

Nuevo método de cálculo de secciones de cables de baja tensión

Rodolfo Dufo López

El cálculo exacto de la sección de un cable de baja tensión exige tener en cuenta la temperatura real del cable para evitar el subdimensionamiento de la instalación

El cálculo de secciones de cables de baja tensión se realiza cumpliendo tres criterios: criterio térmico, criterio de caída de tensión y criterio de cortocircuito.

El *criterio térmico* supone que la sección del cable soporte la corriente de diseño que va a pasar por él. En la práctica se elige la sección consultando las tablas del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) o de la Guía Técnica de Aplicación del REBT (elaborada y actualizada por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, con carácter no vinculante, la primera versión ha sido publicada en septiembre de 2003 y está disponible en formato pdf en la página web del ministerio).

El *criterio de caída de tensión* exige que la sección del cable sea tal que la caída de tensión en él sea menor que la máxima admisible según el Rebt. La caída de tensión de un cable es proporcional a su longitud y resistividad e inversamente proporcional a su sección. Es práctica habitual tanto en la literatura técnica como en los proyectistas e instaladores calcular la caída de tensión de los distintos tramos de la instalación considerando la resistividad a 20° C, es decir, supo-

niendo que la temperatura del conductor es 20° C, lo cual es rigurosamente falso en la mayor parte de las ocasiones (no hay más que tocar el aislante de cualquier cable por el que circula corriente). Si el cable conduce una corriente cercana a la máxima admisible puede estar cercano a 70° C (si el aislante es PVC) o a 90° C (si el aislante es XLPE o EPR). A estas temperaturas reales de trabajo la resistividad es mucho mayor y la caída de tensión consecuentemente puede superar la máxima admisible si el cable se ha calculado teniendo en cuenta los 20° C, como suele hacerse habitualmente.

El *criterio de cortocircuito* exige que cuando se produzca un cortocircuito el cable soporte la corriente (que puede ser muy elevada) durante el tiempo que les cuesta a las protecciones (fusibles o interruptores automáticos) desconectar la instalación. En baja tensión este criterio no suele ser determinante, aunque hay que tenerlo en cuenta.

En el presente artículo se va a exponer un método para el cálculo exacto de las secciones, teniendo en cuenta la temperatura real de trabajo del conductor. Se comparará este método con el

tradicional (suponiendo 20° C) y con el método aproximado que supone el caso más desfavorable (el cable a su máxima temperatura admisible). El método tradicional corre el riesgo de subdimensionar la instalación, incumpliendo la caída de tensión admisible, mientras que el aproximado corre el riesgo de sobredimensionar

Caídas de tensión admisibles según el REBT

El Rebt se desarrolla en artículos que son complementados por las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC-BT). Fija unas caídas de tensión máximas admisibles en los distintos tramos de la instalación.

La caída de tensión en la acometida, según ITC-BT-11, será la que la compañía distribuidora tenga establecida para que en la Caja General de Protección (CGP) la tensión esté dentro de los límites de la tensión nominal +/- 7%. Generalmente la caída de tensión en la acometida suele fijarse a un máximo de un 0.5%.

En las ITC-BT-14, 15 y 19 se fija la caída de tensión máxima permisible en

la Línea General de Alimentación (LGA), la Derivación Individual (DI) y las Instalaciones Interiores.

En las *figuras 1 a 4* se ven las distintas caídas de tensión para los distintos casos. En dichas figuras, CPM es Caja de Protección y Medida (para un solo usuario), CGP es la Caja General de Protección y CC es la centralización de contadores.

Cálculo de secciones por el criterio de caída de tensión admisible según el REBT

El cálculo de la sección para cumplir con la caída de tensión admisible se obtiene, dependiendo de si la instalación es mono-

fásica o trifásica, según:

$$\text{Caso trifásico: } S = \frac{\rho \cdot P \cdot L}{e \cdot U_L} \quad (1)$$

$$\text{Caso monofásico: } S = \frac{2 \cdot \rho \cdot P \cdot L}{e \cdot U_L} \quad (2)$$

Donde P es la potencia (W) que va a circular por la línea, L es la longitud (m) de la línea, r es la resistividad del conductor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), e la caída de tensión admisible (V), U_L la tensión nominal de línea de la red trifásica (400 V) y U la tensión nominal fase-neutro (230 V). En estas fórmulas se han despreciado la caída

de tensión debido a las inductancias de los cables y el efecto pelicular, los cuales son despreciables en baja tensión para cables menores de 120 mm².

Teniendo en cuenta que la resistividad es inversa de la conductividad: $\rho = \frac{1}{c}$

donde c es la conductividad del conductor ($\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$). Las ecuaciones 1 y 2 pueden escribirse como:

$$\text{Caso trifásico: } S = \frac{P \cdot L}{c \cdot e \cdot U_L} \quad (3)$$

$$\text{Caso monofásico: } S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{c \cdot e \cdot U} \quad (4)$$

La resistividad en un material no es constante, sino que depende de la temperatura. Para valores superiores a 20° C, la resistividad se obtiene mediante la ecuación:

$$\rho_T = \rho_{20} (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T) \quad (5)$$

donde ρ_T es la resistividad del conductor a la temperatura T ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), ρ_{20} es la resistividad del conductor a 20° C ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$), α_{20} es el coeficiente térmico para 20° C (K^{-1}) y ΔT es la diferencia de temperaturas ($\Delta T = T - 20$).

Para el cobre, $\rho_{20} = 0.018 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; $\alpha_{20} = 0.00393$.

Para el aluminio, $\rho_{20} = 0.028 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$; $\alpha_{20} = 0.00403$.

Puede observarse que al aumentar la temperatura, aumenta la resistividad y por tanto la caída de tensión (o la sección necesaria para cumplir con la caída de tensión admisible).

Es habitual hacer los cálculos con conductividades. La inversa de la ecuación 5 la dejará en forma de conductividades:

$$\frac{1}{\rho_T} = \frac{1}{\rho_{20} (1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T)} \Rightarrow c_T = \frac{c_{20}}{1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T} \quad (6)$$

Para el cobre, $c_{20} = 56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$. Para el aluminio, $c_{20} = 35 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$.

Método habitual (considerando el cable a 20° C)

En la literatura técnica así como en la práctica habitual se suele considerar la conductividad del cobre 56 y la del aluminio 35 $\text{m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ para calcular la sección del conductor según las ecuaciones 3 y 4. La sección por el criterio de caída de tensión se calcula según las ecuaciones 3 o 4 con dichos valores de conductividad, a 20° C. Sin embargo, los cables suelen estar a temperaturas mucho más elevadas, que pueden llegar a 70° C para los cables aislados con PVC cuando

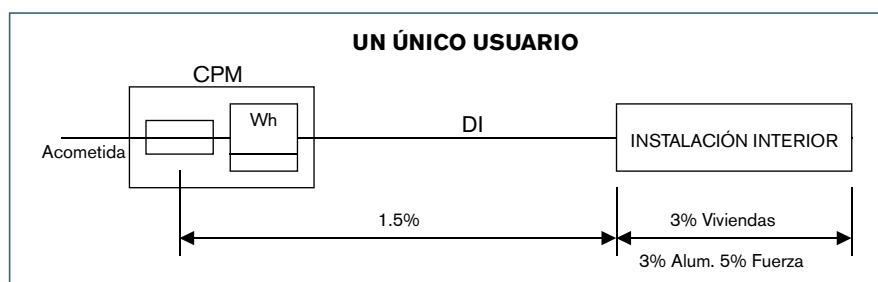


Figura 1. Esquema de caídas de tensión para un edificio con un único usuario.

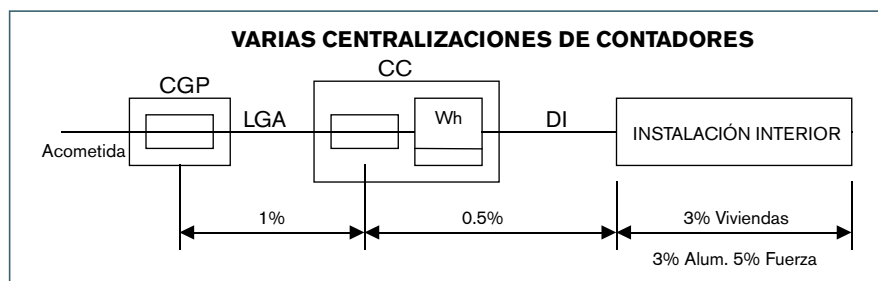


Figura 2. Esquema de caídas de tensión para un edificio con centralización de contadores única.

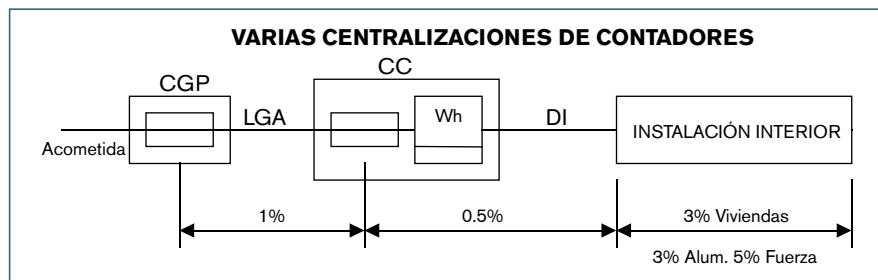


Figura 3. Esquema de caídas de tensión para un edificio con varias centralizaciones de contadores.

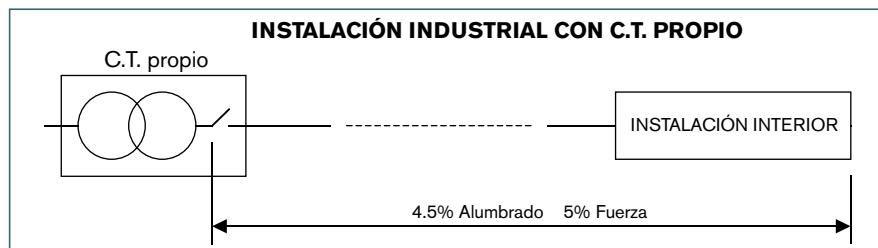


Figura 4. Esquema de caídas de tensión para una industria con centro de transformación propio.

RESUMEN

En el presente artículo se expone un nuevo método de cálculo de secciones de cables de baja tensión teniendo en cuenta la temperatura real del cable (método exacto). El método tradicional habitualmente utilizado por proyectistas e instaladores (que tiene en cuenta que la temperatura del conductor es de 20° C) puede conllevar un subdimensionado de la instalación, de forma que en las condiciones reales de funcionamiento no cumpla con la caída de tensión exigida por el nuevo REBT. El nuevo método expuesto aquí dimensiona correctamente el cable.

por ellos pasa la corriente máxima admisible, y a 90° C para los cables aislados con XLPE o EPR. A esas temperaturas la conductividad es algo menor, y la caída de tensión consecuentemente mayor, con lo que un cable calculado con la conductividad a 20° C, cuando en funcionamiento esté cercano a 70 o 90° C puede que no cumpla el criterio de máxima caída de tensión.

Método aproximado (caso más desfavorable)

La Guía Técnica, en su Anexo 2, indica la forma de realizar el cálculo exacto, mediante un proceso iterativo para obtener la temperatura real del conductor. Sin embargo, consideramos que el método utilizado para el cálculo exacto es algo farragoso, puesto que calcula la caída de tensión unitaria y utiliza tablas (que además sólo aparecen para el aluminio).

No obstante la Guía Técnica también indica un método simplificado, en el que se considerará el caso más desfavorable, es decir, el conductor a la máxima temperatura admisible (70° C para PVC y 90° C para XLPE o EPR), y con la conductividad a esa temperatura se calculará la caída de tensión mediante las ecuaciones 3 o 4.

En la *tabla 1* se indican las conductividades del cobre y el aluminio para diversas temperaturas, calculadas mediante la ecuación 6.

Método exacto (considerando la temperatura real del cable)

El proceso para calcular el cable de forma exacta es el siguiente:

1) Calcular la sección para la conductividad correspondiente a la temperatura

máxima admisible por el cable, T_{\max} (70° C si el aislante es PVC y 90° C si el aislante es XLPE o EPR).

2) Con el valor inmediatamente superior de sección comercial, comprobar por criterio térmico (tablas del Rebt o de la Guía Técnica). Si la sección no cumple con el criterio térmico, se elige la que cumpla y el proceso ha terminado (criterio térmico más crítico)

3) Si la sección comercial sí que cumple con el criterio térmico, pasamos a la segunda iteración: bajar a la sección anterior comercial y comprobar si cumple el criterio térmico. Si no cumple, nos quedamos con la inicial. Si cumple, calculamos la temperatura real del conductor con dicha sección, T , mediante la ecuación:

$$T = T_0 + (T_{\max} - T_0) \cdot (I / I_{\max})^2 \quad (7)$$

donde T_0 es la temperatura ambiente (40° C al aire, 25° C enterrados), T_{\max} es 70° C para PVC y 90° C para XLPE o EPR, I es la intensidad por el conductor e I_{\max} es la máxima intensidad admisible por el conductor por criterio térmico.

4) Con el valor de T , calculamos la conductividad para esa temperatura, con en la ecuación 6.

5) Con dicha conductividad calculamos la sección mínima para cumplir con la caída de tensión, según la ecuación 3 o 4.

Ejemplo

Se pretende calcular la sección de la LGA de un edificio con una previsión de cargas de 80 kW. La longitud de la LGA es de 30 m y los conductores son unipolares de aluminio XLPE, bajo tubo en montaje superficial. Así mismo se va a calcular la sección de una DI de 20 m con

conductores unipolares de cobre bajo tubo empotrado en obra que alimenta una vivienda de electrificación elevada (9200 W). El edificio tiene una centralización de contadores única. Estimaremos el factor de potencia 0.85 para la LGA y 1 para la DI. Utilizaremos el método exacto (el simplificado es la primera parte del exacto)

Línea general de alimentación

Intensidad por la línea: $I = P / \sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos\varphi = 80000 / \sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.85 = 135.8 \text{ A}$

Caída de tensión admisible:

$$0.5 \% \cdot e = 2 \text{ V}$$

Sección por caída de tensión:

$$S = \frac{P \cdot L}{c \cdot e \cdot U_L} = \frac{80000 \cdot 30}{29.2 \cdot 400} = 103.4 \text{ mm}^2$$

La sección superior comercial es 120 mm², que según la tabla B de la GUÍA-BT-14 (Guía técnica de aplicación) soporta una intensidad de $I_{\max} = 223 \text{ A} > 135.8$: Correcto por criterio térmico.

2ª iteración: La sección inferior de 95 mm² soporta $I_{\max} = 192 \text{ A} > 135.8$: Correcto por criterio térmico. La temperatura real del conductor de 95 mm² será: $T = T_0 + (T_{\max} - T_0) \cdot (I / I_{\max})^2 = 40 + (90 - 40) \cdot (135.8 / 192)^2 = 65^\circ \text{ C}$. La conductividad para 65° C será:

$$c_T = \frac{c_{20}}{1 + \alpha_{20} \cdot \Delta T} = \frac{35}{1 + 0.00403 \cdot (65 - 20)} = 29.6 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$$

La caída de tensión será:

$$S = \frac{P \cdot L}{c \cdot e \cdot U_L} = \frac{80000 \cdot 30}{29.6 \cdot 2 \cdot 400} = 101.35 \text{ mm}^2$$

Es decir, la sección de 95 mm² no cumple con el criterio de caída de tensión por lo que la sección elegida sería de 120 mm² (habría que comprobar por criterio de cortocircuito)

El neutro, según la tabla 1 de la GUÍA-BT-14, será de 70 mm², sin no se prevén grandes desequilibrios y/o armónicos. El tubo, también según la misma tabla, será de 160 mm de diámetro exterior. El cable elegido para la LGA será RZ1-K 0.6/1 kV 3x1x120 / 70 Al.

El conductor de la línea principal de

	20° C	30° C	40° C	50° C	60° C	70° C PVC	80° C	90° C XLPE-EPR
Cu	56	54	52	50	48	47	45	44
Al	35	34	32	31	30	29	28	27

Tabla 1. Conductividades a distintas temperaturas.

tierra, que irá por la misma canalización, será de 70 mm², según la tabla 2 de la ITC-BT-19.

Derivación individual.

Intensidad por la línea:

$$I = P / U \cdot \cos\phi = 9200 / 230 \cdot 1 = 40 \text{ A}$$

Caída de tensión admisible:

$$1 \% \cdot e = 4 \text{ V}$$

Sección por caída de tensión:

$$S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{c \cdot e \cdot U} = \frac{2 \cdot 9200 \cdot 20}{47 \cdot 4 \cdot 230} = 8.5 \text{ mm}^2$$

La sección superior comercial es 10 mm². Según la tabla C de la GUÍA-BT-15 soporta una intensidad de I_{max} = 50 A > 40 A: Correcto por criterio térmico.

2ª iteración: La sección de 6 mm² soporta I_{max} = 36 A < 40 A : No cumple el criterio térmico.

Por tanto elegiremos sección de 10 mm².

El tubo, según la tabla F de la GUÍA-BT-15, será de 32 mm de diámetro exterior. El cable elegido para la DI será ES07Z1-K 3x1x10 (fase + neutro + cond. protección).

Comparación entre los distintos métodos.

Se ha calculado el mismo ejemplo con los otros dos métodos (el tradicional incorrecto y el simplificado, que es la primera parte del exacto). En la tabla 2 se recogen los resultados.

Conclusiones

Para secciones grandes el método tradicional (suponiendo el conductor a 20° C) puede darnos una sección incorrecta, de forma que se corre el riesgo de subdimensionar la instalación y que la caída de tensión en las condiciones reales de funcionamiento supere la máxima admisible según el REBT. El método simpli-

ficado expuesto en la Guía Técnica de Aplicación del REBT puede sobredimensionar la instalación . El método Exacto expuesto aquí calcula de forma exacta la sección, sin sobredimensionar ni subdimensionar.

El método exacto es muy sencillo de automatizar ayudándose de una hoja de cálculo o realizando un sencillo programa informático.

Bibliografía

Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Real Decreto 842/2002 de 2 de agosto de 2002.

Guía Técnica de Aplicación del REBT. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Septiembre 2003. Revisión 1. www.mcyt.es

Manual de Baja Tensión. Siemens. Marcombo Boixareu Editores. 2000.

	Sección del conductor (mm ²)		
	Exacto (T exacta)	Simplificado (Tmax)	Tradicional (20°C)
LGA	120	120	95 (incorrecto)
DI	10	10	10

Tabla 2. Sección del conductor según los distintos métodos.

AUTOR

Rodolfo Dufo López
 rodolfodufu@hotmail.com
 Ingeniero técnico industrial en Electricidad (EUITI Zaragoza). Ingeniero industrial (CPS Universidad de Zaragoza). En la actualidad realizando la tesis doctoral. Ha trabajado como técnico de I+D en una empresa del sector automóvil durante un año. Desde 1998 trabaja como profesor de secundaria de formación profesional, especialidad Sistemas Electrotécnicos y Automáticos.

voltimum

Cómo afecta el Nuevo Reglamento a 170 tipos de instalación

Visítenos ya en www.voltimum.es

EL PORTAL DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA