobrepasar los 25 kV. En la subestación elevadora (2) se eleva a más de 45 kV para la línea (3) que transporta la energía a alta tensión (A.T.) hasta la estación reductora (4), que distribuye la tensión a un valor de 6 a 45 kV. La línea primaria de distribución (5) lleva la energía a centros de gran consumo o a centros de transformación (6) que disminuyen la tensión a menos de 1 kV y, mediante las líneas de distribución (7) en baja tensión (B.T.), se suministra energía a los abonados, que conectan a la línea mediante acometidas (8).

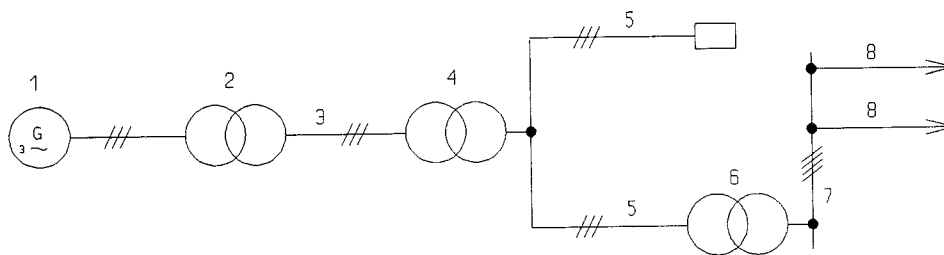


Fig. 12.1

## 283. CÁLCULO DE LÍNEAS DE BAJA TENSIÓN EN CORRIENTE ALTERNA CON CARGA ÚNICA

La línea puede ser monofásica o trifásica y su sección puede calcularse en función de la intensidad de corriente que circula por ella o de la potencia que consumen los receptores.

## 1) Cálculo de una línea monofásica.

$$\text{a) En función de la intensidad}^1 \quad s = \frac{2LI \cos \varphi}{cu}$$

$s$ : Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ ).

$L$ : Longitud de la línea (m).

$I$ : Intensidad eficaz (A).

$\cos \varphi$ : Factor de potencia.

$u$ : Caída de tensión en la línea (V).

$c$ : Conductividad del conductor.

Para el cobre, a  $20^\circ\text{C}$   $c = 56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

Para el aluminio, a  $20^\circ\text{C}$   $c = 35 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

$$\text{b) En función de la potencia}^2 \quad s = \frac{2LP}{cuV}$$

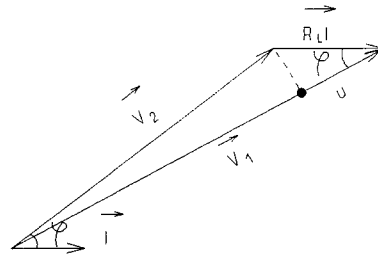
$P$ : Potencia de consumo (W).

$V$ : Tensión de la línea (V).

Si se considera la temperatura máxima de trabajo de los conductores según el aislante,  $90^\circ\text{C}$  (termoestables como XLPE) o  $70^\circ\text{C}$  (termoplásticos como PVC), la resistencia aumenta un 28% en el primer caso y un 20% en el segundo, por lo que la conductividad queda dividida por 1,28 o por 1,20, respectivamente.

<sup>1</sup> Según el diagrama de la figura, la caída de tensión en la línea con carga inductiva, se puede considerar prácticamente como el producto la resistencia de los conductores de la línea por la intensidad activa

$$u = V_1 - V_2 \approx R_L I \cos \varphi$$



La resistencia de la línea  $R_L = \rho \frac{2L}{s} = \frac{2L}{cs}$

Entonces  $u = \frac{2LI \cos \varphi}{cs}$  . La sección de conductor  $s = \frac{2LI \cos \varphi}{cu}$

<sup>2</sup> La potencia activa  $P = VI \cos \varphi$ ;  $I \cos \varphi = \frac{P}{V}$

La sección del conductor en función de la potencia  $s = \frac{2LP}{cuV}$

2) Cálculo de una línea trifásica.

a) En función de la intensidad  $s = \frac{\sqrt{3} L I_L \cos \varphi}{cu}$

$I_L$ : Intensidad de línea (A).

$u$ : Caída de tensión de línea (V).

b) En función de la potencia  $s = \frac{LP}{cuV_L}$

$V_L$ : Tensión de línea (V).

Las tensiones usualmente utilizadas, según el Reglamento electrotécnico para baja tensión (REBT, artículo 4), serán 400 V entre fases y 230 V entre fase y neutro.

PROBLEMAS DE APLICACIÓN <sup>3</sup>

**283.1** Una línea monofásica de 230 V, 50 Hz, situada en el interior de una industria, alimenta un receptor que consume 25 A con un factor de potencia de 0,86 inductivo. Los conductores son de cobre, unipolares, aislados con policloruro de vinilo (PVC) y la canalización es bajo tubo empotrado en obra, de longitud 60 m. Calcular la sección de los conductores admitiendo una caída de tensión del 1,5 %

La caída de tensión  $u = \frac{1,5 \cdot 230}{100} = 3,45 \text{ V}$

La sección de los conductores  $s = \frac{2LI \cos \varphi}{cu} = \frac{2 \cdot 60 \cdot 25 \cdot 0,86}{56 \cdot 3,45} = 13,35 \text{ mm}^2$

La sección comercial más próxima por exceso es 16 mm<sup>2</sup>, que según el REBT, instrucción 19, tabla 1, (ver apéndice A), para una temperatura ambiente de 40° C, admite una intensidad de 66 A, mayor que los 25 A que circularán por el conductor.

**283.2** Calcular la sección de los conductores de cobre unipolares, aislados con PVC, de una canalización interior bajo tubo, empotrado en obra, de longitud 40 m, que alimenta a un receptor monofásico de consumo 10 A, bajo un factor de potencia de 0,9. La caída de tensión admisible es del 1% y la tensión de suministro es 230 V a 50 Hz de frecuencia.

Solución: 6 mm<sup>2</sup>

**283.3** Calcular la caída de tensión, a la máxima temperatura de trabajo (70°C), en una línea monofásica a 230 V, 50 Hz, de longitud 35 m; con conductores de cobre, sección 10 mm<sup>2</sup> y aislados con PVC. La intensidad de corriente es de 20 A con factor de potencia 0,88.

La caída de tensión en la línea  $s = \frac{2LI \cos \varphi}{cu}$ ;  $u = \frac{2LI \cos \varphi}{cs} = \frac{2 \cdot 35 \cdot 20 \cdot 0,88}{56 \cdot 10}{1,2} = 2,64 \text{ V}$

En tanto por cien  $u\% = \frac{u \cdot 100}{V} = \frac{2,64 \cdot 100}{230} = 1,15\%$

<sup>3</sup> Para la aplicación del Reglamento electrotécnico para baja tensión a la resolución de problemas de este capítulo, consultar el apéndice A: DISPOSICIONES REGLAMENTARIAS EN BAJA TENSIÓN

**283.4** Calcular la caída de tensión porcentual de una línea monofásica de 230 V, 50 Hz y longitud 25 m, formada por conductores de aluminio de 16 mm<sup>2</sup> de sección, si la intensidad que circula es de 35 A con factor de potencia 0,85.

Solución: 1,15%

**283.5** Una línea monofásica de 230 V, 50 Hz, de longitud 40 m, está formada por conductores de cobre de 10 mm<sup>2</sup> de sección. Calcular la intensidad de corriente máxima que puede circular por la línea con factor de potencia unidad para que la caída de tensión no sea mayor del 0,5%.

$$\text{La caída de tensión permitida en tanto por uno } u = \frac{u\% \cdot V}{100} = \frac{0,5 \cdot 230}{100} = 1,15 \text{ V}$$

$$\text{Intensidad de corriente máxima } s = \frac{2LI \cos \varphi}{cu}; \quad I = \frac{ucs}{2L \cos \varphi} = \frac{1,15 \cdot 56 \cdot 10}{2 \cdot 40 \cdot 1} = 8,05 \text{ A}$$

**283.6** Calcular la intensidad máxima que, con un factor de potencia 0,9, podrá circular por una línea monofásica de aluminio de longitud 200 m y sección 25 mm<sup>2</sup> para que la caída de tensión no sobrepase el 1,2%. La tensión de servicio es 230 V, 50 Hz.

Solución: 6,71 A.

**283.7** Una línea monofásica de tensión 230 V, 50 Hz, está formada por conductores de cobre de 10 mm<sup>2</sup> de sección y suministra a un receptor una intensidad de 26 A con factor de potencia unidad. Calcular la longitud máxima de la línea si la caída de tensión no debe ser superior al 1%.

Solución: 24,77 m.

**283.8** Una línea monofásica de una instalación interior tiene de longitud 40 m y está formada por conductores de cobre, unipolares, aislados con termoplástico y canalización bajo tubo empotrado en obra. La línea alimenta a 230 V, 50 Hz un receptor que consume 10 kW con un factor de potencia de 0,87 inductivo. Calcular la sección de los conductores con una caída de tensión del 2%.

$$\text{La caída de tensión } u = \frac{2 \cdot 230}{100} = 4,6 \text{ V}$$

$$\text{La sección del conductor } s = \frac{2LP}{cuV} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 10\,000}{56 \cdot 4,6 \cdot 230} = 13,5 \text{ mm}^2$$

La sección comercial más próxima por exceso es 16 mm<sup>2</sup>, que según el REBT, ITC-BT-19, tabla 1, admite una intensidad, a temperatura ambiente de 40° C, de 66 A.

La intensidad que consume el receptor

$$P = VI \cos \varphi; \quad I = \frac{P}{V \cos \varphi} = \frac{10\,000}{230 \cdot 0,87} = 49,99 \text{ A}$$

Esta intensidad es menor que la intensidad admisible, por lo que la sección de 16 mm<sup>2</sup> es válida. Si la intensidad de consumo del receptor fuese mayor de la permitida por el REBT para esa sección, habría que escoger una sección comercial mayor, hasta que el conductor pudiese transportar la intensidad de consumo.

**283.9** Calcular la sección de una línea monofásica con conductores de cobre, unipolares, aislados con PVC, en canalización interior empotrada en obra bajo tubo, de longitud 35 m, que alimenta un receptor de 230 V, 5 kW y  $\cos \varphi = 1$ . La caída de tensión es el 1,5%.

Solución: 10 mm<sup>2</sup>.

**283.10** Una línea monofásica, formada por un conductor multipolar de cobre, aislado con termoplástico (PVC o similar) en canalización empotrada en obra bajo tubo, de longitud 50 m, alimenta a 230 V, 50 Hz una instalación de lámparas fluorescentes, de potencia total 2 240 W. Calcular la sección de los conductores, admitiendo una caída de tensión del 1%.

$$\text{La caída de tensión admisible } u = \frac{1 \cdot 230}{100} = 2,3 \text{ V}$$

La potencia a considerar para el cálculo, según el REBT, instrucción 44, será 1,8 veces la potencia en vatios de los receptores, para lámparas o tubos de descarga.

$$\text{La sección de los conductores } s = \frac{2LP}{cuV} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 2240 \cdot 1,8}{56 \cdot 2,3 \cdot 230} = 13,61 \text{ mm}^2$$

La sección comercial más próxima por exceso es 16 mm<sup>2</sup>, que según el REBT, instrucción 19, tabla 1, admite para ese conductor, a la temperatura ambiente de 40° C la intensidad de 59 A.

La intensidad que consume la instalación se calcula teniendo en cuenta el incremento de potencia a considerar según el REBT, con factor de potencia unidad.

$$I = \frac{P}{V \cos \varphi} = \frac{2240 \cdot 1,8}{230 \cdot 1} = 17,53 \text{ A}$$

Menor que la intensidad permitida, por lo que la sección de 16 mm<sup>2</sup> es válida.

**283.11** Calcular la sección de la línea monofásica que alimenta al alumbrado de una nave industrial, formado por 8 focos con lámparas de vapor de mercurio de 250 W cada una. Los conductores son de cobre, unipolares, aislados con PVC en canalización superficial bajo tubo, de longitud 35 m. La tensión de alimentación es de 230 V, a la frecuencia de 50 Hz y la caída de tensión admisible 1,5%.

Solución: 6 mm<sup>2</sup>.

**283.12** Una línea monofásica de longitud 20 m está formada por conductores de cobre de 10 mm<sup>2</sup> de sección y alimenta a la tensión de 230 V una vivienda de electrificación elevada (potencia de consumo 9,2 kW). Calcular la caída de tensión en la línea.

Solución: 1,24%.

**283.13** Una instalación monofásica que consume 10 kW a 230 V, 50 Hz, está alimentada por una línea formada por conductores de cobre de sección 16 mm<sup>2</sup>. Calcular la máxima longitud de la línea para que la caída de tensión en la misma no sobrepase el 1%.

Solución: 23,7 m.

**283.14** Calcular la máxima potencia que podrá alimentar una línea monofásica de 230 V y longitud 40 m, formada por conductores de cobre de 10 mm<sup>2</sup> de sección, para que la caída de tensión no sobrepase el 2%.

Solución: 7 406 W.

**283.15** Calcular la sección de los conductores de cobre de una línea trifásica formada por conductores unipolares, aislados con polietileno reticulado (XLPE), en canalización empotrada en obra bajo tubo, de longitud 25 m. La intensidad de línea es de 45 A con un  $\cos\varphi = 0,87$  inductivo. La tensión de línea es 400 V y la caída de tensión permitida 1,5%.

$$\text{La caída de tensión } u = \frac{1,5 \cdot 400}{100} = 6 \text{ V}$$

$$\text{La sección de los conductores } s = \frac{\sqrt{3} L I_L \cos\varphi}{cu} = \frac{\sqrt{3} \cdot 25 \cdot 45 \cdot 0,87}{56 \cdot 6} = 5,04 \text{ mm}^2$$

La sección comercial más próxima por exceso es de 6 mm<sup>2</sup>, que según el REBT, instrucción 019, tabla 1, admite, a la temperatura ambiente de 40° C, una intensidad de 44 A; menor que los 45 A que circulan, por lo que la sección debe ser de 10 mm<sup>2</sup>, que según el REBT admite 60 A.

**283.16** Para alimentar un receptor trifásico que consume una intensidad de 32 A con factor de potencia 0,8 en retraso o inductivo, se utiliza una línea formada por un cable tripolar con conductores de cobre, aislados con PVC en instalación interior y montaje superficial, de longitud 40 m. La tensión de línea es 400 V y la caída de tensión permitida del 1%.

Solución: 10 mm<sup>2</sup>.

**283.17** Un motor asíncrono trifásico de características nominales: 15 CV, 230/400 V, 38/21,7 A,  $\cos\varphi = 0,84$ , se desea conectar a una red trifásica de 400 V, mediante una línea trifásica, de longitud 60 m, formada por conductores de cobre unipolares, aislados con PVC, en instalación interior bajo tubo y montaje superficial. Calcular la sección de los conductores si se admite una caída de tensión del 4%.

$$\text{La caída de tensión } u = \frac{4 \cdot 400}{100} = 16 \text{ V}$$

Los conductores de conexión, según el REBT, instrucción 47, estarán dimensionados para soportar una intensidad no inferior al 125 por 100 de la intensidad nominal del motor. Por ello, la intensidad a considerar en el cálculo es:  $1,25 \cdot 21,7 = 27,13$  A.

$$\text{La sección de los conductores } s = \frac{\sqrt{3} L I_L \cos\varphi}{cu} = \frac{\sqrt{3} \cdot 60 \cdot 27,13 \cdot 0,84}{56 \cdot 16} = 2,64 \text{ mm}^2$$

La sección comercial más próxima por exceso es de 4 mm<sup>2</sup>, que según el REBT, instrucción 19, tabla 1, admite una intensidad de 24 A, menor que la intensidad considerada. Se escoge una sección inmediatamente superior de 6 mm<sup>2</sup>, que admite 32 A.

**283.18** Calcular la sección de la línea de alimentación a un motor asíncrono trifásico de 7,5 CV, 230/400 V, 19,6/11,3 A,  $\cos\varphi = 0,82$ , conectado a una red trifásica de 400 V. La línea, de longitud 80 m, está formada por un cable multiconductor, de cobre, aislado con EPR en instalación interior en montaje superficial. La caída de tensión admisible es del 2%.

Solución: 4 mm<sup>2</sup>.

**283.19** Calcular la caída de tensión en una línea trifásica de longitud 200 m, formada por conductores de aluminio de sección 16 mm<sup>2</sup>, si la intensidad de corriente de línea es 25 A

con factor de potencia 0,86. La tensión de línea es 230 V.

Solución: 5,78%.

**283.20** Calcular la longitud máxima que tendrá una línea trifásica formada por conductores de cobre, de sección 25 mm<sup>2</sup>, que alimenta a 400 V una instalación que consume 40 A con factor de potencia unidad, para que la caída de tensión no sobrepase el 1%.

Solución: 80,83 m.

**283.21** Calcular la máxima intensidad de corriente, con factor de potencia 0,9, que podrá circular por una línea trifásica de longitud 42 m, formada por conductores de cobre de sección 16 mm<sup>2</sup>, para que la caída de tensión no exceda del 1%. La tensión de línea es 400 V.

Solución: 54,74 A.

**283.22** Una línea trifásica con neutro, de longitud 40 m, alimenta un receptor trifásico equilibrado de 400 V, 27,5 kW, con factor de potencia 0,86. Los conductores son de cobre, unipolares, aislados con PVC, en canalización interior bajo tubo empotrado en obra y la caída de tensión admisible es el 3%.

$$\text{La caída de tensión } u = \frac{3 \cdot 400}{100} = 12 \text{ V}$$

$$\text{La sección de los conductores } s = \frac{LP}{cuV_L} = \frac{40 \cdot 27\,500}{56 \cdot 12 \cdot 400} = 4,1 \text{ mm}^2$$

La sección comercial más próxima por exceso es 6 mm<sup>2</sup>, que según el REBT, instrucción 19, tabla 1, admite una intensidad de 32 A.

La intensidad absorbida por el receptor.

$$P = \sqrt{3} V_L I_L \cos \varphi; \quad I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos \varphi} = \frac{27\,500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,86} = 46,15 \text{ A}$$

Esta intensidad es mayor que la admitida por el REBT, por lo que se escoge una sección de 16 mm<sup>2</sup>, que admite 59 A.

La sección del conductor neutro será, según el REBT para conductores de cobre, la mitad de la sección de los conductores de fase, con un mínimo de 10 mm<sup>2</sup>. La línea será de tres conductores de fase, de sección 16 mm<sup>2</sup> y el neutro de 10 mm<sup>2</sup>. (3x16+1x10).

**283.23** Calcular la sección de una línea trifásica con neutro, de longitud 300 m, que alimenta a 400 V un taller que consume 20 kW con factor de potencia 0,8. La línea está formada por cables unipolares de aluminio, aislados con polietileno reticulado (XLPE) para 1 kV, en instalación enterrada bajo tubo. La caída de tensión admitida es el 2,5%.

$$\text{La caída de tensión } u = \frac{2,5 \cdot 400}{100} = 10 \text{ V}$$

$$\text{La sección de los conductores } s = \frac{LP}{cuV_L} = \frac{300 \cdot 20\,000}{35 \cdot 10 \cdot 400} = 42,86 \text{ mm}^2$$

La sección comercial más próxima por exceso es de 50 mm<sup>2</sup>, que según ITC-BT-07

tabla 4, admite  $180 \cdot 0,8 = 144$  A (0,8 factor de corrección de intensidad admisible bajo tubo)

$$\text{La intensidad absorbida por el taller } I_L = \frac{P}{\sqrt{3} V_L \cos \varphi} = \frac{20\,000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8} = 36,1 \text{ A}$$

Esta intensidad es menor que la admitida, por lo que la sección es válida.

La sección del conductor neutro es, según el REBT, para conductores de aluminio la mitad de la sección de los conductores de fase, con un mínimo de  $16 \text{ mm}^2$  (ITC-BT-14). La línea será de tres conductores de fase de sección  $50 \text{ mm}^2$  y neutro de  $25 \text{ mm}^2$  ( $3 \times 50 + 1 \times 25$ ).

**283.24** Calcular la sección de una línea trifásica, de longitud 30 m, que alimenta a la tensión de 400 V una instalación interior que consume 20 kW con factor de potencia 0,88. La línea está formada por conductores de cobre, unipolares, aislados con PVC en instalación interior bajo tubo y montaje superficial. La caída de tensión admisible es del 2%.

Solución:  $10 \text{ mm}^2$

**283.25** Una instalación trifásica consume 12 kW a 400 V. La línea de alimentación, con conductores de cobre, de sección  $10 \text{ mm}^2$ , aislados con XLPE, es de longitud 40 m. Calcular la caída de tensión porcentual en la línea, para la máxima temperatura de trabajo ( $90^\circ\text{C}$ ).

Solución: 0,69 %

**283.26** Calcular la máxima longitud que puede tener una línea trifásica formada por conductores de cobre de sección  $16 \text{ mm}^2$ , que alimenta a la tensión de 400 V una instalación que consume 20 kW; para que la caída de tensión no exceda del 2%.

Solución: 143,36 m.

#### 284. APARATOS DE MANIOBRA EN BAJA TENSIÓN

Aparatos de maniobra son aquellos capaces de abrir o cerrar un circuito. Pueden ser manuales o automáticos y cuando pueden maniobrar un circuito con intensidad (en carga) se dice que tienen poder de corte.

Aparatos de maniobra manuales con poder de corte son el interruptor y el pulsador (usado en circuitos de señalización, con poca intensidad). Aparato de maniobra sin poder de corte es el seccionador el cual, generalmente, va asociado a los fusibles.

Aparato de maniobra automático es el interruptor automático, que abre o cierra un circuito en función de alguna magnitud, generalmente del valor de la intensidad.

#### 285. APARATOS DE PROTECCIÓN EN BAJA TENSIÓN

Los aparatos de protección más utilizados en baja tensión se dividen en dos grupos: de protección contra sobreintensidad y de protección contra defectos de aislamiento.

Los aparatos de protección contra sobreintensidad son los fusibles e interruptores automáticos (térmicos, magnéticos y magnetotérmicos).

Los aparatos de protección contra defectos de aislamiento son los interruptores diferenciales y los indicadores de aislamiento.