

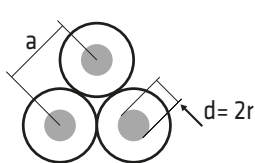
02
VOLUMEN

SOLUCIÓN A SITUACIONES
particulares y frecuentes.

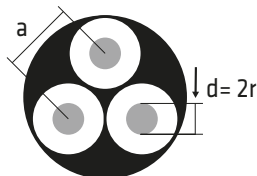
ITEM DESCRIPCIÓN	PÁGINA
6. Cálculo de la reactancia inductiva de circuitos con conductores a tresbolillo o dispuestos en una capa.	03
7. Cálculo de la caída de tensión exacta.	
8. Colocación de neutros cuando la instalación necesita varios conductores por fase.	04
9. Tensiones eléctricas máximas que pueden soportar permanentemente los cables.	05
10. Marcado de los cables para BT .	06
11. Emisión de CO ₂ por kg de cable fabricado.	07

■ 6. Cálculo de la reactancia inductiva de circuitos con conductores a tresbolillo o dispuestos en una capa.

Conductores a tresbolillo.



Tres cables unipolares



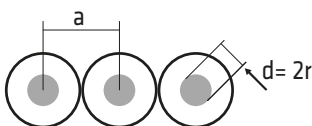
Un cable tripolar

$$\rightarrow L = [4,6 \cdot \log(a/r) + 0,5] \cdot 10^{-4} \text{ [H/km]}$$

En todos los casos las variables son:

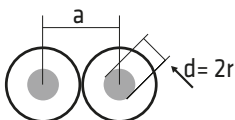
- a = distancia entre ejes de los conductores en mm (= diámetro exterior del cable cuando se trata de unipolares).
- r = radio de conductor en mm

Tres conductores en un mismo plano



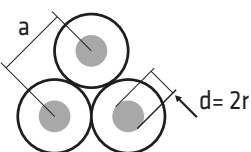
$$\rightarrow L = [4,6 \cdot \log(a/r) + 0,96] \cdot 10^{-4} \text{ [H/km]}$$

Dos conductores en bucle (ida y vuelta)



$$\rightarrow L = [9,2 \cdot \log(a/r) + 1] \cdot 10^{-4} \text{ [H/km]}$$

Ejemplo: si tuviéramos un tendido con 3 cables unipolares de cobre **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** de 1x95. Tomando los datos necesarios que aparecen en este catálogo:



$$\phi_{\text{ext cable}} \approx 19,2 \text{ mm} = a$$

$$\phi_{\text{conductor}} \approx 15,1 \text{ mm} = 2r \rightarrow r \approx 7,6 \text{ mm}$$

Sustituyendo en la fórmula de cables a tresbolillo:

$$L = [4,6 \times \log(19,2/7,6) + 0,5] \times 10^{-4} = 2,35 \times 10^{-4} \text{ H/km}$$

Y, por tanto, la reactancia inductiva a 50 Hz quedaría:

$$XL = \omega \cdot L = 2 \times \pi \times 50 \times 2,35 \times 10^{-4} \approx 0,074 \text{ } \Omega/\text{km} \text{ } [\omega = 2 \times \pi \cdot f].$$

Éste es el valor que se puede considerar para la reactancia de la línea ya que el efecto capacitivo se suele considerar despreciable en cálculos para BT. Además es congruente con el valor aproximado de $x=0,08 \text{ } \Omega/\text{km}$ que propone la norma francesa UTE-C 15-105 y la española el UNE-HD 60364 5-52.

■ 7. Cálculo de la caída de tensión exacta.

Suponemos una línea que alimenta a un receptor trifásico con las siguientes características:

Reactancia de la línea $\rightarrow x \approx 0,074 \text{ } \Omega/\text{km}$

(ver apartado anterior)

Intensidad de corriente $\rightarrow I = 200 \text{ A}$

Tensión entre fases $\rightarrow U = 400 \text{ V}$

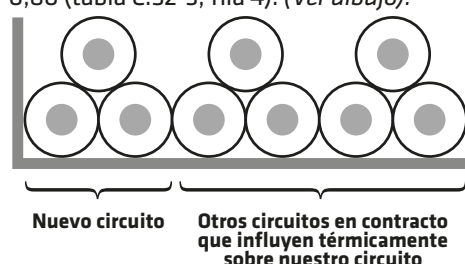
Longitud de la línea $\rightarrow L = 60 \text{ m}$

Coseno de $\varphi \rightarrow \cos \varphi = 0,9$

Cable utilizado **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** unipolar [RZ1-K (AS)] 1x95 cobre \rightarrow XLPE3

Sistema de instalación: Bandeja perforada \rightarrow tipo F

Dos circuitos más en contacto \rightarrow coeficiente de corrección 0,80 (tabla C.52-3, fila 4). (Ver dibujo).



En la tabla de intensidades admisibles vemos que este cable soporta 298 A, que afectado del coeficiente de corrección por agrupamiento 0,80 nos queda en una intensidad máxima de...

$298 \text{ A} \times 0,80 = 238 \text{ A}$ (este valor es la intensidad máxima que puede soportar este cable en la situación en que está instalado, bandeja perforada con dos circuitos en contacto).

Recordando la fórmula de la temperatura del conductor:

$$\theta = \theta_0 + (\theta_{\text{máx}} - \theta_0) \cdot (I / I_{\text{máx}})^2$$

- θ : temperatura real estimada en el conductor.
- θ_0 : temperatura ambiente (del conductor sin carga) $\rightarrow 40 \text{ } ^\circ\text{C}$ (temperatura estándar ambiente en España para instalaciones al aire (noenterradas).
- $\theta_{\text{máx}}$: temperatura máxima admisible para el conduc-

tor según su aislamiento → como el cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** es termoestable → 90 °C.

- I: intensidad prevista para el conductor → 200 A
- $I_{m\acute{a}x}$: intensidad máxima admisible para el conductor según el tipo de instalación → 238 A (este valor es el que puede presentar mayores dudas a la hora de ser obtenido. Es el valor de la intensidad máxima admisible en las condiciones de instalación que tenemos).

Sustituyendo:

$$\theta = 40 + (90 - 40) \times (200 / 238)^2 = 75,31 \text{ °C}$$

Por tanto la resistividad...

$$\rho_{\theta} = \rho_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (\theta - 20)]$$

$$\rho_{75,31} = 1/58 \times [1 + 0,00393 \times (75,31 - 20)] = 0,021 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m} \rightarrow \gamma_{75,31} = 1/0,021 = 47,64 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$$

Obsérvese la gran diferencia entre considerar la conductividad a 20 °C ($\gamma = 58$) o a la temperatura real ($\gamma = 47,64$). Por ello siempre que no se haga el cálculo que aquí exponemos debe considerarse el valor más desfavorable ($\gamma = 45,5$ en caso de cables de cobre con aislamiento termoestable). El error puede llegar a ser de un 28 %.

Con el valor de la conductividad a la temperatura real estimada del conductor ya podemos obtener la caída de tensión real:

Tomando la fórmula de cálculo de la sección por caída de tensión despejamos la caída de tensión ΔU :

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot (\Delta U - 1,732 \cdot 10^{-3} \cdot x/n \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi)}$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} + 1,732 \times 10^{-3} \cdot x/n \cdot L \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \times 60 \times 200 \times 0,9}{47,64 \times 95} + 1,732 \times 10^{-3} \times 0,074 / 1 \times 60 \times 200 \times 0,4359 = 4,8 \text{ V}$$

La expresamos porcentualmente: $4,8 / 400 \times 100 = 1,2\%$

■ 8. Colocación de neutros cuando la instalación necesita varios conductores por fase.

El criterio para la colocación de los neutros es igual al de las fases, cada grupo de cables debe ser la imagen especular de la adyacente, a saber:

A tresbolillo:



En un solo nivel:



Tal y como nos menciona la UNE 20435 punto 3.1.2.3. conviene además provisionar un 0,9 de coeficiente de corrección a la hora de calcular la sección por el criterio de la intensidad admisible. En agrupaciones de este tipo siempre se produce un desequilibrio de impedancias.

La norma de intensidades admisibles en edificios vigente (UNE-HD 60364-5-52) ya incluye esquemas de colocación de los conductores cuando se necesitan varios por fase.

■ **9. Tensiones eléctricas máximas que pueden soportar permanentemente los cables.**

En general tenemos más o menos claro que los cables tienen una intensidad máxima admisible en régimen permanente y se conocen las tablas en las que deben consultarse los valores para cada sección de cable. Suele haber más dudas sobre la tensión máxima admisible en los cables en régimen permanente.

Es menos necesario saber la tensión máxima porque en general las tensiones asignadas (antes llamadas tensiones nominales) son superiores a las tensiones de la instalación pero es conveniente saber que valor tope puede soportar cada cable de forma continua, especialmente en redes de MT o instalaciones fotovoltaicas.

■ ■ **Cables hasta 450/750 V (inclusive).**

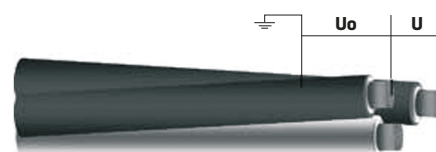
La norma UNE-EN 50565-1 (Guía para la utilización de cables de tensión asignada no superior a 450/750 V (U_0/U)) recoge en su punto 5.2 las condiciones límite de tensión para las que han sido diseñados los cables armonizados hasta 450/750 V, es decir, los cables de más común uso, aquellos cuyo diseño corresponde a alguna de las partes de UNE-EN 50565-1 o UNE-EN 50525, aunque también puede aplicarse a cables similares bajo recomendación del fabricante.

La tensión asignada de un cable es la tensión de referencia para la que el cable ha sido diseñado.

La tensión asignada en un sistema de corriente alterna se expresa por la combinación de los valores U_0/U , expresados en voltios, donde:

■ ■ ■ **U_0 :** es la tensión asignada eficaz entre un conductor aislado y “tierra” (recubrimiento metálico del cable o el medio circundante).

■ ■ ■ **U :** es la tensión asignada eficaz entre dos conductores de fase cualquiera de un cable multiconductor o de un sistema de cables unipolares.



La tensión de servicio de un sistema puede exceder permanentemente la tensión nominal del sistema (de red). La tensión máxima permitida para la tensión asignada del cable se indica en la tabla 2 de la norma UNE-EN 50565-1.

Tensión máxima permitida para la tensión asignada del cable

TENSIÓN ASIGNADA U_0/U DEL CABLE	TENSIÓN MÁXIMA PERMANENTE PERMITIDA PARA EL CABLE			
	CORRIENTE ALTERNA		CORRIENTE CONTINUA	
	Conductor / tierra	Conductor / conductor	Conductor / tierra	Conductor / conductor
V	U_0 (V)	U (V)	(V)	(V)
300 / 300	320	320 ^a	410	410
300 / 500	320	550	410	820
450 / 750	480	825	620	1240

^a Solamente para sistemas unipolares de energía

■ ■ **Cables de tensión asignada 0,6/1 kV o superior.**

La norma UNE 211006 también nos define los valores asignados (antes llamadas nominales) en corriente alterna (no se recogen valores de continua) para cables a partir de 1 kV:

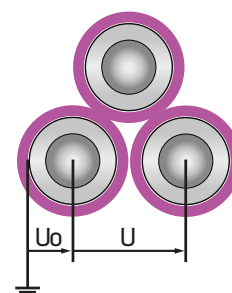
U_0 : Tensión asignada eficaz a frecuencia industrial, entre cada conductor y la pantalla o la cubierta, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

U : Tensión asignada eficaz a frecuencia industrial, entre dos conductores cualquiera, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios.

En una red de 12/20 kV tendríamos por tanto que $U_0 = 12$ kV y $U = 20$ kV.

Estos valores son asignados, valores de referencia que sirven también para definir los ensayos eléctricos. No quiere decir que sea el valor máximo al que puede trabajar el cable en cuestión, ese valor viene definido por U_m .

U_m : tensión máxima eficaz a frecuencia industrial, entre dos conductores cualquiera, para la que se han diseñado el cable y sus accesorios. Es valor eficaz más elevado de la tensión que puede ser soportado en condiciones normales de explotación, en cualquier instante y en cualquier punto de la red. Excluye las variaciones temporales de tensión debidas a condiciones de defecto o a la supresión brusca de cargas importantes.



La tensión máxima (Um) en el caso del cable de 12/20 kV es 24 kV.

En la siguiente tabla de la UNE 211435 podemos encontrar los valores de Um que corresponden a cada valor asignado de Uo/U. Reproducimos a continuación los valores más frecuentes:

TENSIÓN ASIGNADA DE CABLES Y ACCESORIOS U _o /U kV	TENSIÓN MÁXIMA EFICAZ Um kV
0,6/1	1,2
1,8/3	3,6
3,6/6	7,2
6/10	12
8,7/15	17,5
12/20	24
15/25	30
18/30	36
26/45	52
36/66	72,5

NOTA: se exponen las tensiones máximas admisibles en régimen permanente en los cables de acuerdo con las normas UNE, si bien hay que recordar que por encima de lo que dicen las normas están las exigencias reglamentarias que a veces son más estrictas. Así, no debemos olvidar que la ITC-BT 37 del REBT nos dice que para instalaciones de tensión nominal superior a 500 V de valor eficaz en corriente alterna o 750 V de valor medio aritmético en corriente continua los cables deben tener una tensión nominal no inferior a 0,6/1 kV.

Igualmente para el caso de redes de MT de categoría C la propia UNE 211435 nos exige niveles de tensión superiores a los valores máximos aceptables en régimen permanente en los cables. Por ejemplo para una red de 12/20 kV de categoría C se debe elegir cable de al menos 15/25 kV.



Tomamos cada parte de la inscripción:

→ **PRYSMIAN:** nombre del fabricante. Es obligatorio o si está legalmente protegido puede figurar el número de identificación del fabricante.

→ **AFUMEX® CLASS 750 V (AS):** nombre comercial. Opcional.

→ **H07Z1-K (AS) TYPE 2:** designación genérica. Es obligatoria. La norma UNE 20434 (HD 361 S3) recoge las designaciones de cables hasta 450/750 V, en ella se pueden encontrar todas las designaciones. No obstante la norma de diseño de cada cable también contempla el nombre genérico que corresponde.

Cada parte de este código tiene una explicación:

- **H:** cable armonizado según CENELEC.
- **07:** tensión asignada 450/750 V: es la tensión de referencia por la que se caracteriza el cable y se definen

NOTA: la norma UNE 211435 es una guía para elección de cables hasta 18/30 kV, las tensiones máximas para cables de tensión nominal superior se encuentran en la tabla 2 de la ITC-LAT 06 del Reglamento de Líneas de AT (RD 223/2008).

En cuanto a valores de tensión continua máxima decir que si observamos las normas de diseño de las principales familias de cables de 0,6/1 kV [AFUMEX CLASS (RZ1-K (AS), AL RZ1 (AS), RZ1MZ1-K (AS)...), RETENAX CPRO (RV-K, RV, RVMV-K, RVFV...) y AL VOLTALENE FLAMEX CPRO (AL XZ1 (S)...)] UNE 21123-4, UNE 21123-2 y UNE HD 603-5X respectivamente veremos que en el punto 1 b) de estas normas se lee: *Tensión asignada 0,6/1 kV; véase UNE-HD 603-1 Apartado 2.3.*

Tal apartado nos dice, al igual que hemos visto anteriormente, que los cables soportan una tensión máxima Um = 1,2 kV y en su último párrafo se lee textualmente: *Los cables de este documento de armonización, pueden igualmente utilizarse en redes de corriente continua, en las cuales la tensión asignada máxima con respecto a tierra, no supere 1,8 kV.*

■ 10. Marcado de los cables para BT.

La manera más directa de identificar los cables es su marcado. Mediante dos ejemplos pretendemos aclarar lo que nos dicen los cables en sus cubiertas o aislamientos.

■ ■ Marcado del cable Afumex Class 750 V (AS)

sus ensayos. 450 V es el valor de tensión eficaz entre el conductor y tierra y 750 V el valor de tensión eficaz entre conductores. (Ver punto anterior).

→ **Z1:** aislamiento de mezcla termoplástica a base de poliolefina, con baja emisión de gases corrosivos y humos.

→ **-K:** flexible para instalaciones fijas, clase 5 según UNE-EN 60228 e IEC 60228.

→ **(AS):** indica que es un cable de alta seguridad. Esta marca es obligatoria desde 2004 para este tipo de cables. Denota su especial comportamiento frente al fuego.

→ **TYPE 2:** inscripción obligatoria para este tipo de cables AS como no propagadores del incendio (reacción al fuego mejorada respecto a los cables TYPE-1 ver UNE-EN 50525-3-31).

- **1x2,5 mm²**: sección nominal del conductor. Aunque resulte paradójico no es obligatorio por norma su marcado en cables de 450/750 V sin cubierta. Indica la sección nominal del cable, esta sección no está sujeta medida directa sino a unos valores máximos de resistencia indicados en la UNE-EN 60228, es decir 2,5 mm² no coincidirá a buen seguro con el valor obtenido a partir de las mediciones de un calibre.
- **Cca-s1b,d1,a1**: clase de reacción al fuego según el Reglamento de Productos de Construcción (CPR). Esta marca es obligatoria y nos define el comportamiento del cable frente al fuego.



Igualmente comentamos la inscripción por partes:

- **PRYSMIAN**:: nombre del fabricante, obligatorio, o marca registrada a proteger legalmente con el que el fabricante puede ser identificado.
- **AFUMEX® CLASS 1000 V (AS)**:: nombre comercial del cable. Opcional igual que en el caso anterior.
- **RZ1-K (AS)**: designación genérica del cable que es prescriptivo aparezca en la cubierta siempre. Las diferentes capas de los cables se nombran siempre de dentro a fuera y su significado es:
 - **R**: aislamiento de polietileno reticulado (XLPE).
 - **Z1**: cubierta de poliolefinas con baja emisión de gases corrosivos y humos.
 - **-K**: flexible para instalaciones fijas, clase 5 según UNE-EN 60228 e IEC 60228.
 - **(AS)**: Cable de alta seguridad. Marcado obligatorio con el mismo criterio que el apartado anterior.

→ **0,6/1 kV**: tensión asignada de 600 V entre un conductor y tierra y 1000 V entre conductores. Valor máximo eficaz en corriente alterna de 1200 V en servicio permanente (UNE 20435), *para más información ver apartado anterior*. También prescrito su marcaje en la norma de diseño del cable.

→ **UNE 21123-4**: norma de diseño del cable. No obligatorio.

→ **3G1,5**: número de conductores (3) y sección 1,5 mm². Cuando en uno de los conductores en amarillo/verde se utiliza la letra G (Ground = tierra) cuando no hay amarillo /verde se utiliza el símbolo "X". En este caso en la norma, al contrario que en el caso anterior, si exige esta inscripción.

→ **Cca-s1b,d1,a1**: clase de reacción al fuego según el Reglamento de Productos de Construcción (CPR). Esta marca es

→ **AENOR**: es opcional y se inscribe cuando el cable está certificado por AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

En resumen, generalmente el fabricante suele incluir en la inscripción datos que considera relevantes o aclaratorios para el instalador, no obstante el mínimo obligatorio para el cable que nos ocupa sería: **PRYSMIAN H07Z1-K (AS) TYPE 2 Cca-s1b,d1,a1**.

■ ■ Marcado del cable Afumex Class 1000 V (AS)

obligatoria y nos define el comportamiento del cable frente al fuego.

→ **AENOR**: indica que el cable está certificado por AENOR. Su indicación es un plus de aseguramiento de calidad por una entidad externa que refleja el fabricante en el producto, pero no se pide en la norma su inscripción en la cubierta del cable.

→ **2017**: año de fabricación. La norma habla de indicar al menos las dos últimas cifras del año de fabricación.

→ **1236 m**: metraje del cable. Con objeto de facilitar el trabajo del instalador, algunos fabricantes marcamos metro a metro el cable, de esta forma no es necesario hacer medidas, simplemente basta con observar la numeración.

Por tanto la inscripción mínima obligatoria para el Cable **AFUMEX CLASS 1000 V (AS)** sería como sigue: **PRYSMIAN RZ1-K (AS) 0,6/1 kV 3G1,5 Cca-s1b,d1,a1 17**

■ 11. Emisión de CO₂ por kg de cable fabricado.

FACEL, Asociación Española de Fabricantes de Cables y Conductores Eléctricos y de Fibra Óptica tiene publicada una tabla con los valores de emisiones de CO₂ por kg de cable fabricado.

Prysmian Group

LINKING THE FUTURE

PRYSMIAN CABLES SPAIN, S.A.U.

Ctra. C-15, km 2

08800 Vilanova i la Geltrú, Spain

Teléfono: 938 116 006

atencion.clientes@prysmiangroup.com

Follow us



www.prysmianclub.es
www.prysmiangroup.es

 **PRYSMIAN**



Draka